



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“ ESTUDIO DE MEJORAMIENTO DEL  
CABEZAL DE DISTRIBUCION Y  
SELECCION DE QUEMADORES PARA  
COMBUSTOLEO EN CALENTADORES  
A FUEGO DIRECTO ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

GABRIEL GARCIA FIERRO

ASESORES: ING. JORGE MEZA PORTILLO  
ING. GUADALUPE ALFONSO RAMOS ANASTASIO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1997

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.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
 DIRECCIÓN GENERAL DE  
 EDUCACIÓN SUPERIOR

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAÍME KELLER TORRES  
 DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la F.E.S. - C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:  
"Estudio de mejoramiento del cabezal de distribución y selección de quemador para combustóleo en calentadores a fuego directo"

que presenta el pasante: Gabriel García Fierro  
 con número de cuentas: 8810617-1 para obtener el TÍTULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios, se discutió en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgando nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
 Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 23 de Enero de 199

PRESIDENTE	<u>Ing. Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio</u>	
VOCAL	<u>Ing. José Antonio Sánchez Gutiérrez</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Eduardo Covarrubias Chávez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Bernardo Muñoz Martínez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Sergio Lara Flores</u>	

---

**A MIS PADRES**  
EN HOMENAJE AL APOYO, CARIÑO Y  
EJEMPLO QUE HAN BRINDADO A MI VIDA.

**A MIS HERMANOS**

---

---

**A MI ESCUELA**  
POR LA PREPARACION QUE ME DIERON A LO  
LARGO DE TANTOS AÑOS

**AL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO**  
EN AGRADECIMIENTO AL APOYO RECIBIDO PARA LA REALIZACION DE  
ESTE TRABAJO

**AL DEPARTAMENTO DE DISEÑO MECANICO-ESTRUCTURAL**  
**DE EQUIPO DE COMBUSTION**  
Y EN ESPECIAL A SU TITULAR ING. JORGE MEZA PORTILLO

**A TODOS LOS QUE CONTRIBUYERON EN LA REALIZACION DE LA PRESENTE**

---

---

## INDICE

---

### INTRODUCCION

---

#### 1. GENERALIDADES

---

1.1. CALENTADORES A FUEGO DIRECTO	1
1.2 ZONAS DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO	4
1.3 TIPOS DE CALENTADORES	8
1.4 CONSUMO DE ENERGIA.	12

---

#### 2. SISTEMA DE ALIMENTACION A QUEMADORES

---

18

2.1 SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLES PARA QUEMADORES EN CAFD.	18
2.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALIMENTACION Y DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE A UN CAFD.	25
2.3 VALVULAS DE CONTROL	48
2.4 QUEMADORES	64

---

#### 3 ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPONENTE DISTRIBUIDOR DE COMBUSTIBLES EN CAFD

---

80

3.1 GENERALIDADES	80
3.2 GEOMETRIA DEL CABEZAL DE DISTRIBUCION	80
3.3 ANALISIS HIDRAULICO	85
3.4 ANALISIS HIDRAULICO	95
3.5 COMBUSTIBLES	102

---

#### 4. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO A UN PROBLEMA PRACTICO

---

110

4.1 ANTECEDENTES	110
4.2 OBJETIVOS	110
4.3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS	112
4.4 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES POR ETAPA.	113
4.5 RECOMENDACIONES	121

---

#### 5. CONCLUSIONES

---

124

#### 6. GLOSARIO

---

126

#### ANEXO

---

130

#### 7. BIBLIOGRAFIA

---

135

---

---

## INTRODUCCION

Actualmente, los diversos procesos de la industria de refinación presentan un repunte tecnológico importante debido a las políticas actuales de ahorro de energía y protección ambiental. Estas políticas reflejan la necesidad de aprovechar al máximo todos los recursos utilizados para generación de energía con un mínimo de efectos negativos en el medio ambiente. En la industria de refinación, la tendencia a aprovechar en su máximo grado las fuentes de energía utilizadas para el funcionamiento de los diversos equipos de proceso, es de vital importancia.

La presente tesis tiene como objetivo el realizar un estudio aplicable al análisis de las líneas distribuidoras de combustóleo a quemadores en un Calentador A Fuego Directo (CAFD), el cual permitirá el mejoramiento en la distribución de combustible a partir del cálculo de dimensiones óptimas del elemento distribuidor a quemadores, en base a condiciones de presión o velocidad predeterminadas requeridas; así como dar criterios que permitan seleccionar de manera correcta quemadores de alta tecnología que nos den una liberación térmica con un mínimo de contaminantes y consumo de combustible.

---

## 1. GENERALIDADES

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

Un **Calentador A Fuego Directo (CAFD)** es un equipo de transferencia de calor, cuya función es calentar el fluido de proceso que circula por su interior, hasta que éste alcance una temperatura requerida para su posterior alimentación a equipos adyacentes de Refinación y/o Petroquímica.

La estructura de los **CAFD** está concebida como una envoltura metálica de forma cilíndrica o tipo caja rectangular, en cuyo interior se encuentra dispuesto el serpentín de tubos por el que circula el fluido; también se encuentra alojado el sistema de soportería, los materiales refractarios y aislantes, así como en algunas ocasiones parte del sistema de limpieza...

El termino de **Calentadores A Fuego Directo** se deriva de que parte del serpentín se encuentra localizado en la zona donde se genera la flama, y la mayor parte del calor se transfiere por radiación.

Los componentes principales de un **Calentador a Fuego Directo** se enlistan a continuación (figura 1.1):

**Serpentín.** Es el conjunto de tubos, a través del cual el fluido de proceso circula desde el cabezal de entrada hasta el de salida del CAFD.

**Soportes de tubos.** Elemento mecánico utilizado para soportar los tubos del serpentín dentro del CAFD.

**Refractarios.** Los refractarios son definidos como materiales inorgánicos, no metálicos, como la cerámica resistentes al calor y que proporcionan la estructura o revestimiento para soportar altas temperaturas.

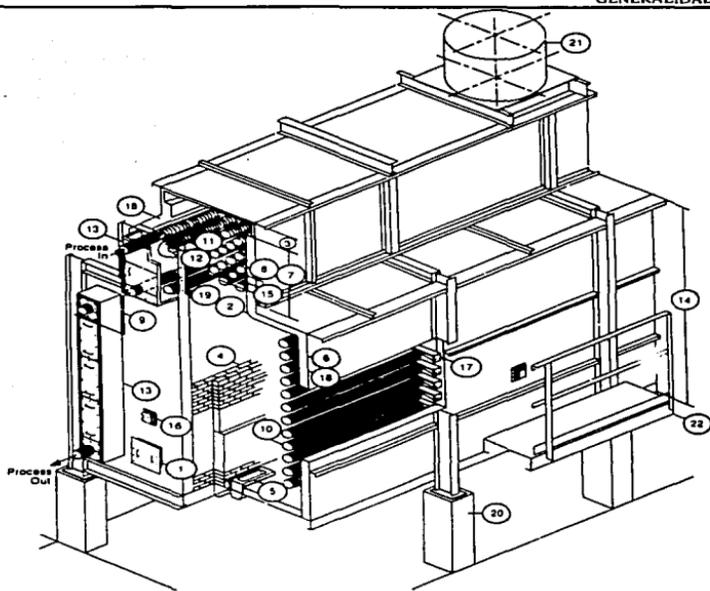
**Aislantes.** Es un material de muy baja conductividad térmica, éstos pueden ser ladrillos y concretos incluyendo las fibras cerámicas. Los materiales denominados aislantes están constituidos por refractarios, a los que se les abate la densidad con el propósito de darles características aislantes sin perder su estabilidad física y química a temperaturas relativamente elevadas.

**Quemadores.** Un quemador es un conjunto de accesorios que mezclan en forma adecuada cantidades específicas de aire y combustible en forma homogénea, provocando después que el combustible se queme a través de un proceso químico exotérmico estable.

**Sopladores de Hollín.** Su función es la de dirigir chorros de vapor hacia los tubos de superficie extendida, con la finalidad de eliminar el hollín depositado sobre estos. Los sopladores de Hollín se encuentran localizados a distintas alturas en la zona de convección y son tubos con orificios que cruzan de lado a lado a la misma zona.

**Ventiladores.** Máquina que sirve para lograr mover gases a través de ductos y otros equipos, relativamente a bajas presiones.

**Compuertas y Mamparas.** Dispositivos que se colocan generalmente dentro de ductos de gases de combustión y aire, permitiendo el paso de estos y regulando su flujo.



1 - PUERTA DE ACCESO  
 2 - ARCO  
 3 - BECHING  
 4 - REFRACTARIO  
 5 - QUEMADOR  
 6 - ENVOLVENTE

7 - SECCION DE CONVECCION  
 8 - CORBELING  
 9 - CROSSOVER  
 10 - TUBOS  
 11 - SUP. TENIDA  
 12 - CODO DE PLETORNO

13 - CAJA DEL CALENTADOR  
 14 - SECCION DE RADIACION  
 15 - SECCION DE ESCUDO  
 16 - MIRILLA  
 17 - SOPORTES  
 18 - REFRACTARIOS

19 - CAMA DE  
 20 - PILAR  
 21 - CILINDRO  
 22 - PLATAFO

**FIGURA I.1: COMPONENTES DEL CAFE**

**Chimenea.** Conducto que permite desalojar a la atmósfera, a los productos de la combustión, además de proveer el jalón o tiro suficiente para mantener circulando el aire, y gases a través del calentador y la propia chimenea.

**Estructura o Envolvente.** Es la cubierta metálica usada para encerrar al CAFD. Todas las cargas de los tubos y cabezales será soportada por la estructura de acero y no por el refractario.

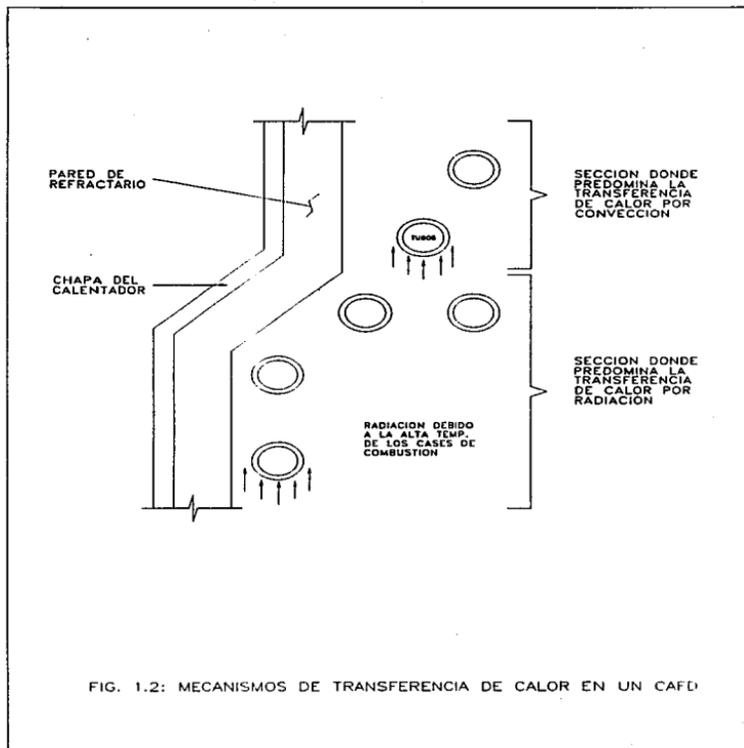
**Instrumentación.** Es el equipo controlador e indicador de las condiciones de operación de un CAFD tales como; registradores, controladores, termopares, indicadores de presión, circuitos de paro por emergencia, indicadores de flujo, de combustible energía eléctrica y vapor.

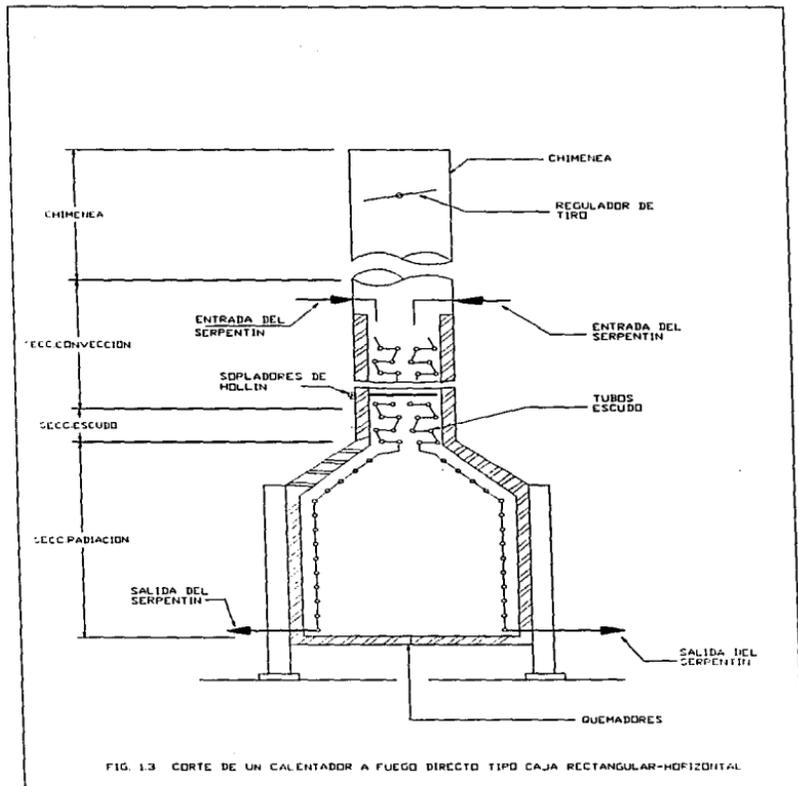
## 1.2 ZONAS DEL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO

En el interior del CAFD se presenta con mayor significancia dos mecanismos de transferencia de calor (Fig. 1.2):

**-POR RADIACION**

**-POR CONVECCION**





En razón al mecanismo de transmisión de calor predominante, podemos clasificar al calentador en tres zonas o secciones diferentes. (fig. 1.3).

- Zona de radiación
- Zona escudo
- Zona de convección

**ZONA DE RADIACIÓN.**- En cualquier CAFD la mayor parte de calor se transfiere principalmente por radiación. Esto se presenta en los tubos localizados en la cámara de combustión o también llamada zona de radiación del calentador.

En esta zona también se presenta la transferencia de calor por convección, pero con menor significancia, debido a los altos niveles de temperatura que oscilan entre los 700 °C (1300 °F) en adelante. Ello ocasiona en esta zona, una predominante transmisión de calor por radiación.

**ZONA ESCUDO.**- Es la sección intermedia entre la zona de radiación y la zona de convección.

También la podemos describir como la sección inicial de la zona de convección, la cual algunas veces queda expuesta a la flama, por lo que predomina la transmisión de calor por radiación; sin embargo, la transmisión de calor por convección también adquiere cierta significancia. En esta zona se utilizan tubos desnudos colocados horizontalmente, los cuales están expuestos a las más altas densidades de flujo térmico.

**ZONA DE CONVECCIÓN.-** Con el objeto de aprovechar la energía térmica que poseen los gases de combustión al abandonar la zona de radiación, se instala un banco de tubos dispuestos perpendicularmente a la dirección del flujo de gases generándose un intercambio térmico por convección.

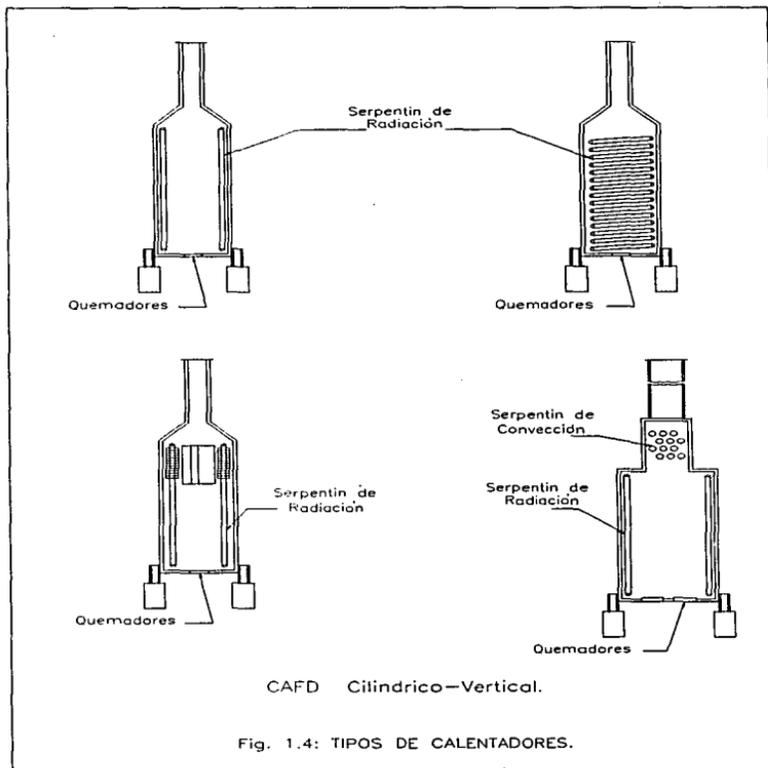
La zona de convección se utiliza como zona de precalentamiento del fluido que entra al calentador o para algún servicio adicional, como sería la producción de vapor de agua.

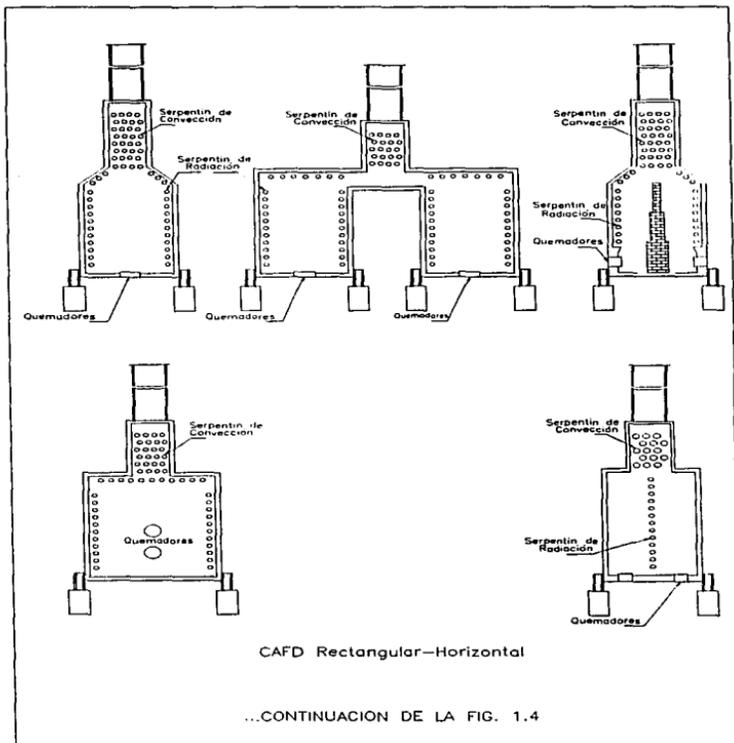
En la mayor parte de los CAFD se utilizan en esta zona tubos aletados o birlados, con lo cual se tiene mayor superficie expuesta para la transmisión de calor y por lo tanto la eficiencia del equipo se incrementará. Además cabe mencionar que es en esta zona donde se colocan los sopladores de hollín, los cuales efectúan la limpieza de los tubos.

### 1.3 TIPOS DE CALENTADORES

Como se puede apreciar en la fig. 1.4, existen muchas variantes en el diseño, disposición y detalles de construcción de los CAFD. Esto es debido a que virtualmente cada calentador es diseñado para una aplicación particular. Sin embargo podemos hacer una clasificación principal de acuerdo a la orientación de los tubos del serpentín en la zona de radiación, la cual puede ser **Horizontal o Vertical**.

La orientación del serpentín es un factor para definir la sección transversal en esta zona, ya que el diseño considera su adecuada disposición que deberá ofrecer el mínimo costo, sin que ocupe un exagerado espacio de trabajo, ni aumente excesivamente el volumen de edificación.





Los CAFD se clasifican en dos grandes grupos:

- a) **CALENTADORES CILINDRICO-VERTICAL**
- b) **CALENTADORES RECTANGULAR-HORIZONTAL.**

#### **CALENTADORES CILINDRICO-VERTICAL.**

En este tipo de CAFD el serpentín de tubos está dispuesto en forma vertical o helicoidal a lo largo de la cámara de combustión, y su sección transversal es circular, por lo que dicha cámara debido a su orientación sirve de tiro disminuyendo la altura de la chimenea (Fig.1.4).

Los quemadores se colocan en el piso de la zona de radiación, orientando la flama verticalmente. En la zona de convección el arreglo del serpentín es horizontal, formando un banco de tubos colocados en la parte superior de la cámara de combustión que proporciona un mayor aprovechamiento de la energía.

Este tipo de CAFD puede prescindir de esta zona adicional de calentamiento cuando el diseño requiere bajas eficiencias, lo cual representa bajo costo del equipo.

**CALENTADORES RECTANGULAR-HORIZONTAL.**

El serpentín de tubos en la zona de radiación tiene un arreglo horizontal a lo largo de las paredes laterales y el techo, así como horizontal o vertical al centro de la cámara de combustión; a la cual se le conoce como CELDA.

Su sección transversal es rectangular y normalmente los tubos son calentados verticalmente desde el piso y horizontalmente por quemadores montados en las paredes frontales y/o laterales.(Fig. 1.4).

Al igual que los calentadores tipo cilindrico-vertical, en la zona de convección la orientación del serpentín es horizontal, y debido a su rango de carga térmica siempre es justificable el uso de esta zona adicional.

FIG.5.- TABLA DE CARGA TERMICA.

TIPO DE CAFD	CARGA MINIMA	CARGA MAXIMA
CILINDRICO- VERTICAL	146 KW (0.5 millones de BTU/hr)	58600 KW (200 millones de BTU/hr)
RECTANGULAR- HORIZONTAL	300 KW (10.2 millones de BTU/hr)	73500 KW (250.8 millones de BTU/hr)

#### 1.4 CONSUMO DE ENERGIA.

Las Plantas industriales de Refinación no sólo son las principales suministradores de energía en forma de hidrocarburos, sino que ellas mismas son grandes consumidoras de energía. Es importante resaltar que en las plantas de la industria de la Refinación y en la Petroquímica, los Calentadores A Fuego Directo han sido y seguirán siendo los principales equipos consumidores de energía, aproximadamente el 65 % de la energía demandada en un proceso es consumida por dichos equipos.

Dependiendo del tipo y complejidad de las refinerías, la razón costo combustible a costo total de refinación oscila del 55 al 70 %. Esto da una idea de la importancia que tiene el ahorro de energía en la industria de refinación. La figura No.1.5 muestra los porcentajes de distribución de energía que entran en una refinería. Según estadísticas de los países más industrializados son:

- Calentadores de Proceso 65 %
- Generadores de Vapor 25 %
- Generadores de Energía Eléctrica 10 %

La distribución general de las pérdidas de energía (Fig. 1.6) que se suministra a través de los calentadores de proceso y generadores de vapor es:

- Enfriadores con aire 26 %
- Enfriadores con agua 22 %
- Pérdidas por chimeneas 22 %
- Pérdidas por ajustes, reacción y temperatura de productos 14 %
- Pérdidas de potencia 6 %
- Misceláneas e indefinidas 10 %

Los puntos y áreas factibles de conservación y ahorro de energía en una refinería (fig.1.7) correspondientes al porcentaje de reducción de energía lograda durante tres años, aplicando los programas relativos son:

- Incremento de intercambio de calor en calentadores y cambiadores de calor 26 %
- Equipo de combustión de generadores de vapor 8 %
- Control de la combustión (exceso de aire) 10 %
- Optimización de la operación de los procesos 20 %
- Modificación e instrumentación de los procesos 14 %
- Aislamiento de fugas de vapor condensado, agua de enfriamiento y reducción de pérdidas mecánicas 22 %.

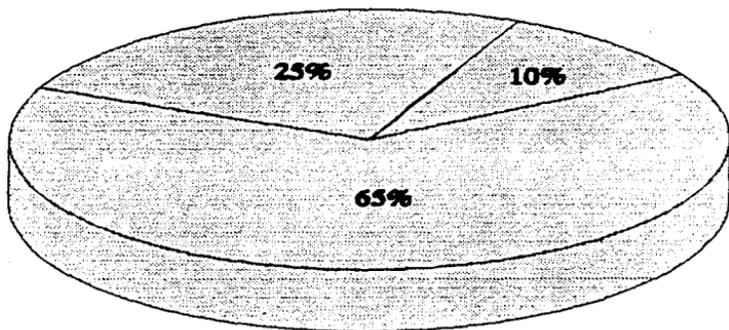
-Al analizar las áreas de conservación de energía mencionadas anteriormente, es evidente que el 44 % de la energía ahorrada corresponde al equipo de transmisión de calor.

De este, el 26 % representa el incremento en el intercambio térmico de los calentadores a fuego directo e intercambiadores de calor; el 8 % corresponde a mejoras en el equipo de combustión de los hogares de los generadores de vapor y en la instrumentación para el control más fino de la energía y el 10 %, a un programa de control de la eficiencia de combustión, sin cambios esenciales en el equipo existente, específicamente en lo que respecta al ajuste del exceso de aire de combustión:

- Reducción de fugas de aire
- Control del tiro del calentador
- Control de la operación de quemadores

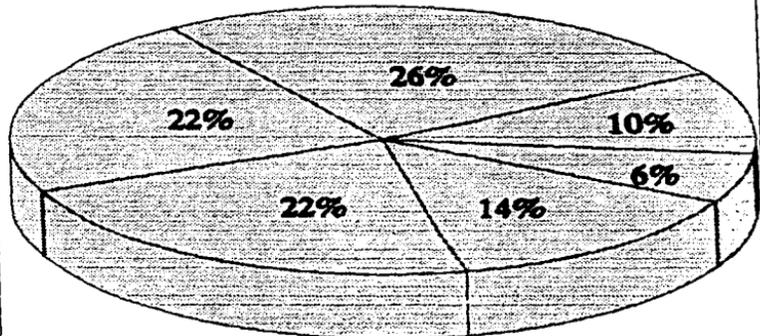
La energía representa las dos terceras partes del costo de operación de una refinería moderna; de esto, el equivalente a combustible para calentadores y generadores de vapor representa aproximadamente el 70 %. Es por ello que es de enorme importancia la implementación de mejoras al equipo ya existente y el de desarrollar nueva tecnología que conduzca a un mejor aprovechamiento de la energía empleada para los equipos .

El mejorar el funcionamiento y control del sistema de distribución de combustible a los quemadores del **CAFD**, así como una mejor selección de dichos quemadores presenta grandes ventajas ya que es esta parte del equipo la que proporciona el medio para la transferencia calorífica que es la función principal del **CAFD**. Además que la mala distribución de combustible o la deficiente operación de los quemadores conducen a una serie de problemas que a la larga afectan enormemente el funcionamiento de un **CAFD**.



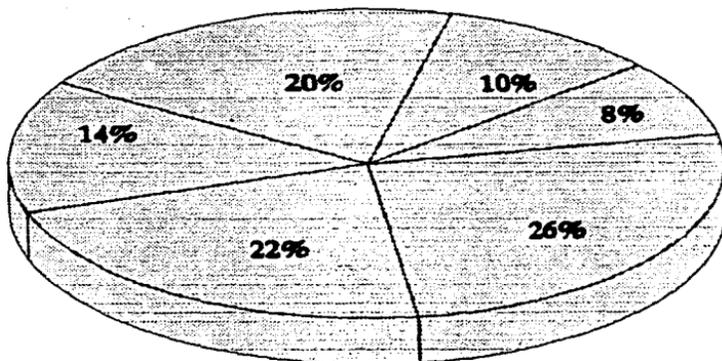
**10 % : ENERGIA ELECTRICA**  
**25 % : GENERADORES DE VAPOR**  
**65 % : CALENTADORES DE PROCESO**

FIG. 1.5: DISTRIBUCION DEL SUMINISTRO DE ENERGIA EN REFINERIA



**22 % : ENFRIADORES CON AGUA**  
**22 % : PERDIDAS POR CHIMENEAS**  
**14 % : PERDIDAS POR AJUSTES, REACCION Y TEMPERATURAS DE PRODUCTOS**  
**6 % : PERDIDAS DE POTENCIA**  
**10 % : MISCELANEAS E INDEFINIDAS**  
**26 % : ENFRIADORES CON AIRE**

FIG. 1.6: DISTRIBUCION GENERAL DE LAS PERDIDAS QUE SE SUMINISTRAN A TRAVES DE LOS CALENTADORES DE PROCESO Y GENERADORES DE VAPOR



- 8% : EQUIPO DE COMBUSTION DE GENERADORES DE VAPOR**
- 10% : CONTROL DE LA COMBUSTION (EXCESO DE AIRE)**
- 14% : MODIFICACION E INSTRUMENTACION DE LOS PROCESOS**
- 22% : ASILAMIENTO DE FUGAS DE VAPOR Y REDUCCION DE PERDIDAS MECANICAS**
- 26% : INCREMENTO DE INTERCAMBIO TERMICO EN CALENTADORES Y CAMBIADORES DE VAPOR**

FIG. 1.7: PORCENTAJE DE REDUCCION DE ENERGIA, APLICANDO LOS PROGRAMAS RELATIVOS DE CONSERVACION Y AHORRO DE ENERGIA

## **2. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALIMENTACION Y DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLES**

## 2 . SISTEMA DE ALIMENTACION A QUEMADORES

### 2.1 SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLES PARA QUEMADORES EN CAFD.

Casi en la totalidad de las refinerías los CAFD utilizar como combustible:

- Combustóleo
- Gas.

Las líneas de alimentación para cada uno de estos combustibles constan del sistema de bombeo, tuberías, válvulas y accesorios mecánicos y/o eléctricos-electrónicos, cabezal de distribución y en caso de ser necesario en el manejo de combustibles líquidos con alta viscosidad, un tren de precalentamiento; los cuales serán diseñados específicamente para transportar el combustible que requiera el quemador.

Existen CAFD que utilizan como combustible líquido Diesel y Gasóleo; en este caso el diseño de sus líneas de alimentación presentan una configuración semejante a la del combustóleo, siempre tomando en cuenta las propiedades del fluido que se maneje.

A continuación se describen cada uno de los tipos de líneas de alimentación de combustibles y se mencionan sus principales componentes.

## SISTEMA DE ALIMENTACION DE GAS

En la industria de refinación, los combustibles gaseosos mas empleados son el gas natural y el gas L.P.

El sistema de gas combustible consiste de la red de distribución de gas, una línea ramal a cada calentador, un cabezal de distribución en el horno y el suministro de gas a cada quemador. Un sistema típico se muestra en la fig. 2.1.

El gas combustible puede suministrarse desde un sistema de refinería o desde una unidad de abastecimiento. Cuando el gas se suministra desde un sistema de refinería será responsabilidad del proveedor suministrar un gas seco adecuado para su uso. Cuando se suministra desde una unidad de abastecimiento debe instalarse un tanque de gas combustible seco con un tubo indicador y un dren en la red de distribución de gas aproximadamente a 50 pies del calentador mas cercano.

El suministro principal, el ramal y los cabezales de distribución deberán dirigirse en forma descendente en la dirección del flujo de gas. Un pie colector para condensados debe colocarse en el punto mas bajo del cabezal de distribución. Los disparos a los quemadores deben tomarse de la parte superior del cabezal. La línea ramal debe conectarse al cabezal de distribución de tal manera que proporcione un flujo de gas razonablemente balanceado a cada quemador.

Todos los drenes del sistema de gas combustible deben conducirse a una línea donde se conecta un quemador de residuos, o un retorno al sistema de proceso o se lleva a un medio seguro de evacuación similar. Las válvulas de dren se localizaran adyacentes al equipo que deba ser drenado.

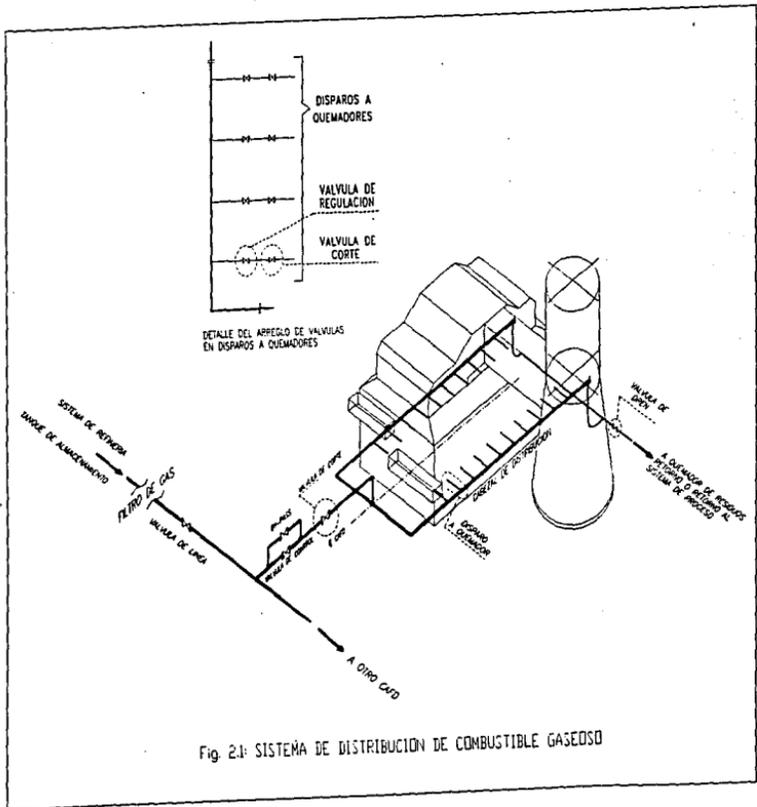


Fig. 2.1: SISTEMA DE DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE GASEOSO

Se debe instalar una válvula de corte en la red de distribución localizada en la línea principal o bien, instalar un controlador remoto o una válvula de corte localizada en la línea ramal a cada calentador. Cuando mas de un calentador esta involucrado y el proceso requiere que los calentadores deban apagarse simultáneamente, la válvula de corte debe instalarse solo en la red de distribución. Cuando el proceso requiere que cada calentador deba apagarse individualmente, la válvula de corte o el control remoto se instalara únicamente en las líneas ramales a cada calentador. Además se debe instalar una válvula de compuerta en cada disparo a quemador para un ajuste manual del suministro de combustible.

### **SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTOLEO**

En la industria de refinación, los combustibles líquidos que más se utilizan para la combustión en los quemadores son el Diesel, Gasóleo y Combustóleo. En el diseño de la línea de alimentación para estos combustibles la diferencia más significativa se presenta en el sistema de calentamiento que se debe utilizar en el caso del combustóleo; en el cual reduce su viscosidad para su envío a la línea de alimentación y a quemadores. Una línea de alimentación de combustible líquido típica se muestra en la fig. 2.2.

El sistema de alimentación de combustible líquido a un calentador consiste en un tanque de almacenamiento (normalmente fuera de los límites de batería), dos filtros Y en paralelo para líneas de 2 plg. y menores, o un filtro dúplex para líneas de 2 pulgadas y mayores, una bomba para combustible líquido afuera o dentro de los límites de batería. la red de distribución principal de combustible, una línea a cada calentador (con un by-pass de recirculación entre este ramal y el ramal de retorno) un cabezal de distribución en forma

dispersora, los disparos de suministro a cada quemador, Un ramal de retorno de cada cabezal de distribución y una tubería principal de retorno al tanque de almacenamiento.

Si se maneja combustóleo con una alta viscosidad se deberá además incluir un calentador de combustible capaz de reducir la viscosidad hasta un punto que permita un fácil manejo. La tubería de suministro de vapor de atomización también debe correr adyacente al cabezal de distribución del combustóleo y suministrar un disparo a cada quemador; además deben aislarse juntas tal como se muestra en el detalle de la Fig 2.2.

Las válvulas de corte deberán instalarse en las líneas de suministro y retorno, o bien las válvulas de corte manuales o controladas a control remoto deberán instalarse en las líneas ramales que salen y llegan a cada calentador. La elección debe determinarse por el servicio u operación de los calentadores.

Cuando mas de un calentador este involucrado, y el proceso requiera que todos los calentadores puedan ser apagados simultáneamente, la válvula de corte solo debe instalarse en las líneas principales de suministro y retorno. Cuando el proceso requiera que cada calentador pueda ser apagado individualmente, la válvula de corte solo debe instalarse en las líneas ramales a los calentadores. Cuando se utilizan válvulas de control automático también pueden instalarse en las líneas ramales a los calentadores. Deberá instalarse una válvula de bloqueo para controlar el flujo de combustóleo de retorno y para el servicio de corte; debiéndose hacerse cerca del calentador en cada ramal de retorno. Además deberá instalarse una válvula en cada disparo a quemador para un ajuste manual de suministro de combustóleo.

Deberá hacerse una conexión de 1 plg. de línea vapor de salida a la línea ramal de suministro de combustóleo a cada calentador corriente abajo de la válvula de control además de una conexión para drenado a los ramales de retorno de combustóleo corriente arriba de la

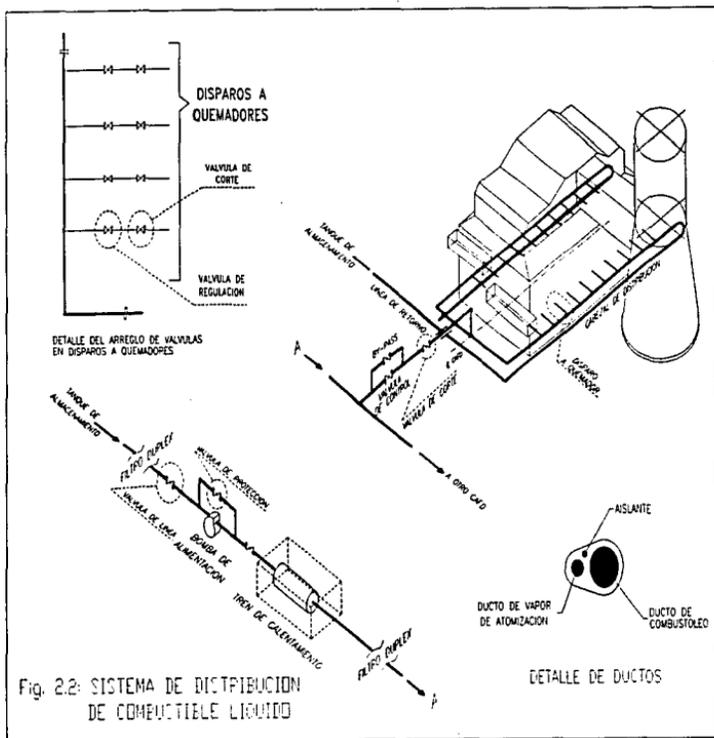


Fig. 2.2: SISTEMA DE DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE LIQUIDO

válvula de estrangulamiento. El dren puede conectarse a la cuneta o conexión de desagüe mas cercano.

Para efectos de alimentación a quemadores se utiliza un cabezal de dispersión. El aspecto importante del diseño del cabezal de distribución en la línea de alimentación a un CAFD, es hacer que los flujos que pasan por los ramales sean aproximadamente iguales. El factor que afecta la distribución de flujo en un cabezal de distribución es la caída de presión en el cabezal debido a las pérdidas por fricción y la variación de la presión debido a los cambios de velocidad, que se producen por la variación de la dirección del fluido.

Una consideración importante que debe hacerse al manejar combustibles líquidos con un alto índice de viscosidad es el estimar las condiciones de diseño del sistema para conservar en el fluido las condiciones de temperatura que nos permiten manejarlo sin variaciones en las pérdidas dentro de la tubería. La viscosidad es una propiedad que está en función de la temperatura, por lo que una variación de esta debido a un intercambio térmico con otras líneas de tubería dentro del sistema o por pérdidas de calor al medio ambiente altera el valor de la viscosidad del fluido a lo largo de la ruta que debe llevar provocando problemas de manejo que se manifiestan en el mal funcionamiento de la bomba o equipos terminales.

El intercambiador que calienta al combustible esta diseñado utilizando condiciones de temperatura de entrada-salida tanto para el fluido a calentar como para el que se aporta el calor requerido. Los fluidos utilizados para el intercambio térmico dentro de la industria de refinación son vapor generado en calderas o gases de combustión producidos en calentadores de procesos. Estos son utilizados ya que son los que presentan gran cantidad de energía calorífica que es fácilmente aprovechada por los intercambiadores.

En el diseño del trazo que debe seguir el combustible para alimentar a todos los equipos de combustión debe tomarse en cuenta el valor de las pérdidas térmicas que existirán desde el punto inicial al punto final del recorrido. Es común el elevar la temperatura del fluido a un valor del 10% mayor en el cual el fluido presenta su valor de viscosidad utilizada en el diseño y cálculo de diámetros óptimos, pérdidas por fricción y velocidades requeridas. En la practica dentro de los procesos de manejo de combustibles existe un límite en el valor de la temperatura en el cual debe manejarse; la temperatura del combustible manejado debe ser menor a su temperatura de inflamación.

En las líneas de alimentación a los quemadores se aprovecha la energía calorífica del vapor de atomización; de tal manera que para evitar el enfriamiento del combustible así como la condensación del vapor dentro de la tubería se unen las líneas y son aisladas con fibra de vidrio o cocha de lana mineral, de tal manera que no exista intercambio térmico al exterior y el combustible llegue a los quemadores con una mínima variación en su temperatura.

## **2.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALIMENTACION Y DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE A UN CAFD.**

### **BOMBA DE ALIMENTACION**

Dependiendo del tipo de combustible la bomba aplicadas pueden ser clasificadas dentro de los dos tipos generales, las dinámicas y de desplazamiento positivo; las bombas dinámicas tales como las bombas centrífugas (fig. 2.3) son aquellas en las que la energía es impartida a un líquido bombeado por medio de un impulsor o hélice rotatorio sobre un eje. La

energía de velocidad impartida a el fluido por el movimiento impulsor, es convertida a energía de presión en el líquido que sale de este y se mueve a través del difusor. Obviamente, para una gran velocidad de flujo (la cual es obtenida por altas velocidades de rotación o grandes diámetros del impulsor o ambas), una alta carga puede ser obtenida.

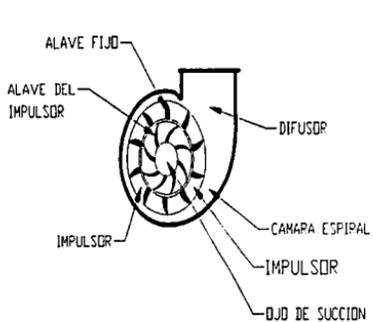
Las bombas de desplazamiento positivo son aquellas en las cuales la energía es dada al líquido en un volumen estacionario desplazado tal como en un émbolo, o por el movimiento rotatorio de engranes, tornillos , paletas, pistones y reciprocantes (fig. 2.4).

Básicamente, para la selección de una bomba se debe considerar:

- 1) Disposición de la bomba y tuberías.
- 2) Capacidad requerida
- 3) Carga de la bomba.
- 4) Condiciones del líquido.
- 5) Clase y tipo.

La disposición de la bomba y tuberías debe estar dada por la aplicación real. Para tener una visión absoluta de la disposición es conveniente hacer un diagrama donde se muestre la configuración de tuberías y sitio asignado a la bomba mostrando las longitudes de las tuberías y elevaciones verticales existentes. Si la línea es muy compleja se desarrolla en base a dibujos isométricos.

Las condiciones de la aplicación fijan la capacidad requerida. Uno de los requisitos principales es que la bomba entregue la cantidad correcta de líquido contra la columna existente en el sistema (caídas de presión); así, antes de especificar la capacidad de un tipo



LÍNEAS DE FLUJO EN BOMBAS CENTRIFUGAS

LA VOLUTA CONVIERTE LA ENERGÍA DE LA VELOCIDAD DEL LÍQUIDO EN PRESIÓN ESTÁTICA.  
EL DISTRIBUIDOR CAMBIA LA DIRECCIÓN DEL FLUJO Y CONTRIBUYE A CONVERTIR LA VELOCIDAD EN PRESIÓN.

Fig. 2.3: BOMBA CENTRIFUGA

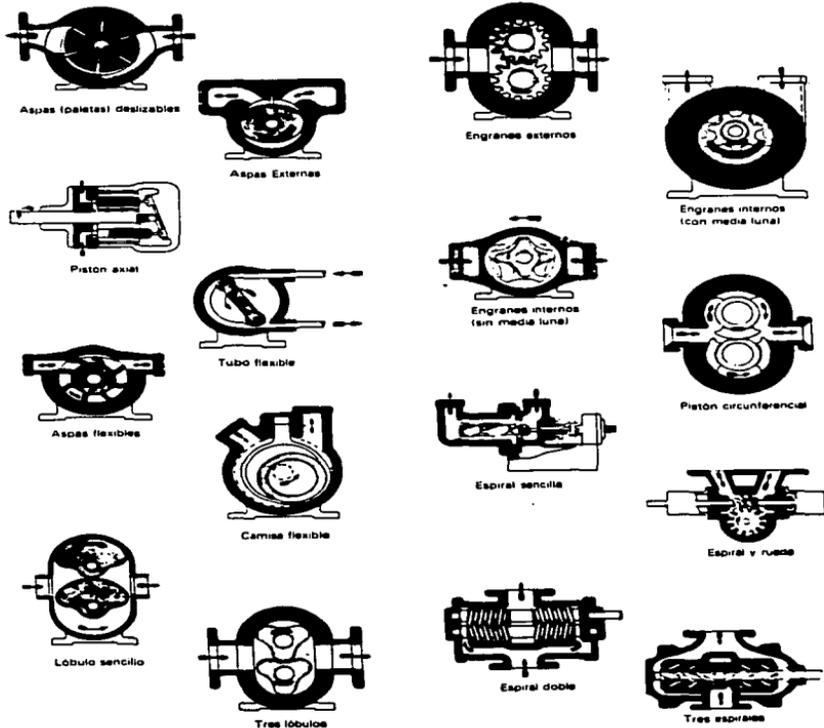


FIG. 2.4: TIPOS DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

bomba, se debe conocer los requerimientos del flujo del sistema; su valor de requerimiento mínimo y máximo predecibles para posteriormente seleccionar la bomba que pueda manejar la cantidad de flujo dentro de estos rangos.

La carga proporcionada por la bomba debe satisfacer las necesidades de caudal del sistema. Así, el valor de carga debe ser mantenido dentro de un cierto valor en la línea de alimentación, para cumplir con los valores de presión y velocidad requeridos por el proceso o equipo; tomando en cuenta todas las variables que pueden afectar dicho valor (caídas de presión por accesorios, columnas estáticas de succión y descarga debido a diferencias de elevación, pérdidas por fricción en la tubería, etc.).

Un análisis hidráulico de la tubería muestra las condiciones en las cuales debe operar la bomba, en el cual deben determinarse todas las pérdidas a través de la línea de descarga, así como conocer las condiciones de succión en la que esta se encuentra. Las condiciones de succión de la bomba nos muestran un factor importante que debe ser considerado el NSPH (siglas en inglés de Cabeza de Succión Positiva Neta).

Al seleccionar una bomba se deben considerar dos tipos de NSPH:

El NSPH disponible que es una función del sistema donde se debe considerar la columna de succión o elevación en el cual se encuentra la línea de succión y la presión de vapor del líquido que se maneja. Dependiendo de las condiciones de aplicación la NSPH disponible puede alterarse para conformarse con la que requiere la bomba para una operación satisfactoria.

El NSPH requerido se define como la presión disponible para forzar un gasto determinado, a través de la tubería de succión al ojo del impulsor o carcasa de la bomba

variando de un tipo a otro. El no respetar el valor estipulado por diseño dado por el fabricante puede afectar la capacidad y eficiencia de la bomba, llegando a producir daños por cavitación (debido a la presión de vapor del líquido).

Cuando el nivel de suministro del líquido se encuentra arriba de la línea de centro de la bomba, y la superficie del líquido expuesta a la atmósfera, la NSPH es la suma de la presión barométrica más la columna de succión estática menos las pérdidas de columna de fricción y la de vapor del líquido. Cuando la alimentación se encuentra abajo de la bomba en un tanque abierto a la atmósfera, la NSPH es la diferencia entre la presión barométrica y la suma de la elevación de succión estática + las pérdidas de columna de fricción en la tubería de succión + la presión de vapor del líquido.

Las condiciones del líquido manejado comprenden la densidad, temperatura, viscosidad, características químicas, etc. El líquido manejado afecta la carga y capacidad en las cuales trabaja la bomba, la potencia demandada y los materiales de construcción; para líquidos viscosos; así, un líquido viscoso presentará una resistencia al flujo a través de un tubo, válvula, bomba, etc. lo cual hará que se deba suministrar una mayor potencia en los actuadores para que la bomba suministre el caudal requerido, o variaciones en la densidad del fluido afectarán el valor de la carga en el sistema. Si se manejan líquidos corrosivos o a altas temperaturas deben utilizarse materiales especiales que eviten la corrosión o daño a los componentes de la bomba (sello, impulsor, carcasa etc.).

Conociendo las características en las que debe operar la bomba se debe considerar el tipo de bomba a ser utilizada; Las bombas centrífugas son utilizadas generalmente para el manejo de combustibles líquidos; la viscosidad del combustible debe estar limitada al máximo de alrededor de 3,000 SSU (634 cP aprox.). Las bombas centrífugas son utilizadas para el manejo de Diesel y gasóleo precalentado. Arriba del rango de viscosidad antes mencionado,

será necesario la utilización de la bomba rotatorias de desplazamiento positivo.; las bombas de desplazamiento positivo se aplican cuando se maneja gasóleo pesado o combustóleo debido a su alta viscosidad.

Estas bombas son accionadas mediante motores eléctricos o turbinas dependiendo del tipo de energía disponible. Los motores de inducción de rotor devanado ofrecen cuatro ventajas: (1) control de velocidad con variación de velocidad de hasta del 50 por ciento de la plena, a 40 por ciento del caballaje normal, (2) alto par de arranque con bajos KVA en cargas pesadas; (3) alta disipación de calor en el reóstato de un arranque que permite grandes pérdidas por deslizamiento durante el arranque sin que el motor peligre; (4) cargas del tipo amortiguadas por la operación de alto deslizamiento, lo que da un efecto deseable en las cargas pico.

Las turbinas de vapor ofrecen: (1) arranque rápido de la bomba por ejemplo en instalaciones de emergencia o reserva; (2) cuando se necesita vapor de descarga a baja presión para otros procesos en la planta u otro equipo; (3) en atmósferas explosivas donde no pueden utilizarse motores eléctricos o de combustión interna ( la turbina debe equiparse con accesorios y aparatos de control a prueba de chispas); (4) en áreas húmedas y calientes; (5) en los casos en que se requiera un motor de velocidad variable para la bomba. Dichas bombas además están protegidas con válvulas de alivio que en caso de una mala operación o cierre en la línea evitan la sobrepresión en la tubería.

En caso de que el fluido a bombear sea gas combustible se utilizan por lo general compresores centrifugos, los cuales son semejantes a las bombas centrifugas en su configuración básica y principio de operación haciendo las correcciones dependiendo de la compresibilidad del gas manejado. En general la elección de la bomba debe ser aquella que suministra el costo mínimo por litro bombeado.

Para la aplicación dentro del presente estudio el factor que debe ser considerado para la selección de la bomba y el estudio hidráulica en general es el valor de salida de presión y caudal requerido en los quemadores para su perfecto funcionamiento. Una vez que se conoce el tipo y clase de bomba la selección de la bomba aplicada se hace mediante la lectura de las curvas características de diferentes tipos y marcas de bombas. Estas curvas características son la representación gráfica del comportamiento de la bomba a diferentes condiciones de operación y son proporcionadas por el fabricante. Estas curvas se encuentran de manera experimental mediante pruebas de banco, y generalmente los proveedores proporcionan gráficas donde se muestran los cambios en el valor de la carga en función de las variación de caudal o viscosidad.

Una bomba centrífuga puede suministrar cualquier capacidad de cero a un máximo, dependiendo de la carga, diseño y succión. Las curvas características muestran la relación existente entre carga de bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro de impulsor específico y para un tamaño determinado de carcasa. Es habitual el que se dibuje la carga, potencia y eficiencia en función de la capacidad a velocidad constante (Fig. 2.5).

Cuando una bomba se opera a diferentes velocidades, puede trazarse una gráfica como se muestra en la Fig. 2.6, que muestre el comportamiento para varias velocidades sobreponiendo las curvas que tienen la misma eficiencia. Habitualmente pueden usarse varios diámetros del impulsor para una cubierta dada: la fig. 2.7 muestra el comportamiento de una bomba con impulsores de varios tamaños. La línea gruesa muestra el área de aplicación práctica que tiene la bomba a esas características. Sin embargo, puede tenerse una línea completa de bombas de un diseño determinado; en este caso, el área fuera de la línea oscura de la Fig. 2.7 está cubierta por otros tamaños de bomba. Así, puede tenerse una gráfica como la mostrada en la fig. 2.8 que da una idea completa de la carga y capacidad obtenibles cuando

se usa una línea de bombas determinada. Una vez determinada el tamaño de la bomba se puede utilizar una gráfica como la mostrada en la fig. 2.7 para seleccionar el diámetro del impulsor, eficiencia y otros detalles.

Las bombas rotatorias de desplazamiento positivo descargan un gasto constante independiente de las presiones variables de descarga. De tal manera que la curva de Carga-Caudal es prácticamente una línea horizontal. El desplazamiento de una bomba rotatoria varía en forma directamente proporcional con la velocidad, solo que las capacidades pueden verse afectadas por la viscosidad y otros factores. los líquidos viscosos pueden limitar la capacidad de la bomba en altas velocidades debido a que el fluido no puede fluir a la carcasa con la rapidez necesaria para llenarla completamente. El deslizamiento o pérdida en capacidad por los claros entre carcasa y elemento rotatorio, suponiendo viscosidad constante varía al aumentar la presión de descarga.

La potencia requerida por una bomba rotatoria (curva característica Potencia-Caudal), aumenta con la viscosidad del líquido. La eficiencia disminuye con el aumento de la viscosidad. La fig. 2.9 muestra las curvas características Carga-Caudal y Potencia-Caudal para una bomba rotatoria tipo de engranes internos.

En las gráficas de los diferentes tipos y tamaños de bombas dadas por el proveedor, se establece el valor de carga requerido en cumplimiento de cierto rango de variación de caudal; de esta forma se establece el tipo y tamaño de bomba en el cual se tendrá un rendimiento máximo dependiendo de la selección hecha. Cuando las condiciones hidráulicas requeridas se encuentran entre dos modelos normales, es práctica común el elegir el tamaño inmediato mayor de la bomba, a menos que se requiera una carga y capacidad exacta de la unidad.

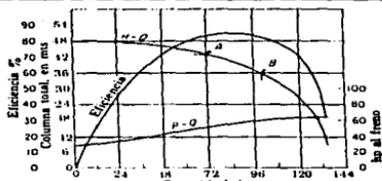


FIG. 2.5 Curvas características típicas para una bomba centrífuga

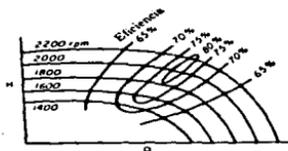


FIG. 2.6 Curvas columna capacidad para distintas velocidades

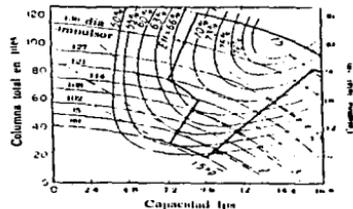


FIG. 2.7 Curvas columna capacidad para diferentes diámetros del impulsor

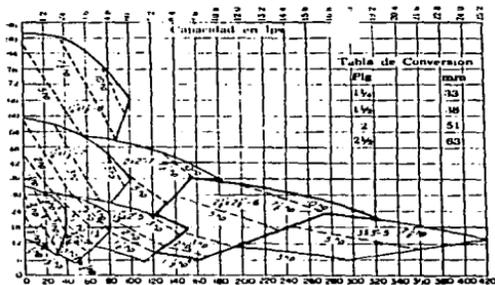


FIG. 2.8 Gráfica de características compuestas para una bomba centrífuga típica

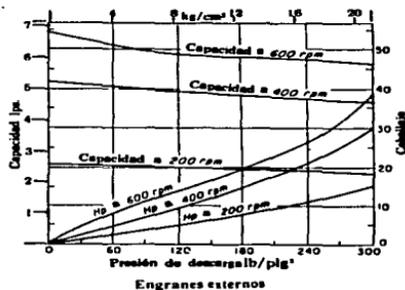
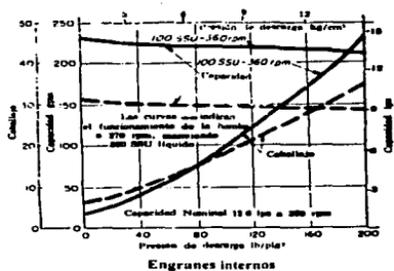


FIG. 2.9 Características de capacidad y cabalaje de una bomba de engranes

## FILTRO

Un filtro es básicamente un dispositivo que separa una sustancia de otra. La filtración es un proceso de separación la cual se produce mediante un medio o elemento filtrante. Existen varios tipos de filtros o separadores acuerdo a la aplicación que se requiera; las cuales pueden estar dentro de 4 categorías.

- 1) Sólido-gas.
- 2) Sólido-líquido.
- 3) Líquido-líquido.
- 4) Sólido-sólido

La separación sólido-gas se puede hacer mediante lavadores, filtrado magnético, separadores o precipitadores. El medio más común es por medio de filtración mecánica.

La separación sólido-líquido es por filtración mecánica, y variará de acuerdo al volumen requerido.

La separación de líquido-líquido y sólido-sólido requiere de equipos más sofisticados para su realización. Un método básico de separación de líquido-líquido es la destilación o división térmica; y en separación de sólido-sólido por lo general se aprovecha la diferencia de tamaño de las partículas de los componentes de la mezcla mediante cribado mediante mallas.

En la filtración de combustibles para la alimentación de **CAFD** se utilizan por lo general filtros de acción mecánica. La base del trabajo de esta filtración es que el elemento filtrante trabaja como una pantalla porosa reteniendo y removiendo partículas a lo largo de la

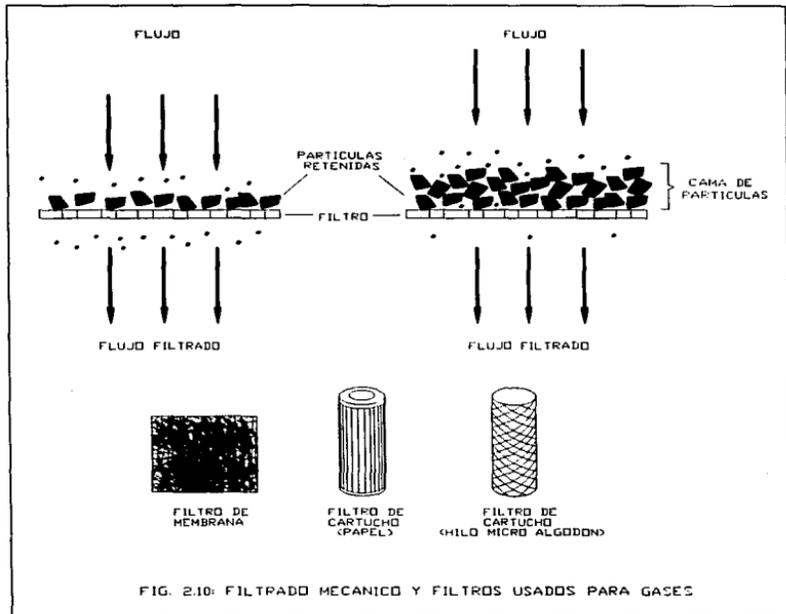
superficie porosa; pero permitiendo el paso del fluido "acarreador". Específicamente el filtro proporciona una intercepción directa de las partículas que pasan por el.

Este tipo de filtros que utilizan superficies de retención son removibles y de fácil mantenimiento. El grado de filtración, y por consecuencia la eficiencia de un filtro mecánico depende del tamaño del poro presente en la superficie; las partículas con dimensiones más grandes que las del poro son retenidas en la superficie del filtro. Además se presentan dos efectos que alteran la eficiencia de filtración (Fig. 2.10):

- 1) La reducción de área del poro debido a las partículas retenidas en la superficie.
- 2) La formación de un "colchón" de partículas retenidas que se forma en la superficie del filtro; lo que da lugar a que los espacios entre granos funcionen como una extensión del filtro lo que da una mayor filtración.

Los elementos filtrantes pueden ser de tres tipos: Fibroso, Poroso y del tipo Pastel (Cake). Los del tipo fibroso son los compuestos de capas de numerosas fibras muy finas (el diámetro de la fibra dependerá del material); estas fibras serán orientadas aleatoriamente con respecto de otra o mediante un orden cíclico, creándose pasajes tortuosos de flujo donde las partículas serán atrapadas. Los materiales para fabricar este tipo de elementos son la Celulosa, Algodón, Fibra microGlass y materiales sintéticos (polipropileno, rayón, etc.). La eficiencia de filtración dependerá del diámetro de la fibra y de la compactación que presente entre capas.

Los del tipo poroso se diferencian de los fibrosos en que están fabricados en un cuerpo sólido, a través de los cuales existen poros tipo pasaje por los que circula el fluido a filtrar. En este tipo de elementos filtrantes se encuentran las placas perforadas y los colchones de



partículas esféricas, así como los fabricados en papel filtrante, otro tipo de materiales para este tipo de filtros es el plástico o poliuretano.

Los del tipo "pastel" son fabricados en Diatomita, arcilla, fibras de madera y fibras de algodón. Estos materiales son formados como una capa que retiene partículas, las cuales forman un colchón; Los espacios intergranulares hacen la función de filtrado reteniendo las partículas y dejando circular al fluido de acarreo.

En el filtrado de combustibles líquidos para la alimentación de los quemadores en un **CAFD**, los tipos de filtros que son empleados son los denominados de canastilla o coladera (fig. 2.11).

Los filtros tipo canastilla presentan gran capacidad para manejar grandes caudales y fluidos viscosos. Estos filtros cuentan con un elemento filtrante tipo canastilla fabricado en placa perforada o por malla de acero. Los filtros utilizados para limpiar combustóleo y gasóleo cuentan con  $1/16$  plg de perforación colocados a la succión y de  $1/32$  plg a la descarga; por lo general son del tipo dúplex los cuales cuentan con dos filtros independientes conectados a la línea de alimentación; esto es para tener uno de reserva cuando se tenga que dar mantenimiento al filtro en operación. Estos dos filtros operan de manera alterna. Para el manejo de Diesel el filtro será semejante al del combustóleo o podrá ser fabricado de fierro.

Para gas combustible son utilizados los filtros tipo cartucho. El cartucho puede estar hecho de hilos de micro algodón, papel absorbente, cartucho de arcilla o arena (fig. 2.10).

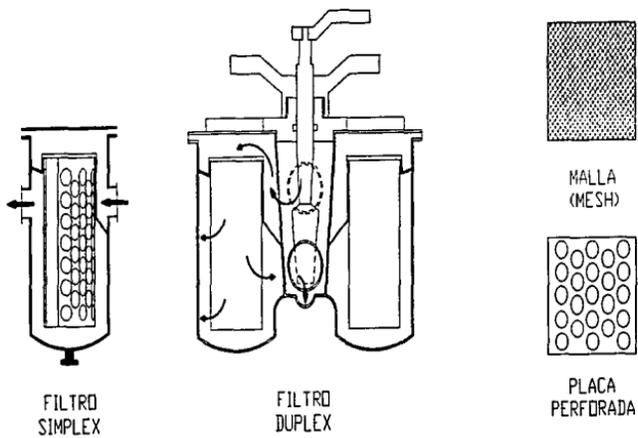


Fig. 2.11: TIPOS DE FILTRO PARA COMBUSTIBLE LIQUIDO

## TREN DE CALENTAMIENTO DE COMBUSTIBLE

En los **CAFD** se utiliza cuando se maneja combustible cuya viscosidad es muy grande (como en el caso del combustóleo o gasóleo pesado), es necesario para su manejo el que se reduzca su viscosidad mediante un proceso de calentamiento, antes de ser enviado a los quemadores donde será utilizado para la combustión. Un sistema típico de calentamiento de combustible se muestra en la Fig. 2.12.

En el tanque de almacenamiento (llamado también tanque de día) se instala un sistema integral de precalentamiento mediante un serpentín de vapor integrado el cual mantiene al combustible a una temperatura recomendada de 50 °C, lo cual facilita su bombeo antes de entrar al calentador.

De la salida de la bomba de alimentación y después de pasar por el sistema de bombeo, el combustible es alimentado a un calentador vapor/combustible, dentro del cual se hace un intercambio térmico; este intercambio usualmente se hace mediante vapor y combustible; el vapor es generado en otros procesos y transporta gran cantidad de energía térmica. Estos calentadores son comúnmente del tipo tubular; aunque existe una variedad de modelos. Dentro de estos calentadores el fluido a calentar (fluido sucio) es introducido a la carcaza por su parte superior y este sale por uno de sus extremos, mientras que el vapor que es utilizado para calentar al combustible es introducido por tubos que corren a lo largo del calentador.

Es común el diseñar el calentador de manera que el combustible entre por los tubos y el vapor entre por la carcaza. También se puede diseñar de tal manera que el arreglo de los



tubos internos este en forma espiral a lo largo de la pared interna de la carcasa; esto se determina por medio de cálculos para escoger el modelo mas conveniente a la aplicación requerida.

La dirección de los fluidos puede ser en contracorriente o flujo paralelo; en el flujo en contracorriente la dirección de los fluidos es contraria, mientras que en el flujo paralelo la dirección de los fluidos es la misma. varios tipos de calentadores y dirección de flujo se muestra en la Fig. 2.13.

A la salida del calentador vapor/combustible se conecta un interruptor para el control de temperatura (válvula termostática); este interruptor esta instalado en la línea de vapor y esta unido a un elemento primario de medición (bulbo y capilar conectado a la salida de combustible del calentador), este bulbo esta comunicado a la línea de combustible mediante lo que se conoce como cámara de petróleo, la cual permite el contacto del bulbo con el combustible que sale del calentador. El bulbo esta unido a un capilar de cobre tipo Bourdoun conectado a la válvula termostática, la cual es de acción abre/cierra (on/off), cerrando o abriendo el paso del vapor al calentador dependiendo de la temperatura descada del combustible.

Los calentadores pueden ser de tipo simplex o dúplex; En el último caso dos calentadores están conectados en paralelo, esto con el fin de tener uno de reserva en caso de mal funcionamiento o paro de servicio del otro, o los dos funcionando simultáneamente dependiendo de la carga requerida por el **CAFD**.

El combustible, cuya viscosidad ha sido reducida (aproximadamente a 42 cp a una temperatura de 200 °F) es enviado a la línea que conecta a los quemadores, para ser

atomizado por medio de vapor o un medio mecánico de atomización para poder llevar a cabo el proceso de combustión.

COMPONENTES DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. CABEZA ESTACIONARIA-CANAL</li> <li>2. CABEZA ESTACIONARIA-BONETE</li> <li>3. BRIDA DE CABEZA ESTACIONARIA-CANAL O BONETE</li> <li>4. CUBIERTA DEL CANAL</li> <li>5. CABEZA DEL SURTIDOR ESTACIONARIA</li> <li>6. GIA DE TUBOS ESTACIONARIOS</li> <li>7. TUBOS</li> <li>8. SELLOS</li> <li>9. CUBRESELLOS</li> <li>10. BRIDA SELLO-FIN DE LA CABEZA ESTACIONARIA</li> <li>11. BRIDA SELLO-CABEZA ESTACIONARIA POSTERIOR</li> <li>12. SELLO DE SURTIDOR</li> <li>13. SELLO DE BRIDA DE CUBIERTA</li> <li>14. JUNTA DE EXPANSION</li> <li>15. GIA DE TUBOS FLOTANTES</li> <li>16. CUBIERTA DEL CABEZA ESTACIONARIA FLOTANTE</li> <li>17. BRIDA DEL CABEZA FLOTANTE</li> <li>18. DISPOSITIVO DE RETORNO DEL CABEZAL FLOTANTE</li> <li>19. ANILLO DE DIVISION DE CORTE</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>20. BRIDA DE RETORNO DE SALIDA</li> <li>21. CUBIERTA DE CABEZAL FLOTANTE EXTERNO</li> <li>22. CUERPO GIA PARA GIA DE TUBOS</li> <li>23. BRIDA DEL CUERPO DEL INTERCAMBIADOR</li> <li>24. ENVOLTURA</li> <li>25. ANILLO IMITADOR DE LA ENVOLTURA</li> <li>26. ANILLO LINTERNA</li> <li>27. VARILLA FIJA Y ESPACIADORES</li> <li>28. PLACAS SOPORTE</li> <li>29. CONEXION DE LA ENTRADA DE FLUJO</li> <li>30. DIVISOR LONGITUDINAL</li> <li>31. DIVISOR DEL CABEZAL ESTACIONARIO</li> <li>32. CONEXION DE VENITEO</li> <li>33. CONEXION DE DREN</li> <li>34. CONEXION DE INSTRUMENTACION</li> <li>35. SOPORTE DE EQUIPO</li> <li>36. ANILLO DE CARGA</li> <li>37. SOPORTE DE DETENCION</li> <li>38. CUBIERTA PROTECTORA INTERNA</li> <li>39. CONEXION DE NIVEL DE LIQUIDO.</li> </ol> |
|--|--|

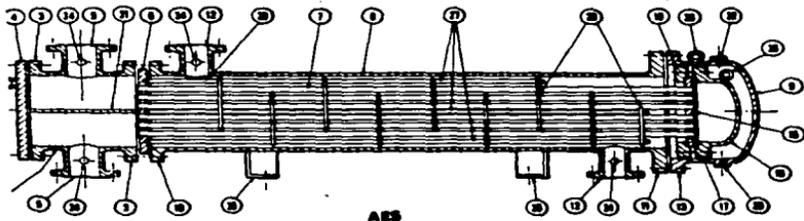


FIG. 2.13: TIPOS DE INTERCAMBIADORES

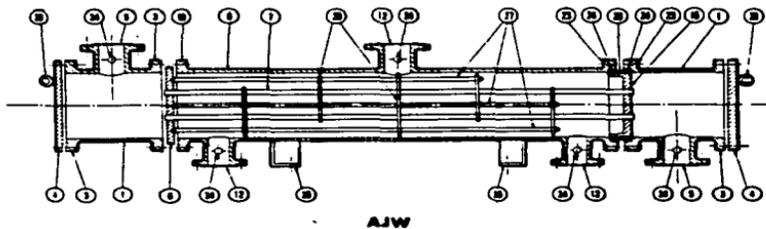
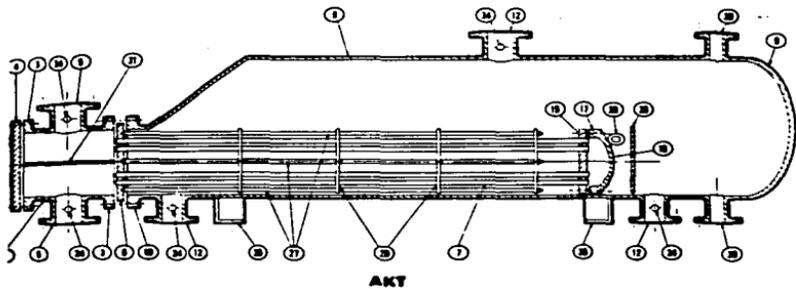


FIG. 2.13: CONTINUACION

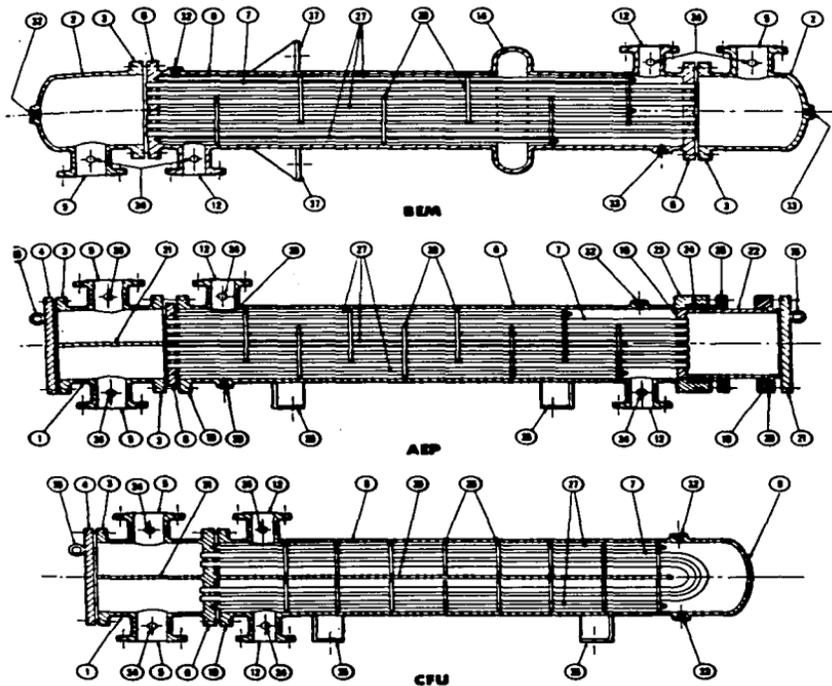


FIG. 2.13: CONTINUACION



## **2.3 VALVULAS DE CONTROL**

### **TIPOS DE VALVULAS DE CONTROL**

Las válvulas de control son dispositivos cuya función es la de regular en cualquier proceso en que se requiera manejar corrientes de fluidos. Es de gran importancia el conocer a fondo los diferentes tipos de válvulas y sus características más importantes. Esto permite satisfacer las condiciones del proceso y tener la instalación correcta en el sistema para fluidos.

El empleo de válvulas de control se da en muchas aplicaciones que incluyen control de líquidos, reducción de presión de gases, etc. Una válvulas de control puede ser manual o automática, debido a las grandes cantidades de flujo que se requieren y a la precisión en el estrangulamiento de flujo, es común el utilizar en la mayoría de los casos válvulas de control con actuadores controlados automáticamente.

Una válvula de control consta básicamente de tres partes principales: El cuerpo que es el que contiene el flujo y aloja los componentes internos. El vástago que es el eje que da la conexión entre el macho y el medio que acciona o activa la válvula y el macho, que es el elemento que cierra o regula el flujo de proceso.

El cuerpo de la válvula sirve para el paso del fluido entre el tubo y las conexiones. Por tanto debe servir como recipiente de presión y esta sometido a la mismas condiciones de temperatura, presión y corrosión que el resto del sistema de tubería. Hay una gran variedad de estilos de cuerpos de válvulas de control.

Los componentes internos de la válvula incluyen:

- 1) Producir una restricción variable dentro del cuerpo para producir cambios en el flujo de fluido.
- 2) Configurar el flujo con respecto a su trayectoria.
- 3) Producir cierto grado de corte de flujo cuando está cerrada por completo.

Es por ello, que hay muchas más variantes de los componentes internos que en los cuerpos de las válvulas (Fig. 2.14).

Si las válvulas se clasificaran según su resistencia que ofrecen al flujo, como las válvulas de compuerta, bola y de mariposa pertenecen al grupo de baja resistencia; las que tienen un cambio en la dirección del flujo, como las válvulas de globo y angulares, están en el grupo de alta resistencia. Se pueden clasificar también como de movimiento lineal y de movimiento rotatorio del vástago.

Los tipos básicos de válvulas de control de estrangulación son:

- Válvulas de globo.
- Válvulas de bola.
- Válvulas de compuerta.
- Válvulas de mariposa.
- Válvula de disco.

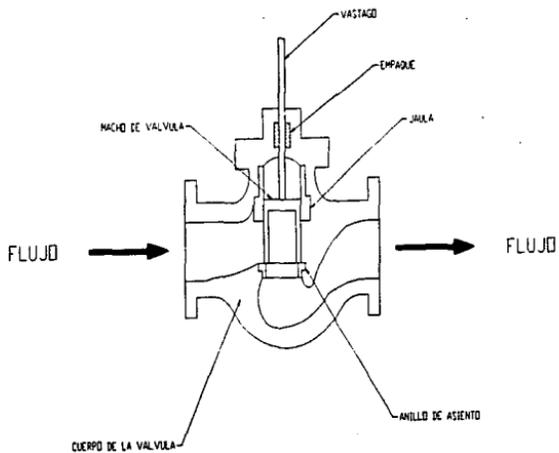


FIG. E14 PARTE DE UNA VALVULA

Los diferentes tipos de válvulas se ilustran en la Fig. 2.15.

Las válvulas de globo han sido de uso casi universal, presentan un vástago y macho que al girarlos descienden hasta obtener la regulación del flujo requerida o un cierre total.

Las válvulas de bofa tienen como macho un sólido en forma de esfera que tiene un orificio a través del cuerpo; de tal manera que al girar el vástago, el flujo pasa por este orificio.

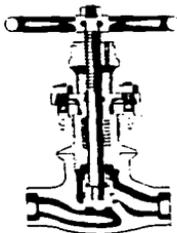
La válvula de compuerta bajan una sección plana en forma lineal que regula el flujo de proceso requerido al subir o bajar la placa plana.

La válvula de mariposa presenta una sección plana que esta en la línea de paso del fluido, cuando se desea regular el flujo se gira el vástago por lo que la sección permite el paso del flujo sin cambiar su dirección.

La válvula de disco tiene una compuerta que se abre hacia los lados dando paso al flujo de proceso.

Los factores que se tienen que tomar en cuenta para elegir una válvula son presión, temperatura, cierre y tipo y volumen de fluido a regular. Así si se tiene un fluido que es muy difícil de manejar se debe seleccionar válvulas que ofrezcan óptimos control y duración soportando la presión y temperatura del proceso.

A-15. Tipos de válvulas



Válvula de globo convencional



Válvula de globo convencional con obturador guiso



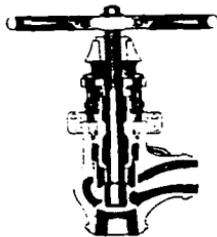
Válvula de globo convencional



Válvula de globo, modelo en Y, con vástago a 45°



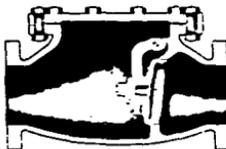
Válvula de retención y cierre, de paso recto



Válvula de retención y cierre, de paso ángular



Válvula de retención convencional de obturador excéntrico

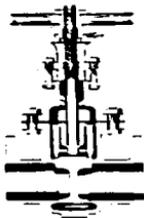


Válvula de retención de paso recto con obturador excéntrico



Válvula de retención de paso recto con obturador excéntrico

A-15. Tipos de válvulas (continuación)



Válvula de conopos de cuña (tubo atornillado)



Válvula de manobras de rendimiento alto



Válvula de conopos de cuña flexible (tubo con soldo a presión)



Válvula de retención de disco descendente



Válvula de manobras en brasa



Válvula de bola



Válvula de pie sobre el asiento y ascenso



Llave de tres vías  
Vuelta anterior y en ascenso



Las válvulas de control pueden funcionar en una amplia gama de capacidades y presiones diferenciales. Los volúmenes de flujo y condiciones del proceso suelen estar bien determinados para establecer el tamaño de tubería y componentes. Al determinar el tamaño de la válvula, se deben estudiar las capacidades opcionales, el cambio periódico en la capacidad y las presiones diferenciales relacionadas. El control de las capacidades en una gama muy amplia puede requerir de combinaciones de diferentes tipos y capacidades de válvulas o conexiones en serie o paralelo para, en el futuro, modificar la capacidad del sistema.

En la mayor parte de los casos, las presiones diferenciales son parte de la resistencia total del sistema de tubería. Cuando se determina una presión diferencial total, la tercera parte de la caída de presión total se puede atribuir a la válvula de control y dos terceras partes a pérdidas por fricción en la tubería, y el equipo. Con presiones diferenciales altas, la mayor parte de la pérdida la absorberá la válvula de control. Las válvulas de control (excepto las de mariposa) sólo puede regular el flujo si controla la caída de presión en el sistema. Los cambios en la densidad relativa o los cálculos inexactos de la densidad tienen poco efecto en la capacidad de la válvula, pues son valores pequeños. Cuando hay que minimizar las presiones diferenciales, la válvula debe ser del mismo tamaño de la tubería.

### **ACTUADORES DE VALVULAS**

El actuador de la válvula de control responde a una señal del controlador automático y mueve el elemento de control o macho. El actuador es el amplificador de potencia entre el controlador y la circulación de líquido.

Hay cuatro tipos de actuadores:

- Resorte y diafragma.
- Pistón.
- Eléctricos.
- Hidráulico y electrohidráulico.

**Actuador de diafragma y resorte:** Este actuador neumático es muy común y sencillo, es de bajo costo y muy confiable. Estos actuadores suelen funcionar con aire a presión. Cuando se aplica el aire en la cubierta del actuador, el diafragma mueve la válvula y comprime el resorte. La energía del resorte mueve la válvula otra vez a su posición original cuando se corta el aire. Los tipos disponibles incluyen resortes ajustables o una amplia selección de resortes para adaptar el actuador a la aplicación. Los actuadores de resorte y diafragma tienen menos piezas móviles que se pueden dañar y por ello son muy confiables. Si tienen alguna falla, el mantenimiento es fácil. La principal desventaja de estos actuadores es su capacidad un tanto limitada.

**Actuadores de pistón:** Los actuadores de este tipo son los más económicos en cuanto a la fuerza producida para accionar válvulas automáticas de control. Los actuadores de pistón deben tener ubicadores de doble acción que en forma simultánea apliquen y quiten la carga en los lados opuestos del pistón, para que se mueva en la dirección de presión más baja. El ubicador detecta el movimiento del pistón y cuando llega a la posición requerida, iguala las presiones opuestas para producir equilibrio. El actuador de pistón, neumático, es una buena opción cuando se requiere un aparato compacto y de alto empuje.

**Actuadores eléctricos:** Los actuadores con motor eléctrico, que se utilizan en muchos procesos, consisten por lo general, en motores con trenes de engranes y están disponibles para una amplia gama de torsiones de salida. Son muy ventajosos para instalaciones remotas en las cuales no hay disponible ninguna otra fuente de potencia. Los actuadores sólo son económicos en tamaño pequeño y para aplicaciones normales y tienen limitaciones de capacidad y disponibilidad. En aplicaciones para acción continua en donde se requieren cambios frecuentes en la posición de la válvula de control, no resulta adecuado el actuador eléctrico debido, principalmente, a su limitado ciclo de trabajo.

**Actuadores hidráulicos y electrohidráulicos:** Los actuadores electrohidráulicos tienen un motor y una bomba para enviar líquido a alta presión a un pistón que produce la fuerza de salida. El actuador es excelente para servicio de estrangulación debido a su alta rigidez (resistencia al cambio de las fuerzas en el cuerpo de la válvula) y su compatibilidad a las señales analógicas. Los actuadores hidráulicos, aunque en esencia son lo mismo que los electrohidráulicos, difieren en que reciben la potencia desde una unidad externa de bombeo. El control del actuador se logra con un servoamplificador y un sistema de válvulas hidráulicas. Este sistema puede dar máximo rendimiento como: rigidez excepcional, carrera rápida, empuje muy elevado y muy buenas características de respuesta dinámica. Pero su costo es muy elevado.

La selección del actuador para válvulas incluye su rendimiento y factores económicos. La eficiencia de la válvula de control depende de lo bien que el actuador resista las fuerzas que se le aplican. Además, un actuador puede ser parte importante del precio; pero una cuidadosa selección puede permitir un considerable ahorro.

## **CRITERIOS DE SELECCION DE VALVULAS DE CONTROL**

### **GENERALIDADES**

La mayor parte de las válvulas de control comerciales están diseñadas bajo criterios estandarizados y cumplen con los códigos y normas del American National Standards Institute (ANSI), que establecen una clasificación de presiones y temperaturas determinadas tanto para el cuerpo de la válvula como par sus componentes internos, basado en el material de construcción.

Así, la selección de la válvula de control se reduce a especificar un tipo que satisfaga las características de caída de presión deseadas en el sistema Por un lado hay el deseo de tener mínima distorsión en las características de flujo, lo cual se logra con la máxima caída de presión en la válvula. Sin embargo, cuando se bombea contra una carga mayor de la necesaria aumentan los costos. Por tanto, desde el punto de vista económico es deseable trabajar con el mínimo valor posible de caída de presión..

### **CONSIDERACIONES DE SELECCIÓN:**

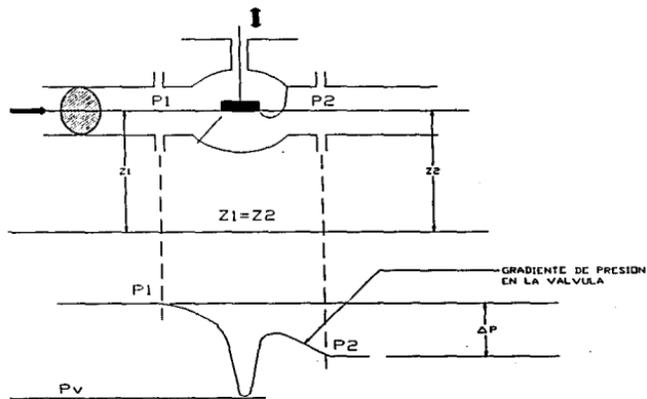
#### **PRESION DE DISEÑO**

El primer paso que debe darse en la selección de un tipo determinado de válvula es qué tipo de los existentes es el que satisface las especificaciones de presión del sistema. En

una válvula de control se presenta una caída en la presión debido a la reducción de área de paso del fluido; si graficamos la presión conforme pasa el fluido a través de la válvula obtenemos lo que se muestra en la gráfica A.

Las condiciones de presión que debe soportar la válvula ya deben estar consideradas dentro del diseño de la línea de distribución así como la máxima caída de presión permitida dentro de dicha válvula para mantener la presión de salida a los valores deseados. Una definición importante en lo que respecta a la válvula de control es el de flujo crítico y subcrítico; en un líquido un flujo se considera subcrítico cuando la presión de vaporización del líquido no es más alta que el punto de mínima presión obtenido en la válvula (la presión de vaporización es la presión a la cual un líquido empieza a vaporizarse a su temperatura de flujo); y crítico cuando la válvula trabaja en las condiciones extremas de proceso; en gases se considera que existe un flujo crítico cuando la velocidad del gas se aproxima a la velocidad del sonido, la cual debe evitarse ya que puede ocasiona vibraciones o ruido El flujo crítico se puede evitar con la reducción de la caída de presión en la válvula.

En una válvula de control tenemos tres valores de presión a lo largo del recorrido del flujo: El valor de la presión antes de entrar a la válvula, el valor de presión mínima que se obtiene en la válvula con máxima reducción de área de paso y el valor de la presión a la salida de la válvula; Para líquidos si el valor de la presión de vaporización esta entre los intervalos de presión de entrada — presión de salida y presión se salida — presión de válvula ocurrirá lo que se conoce como cavitación o vaporización. Si la presión de vaporización esta cerca de la presión de salida corriente abajo se puede suponer que hay cavitación (la cavitación es la formación de burbujas en la corriente de líquido que se forman cuando la presión dentro de la válvula o en un punto de la línea es menor a la presión de vaporización; cuando estas burbujas llegan a un punto donde la presión es mayor ocurre que las burbujas se colapsan ocurriendo un aplastamiento de estas lo que crea ondas de choque a alta presión que ocasionan lo que se co-



GRAFICA A: PRESIONES DURANTE EL PASO DE LIQUIDO EN UNA VALVULA DE CONTROL

noce como golpe de ariete en la salida de la válvula y la tubería), que ocasiona erosión en el cuerpo de la válvula como en la superficie interna de la tubería. Si la presión de vaporización esta entre el intervalo de presión de entrada — presión de salida puede ocurrir vaporización, lo que ocasiona que exista un flujo de dos fases a la salida de la válvula.

Si el valor de la presión de vaporización es mayor que el valor de presión de entrada entonces la válvula recibe flujo en dos fases y habrá que tener en cuenta la vaporización adicional en la válvula. Para gases el problema a evitar en la selección de una válvula es impedir que el flujo alcance la velocidad sónica que altere las caídas de presión requeridas así como reducir los efectos de la compresibilidad del fluido.

#### **TAMAÑO DE LA VALVULA**

Cuando se a obtenido la asignación de caída de presión a la válvula con la carga requerida por el sistema, el siguiente paso es determinar el tamaño de la válvula.

La determinación de este parámetro consiste en la técnica para establecer el tamaño de la válvula adecuado para controlar el fluido de proceso. Una válvula muy pequeña no dejará pasar todo el volumen requerido y una muy grande puede ocasionar fallas de control cuando se manejen caudales muy pequeños.

El proceso más usual es calcular la capacidad requerida de la válvula en base a los volúmenes máximos y mínimos del sistema y en la caída de presión en cada condición. Para los líquidos esta capacidad se expresa como  $C_v$  que equivale al numero de galones de agua que pasan por minuto a través de la válvula a una temperatura de 60 °F con una presión de 1

psi. Para tener un criterio de selección se hace un calculo preliminar de  $C_v$ , los fabricantes de válvulas dan la siguiente ecuación:

$$C_v = Q \sqrt{\frac{S}{\Delta P}}$$

Con este valor se consulta a catalogo y se selecciona una válvula cuyo índice de capacidad  $C_v$ , sea mayor que el calculado para tener un buen intervalo de control. El índice de capacidad por lo general debe ser de 1.25 a 2 veces el valor del  $C_v$  calculado. Para gases se tiene un coeficiente  $C_g$  a fin de corregir la compresibilidad y las limitaciones de flujo crítico cuando aumentan las caídas de presión; la mayoría de los fabricantes no utilizan un valor de  $C_g$  sino un método de conversión en el que emplean el coeficiente  $C_v$  para capacidades con válvula totalmente abierta, con este valor y determinando si hay condiciones que produzcan cavitación o vaporización con manejo de líquidos o flujo critico de gases, se selecciona la válvula adecuada con las tablas de tamaño.

#### CAPACIDAD DE CIERRE

Otro aspecto para determinar el tipo de válvula de control es la capacidad de cierre, este aspecto es frecuentemente ignorado al seleccionar una válvula de control económica. El grado al cual debe cerrar una válvula puede ser desde una cantidad más o menos pequeña de líquido por minuto a un cierre casi hermético.

Las fugas y escurrimientos permisibles dentro de las válvulas de control están normadas por ANSI que indican los valores de estos escurrimientos y fugas para los diferentes tipos de válvulas. Se debe conocer el grado de fugas que se puede permitir y especificar la válvula adecuada ya que las especificaciones estrictas para el cierre aumentan el costo de esta.

#### LIMITES DE TEMPERATURA

Los límites de temperatura a los que trabajara la válvula indicaran el tipo de material del cual deberán estar construidas la guarniciones y el cuerpo de la válvula. Las válvulas que tienen sellos o superficies de materiales elastoméricos no pueden funcionar con temperaturas mayores de 300 a 400 °F; los límites de temperatura en la tabla 1 son aquellos dentro de los cuales pueden trabajar los elastómeros.

TABLA 1

MATERIAL	LIMITE °F
<b>Caucho (hule) natural</b>	-60 a +160
<b>Neopreno</b>	-40 a +175
<b>Nitrilo</b>	-20 a +200
<b>Poliuretano</b>	-40 a +200
<b>Butilo</b>	-20 a +300
<b>Etileno-propileno</b>	-40 a +300
<b>Tetrafluoroetileno (TFE)</b>	0 a +450
<b>Siliconas</b>	-65 a +400

Además las fuerzas dinámicas aplicadas a los materiales también se deben tener en cuenta porque, en muchos casos, la resistencia al desgarramiento y otras propiedades físicas se degradan con rapidez cuando aumenta la temperatura.

Los materiales básicos para empaquetadura en uso casi general incluyen asbesto (amianto), grafito y TFE; aunque, para lograr propiedades óptimas se pueden hacer combinaciones de diferentes materiales como materiales blandos con fibra de vidrio.

Para lograr la respuesta de sensibilidad máxima del actuador a una señal de entrada se requiere la fricción mas baja que sea posible, sin fugas, en la empaquetadura. Los proveedores de empaquetaduras ofrecen una serie de composiciones para baja fricción.

#### **ACTUADOR**

Por lo general, el último paso en la especificación de la válvula es seleccionar el actuador en caso de que se requiera control automático. Dado que es parte integral de los cuadros de control automático, produce la fuerza motriz requerida para ubicar al elemento de control final. Dado que la estabilidad y funcionamiento del cuadro de control se basan en un funcionamiento satisfactorio del actuador, este debe poder controlar las muchas y variables fuerzas estáticas y dinámicas creadas por la válvula.

## 2.4 QUEMADORES

### GENERALIDADES

Un quemador es un conjunto de accesorios que mezcla en forma adecuada cantidades específicas de aire y combustible en forma homogénea, provocando después que el combustible se quemé a través de un proceso químico exotérmico estable.

Los quemadores en un **CAFD** utilizan para su funcionamiento por lo general tres tipos de líneas de distribución:

- Línea de combustible (Gas, Combustóleo).
- Línea de medio de atomización (solo para sistemas que manejen combustibles líquidos).
- Línea de alimentación a pilotos para encendido (en caso de que sea encendido por gas), o una línea de corriente eléctrica (en caso de que sea encendido por chispa eléctrica).

Como se mencionó anteriormente la línea de combustible alimenta a los quemadores de la sustancia que será quemada para producir la energía calorífica que requiere el proceso.

La línea de medio de atomización solo se requiere cuando el combustible usado sea líquido, ya que para poder quemarlo es necesario pasarlo a la fase gas o atomizarlo en pequeñas gotas en forma de niebla, para facilitar así el mezclado de estos con el aire de combustión. El método más común es la utilización de un fluido atomizante que por lo

general es vapor de media presión o bien aire comprimido, aunque hay casos en que se utiliza un dispositivo mecánico para tal fin. Los quemadores para este tipo de combustibles deben poseer un mecanismo para llevar a cabo internamente la atomización de dicho combustible. Además, el diseño del registro de aire de combustión y del quemador en general, debe ser tal que permita un mezclado homogéneo entre el combustible atomizado y el aire.

Ya sea para quemadores de combustible líquido o de combustible gaseoso es necesario un medio que nos de la ignición para comenzar con la combustión, esto se da en los pilotos del quemador.

Los pilotos pueden utilizar como creadores de la ignición gas o electricidad. En el primero se suministra gas que encenderá el combustible por medio de una flama continua o periódica, mientras que el otro tipo iniciara la combustión con una chispa o arco eléctrico.

#### **FUNCIONAMIENTO DE LOS QUEMADORES EN EL CAFD**

Como las necesidades de calor del proceso a que sirve el horno son variables, se debe regular la cantidad de combustible y aire de combustión para satisfacer esas distintas necesidades. Las cantidades se regulan por medio de controles de la combustión.

En la mayoría de los hornos la temperatura de salida del serpentín del líquido que se calienta es el punto de control. Para mantener esa temperatura a un valor preestablecido se controla automáticamente la cantidad de combustible quemado. Esto se hace con una válvula neumática que, normalmente, esta situada en el colector del gas o combustóleo que alimenta a los quemadores. La válvula es del tipo de las que se mantienen abiertas a presión, de modo

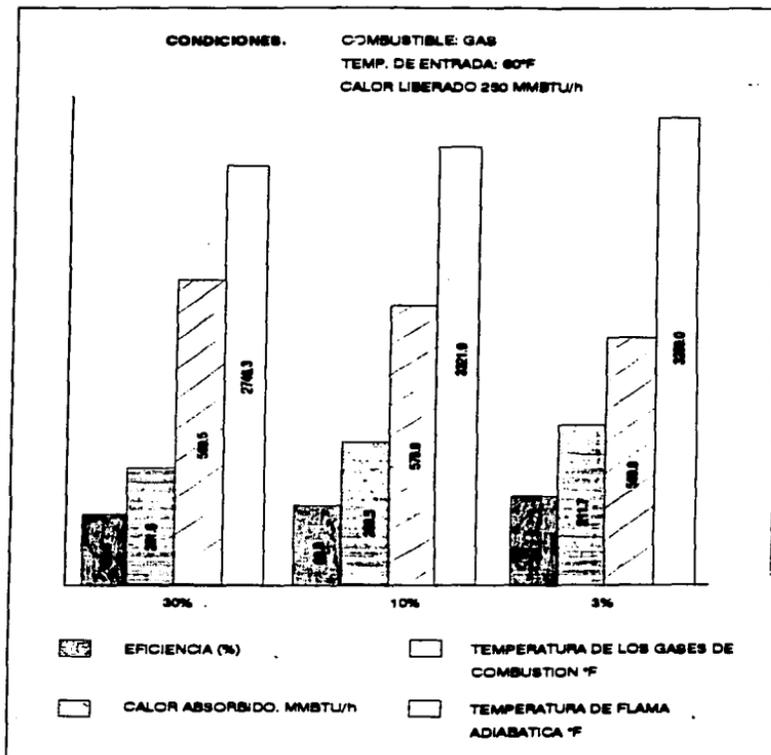
que si falta el aire de accionamiento de la válvula ,se detiene automáticamente el paso del combustible.

Es importante que para la buena operación del quemador, éste tenga un rango de liberación adecuado (TURNDOWN), cuya característica es la flexibilidad para poder operar desde un rango de liberación mínima hasta un rango de liberación máxima, el tiro o caída de presión del aire a través del quemador, así como la temperatura de gases de combustión que se tengan en promedio en la cámara de combustión.

Como se menciona anteriormente el quemador deberá tener un quemado estable, por lo que es importante que el quemador opere dentro de un rango normal de operación para realizar una combustión lo mas eficiente posible. El tener un quemador inestable es el mayor riesgo que se puede correr al seleccionar, diseñar o especificar un quemador. Lo que puede ser una configuración muy satisfactoria para unas condiciones de operación determinada, puede ser completamente insatisfactoria para otras.

Probablemente, el mayor factor controlable que motiva un mal rendimiento es el uso de un exceso de aire de combustión. Para que la combustión sea completa basta con el 15 a 20% de exceso de aire. Por encima de estos valores no hace más que calentarse y descargarse a la atmósfera sin otro resultado que el derroche de combustible. La gráfica 2.1 muestra los efectos del exceso de aire en el funcionamiento de quemadores.

El sistema de aire de combustión es una serie de ductos por los cuales circula aire de la atmósfera puesto en circulación mediante tiro forzado el cual antes de entrar al sistema de combustión es calentado a una temperatura lo mas cercana a la temperatura del combustible por medio de un sistema de precalentamiento de aire, para de esta manera ahorrar energía ya



gráfica 2.1 EFECTO DEL EX- ESO DE AIRE

que de no ser así, se tendría un mayor consumo de combustible para lograr la combustión y mantener la temperatura del proceso requerida.

El aire de combustión, puede ser de tres tipos

- Aire primario
- Aire secundario
- Aire terciario.

El aire primario es mezclado con el combustible antes que se inicie la combustión.

El aire secundario es suministrado directamente a la zona de quemado.

El aire terciario se suministra después de la zona de quemado.

En la mayor parte de los **CAFD** hay tres puntos de control del aire de combustión:

Obturadores de aire primario del quemador: Controlan la abertura por la que tiene que pasar el aire primario. Estos obturadores son el elemento de control básico del aire que va al calentador, especialmente cuando se quema gas.

Compuertas de aire secundario: Controlan la cantidad de este aire al calentador. Cuando se suministra al horno demasiado aire, es el secundario, normalmente, el que se debe reducir.

**Registro del horno:** Es la válvula que controla el régimen al que salen del calentador los productos de la combustión. Si este registro que está en la chimenea, se ajusta de modo que quede casi cerrado, tenderá a impedir el paso de la corriente de los gases calientes al aire y, por lo tanto, se elevara la temperatura del horno. Cualquier aumento de esta significa una reducción de la entrada del aire primario y secundario. Hay que tener presente que el abrir el registro se aumenta la entrada del aire, y que al cerrarlo se disminuye.

#### **TIPOS DE QUEMADORES**

Independientemente de la amplia variedad de los diversos tipos de quemadores que podemos encontrar en el mercado, tanto duales como sencillos, cuatro son los más importantes:

Quemador tipo registro

Quemador tipo flujo paralelo (axial)

Quemador tipo tangencial

Quemador de copa rotatoria

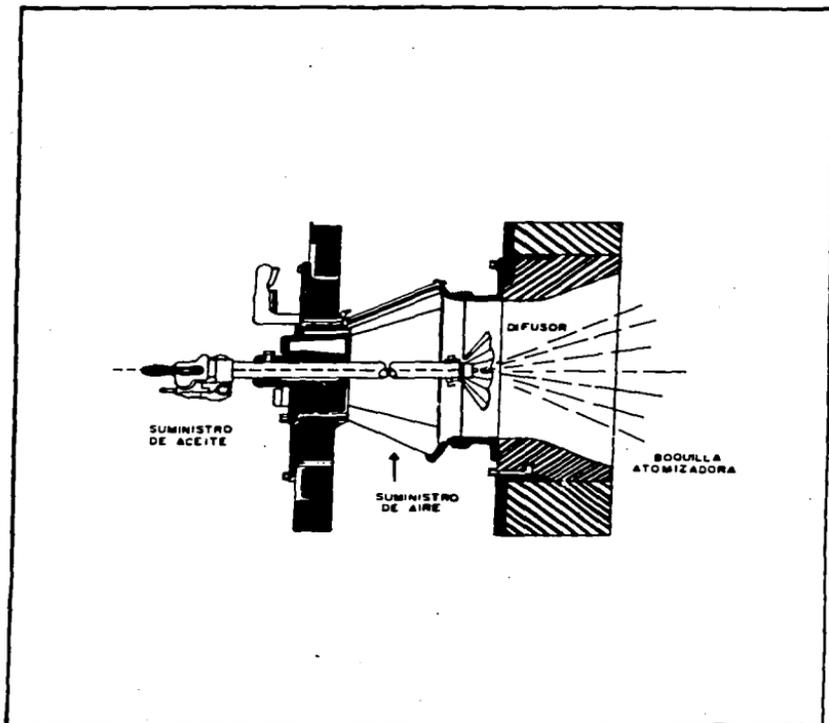
Los quemadores tipo registro son dispositivos que incorporan en su unidad, compuertas para el ajuste fino de aire de combustión, pudiendo ser éstas manuales o accionadas por un actuador.

El quemador tipo flujo paralelo, es un dispositivo que incorpora en su unidad uno o más tubos venturi, los cuales regulan los flujos y velocidades de aire requeridas para llevar a cabo el proceso de combustión con bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y partículas.

Los quemadores tipo tangencial son unidades fijas o basculantes y su característica es la de dirigir la bola de fuego al centro del CAFD. Los quemadores del tipo copa rotatoria incorporan un motor eléctrico en su unidad, el cual acciona la boquilla del quemador, pudiendo ser utilizado para quemar efluentes y adicionar aditivos. Los diversos tipos de quemadores y cañones de los quemadores se muestran en la fig. 2.16-2.20.

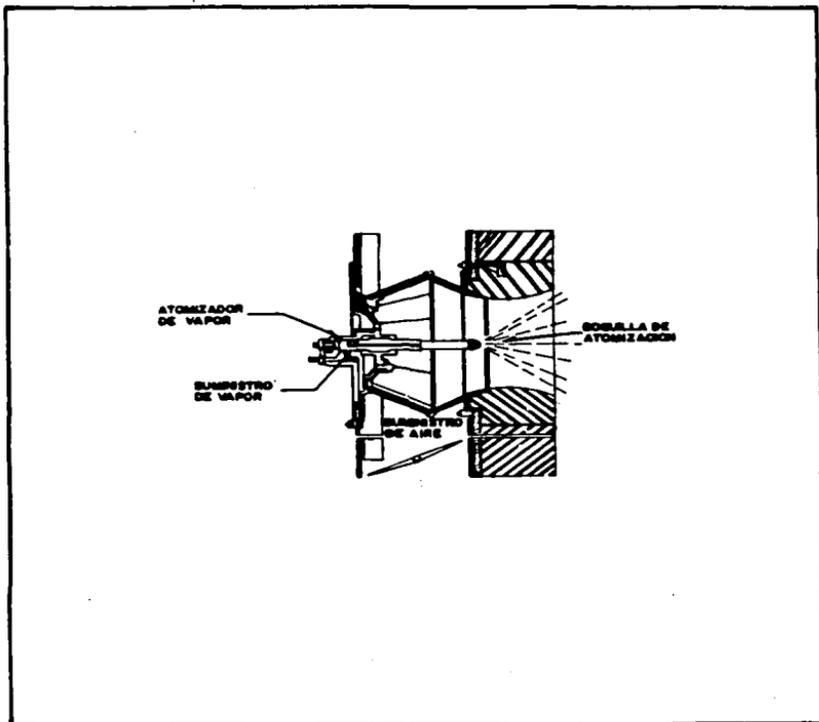
El incremento en la eficiencia en los calentadores provocada por la acción directa de los quemadores se consigue con las siguientes acciones:

- 1.- Disminución del exceso de aire requerido para llevar a cabo la combustión completa, lo que resulta en una reducción en el consumo de combustible.
- 2.- Disminuyendo el número de quemadores, si es que no existen problemas de impregnación de flamas.
- 3.- Consiguiendo una apropiada distribución de flama en el horno, lo que mejora la distribución de calor en los hogares e induce una disminución de la temperatura de los gases de combustión a la salida de la sección de radiación. Cuando se tengan pérdidas de tiro elevadas a través del quemador, la flama que se producirá será larga, no bien definida y sin mucha luminosidad.



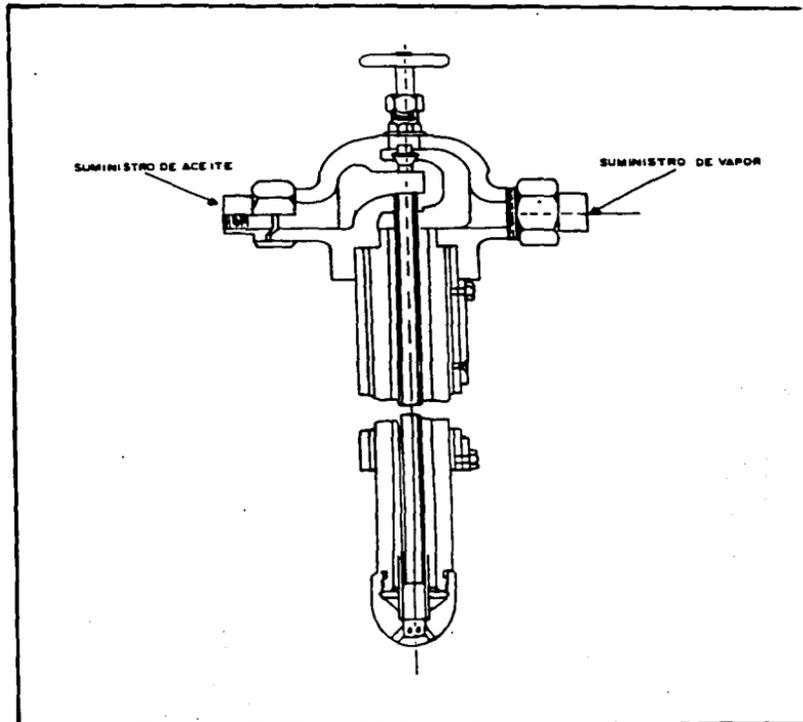
QUEMADOR DE ATOMIZACION MECANICA MOSTRANDO EL CONTORNO DE LA ABERTURA DE LA GARGANTA.

FIG. 2.16: TIPOS DE QUEMADORES



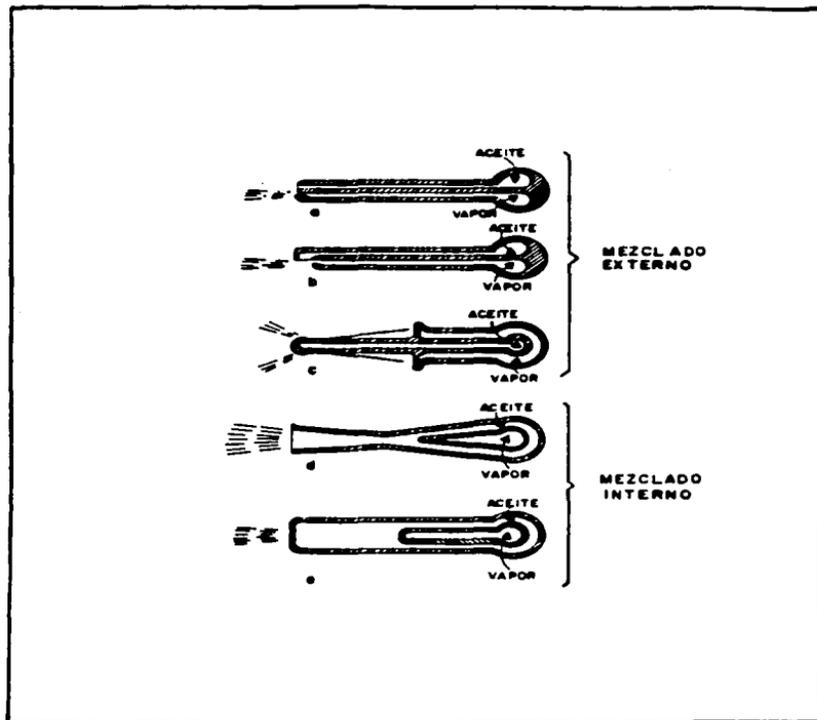
QUEMADOR DE TIRO FORZADO CON ATOMIZACION DE VAPOR.

FIG. 2.17: TIPOS DE QUEMADORES



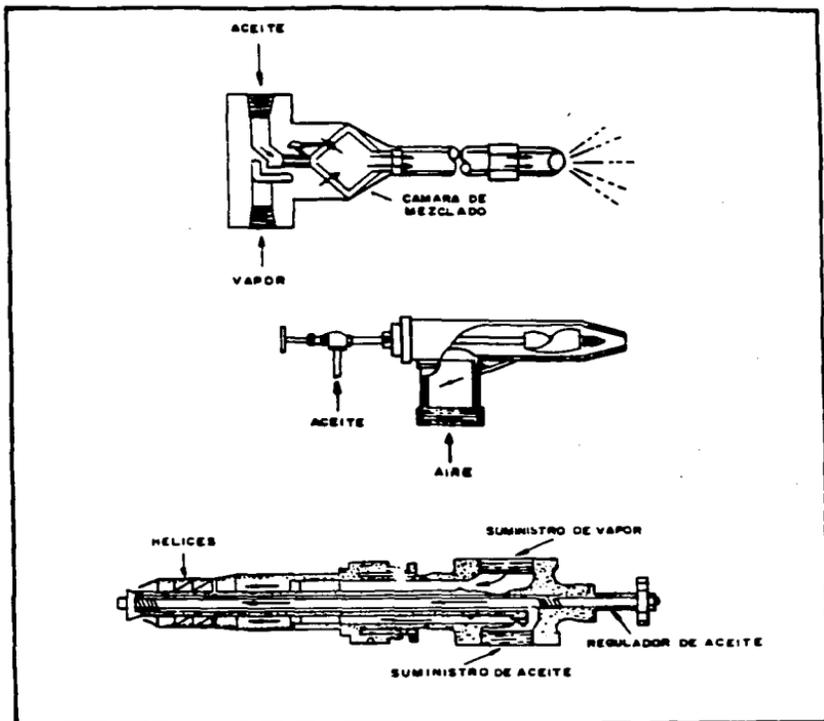
DETALLES DE UNA BOQUILLA CON ATOMIZACION POR VAPOR Y MEZCLADO INTERNO.

FIG. 2.18: DETALLES DE QUEMADOR



CARACTERISTICAS DE DISEÑO DE VARIOS TIPOS DE BOQUILLAS PARA COMBUSTIBLE LIQUIDO, ATOMIZACION CON VAPOR.

FIG. 2.19: DETALLES DE QUEMADOR



BOQUILLAS DE QUEMADORES CON ATOMIZACION POR VAPOR Y AIRE.

FIG. 2.20: DETALLES DE QUEMADOR

Las variaciones de operación reportadas por el cambio de quemadores "ineficientes" a quemadores con una alta eficiencia de combustión se indican a continuación:

- Reducción en la temperatura de la chimenea de hasta 100 °F
- Reducción en el exceso de aire de hasta 30 %
- Disminución del número de quemadores.

#### **CRITERIOS DE SELECCION DE QUEMADORES**

##### **GENERALIDADES**

Los criterios que son utilizados para la selección de determinado tipo de quemadores dependen de las condiciones requeridas para llevar a cabo un proceso determinado (como por ejemplo un crackin, reductor de viscosidad, un proceso fraccionador, etc.). El dato principal es el calor que debe absorber el fluido de proceso para tener la temperatura requerida; el quemador debe liberar esa cantidad, pero debemos tomar en cuenta que existirán pérdidas de este calor ya sea por las paredes del **CAFD** o por los gases de combustión que van a la atmósfera; por lo que es preciso que el quemador libere mas calor para compensar dichas pérdidas.

Las pérdidas en los **CAFD** por lo general son:

Para calentadores cilíndricos las pérdidas por las paredes son de 2.5%.

Para calentadores de caja rectangular las pérdidas por las paredes son de 3%.

La temperatura de los gases de combustión depende del tipo de proceso. Para que se obtenga en un **CAFD** una eficiencia del 100% la temperatura de los gases de combustión debe ser la misma que la temperatura ambiente; esto en la realidad no es posible. La eficiencia de un **CAFD** se determina dividiendo el calor requerido de proceso entre el calor aportado por los quemadores considerando las pérdidas a través de los gases de combustión y por las paredes del **CAFD**:

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{lib}}$$

La eficiencia mínima que debe tener un **CAFD** ya está estandarizada en las normas que rigen el diseño del equipo.

#### FACTORES DE SELECCION

Como se mencionó anteriormente, en principio debemos conocer la cantidad de calor que debe absorber nuestro fluido, el cual era calculado por el Ingeniero petroquímico e Ingeniero de proceso; una vez obtenido este valor, es necesario predecir el valor de las pérdidas admisibles a fin de calcular el calor máximo liberado por el conjunto de quemadores. El calor máximo liberado será calculado mediante la eficiencia requerida por norma y de acuerdo a la temperatura de los gases de combustión que se piense tener.

Este valor de liberación térmica máxima es dividido por el número de quemadores que se consideren en el diseño (el número de quemadores depende de las dimensiones deseadas del **CAFD**, factores económicos, distribución térmica, etc.); el valor obtenido es el calor normal liberado por cada quemador.

$$Q_{\text{lib}} = \frac{Q_{\text{lib}}}{N^{\text{quemadores}}}$$

La norma API-STD-560 indica que se debe tener un rango de liberación de calor que nos permita variar la capacidad de los quemadores para eventualidades dentro del funcionamiento del equipo. Para obtener el calor máximo que debe aportar cada quemador se debe añadir un 25% más del calor normal liberado. Para obtener el valor mínimo las normas indican que el quemador debe operar hasta a un 60% de carga; siempre respetándose la relación de carga máxima a mínima (TURNDOWN) que indica debe ser de 1:3.

A continuación se debe dar al proveedor o fabricante:

El tipo de combustible que se va a utilizar. Esto es de gran importancia. En el mercado existen gran variedad de quemadores ya sea para gas o combustible líquido; además determinará el tipo de contaminantes que habrá en los gases de combustión y que podrían afectar al medio ambiente y a diversos componentes del equipo (como ejemplo el caso del ácido sulfúrico que esta casi siempre presente en los equipos que utilizan combustóleo).

El tiro que se vaya a emplear. Por lo general los **CAFD** emplean tiro natural; creado en su interior por los gases de combustión que debido a las altas temperaturas, dan una diferencia de presión negativa con respecto al exterior, lo que ocasiona que el aire y los gases de combustión circulen hacia afuera por la chimenea. En tiro natural, el valor de la diferencia de

presión depende de lo largo de la chimenea y de la diferencia de densidades dentro y fuera del **CAFD**. Por lo general, el valor del tiro se determina considerando la velocidad deseada y el volumen de los gases de combustión. El proveedor ofrecerá quemadores que operan a diferentes rangos de tiro para satisfacer las necesidades de aire de combustión.

Tipo de flama. Dependiendo de la configuración del **CAFD**, se pueden seleccionar quemadores de flama plana o de flama cónica. Los quemadores de flama plana son por lo general utilizados para **CAFD** de caja rectangular mientras que los de flama cónica son utilizados para calentadores cilindricos.

Tipo de piloto. Los quemadores pueden tener piloto de gas los cuales mantienen una flama encendida la cual inicia la ignición, o de piloto eléctrico el cual inicia la combustión mediante un arco eléctrico.

Los valores de liberación de calor son graficados contra presión de combustible; estos valores de presión son determinados por el diseño de la línea de alimentación. Los fabricantes ofrecen una amplia gama de quemadores que pueden satisfacer los requerimientos de liberación a determinadas presiones del combustible.

### **3. ANALISIS HIDRAULICO DEL COMPONENTE DE DISTRIBUCION EN CAFD**

### 3 ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL COMPONENTE DISTRIBUIDOR DE COMBUSTIBLES EN CAFD

#### 3.1 GENERALIDADES

En el diseño de una línea de alimentación y cabezal de distribución se busca que el fluido que circula por cada una de las ramificaciones laterales tenga los mismos valores de presión y caudal para poder controlar las condiciones de operación que se requieren en el sistema de tuberías. En un **CAFD** se desea que el combustible que circula por cada una de dichas ramificaciones llegue a cada quemador con el mismo caudal y caída de presión para de esta manera, tener una operación uniforme en todos los quemadores y una distribución equilibrada de la descarga térmica total requerida por un **CAFD**.

El control de la presión en una línea de distribución de combustible para un **CAFD** se obtiene por la regulación del flujo mediante válvulas de control, cuyo cierre o apertura controla la cantidad de caudal y compensa con un aumento en el Área transversal de la tubería las caídas de presión que se tienen a lo largo de la línea de distribución.

#### 3.2 GEOMETRÍA DEL CABEZAL DE DISTRIBUCIÓN

La línea alimentadora a cada celda del calentador desde la válvula de regulación general, ubicada en la alimentación principal a cada calentador debe diseñarse de tal forma que permita al flujo dividirse en caudales iguales para cada una de las líneas alimentadoras a cada

cabezal distribuidor. La forma de diseño mas común es la de configurar la línea en una forma simétrica; la cual permite la división aceptablemente proporcionada del flujo sin necesidad de instalar equipos o accesorios adicionales.

Un arreglo general típico para un **CAFD** de caja rectangular es como el mostrado en la fig. 3.1.

La figura muestra como la longitud de cada ramificación desde la línea principal presenta una longitud y diámetro equivalentes para ajustar los flujos de acuerdo a los requerimientos de igualdad; el diseño para gases y líquidos es semejante, ya que los dos tipos de fluidos tenderán a seguir la línea que presente menor resistencia para su circulación.

El diseño del cabezal distribuidor de combustible a quemadores debe configurarse para minimizar las caídas de presión de una ramificación que conduce el combustible a un quemador a la otra, de tal manera que las caídas sean proporcionales a todo lo largo del ducto principal del cabezal; por lo que las ramificaciones están a distancias iguales. Dichas caídas de presión deberán estar contempladas en el análisis que se haga de la línea para de esta manera calcular el valor de la presión a la cual debe ir el flujo desde la entrada al sistema para que éstas no afecten la distribución uniforme que requieren los quemadores de forma independiente; es decir, que el valor del caudal que se tenga entrando en la primera ramificación bajo condiciones requeridas de presión y/o velocidad sean iguales lo más posible a las requeridas por el último ramal.

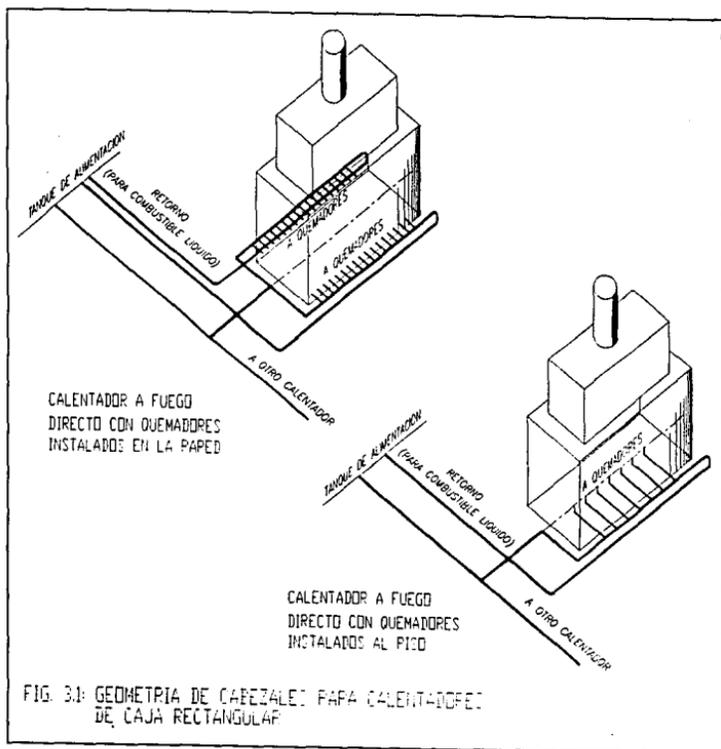
En el caso de los **CAFD** cilíndricos verticales el cabezal es diseñado para que corra a lo largo del contorno del calentador. La distribución simétrica también es utilizada en este tipo de cabezales, dividiendo el flujo en caudales iguales. Los ramales a cada quemador se

presentan en forma radial al centro del calentador por lo que la distancia entre ramales a lo largo de la circunferencia presenta el mismo ángulo como el mostrado en la fig. 3.2.

Para el caso de combustibles líquidos el cabezal presentara un retorno de combustible, ya que al ser bombeado desde los tanques almacenadores el flujo siempre obtendrá una carga adicional proporcionada por la bomba la cual aumentara su presión de estancamiento; esto se evita conectando el retorno el cual llevará el combustible de vuelta a los tanques de almacenamiento para su recirculación.

Para el caso de los combustibles gaseosos la configuración del cabezal es simple ya que los gases tienden a ocupar el volumen disponible por lo que el gas circula con una presión de expansión a lo largo de la línea de distribución, cuando se termina el volumen por recorrer el gas permanece estacionario; por lo que generalmente, no se requiere bomba de alimentación para dichos equipos al alimentarlos con combustibles gaseosos.

Para un control más óptimo de flujo en las ramificaciones se instalan válvulas de control de flujo para regular el caudal del fluido combustible que va a cada quemador de acuerdo a los instrumentos de medición de flujo instalados a la entrada del quemador como se muestra en la fig. 3.1 y 3.2; o bien otro método de regular el flujo es reduciendo el área del ducto principal de manera proporcional a la cantidad de flujo que debe pasar después de cada ramal de alimentación a quemadores; este método ya es poco común.



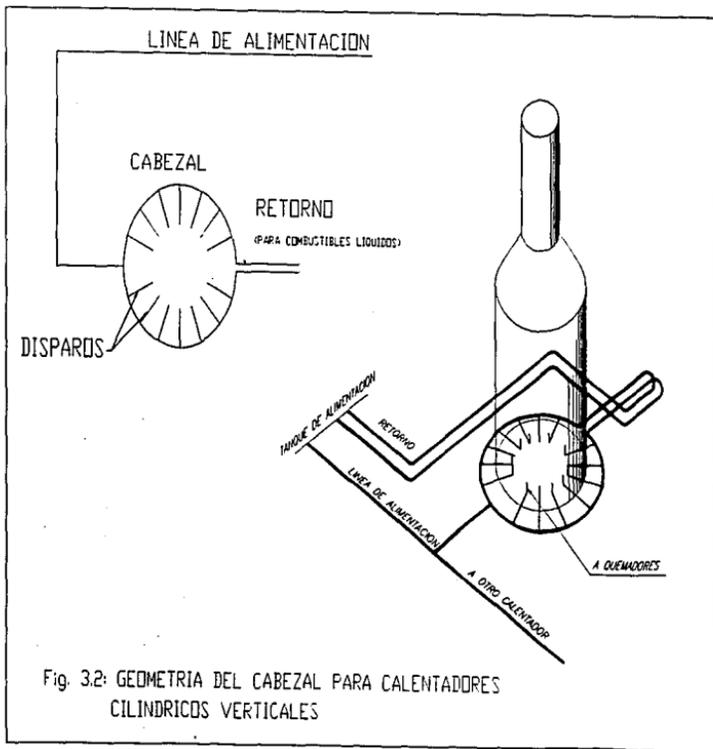


Fig. 3.2: GEOMETRIA DEL CABEZAL PARA CALENTADORES CILINDRICOS VERTICALES

## 3.3 ANÁLISIS HIDRAULICO

## CONCEPTOS BASICOS

Un análisis hidráulico; que es el que nos interesa en el presente trabajo, se inicia con un estudio en los cambios de presión en la línea principal a la cual se conectan las derivaciones necesarias dependiendo de los requerimientos de operación. Se vera a continuación como la velocidad y la presión presentan una interacción importante en una línea a elevación constante.



FIG. 3.3

Supóngase que se tiene en una tubería (fig. 3.3) que cambia su diámetro de un valor  $\varnothing_1$  a un valor  $\varnothing_2$  circula un flujo de fluido ideal; (es decir, incompresible y no presenta viscosidad) a caudal constante; resulta evidente que la cantidad de líquido que pasa por el punto 1 es la misma que en el punto 2, donde la reducción de área de la sección transversal del tubo se compensa con un aumento de la velocidad. por lo que si el gasto en el punto 1 es igual al punto 2, tomando la ecuación de continuidad tenemos que:

$$Q_1 = Q_2 = \text{CTE}$$

$$(\text{Ec. 3.3.1})$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{CTE} \quad (\text{Ec. 3.3.2})$$

Donde: Q = Caudal

A = Área transversal

V = Velocidad media del fluido

Ahora, si retomamos el teorema de Bernoulli que enuncia:

“En un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera”.

Tenemos que; siguiendo con la hipótesis de flujo incompresible ( $\rho = C$ ):

$$E_{c1} + E_{w1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{w2} + E_{p2} \quad (\text{Ec. 3.3.3})$$

Donde:  $E_w = mgh$  = energía potencial

$E_p = mP/\rho$  = energía de presión

$E_c = \frac{1}{2} mV^2$  = energía cinética

Esto es, que en forma desarrollada:

$$\frac{1}{2} mV_1^2 + mgh_1 + \frac{mP_1}{\rho} = \frac{1}{2} mV_2^2 + mgh_2 + \frac{mP_2}{\rho} \quad (\text{Ec. 3.3.4})$$

o bien,  $\gamma = \rho g$ , y dividiendo los dos extremos de la ecuación por  $m g$ , tenemos

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + \frac{P_2}{\gamma} \quad (\text{Ec. 3.3.5})$$

Esta última ecuación nos da un análisis en unidades de altura; si la ecuación (4) la multiplicamos por  $\rho/m$  tenemos:

$$\frac{\rho V_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 \quad (\text{Ec. 3.3.6})$$

Que nos da el análisis en unidades de presión.

Aplicando la ecuación de Bernoulli a la sección de tubo vemos que como la línea de corriente está a la misma altura en el punto 1 con respecto al punto 2, tenemos que la energía potencial es la misma. Por lo tanto tenemos:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} = \text{CTE} \quad (\text{Ec. 3.3.7})$$

Observando que si la reducción de área origina un aumento en la velocidad del fluido, lo cual mantiene la ley de continuidad en nuestro sistema, es necesario ahora para mantener nuestro equilibrio de energía que el aumento de la velocidad sea compensado con una reducción en nuestra energía de presión la cual se pierde en la contracción esto es:

Si  $V_1 > V_2$ , entonces:  $P_1 < P_2$ .

Hay que aclarar que la ecuación de Bernoulli solo es válida a través de una línea de corriente para un flujo de densidad constante, no viscoso y permanente (es decir, que en cualquier punto del espacio por donde circula el fluido, no varían con el tiempo las características de este (en particular su presión y velocidad)).

En la solución de problemas prácticos donde se involucran flujos reales, la ecuación de Bernoulli es de utilidad en el análisis de casos que comprenden dichos fluidos haciendo inicialmente caso omiso del efecto de corte viscoso para obtener resultados teóricos.

En un fluido real la viscosidad origina un rozamiento tanto del fluido con el contorno de la tubería, como entre las partículas del fluido entre las líneas de corriente; entonces; la ecuación de Bernoulli no se cumple. Pero naturalmente debe de cumplirse el principio de conservación de la energía o 1ª ley de la Termodinámica:

$$dq = du + Pdv + vdP + de_v + de_z + dw \quad (\text{Ec. 3.3.8})$$

Además de las tres clases de energía (potencial, presión y cinética), aparece la energía de fricción. La fuerza de fricción provoca una variación del estado térmico del fluido es decir, una variación en su energía interna  $du + Pdv$ . Para un fluido ideal, se considera que:

$dw = 0$  (El fluido no realiza ni absorbe trabajo).

$dq = 0$  (El fluido no absorbe ni emite energía calorífica).

Además, la Termodinámica enseña que, si suponemos al fluido sin viscosidad, y el proceso es reversible (es decir, que de las condiciones de energía y propiedades puede volver

ha ser las mismas que tenía en su condición inicial al final de un proceso), entonces tenemos que si:  $du + Pdv = dq$ ; pero  $dq = 0$ , entonces  $du + Pdv = 0$ .

Pero, para un fluido real tenemos que el cambio de energía interna específica del fluido no es cero ( $du \neq 0$ ) la cual se origina principalmente por la fricción y fuerzas moleculares (dependientes de  $P$ ,  $\rho$ , o  $T$ ). Si el sistema está aislado térmicamente del exterior (adiabático), se invierte en un incremento de la energía interna con un aumento de temperatura del fluido, con el consecuente aumento de volumen; si el sistema no es adiabático, la fricción se transforma en calor que se disipa al exterior. En hidráulica estas energías representadas por el calor  $q$ , energía interna  $du$ , etc., no pueden ser aprovechadas por lo que se consideran como una pérdida de energía.

Para el análisis práctico de cálculo de flujo en tuberías, el análisis puede realizarse considerando al fluido como incompresible lo cual nos puede dar resultados que pueden aproximarse a las condiciones reales. Esto es, si seguimos suponiendo que  $Pdv = 0$ , considerando al fluido adiabático ( $dq = 0$ ), con aumento en la temperatura del fluido y/o del medio exterior, y que el fluido no realiza ni absorbe trabajo tenemos que expresando en dimensiones de altura

$$\frac{V_1^2}{2g} + h_1 + \frac{P_1}{\gamma} - H_R = \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + \frac{P_2}{\gamma} \quad (\text{Ec. 3.3.9})$$

Para un fluido real - viscoso e incompresible, donde  $V_1$  y  $V_2$  son velocidades medias en los puntos 1 y 2.

$H_R$  son las pérdidas de energía entre los puntos 1 a 2. Para el método de análisis hidráulico utilizado en este estudio las pérdidas se tomaran como caídas de presión dentro del

sistema, para que a partir de ellas se calculen diámetros óptimos donde se tengan características estables en las propiedades principales del fluido.

### **PERDIDAS EN LINEAS DE DISTRIBUCION**

En el cálculo de las pérdidas de carga en tuberías, juegan un papel fundamental dos factores: El que la tubería sea lisa o rugosa y que el régimen sea laminar o turbulento.

Régimen de corriente se refiere a las condiciones de movimiento que siguen las partículas de un flujo de fluido. Un fluido observado a nivel macroscópico puede clasificarse como permanente, no permanente, uniforme y no uniforme, pero para un estudio más profundo de las causas que originan pérdidas hidráulicas en un sistema de tuberías, es necesario una clasificación más estricta que es clasificar al flujo por su comportamiento a nivel microscópico. Se clasifica al flujo de un fluido como de régimen laminar o de régimen turbulento y esto se refiere a la trayectoria que pueden presentar las partículas en un fluido en movimiento.

El movimiento en régimen laminar presenta un orden, el fluido se mueve en capas o láminas deslizándose una sobre otra adyacente con solo un intercambio molecular de cantidad de movimiento. El movimiento a régimen turbulento presenta a las partículas moviéndose en forma errática, en forma desordenada y las trayectorias de estas se entrecruzan formando pequeños remolinos aperiódicos.

El que un fluido sea laminar o turbulento depende de la interacción de ciertas variables. Si tenemos que dentro de un tramo de tubería circula un fluido, al aumentar el caudal, es necesario para respetar la ley de continuidad, que aumente la velocidad de este; esto

a primera vista haría cambiar el estado del flujo, lo cual en un principio nos llevaría a pensar que el tipo de régimen del flujo sería consecuencia del cambio de velocidad, pero debemos tomar en cuenta que la viscosidad es causante de esfuerzos cortantes dentro del fluido (que origina disturbios en el movimiento de sus partículas), y que el fluido tiene cierta densidad propia del mismo. Una forma se encontrar el tipo de régimen que presenta un fluido es utilizando lo que se conoce como número de Reynolds el cual relaciona las variables importantes para el movimiento de un fluido con viscosidad:

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (\text{Ec.3.3:10})$$

también

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{Ec. 3.3.11})$$

Para facilitar el calculo del No de Reynolds en los posteriores análisis, se utilizará la forma:

$$Re = \frac{6.311V'}{d\nu\mu} \quad (\text{Ec. 3.3.12})$$

Experimentalmente se tiene que:

- Para valores de  $Re \leq 2000$  el flujo es considerado como régimen laminar o flujo viscoso.
- Para valores  $Re = 0 \geq 2000$  se considera como un régimen turbulento.

El número de Reynolds es una relación de las fuerzas de inercia del flujo con respecto a la fuerza de viscosidad. Un número de Reynolds grande indica que la viscosidad tiene un influencia pequeña en su movimiento; y al contrario, si el número de Reynolds es pequeño, la viscosidad tiene un influjo grande en el movimiento del fluido.

### FACTOR DE FRICCIÓN

El factor  $f$  es un coeficiente de pérdida de carga que es de enorme importancia en el análisis de problemas de flujo dentro de tuberías; este factor es adimensional y por lo general esta en función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. Para un flujo laminar, el factor de fricción es una función del Reynolds debido a la alta influencia viscosa, por lo que no se considera factor importante la rugosidad relativa; pero, para un flujo turbulento con número de Reynolds elevado, el factor de fricción se vuelve además una función de la rugosidad relativa.

El coeficiente  $f$  se puede calcular tomando en cuenta el tipo de flujo que es; así, si tenemos un fluido a régimen laminar; el factor se puede calcular por:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Ec. 3.3.13})$$

Pero, para fluidos a régimen turbulento se debe utilizar una ecuación que involucre la rugosidad relativa; esta es la ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 3.3.14})$$

o bien:

$$f = \left( -2 \log \left[ \frac{\epsilon/d}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log \left( \frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{14.5}{Re} \right) \right] \right)^{-2} \quad (\text{Ec. 3.3.15})$$

Actualmente es posible obtener un valor aproximado del coeficiente de fricción de manera rápida mediante lo que se conoce como diagrama de Moody. Este diagrama gráfica los valores de  $f$  en función del número de Reynolds y rugosidad relativa. los valores de rugosidad absoluta para los tubos comerciales se determina por experimentación y conociendo el diámetro interior de la tubería se calcula la rugosidad relativa ( $\epsilon/d$ ) con la cual se busca en la gráfica. Este diagrama es muy versátil ya que es aplicable con tuberías de sección no circular sustituyendo el diámetro  $D$  por el diámetro hidráulico  $R_h$ :

$$R_h = (\text{Area transversal} / \text{Perímetro mojado}).$$

### ECUACION GENERAL DE PERDIDAS EN FLUJO DE FLUIDOS (ECUACION DE DARCY)

Como se ha visto, el flujo de flujo de un fluido dentro de una tubería va acompañado de un rozamiento de las partículas del fluido entre si así como, de un rozamiento contra las paredes del ducto, lo que da una pérdida de energía; es decir, existe una pérdida de presión en el sentido del flujo. Para analizar hidráulicamente estas pérdidas por fuerzas viscosas generalmente se usa la ecuación de Darcy-Weisbach; la cual calcula las pérdidas relacionando la longitud del tubo con cierto diámetro interior constante y a una velocidad promedio:

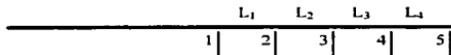
$$h_f = f \left( \frac{LV^2}{2gD} \right) \quad (\text{Ec. 3.3.16})$$

o bien:

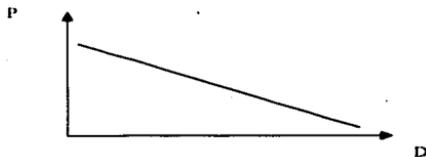
$$\Delta P = f \left( \frac{LV^2}{2gD} \right) \quad (\text{Ec. 3.3.17})$$

En general, una tubería se dimensiona en base a la caída de presión y a la velocidad que se requiera. La caída de presión en 100 pies (en lo sucesivo nos referiremos a unidades ingenieriles, que en su mayoría están basadas en el sistema inglés) es el criterio fundamental pero, se debe tomar en cuenta que la velocidad debe quedar también dentro de ciertos límites.

Así, en una línea de distribución donde existen ramificaciones, por lo general la presión de proceso disminuye conforme es más larga la línea. Si tenemos una tubería y graficamos la presión contra distancia:



Donde  $L_1=L_2=L_3=L_4$ .



La caída de presión dentro del cabezal principal se incrementará mientras más larga sea la línea principal. Esto es un problema ya que la presión de operación de los quemadores no debe variar por lo que si existe una gran caída de presión se tendrá que bombear a una presión de descarga mayor o mediante la apertura de la válvula de alimentación.

### 3.4 ANÁLISIS HIDRÁULICO

En el estudio se calculan las caídas de presión del fluido dentro de un sistema de alimentación existente a las condiciones requeridas por los quemadores

Así, el primer paso es dividir la línea en diferentes partes de tal manera que se pueda hacer el cálculo de las caídas de presión dentro de las diferentes tuberías que conforman la línea (véase fig. 3.4).

LÍNEA	DIÁMETRO
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN A QUEMADORES	4"
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN A CELDA	4"
CABEZAL A QUEMADOR	4"
DISPARO A QUEMADOR	¾"

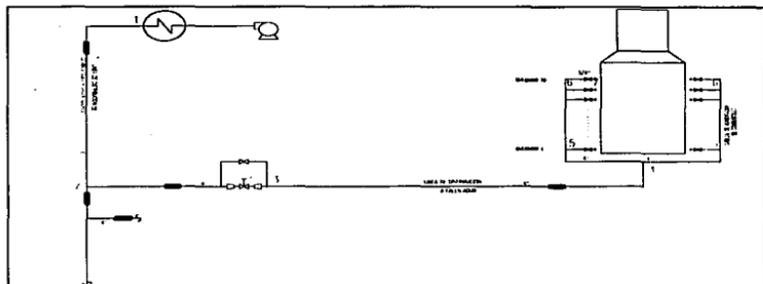


FIG. 3.4

Conociendo la longitud para cada una de las líneas obtenemos el valor de la caída de presión que existen dentro de cada tramo mediante las Ec. 3.3.9 y 3.3.16 aplicadas para cada una de las condiciones de caudal y longitud que se presentan. El estimar el valor de las pérdidas secundarias (exclusivamente en este caso) mediante un estimado en porcentaje de las pérdidas primarias se hace considerando a estas con un valor máximo del 10 % de las pérdidas obtenidas. Esto se hace debido a que estas pérdidas son relativamente pequeñas. Si es deseable el calcular las pérdidas secundarias se puede encontrar su valor mediante la ecuación:

$$h_s = k(l^2/2g) \quad (\text{EC. 3.3.18})$$

Donde  $k$  es un valor adimensional de pérdida de carga secundaria. Los valores de  $k$  son encontrados experimentalmente para los diferentes tipos de accesorios.

El calcular las caídas de presión por 100 ft de longitud implica una estimación conveniente para entender como puede comportarse el fluido dentro de una tubería de diámetro constante. Este cálculo se realiza aplicando la sig. ecuación:

$$\Delta P = 0.0216fp(Q^2/d^4) \quad (3.3.19)$$

El valor de la velocidad es calculada mediante la ecuación:

$$V = \frac{0.0509H'}{ds^2\rho} \quad (3.3.20)$$

El valor del coeficiente de fricción es calculado mediante el procedimiento anteriormente mencionado.

Encontrando este valor se puede calcular el valor de la presión en el cabezal utilizando el valor de presión requerida de operación y restándole las pérdidas, de esta manera se muestra si el quemador esta recibiendo o no la cantidad de flujo con la presión requerida.

Para efectuar el análisis hidráulico y los cálculos prácticos de dimensionamiento de tuberías es necesario contar con ciertos datos del fluido que se maneja y del tipo de tubería que se va a manejar. En los cálculos para dimensionamiento de líneas de distribución se utilizan criterios establecidos de ingeniería para velocidades y caídas de presión recomendadas para diferentes fluidos y condiciones de operación. En el Anexo I se muestra una lista con criterios de velocidad y caídas de presión para diferentes fluidos.

Cuando se debe modificar la línea para minimizar las pérdidas por fricción según la Ec. de Darcy, es necesario, o aumentar el valor del diámetro, o disminuir la velocidad o el factor de fricción (la longitud en un sistema de cabezal a quemadores no puede modificarse

por la longitud total establecida para el calentador, así como el valor de  $W$  requerido por los equipos). El valor de velocidad puede llegar a un límite (como en el caso del combustóleo o fluidos corrosivos). En este caso es recomendable calcular los diámetros en base a las condiciones preestablecidas de velocidad y caídas de presión.

A continuación se muestran diferentes formas de calcular el diámetro óptimo de una tubería

#### 1.- Dimensionamiento mediante velocidad recomendada.

Cuando el cálculo de la línea de distribución se basa en un criterio de velocidad, cuyo valor es especificado para mantener ciertas condiciones del fluido, el diámetro interno se calcula con la ecuación:

$$d_c = \left( \frac{0.0509 W}{\rho V} \right)^{0.5} \quad (\text{Ec. 3.3.21})$$

Como es difícil y costoso obtener una tubería con el diámetro calculado, el diámetro obtenido se redondea al diámetro interno comercial más próximo, superior o inferior, dependiendo de la cercanía a estos o en base a los criterios de velocidad y de  $\Delta P_{100}$ .

#### 2.- Dimensionamiento con $\Delta P_{100}$ recomendada:

En el caso en que se deba obedecer a una  $\Delta P_{100}$  para nuestra línea es necesario comenzar el dimensionamiento suponiendo un diámetro de tubería. Para evitar hacer suposiciones al azar, se debe efectuar un cálculo preliminar del diámetro tomando en cuenta

las variables del fluido y la  $\Delta P_{100}$  recomendada mediante la fórmula:

$$d = \left( \frac{W^{1.8} \mu^{0.2}}{20000 \rho (\Delta P_{100})} \right)^{0.2083} \quad (\text{Ec. 3.3.22})$$

Esto es válida solo para flujos con un Reynolds entre el rango:  $2100 < Re < 1 \times 10^6$ .

Se redondea el diámetro interno encontrado al diámetro interno comercial más próximo y este será el diámetro supuesto  $d_s$ .

Con este diámetro se realizan los siguientes cálculos:

Cálculo de velocidad: La velocidad es calculada con la ecuación 3.3. 20

Cálculo del número de Reynolds: Mediante la Ecuación 3.3.12

$$Re = \frac{6.31W}{d_s \mu}$$

Cálculo del factor de fricción:

a) Para fluido laminar: Mediante la Ec. 3.3.13

b) Para fluido turbulento: Mediante la Ec. 3.3.15

**Cálculo del diámetro:** El diámetro es calculado por la Ec.:

$$dc = \left( \frac{3.36 \times 10^{-4} f l v^2}{\rho \Delta P_{100}} \right)^{0.2} \quad (\text{Ec. 3.3.23})$$

Si  $dc$  es aproximadamente igual a  $ds$ , aproximar  $dc$  al diámetro interno comercial más cercano. Este será el diámetro correcto. Si  $dc$  no es aproximado a  $ds$ ; entonces, se reinicia el cálculo suponiendo otro  $ds$ .

#### Nomenclatura

- A = Área transversal
- d = Diámetro interno de la tubería, plg.
- dc = Diámetro calculado de la tubería, plg.
- ds = Diámetro supuesto de la tubería, plg.
- D ó D = Diámetro existente, plg.
- f = factor de fricción de Darcy, adimensional.
- g = Gravedad, ft/s<sup>2</sup>
- h = Altura, ft.
- H<sub>R</sub> = Pérdidas de energía, ft.
- h<sub>s</sub> = Pérdidas secundarias, ft.

- $k$  = Factor de pérdidas secundarias, adimensional.
- $m$  = Masa, lb.
- $P$  = Presión,  $\text{ft}/\text{plg}^2$
- $\text{Re}$  = Número de Reynolds, adimensional.
- $v$  = Volumen,  $\text{ft}^3$ .
- $V$  = Velocidad recomendada del fluido,  $\text{ft}/\text{s}$ .
- $V$  = Velocidad media del fluido,  $\text{ft}/\text{s}$
- $W$  ó  $W$  = Flujo,  $\text{lb}/\text{hr}$
- $\Delta P_{100}$  = Caída de presión en 100 ft. de tubo,  $\text{psi}$ .
- $\rho$  = Densidad del fluido,  $\text{lb}/\text{ft}^3$
- $\mu$  = Viscosidad absoluta del fluido,  $\text{Cp}$ .
- $\nu$  = Viscosidad cinemática,  $\text{Cp}$ .
- $\epsilon/d$  = Rugosidad relativa de un tubo, adimensional.

### 3.5 COMBUSTIBLES

Como se mencionó en el capítulo 1, para un aprovechamiento óptimo del poder calorífico de los gases de combustión que circulan por la sección de convección en un **CAFD**, los tubos en dicha sección presentan un arreglo adicional en su superficie de transferencia de calor mediante pernos o aletas. El ensuciamiento de dichos tubos aletados o birlados en los **CAFD**, se produce cuando el combustible utilizado para la generación de calor es quemado y los gases de combustión producidos pasan a través de ellos, dejando a su paso la ceniza, depósito e incrustaciones de sales metálicas; esto afecta enormemente la transferencia de calor hacia el fluido de proceso. Los componentes de los gases de combustión que contribuyen en gran escala al ensuciamiento son las cenizas y hidrocarburos no quemados, los elementos que contribuyen a la incrustación son elementos metálicos como el vanadio, níquel y sodio, finalmente el compuesto que contribuye a la corrosión es el azufre. Sin embargo, es de esperarse que en un gasa natural de refinería no se encuentre el azufre en cantidades significativas, menos compuestos metálicos. Son los combustibles líquidos los responsables del depósito de ceniza e incrustaciones.

Las principales propiedades de los combustibles líquidos son:

- Análisis químico
- Gravedad específica
- Viscosidad
- Punto de inflamación
- Carbón residual
- Contenido de ceniza
- Contenido de agua y sedimentos

— Temperatura de escurrimiento

En cuanto al análisis químico de un combustible, el cual es derivado del petróleo, este consiste en mezclas de hidrocarburos

El quemado de combustibles gaseosos no presenta mayor problema, sin embargo para los combustibles será necesario darles un tratamiento de precalentamiento antes de enviarlos al quemador, ya que a temperatura ambiente presentan una gran viscosidad, y así mismo atomizarlos para una mejor combustión.

Las tablas 3.1-3.7 muestran los poderes caloríficos típicos de combustibles gaseosos y líquidos, así como composición típica de cada uno.

TABLA No. 1 ANALISIS QUIMICO DE COMBUSTIBLES EN LOS E.U.A.

COMBUSTIBLES	PODER CALORIFICO Kcal/Kg (Kcal/l)	GRAVEDAD RELATIVA (1) AIRE <sup>3</sup> (2) AGUA <sup>4</sup>	COMPOSICION EN % PESO						
			C. DISPONIBLE TOTAL	H. DISPONIBLE	S.	O	N	CENIZAS	HUMEDAD
GAS <sup>1</sup>	12129	0.60 (1)	69.4 69.4	22.5	6	0	8.1	0	0
PROPANO <sup>2</sup>	15986 (6094)	1.555 (1)	81.6 81.6	18.4	0	0	0	0	0
BUTANO <sup>3</sup>	11562 (6833)	2.005 (1)	83.6 83.6	16.4	0	0	0	0	0
METANOL	5444 (4304)	0.791 (1)	18.8 37.5	12.5		50			
GASOLINA	11218 (8216)	0.733 (1)	85.5 85.5	14.4	0.1	0	0	0	0
KEROSINA	10791 (8784)	0.814 (1)	86.6 86.6	13.3	0.14				
DIASEL	10533 (9130)	0.865 (1)	87.3 87.3	12.5	0.21				
GASOLEO	10470 (9524)	0.910 (1)	86.4 86.4	11.6	1.99			0.018	0.2
COMBUSTIBLE No. 5	10506 (9987)	0.951 (1)	88.7 88.7	10.7	0.57 <sup>7</sup>			0.02	0.4
COMBUSTIBLE No. 6	10071 (10198)	1.013 (1)	88.3 88.6	9.3	0.85 <sup>7</sup>	0.7	0.3	0.04	0.2

1 Birmingham Al

2 Propano liquido tipico con peso de 4.24 lb/USgal, y butano liquido tipico con peso de 4.84 lb/USgal

3 Multiplicar este valor por 0.0765 para obtener lb/pe<sup>3</sup>, o 1.220 para obtener kg/m<sup>3</sup>.

4 Multiplicar este valor por 0.43 para obtener lb/pe<sup>3</sup>, o 1000 para obtener kg m<sup>3</sup>

5 En estado liquido, la gravedad especifica relativa al agua es 0.504 para el propano, 0.582 para el butano

6 El contenido de azufre es aproximadamente de 1 a 2% del gas en el pozo, pero este se reduce a menos de 8 ppm de su peso en su distribución

7 El contenido de azufre aproximado es de 0.4 a 3.5% dependiendo de la extracción, refinamiento y mezcla

ANALISIS HIDRALICO DEL COMPONENTE DISTRIBUIDOR DE COMBUSTIBLES

## PODERES CALORÍFICOS TÍPICOS DE COMBUSTIBLES GASEOSOS Y LÍQUIDOS.

TABLA 3.2 PODERES CALORÍFICOS DE COMBUSTIBLES

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO INF.	PODER CALORÍFICO SUP.
GAS NATURAL	8,205 kcal/m <sup>3</sup> est. (922 BTU/pie <sup>3</sup> est)	9,140 kcal/m <sup>3</sup> est (1,024 BTU/pie <sup>3</sup> est)
GAS L. P	11,000 kcal/kg (19,799 BTU/lb)	11,915 kcal/kg. (21,445 BTU/lb)
DIESEL	10,000 kcal/kg (18,000 BTU/lb)	10,680 kcal/kg (19,224 BTU/lb)
GASOLEO	9,935 kcal/kg (17,883 BTU/lb)	10,500 kcal/kg (18,900 BTU/lb)
COMBUSTOLEO	9,583 kcal/kg (17,250 BTU/lb)	10,111 kcal/kg (18,200 BTU/lb)

## Densidades de los combustibles:

Densidad relativa del gas natural: 0.6 (con respecto al aire).
Densidad relativa del gas L. P.: 0.56 (con respecto al agua).
Densidad del diesel: 0.865 kg/l @ 15.5 °C & 760 mm Hg
Densidad del gasóleo: 0.899 kg/l @ 15.5 °C & 760 mm Hg
Densidad del combustóleo: 0.982 kg/l @ 15.5 °C & 760 mm H

**COMPOSICION TIPICA DEL GAS NATURAL**

Tabla Composición típica elemental del gas natural

COMPONENTE	%MOL
BIOXIDO DE CARBONO	0.86
NITROGENO	0.30
METANO	95.71
ETANO	2.94
PROPANO	0.16
I-BUTANO	0.02
N-BUTANO	0.01

PESO MOLECULAR PROMEDIO: 16.8

**COMPOSICION TIPICA DEL GAS L. P.**

Tabla Composición típica elemental del gas L. P.

COMPONENTE	% PESO
N-PROPANO	30.00
N-BUTANO	70.00

PESO MOLECULAR PROMEDIO : 53.8

**COMPOSICION TIPICA DEL DIESEL**

Tabla Composición típica elemental del diesel

COMPONENTE	% PESO
CARBONO	84.60
HIDROGENO	9.70
AZUFRE	2.70
NITROGENO	1.00
AGUA	1.50
CENIZA	0.50

TABLA 3.3

**COMPOSICIÓN TÍPICA DEL GASÓLEO**

Tabla Composición típica elemental del gasóleo

COMPONENTE	% PESO
CARBONO	84.72
HIDROGENO	9.94
AZUFRE	2.84
NITROGENO	0.882
AGUA	1.20
CENIZA	0.418

**COMPOSICIÓN TÍPICA DEL COMBUSTÓLEO**

Tabla Composición típica elemental del combustóleo

COMPONENTE	% PESO
CARBONO	83.04
HIDROGENO	11.30
AZUFRE	4.20
NITROGENO	0.40
OXIGENO	0.46
AGUA Y SEDIMENTOS	-----
CENIZAS	0.60

Análisis típicos de carbón residual y sales metálicas en el combustóleo

COMPONENTE	% MÁXIMO	% MÍNIMO
CARBONO	15.0 Ramsbottom	7.0 Ramsbottom
VANADIO	246 ppm	
SODIO	70 ppm	
NIQUEL	37 ppm	

TABLA 3.4

## COMBUSTOLEO

COMPONENTE	CACTUS MADERO	MÉRIDA TUXPAN VALLADOLID MANZANILLO	CANGREJERA	MORELOS
CARBON	83.70	83.64	83.58	83.70
HIDROGENO	10.20	11.30	11.30	9.50
AZUFRE	4.15	4.20	4.20	3.50
NITROGENO	0.30	0.60	0.40	---
OXIGENO	0.70	0.26	0.46	---
AGUA	0.95	---	---	---
CENIZAS	---	0.06	0.60	---
OTROS	---	---	---	2.60
TOTAL	100.00	100.06	100.00	100.00

Análisis de sales metálicas de algunos combustibles a nivel nacional:

## COMBUSTOLEO DE MINATITLAN, VER. (REF. CONTRATO E-1089)

	% Máximo	% Mínimo
CARBON	15.0 R.B.	7.0
VANADIO	200 ppm	
SODIO	11 ppm	

TABLA 3.5

## COMBUSTOLEO DE SALINA CRUZ, OAX. (REF. CONTRATO E-1238)

	% Máximo	% Mínimo
CARBON	15.0 R.B.	7.0
VANADIO	350 ppm	
SODIO	11 ppm	

## COMBUSTOLEO DE TULA, HGO. (REF. CONTRATO E-1247)

	% Máximo	% Mínimo
CARBON	15.0 R.B.	7.0
VANADIO	246 ppm	
SODIO	70 ppm	
NIQUEL	37 ppm	

## COMBUSTOLEO DE CADEREYTA, N.L. (REF. CONTRATO E-1237)

	% Máximo	% Mínimo
CARBON	15.0 R.B.	7.0
VANADIO	200 ppm	
SODIO	11 ppm	

TABLA 3.6

#### **4. APLICACION DEL PROCEDIMIENTO A UN PROBLEMA PRACTICO**

## 4. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO A UN PROBLEMA PRACTICO

### 4.1 ANTECEDENTES

Petróleos Mexicanos-Refinación solicitó al Instituto Mexicano del Petróleo la realización de un "Estudio de mejoramiento de los quemadores y del cabezal de distribución en los hornos A-BA-1 y A-BA-2 de la planta primaria del sector No. 7, de la Refinería Miguel Hidalgo, Tula, Hgo., contrato FB-2434, a fin de sustituir los quemadores actuales por quemadores de bajo  $\text{NO}_x$  y alta eficiencia, con el propósito de cumplir con la normativa vigente NOM-ECOL-085 en cuanto a emisión de contaminantes, así como el análisis hidráulico del cabezal de distribución de combustible a los quemadores y la sustitución de alimentación de gas, combustóleo, vapor de atomización y gas a piloto por mangueras de tubería flexible.

### 4.2 OBJETIVOS

Los objetivos del estudio fueron los siguientes:

- a) Elaborar un estudio de mejoramiento del cabezal de combustible y la selección de quemadores de alta intensidad, bajo  $\text{NO}_x$  con registros de aire primario y secundario.
- b) Realizar la ingeniería básica y de detalle para la sustitución de quemadores en los calentadores A-BA-1 y A-BA-2 por quemadores de alta eficiencia y bajo  $\text{NO}_x$ , y para la modificación de los cabezales de distribución.

Una vez efectuados los cambios sugeridos y de poner en práctica las recomendaciones que se especifican en este reporte se resolverán los siguientes problemas operativos y de diseño de los calentadores A-BA-1 y A-BA-2.

- Excesivo calentamiento de paredes circundantes de los quemadores y partes de estos.
- Deformación de las placas soporte de quemadores.
- Desalineación de boquillas de combustibles.
- Incidencia de flama sobre la pared deflectora de radiación.
- Dificultades para el control de aire de combustión.
- Altos excesos de aire.
- Alta generación de contaminantes.
- Disminución de la eficiencia térmica de los calentadores.
- Mala distribución de combustible a quemadores.

#### 4.3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

El proyecto comprendió 3 etapas, las cuales se describen a continuación:

1a. Etapa.- Recopilación de información de campo y revisión física del equipo.

2a. Etapa.- Ingeniería básica que incluyó:

- a) Análisis del cabezal de distribución de combustible a los quemadores de los hornos.
- b) Estudio para la selección del tipo de quemador(es), número óptimo y capacidad.
- c) Elaboración de hojas de datos y especificaciones.

3a. Etapa.- Ingeniería de detalle que incluyó:

- a) Elaboración del paquete de requisición de los quemadores.
- b) Elaboración de planos de modificaciones mecánico-estructurales.

#### 4.4 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES POR ETAPA.

##### **1a. Etapa. Recopilación de información en campo y revisión física del equipo.**

Dentro de esta etapa se realizó una inspección física de los calentadores y de los cabezales de alimentación de combustóleo, a partir de la cual hacemos las siguientes observaciones.

No se localizó un termómetro bimetálico con termopozo a la salida del combustóleo, después del cambiador A-EA-91, que nos indique cual es la temperatura de entrega del mismo a los calentadores.

La línea de alimentación de combustóleo a los calentadores se encuentra aislada, llegando a los quemadores con un tamaño de 4" de diámetro, reduciendo cada alimentación a 3/4" y 1/2" por quemador.

No se encontraron identificados los instrumentos locales, tanto termómetros como manómetros por cada celda de los calentadores de acuerdo al DTI correspondiente de la planta.

El servicio de calentamiento de combustóleo de la planta presenta una operación normal, ya que el combustible esta llegando a los quemadores a 130 °C (266 °F).

Por lo que respecta al cabezal de alimentación de combustóleo, se encontró durante la inspección, para el calentador A-BA-2, que la presión a quemadores es de 2.5 kg/cm<sup>2</sup> man. (35 psig), pudiendo variar el control de ajuste de presión a través de las válvulas identificadas con los TAG'S Nos. PV-125C y PV-118, lo cual será necesario ya que de acuerdo a la curva de liberación contra presión de combustibles para las diferentes opciones de tipos de quemadores que se tienen para sustituir los actuales, se podrían requerir presiones de suministro de combustóleo hasta de 10.5 kg/cm<sup>2</sup> (150 psig).

**2a. Etapa.- Ingeniería básica.**

**Análisis hidráulico del cabezal de distribución de combustible a los quemadores de los hornos.**

En la figura 4.1 se presenta un diagrama del cabezal de distribución de combustible a quemadores, típico para los calentadores A-BA-1/2.

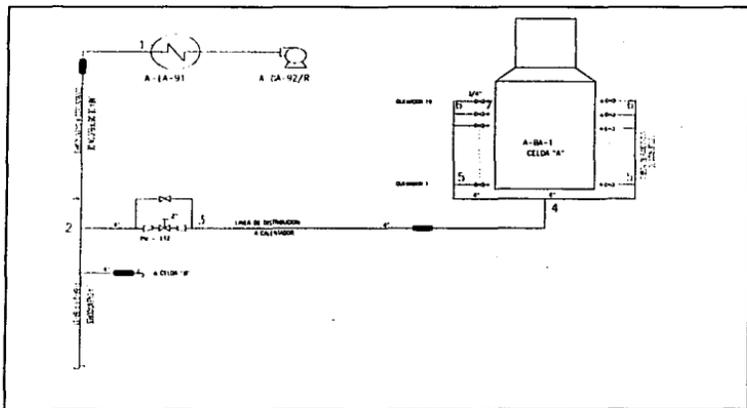


Fig. 4.1

Esta etapa del proyecto es derivada de las observaciones por parte de personal de campo en el sentido de que existe una operación irregular en los quemadores de un mismo cabezal. Este desbalance en la operación se incrementa a medida que se avanza a lo largo del cabezal del calentador por lo que entre el quemador No. 1 y el No. 19 la diferencia es aún más acentuada. Personal de campo nos indicó que aparentemente este problema es generado por un alto gradiente de presión existente en el cabezal, probablemente a causa de una configuración inadecuada de la línea de distribución.

Debido a esto se analizó hidráulicamente el sistema de distribución de combustóleo en su totalidad para determinar la causa que está generado este problema. Este análisis incluyó la revisión de:

1. Configuración de la línea.
2. Diámetro de cada una de las tuberías que integran la línea de distribución.
3. Caída de presión en el cabezal de distribución a quemadores.
4. Válvula de control de la línea de distribución de combustóleo a los calentadores.

Una vez concluido el análisis se determinó que el sistema de distribución de combustóleo hidráulicamente fue diseñado correctamente para las condiciones de operación de los quemadores; a continuación se indican las razones:

a) En primer término, con la información recopilada en campo se revisó la configuración del sistema de distribución ya que por los cabezales debe circular el mismo flujo de combustible para garantizar que a cada quemador llegará la misma cantidad de éste. Esto se logra si los cabezales son simétricos con respecto a la línea de alimentación de combustible a cada calentador (punto 2 del diagrama).

Con el levantamiento que se efectuó del sistema de distribución, se verificó que efectivamente se cumple con este requerimiento de simetría, por lo que la configuración del sistema es adecuada para el correcto funcionamiento de los quemadores y es posible realizar el análisis hidráulico considerando que por cada cabezal circula la misma cantidad de combustible.

b) El diámetro de cada una de las tuberías que integran el sistema es el adecuado ya que cumplen con los requerimientos de caída de presión, de velocidad de flujo y de cantidad de flujo (2.25 a 3 veces el requerido por quemador) que por criterios de ingeniería se establecen, a excepción de la tubería del cabezal de distribución a quemadores, cuyo diámetro económico debe ser de 3 pulg. y no de 4 pulg. que es lo que actualmente tiene. Sin embargo, al tener la tubería un diámetro de 4 pulg. se está reduciendo el gradiente de presión en ella y de esta forma la presión del combustible que llega al quemador No. 19 es más próxima a la que llega al No. 1. Esta diferencia sería mayor si el diámetro fuera de 3 pulg (ver tabla 1).

c) La caída o gradiente de presión en el cabezal de combustible entre el quemador No. 1 y el No. 19 es menor a  $0.5 \text{ lb/pulg}^2$ , siendo que actualmente cada uno de ellos requiere para

TABLA 4.1. VELOCIDAD Y CAIDA DE PRESION EN LINEAS DE DISTRIBUCION DE COMBUSTOLEO

LINEAS	DESCRIPCION	DIAMETRO	V	$\Delta P_{100}$	DIAMETRO	DIAMETRO	V	$\Delta P_{100}$	$V_{FERM}$	$\Delta P_{100FERM}$	OBSERV.
		ACTUAL	(PIES/S)	(PSI)	OPTIMO	COMERCIAL	(PIES/S)	(PSI)	(PIES/S)	(PSI)	
CO-4405-2 A2A CO-4405-3 A2A	LINEA DE DISTRIBUCION A CALENTADORES	4"	3 66	0 87	4 52"	6"	1 61	0 13	10	0 5	NOTA 1
CO-4405-2 A2A CO-26A01 A2A CO-4405-3 A2A CO-26B01 A2A	LINEA DE DISTRIBUCION A CELDA	4"	1 83	0 26	3 51"	4"	1 83	0 26	10	0 5	NOTA 2
IDEM	CABEZAL A QUEMADORES	4"	0 92	0 06	2 73"	3"	1 58	0 29	10	0 5	NOTA 3
CO-48B01/76 CO-48A01/77	DISPARO A QUEMADORES	3/4"	0 47	0 77	0 91"	1"	0 29	0 29	10	0 5	NOTA 4

NOTAS:

- 1 - El haber seleccionado un diámetro de 4" de la línea se está economizando en cuanto a costo de tubería y accesorios; por otro lado el diámetro óptimo de 4 52" está más cerca de 4" que de 6", por lo cual el diámetro actual es tolerable
- 2 - El diámetro actual es el óptimo
- 3 - El diámetro actual no es el óptimo, sin embargo se tiene una caída de presión más baja en esta línea que con un diámetro de 3". Esto favorece que se presente una operación más similar en los quemadores.
- 4 - El diámetro actual no es el óptimo, sin embargo puede tolerarse ya que éstos disparos son de una longitud muy corta (menor a 2 metros) y la boquilla de conexión del quemador es de 1/2".

su operación, a liberación máxima, una presión de 50 lb/pulg<sup>2</sup>; como puede notarse este gradiente representa menos del 1% de la presión que requiere el quemador para operar.

Es decir, la caída de presión en el cabezal no representa problema alguno para el funcionamiento eficiente y similar de los quemadores

Por otro lado los disparos a cada quemador cuentan con una válvula de compuerta de 3/4 de pulg. cuya finalidad es compensar esta diferencia, de tal forma que la presión del combustible que se alimenta a todos y cada uno de los quemadores sea prácticamente la misma.

d) Al revisar la válvula de control se determinó que su capacidad es la óptima para controlar eficientemente la presión y el flujo para las condiciones de operación de los calentadores, ya que para liberación normal, el porcentaje de apertura de la misma está entre el 60 y el 70%.

Como se indicó anteriormente, en base a este análisis se determinó que el sistema de distribución de combustible está diseñado correctamente para las condiciones de operación de los actuales quemadores y en consecuencia de los calentadores A-BA-1/2. Por lo que si se siguen las recomendaciones indicadas en el inciso 5, el sistema no debe presentar problema alguno en su operación.

Por otro lado, debido a que los quemadores existentes actualmente se cambiarán por quemadores de alta eficiencia y bajo  $\text{NO}_x$ , se analizó el sistema de distribución de combustóleo para las nuevas condiciones de operación del equipo, concluyéndose que no es necesario modificar el arreglo de ninguna de las líneas ya que cumplen satisfactoriamente con los requerimientos que por criterios de ingeniería se exigen para su eficiente operación; a excepción de los disparos de combustóleo para alimentación a quemadores; sin embargo, este cambio se debe a que uno de los objetivos del proyecto es la colocación de mangueras flexibles para alimentación de combustóleo, alimentación de gas combustible, vapor de atomización y gas a piloto.

#### **Elección del tipo de quemador(es), número óptimo y capacidad.**

Dentro de esta etapa se hizo la hoja de especificaciones para quemadores de acuerdo a las necesidades de liberación térmica requerida para la operación óptima del Calentador, por lo cual se consultaron cuatro proveedores, solicitando la información técnica y recomendación del quemador que se adapte a las necesidades operativas para los calentadores de acuerdo a las hojas de especificaciones dadas por el IMP.

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO**
**HOJAS DE DATOS**

 SUBDIRECCION DE TRANSFORMACION INDUSTRIAL  
 DIVISION DE ANALISIS ENERGETICO

**QUEMADORES**

CLIENTE: PETROLEOS MEXICANOS/ IMP  
 PLANTA: PLANTA PRIMARIA SECTOR 7  
 LOCALIZACION: REFINERIA "MIGUEL HIDALGO, TULA, HGO.  
 CLAVE DEL EQUIPO: CALOR TOTAL LIBERADO / CALENTADOR "10" kcal/m (NOR/DIS) 287.12/369.14

CLAVE: PROYECTO HOJA 1 DE 1  
 FECHA: No. DE CALENTADORES A-BA-1/A-BA-2  
 SERVICIO: COMBUSTOLEO

**DATOS DEL QUEMADOR**

FABRICANTE:  
 TIPO Y TAMAÑO: PROVEEDOR  
 No. DE QUEMADORES / CALENTADOR: 19  
 LOCALIZACION: PARED  
 RELACION LIB. MAX/MIN: 1:3.21  
 TIPO DISP. EN QUEMADORES mmH<sub>2</sub>O: 0.45 MAX  
 PERDIDA DE TIPO EN EL QUEMADOR mmH<sub>2</sub>O: (1)  
 MATERIAL DEL BLOQUE DE LA GARGANTA: (1)  
 AP. A TRAVES DE LA BOQUILLA kg/cm<sup>2</sup>: (1)

**VAPOUR DE ATOMIZACION**

FLUJO kg/h: 104 MAX. PARA CADA QUEMADOR  
 PRESION MAX/MIN kg/cm<sup>2</sup>: DISPONIBLE REQUERIDA  
 NORMAL: 270 (1)  
 MIN/MAX: (1)  
 TEMPERATURA °C: DISPONIBLE REQUERIDA  
 MAX/MIN: (1)  
 NORMAL: 617 (1)  
 MIN/MAX: (1)

**CALOR LIBERADO POR QUEMADOR**

MAXIMO (10<sup>6</sup> kcal/h): 6.071  
 NORMAL (10<sup>6</sup> kcal/h): 3.778  
 MIN/MAX (10<sup>6</sup> kcal/h): 3.889

**CARACTERISTICAS DEL COMBUSTIBLE**

TIPO DE COMB.: COMBUSTOLEO GAS  
 PCI (kcal/kg lig. / kcal/m<sup>3</sup> gas): 170 95.7  
 RELACION W/C: PESO ESP. 74 5756  
 VISCOSIDAD A °C (cp): 40  
 PESO MOLECULAR: 16.5  
 PRESION DISP. REQ. Kg/cm<sup>2</sup>: 100 90  
 TEMP. DISP. REQ. °C: 120 60

NIVEL DE RUIDO MAX. PERMISIBLE 0.00 dBA a 0.00 m  
 NIVEL REAL DE RUIDO A m DE LA FUENTE

FRECUENCIA dBA  
 (1) (1)  
 (1) (1)  
 (1) (1)  
 (1) (1)

**COMPOSICION**

COMBUSTOLEO (2) GAS 2  
 % PESO % MOL

DISPOSITIVO PARA ABATIMIENTO DE RUIDO  
 PERDIDA DE TIPO EN EL QUEMADOR mmH<sub>2</sub>O  
 TIPO DE AISLAMIENTO ACUSTICO

**DISTANCIA MINIMA C-QUEMADOR C-TUBO**  
 HORIZONTAL (m): 3.05 CENTRO DE QUEMADOR  
 VERTICAL (m): 3.05 CENTRO DE QUEMADOR

**CARACTERISTICAS DEL PISO DEL CALENTADOR**  
 ESPESOR mm: 20  
 MATERIAL: 15

**DATOS DE LA FLAMA**

CONDICIONES LONGITUD (m) DIAMETRO (m) DETALLES  
 MAXIMA 7.0 (1) V (ppm p) C2  
 NORMAL (1) (1) Fe (ppm p) C3  
 MIN/MAX (1) (1) Cu (ppm p) C3+

**DATOS DEL PILOTO**

NUMERO 1 PARA CADA QUEMADOR Ni (ppm p) HERTZ  
 TAMAÑO 6 O SEMEJANTE Na (ppm p) H2S ppm v  
 TIPO PT R-SH

CONSUMO DE GAS Nm<sup>3</sup>/h: 30 EN ACORDE CON LOS VALORES DE LIBERACION TERMICA MAS BAJA DE GAS

**NOTAS:**

- (1) DEBERA SER COMPLETADA POR EL PROVEEDOR
- (2) ADECUADA A QUEMAR 100% DE COMBUSTOLEO O 100% DE GAS CON AIRE AMBIENTAL
- (3) ADECUADO VALOR PARA COMBUSTOLEO
- (4) DATOS PENDIENTES

REV.	FECHA	0	1	2	3	4
FOR						
APR						

**NOTAS:**

(5) COMBUSTIBLE A QUEMADOR: CADA QUEMADOR PUEDE SER ALIMENTADO DE MANERA DUAL; ES DECIR, QUE PUEDE SER ALIMENTADO CON UN 100% DE COMBUSTIBLE O CON 100% DE GAS.

(6) EL PROVEEDOR DEBERA ESPECIFICAR Y GARANTIZAR EL VALOR ESPERADO EL VALOR DE PT, CO<sub>2</sub> Y CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS NO QUEMADOS PARA AMBOS COMBUSTIBLES.

(7) EL PROVEEDOR DEBERA ESPECIFICAR EL NIVEL DE NO<sub>x</sub> PARA 0.7 % EN PESO DE NITROGENO ORGANICO EN EL COMBUSTIBLE.

(8) LAS EMISIONES DEL QUEMADOR NO DEBERAN SER MAS GRANDES QUE LAS INDICADAS EN LA NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-ECOL-85, VIGENTE A LA FECHA DE COMPRA.

(9) CAPACIDAD DEL QUEMADOR: EL PROVEEDOR DEBERA AÑADIR LAS CURVAS DE LA CAPACIDAD ENERGETICA DEL QUEMADOR PARA AMBOS COMBUSTIBLES.

(10) DIBUJOS DEL QUEMADOR: EL PROVEEDOR DEBERA FACILITAR LOS PLANOS DE QUEMADORES PARA LAS POSIBLES ADAPTACIONES DENTRO DE LOS CALENTADORES.

(11) LAS PRUEBAS AL QUEMADOR PARA EL CLIENTE DEBERAN ESTAR ASENTADAS EN ACORDE CON DATOS REPRESENTATIVOS PARA CONDICIONES PREVIAMENTE PROBADAS, PARA LOS MISMOS QUEMADORES EN CONDICIONES SIMILARES.

(12) EL PROVEEDOR DEBERA PROPORCIONAR CON CADA QUEMADOR UN JUEGO DE CINCO MANGERAS FLEXIBLES; DOS PARA GAS COMBUSTIBLE; UNA PARA COMBUSTIBLE; UNA PARA VAPOR DE ATOMIZACION Y UNA PARA GAS A PILOTOS EN ACERO AL CARBON CUBIERTO CON ACERO INOXIDABLE TIPO 304.

**3a. Etapa.- Ingeniería de detalle.**

**Elaboración del paquete de requisición de los quemadores.**





# BORRADOR TECNICO

<b>LOS ARTICULOS SOLICITADOS</b> SE USARAN EN: PLANTA COMBINADA, REFINERIA MIGUEL HIDALGO, TULA DE ALLENDE, HIDALGO. <b>ENVIAR</b> <b>FECHA DE</b> <b>POR VIA</b> <b>ENTREGA REQ.</b>  <b>ALMACEN:</b> <b>CLAVE</b>	<b>REQUISICION</b>	<b>No. ASIGNACION</b> <b>FECHA</b>  / /  <b>HOJA 3 DE 7</b>  <b>DEPENDENCIA SOLICITANTE:</b>
--	--------------------	--

					16.- EL PROVEEDOR DEBE SUMINISTRAR TODOS LOS QUEMADORES PROTEGIDOS EXTERIORMENTE CON UN RECUBRIMIENTO PRIMARIO DE CROMATO DE ZINC, DE ACUERDO A LA ESPECIFICACION RP-2.74 DE LA PRACTICA DE INGENIERIA EACA-003 DEL IMP (PREVIA LIMPIEZA MANUAL DE ACUERDO A LA ESPECIFICACION LM.74) Y MARCADOS PARA SU IDENTIFICACION CON PINTURA DE ESMALTE BLANCA.
					17.- INFORMACION QUE DEBE PROPORCIONAR EL PROVEEDOR EN SU COTIZACION :
					17.1 - INDICAR LAS ESPECIFICACIONES, DE ACUERDO A CODIGOS, BAJO LAS CUALES SE VAN A FABRICAR :  A) BOQUILLAS DE GAS.  B) BOQUILLAS DE COMBUSTOLEO.  C) CAÑON.  D) PILOTO
					17.2 - INDICAR MARCA, TIPO Y MODELO DE QUEMADORES COTIZADOS.

<b>COSTO ESTIMADO</b> <b>NS</b> <b>No. DE APROBACION:</b>  <b>FECHA:</b> /    /	<b>PART. PRESUP.</b>   <b>N. P. CUENTA</b>	<b>INGENIERIA PARA LA SUSTITUCION DE LOS QUEMADORES Y ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CABEZAL DE DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE A LOS MISMOS, EN LOS HORNOS A-BA-1/A-BA-2 DE LA PLANTA PRIMARIA DEL SECTOR No 7 DE LA REFINERIA MIGUEL HIDALGO, EN TULA HGO.</b>
---	---	--



# BORRADOR TECNICO

<b>LOS ARTICULOS SOLICITADOS SE USARAN EN:</b> PLANTA COMBINADA, REFINERIA MIGUEL HIDALGO, TULA DE ALLENDE, HIDALGO <b>ENVIAR FECHA DE ENTREGA REQ.</b> / / <b>ALMACEN: CLAVE</b>	<b>REQUISICION</b>	<b>No. ASIGNACION</b> <b>FECHA</b> / / HOJA 5 DE 7 <b>DEPENDENCIA SOLICITANTE:</b>
--	--------------------	---

					17.3. PROPORCIONAR, PARA EL QUEMADOR COTIZADO, LA INFORMACION SIGUIENTE:  A) PORCIENTO DE EXCESO DE AIRE REQUERIDO PARA EL GAS COMBUSTIBLE.  B) PORCIENTO DE EXCESO DE AIRE REQUERIDO PARA COMBUSTOLEO.  C) LONGITUD MAXIMA DE FLAMA VISIBLE.  D) DIAMETRO MAXIMO DE FLAMA VISIBLE.  E) CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMISIBLE DEL AIRE EN EL QUEMADOR CUANDO QUEME GAS.  F) CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMISIBLE DEL AIRE EN EL QUEMADOR CUANDO QUEME COMBUSTOLEO.  G) TEMPERATURA REQUERIDA DEL COMBUSTOLEO EN QUEMADORES.  H) TEMPERATURA REQUERIDA DEL GAS COMBUSTIBLE EN QUEMADORES.  I) PRESION REQUERIDA DEL COMBUSTOLEO EN QUEMADORES.  J) PRESION REQUERIDA DEL GAS COMBUSTIBLE EN QUEMADORES.  K) NIVEL DE RUIDO DE LOS QUEMADORES.  L) CANTIDAD DE PILOTOS POR QUEMADOR.  M) TAMAÑO DEL PILOTO DEL QUEMADOR.  N) TIPO DE PILOTO.  O)
<b>COSTO ESTIMADO NS</b> No. DE APROBACION:			<b>PART. PRESUP.</b> _____ _____ <b>N. P. CUENTA</b> _____ _____	<b>INGENIERIA PARA LA SUSTITUCION DE LOS QUEMADORES Y ESTUDIO PARA EL MEJORAMIENTO DEL CABEZAL DE DISTRIBUCION DE COMBUSTIBLE A LOS MISMOS, EN LOS HORNOS A-BA-1/A-BA-2 DE LA PLANTA PRIMARIA DEL SECTOR No 7 DE LA REFINERIA MIGUEL HIDALGO, EN TULA HGO</b>	
<b>FECHA:</b> /      /					





**Elaboración de planos de modificaciones mecánico - estructurales.**

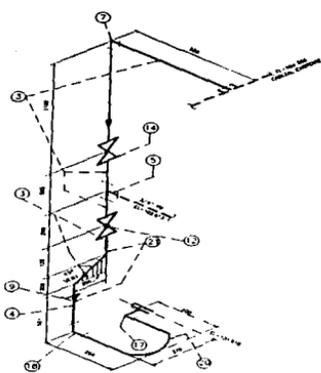
A continuación se anexan los planos de las modificaciones mecánico - estructurales en los disparos de alimentación de combustóleo requeridas, así como en la placa y en el refractario donde se colocarán los quemadores.

**4.5 RECOMENDACIONES**

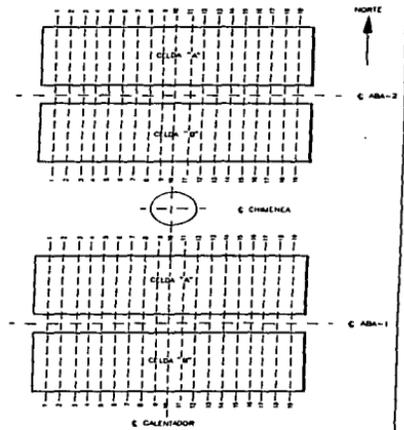
Para garantizar que la presión del combustóleo que se alimenta a los quemadores de los calentadores A-BA-1/2 sea prácticamente la misma, y en consecuencia que no se presenten diferencias operativas en los quemadores, se hacen las siguientes recomendaciones:

1. La presión del combustóleo después de las válvulas de control PV-112, PV-113, PV-118 y PV-119 (punto 1 del diagrama), debe ser aproximadamente la requerida para la liberación de operación el quemador seleccionado más 5 psig.
2. De acuerdo a diseño, la bomba que actualmente está instalada puede garantizar que la máxima presión del combustóleo después de la válvula de control sea de 105 psig aproximadamente, la cual es suficiente para las condiciones de operación normal de los quemadores recomendados en esta etapa.





**ISOMETRICO #2 (NOTA 5)**  
 ARREGLO TÍPICO DE INTERCONEXIÓN DE LA  
 TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.



PLANTA DE LOCALIZACIÓN DE QUEMADORES

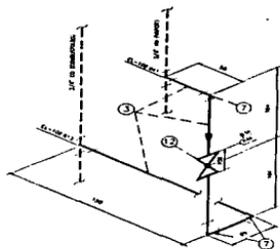
PLANTA COMBINADA N°2

TULA, HGO.

NUEVO ARREGLO DE RAMALES DE ALIMENTACIÓN A  
 QUEMADORES DEL ABA-1/2.

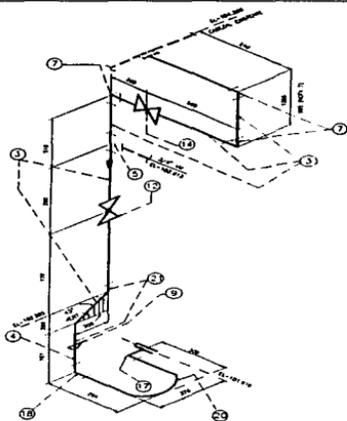
E.S.C. SIN  
 ACOF. EN: mm

PLANO 4.2



**ISOMETRICO #5 (NOTA 5).**

ARREGLO TÍPICO DE INTERCONEXIÓN ENTRE  
LINEAS DE VAPOR Y COMBUSTIBLEO.



**ISOMETRICO #4**

ARREGLO DE INTERCONEXION DE LA TUBERIA DE ALIMENTACION DE  
COMBUSTIBLEO PARA QUEMADORES 1, 2 Y 3 DE LA CELDA "A" LADO  
NORTE ABA-2 Y CELDA "B" LADO SUR DEL ABA-1 (VER PLANTA DE  
LOCALIZACION DE QUEMADORES).

PLANTA COMBINADA Nº2

TULA, HGO.

NUEVO ARREGLO DE RAMALES DE ALIMENTACION A  
QUEMADORES DEL ABA-1/2.

ESC.: SIN  
AC01 Efl. mm

PLANO 4.3

LISTA DE MATERIALES

PART. NO.	DESCRIPCION	MATERIAL	UNIDAD
1	TUBO #1" EXT PLANOS 5/8 C/D 25	A-106 Gr. B	
2	TUBO #3/4" EXT INS 5/8 C/D X S	ITEM	
3	TUBO #3/4" EXT PLANOS 5/8 C/D 3	ITEM	
4	TUBO #1/2" EXT PLANOS 5/8 C/D 3	ITEM	
5	1" TUBO DE #3/4" 3000 #	A-106	
6	CODO DE 90° #1" #1" 3000 #	ITEM	
7	CODO DE 90° #1" #3/4" 3000 #	ITEM	
8	RED INS 1" x 3/4" 3000 #	ITEM	
9	RED INS 3/4" x 1/2" 3000 #	ITEM	
10	VALV. GLOBO DE #1" 800 # S/W	ITEM	
11	VALV. MACHO DE #1" 800 # S/W	ITEM	
12	VALV. GLOBO DE #3/4" 800 # S/W	ITEM	
13	VALV. MACHO DE #3/4" 800 # S/W	ITEM	
14	VALV. COMP. DE #3/4" 800 # S/W	ITEM	
15	CONEX. HEMERA DE #3/4" TIPO 150012-12-93	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
16	CONEX. HEMERA DE #1/2" TIPO 150008-12-93	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
17	CODO DE 90° #1/2" TIPO 1525UR-12-93	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
18	CODO DE 90° #1/2" TIPO 150008-12-93	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
19	MANGUERA FLEXIBLE DE #3/4" TIPO R122-12	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
20	MANGUERA FLEXIBLE DE #1/2" TIPO R122-9	VER CATALOGO DE REF. EN TABLA 3	
21	CODO DE 45° #3/4" 3000 #	A-106	

NOTAS:

- 1.- ACOTACIONES EN MILIMETROS Y ELEVACIONES EN METROS.
- 2.- CUANDO LOS QUEMADORES DEBEN OPERAR CON COMBUSTIBLE INMEDIATAMENTE DEBERA EFECTUARSE UN BARRIDO CON VAPOR PARA ELIMINAR LA ACUMULACION DE COMBUSTIBLE EN LAS MANGUERAS FLEXIBLES.
- 3.- LAS PARTIDAS DE LA N°15 A LA N°20 ESTAN REFERIDAS AL CATALOGO 129 TITELFLEX "FLEXIBLE HOSE PRODUCTS".
- 4.- LAS ELEVACIONES DE LOS CABECERAS DE ALIMENTACION DE VAPOR, GAS Y COMBUSTIBLE ESTAN DADAS DE ACUERDO AL DISEÑO ORIGINAL.
- 5.- EL NUEVO ARREGLO DE INTERCONEXION, TAL COMO SE MUESTRA ES TIPICO PARA CADA QUEMADOR (EXCEPTO DONDE SE INDIQUE OTRA COSA) Y CORRESPONDE AL LADO NORTE DE CADA CELDA PARA LAS CELDAS LOCALIZADAS HACIA EL LADO SUR DICHO ARREGLO ES OPUESTO.
- 6.- EL DIMENSIONAMIENTO DEL NUEVO ARREGLO DE INTERCONEXION SE REALIZO TOMANDO COMO BASE QUEMADORES TIPO "PLNFC-20M" JOHN CHIK POR LO QUE EN CASO DE QUE SE INSTALE OTRO TIPO DE QUEMADOR DICHAS DIMENSIONES DEBERAN AJUSTARSE EN CAMPO.
- 7.- ESTA DIMENSION APLICA UNICAMENTE PARA LA TUBERIA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE DE LOS QUEMADORES 1, 2 Y 3 DE LA CELDA "B" LADO SUR ABA-1.
- 8.- LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE Y VAPOR DEBERAN PROTEGERSE CON AISLAMIENTO DE ACUERDO AL TIPO Y ESPESOR POR DISEÑO.
- 9.- LOS DISPAROS DE LOS RAMALES HACIA LOS QUEMADORES DEBERAN LOCALIZARSE EN LOS PUNTOS ACTUALES DE CONEXION SOBRE LOS CABEZALC.
- 10.- LAS DIMENSIONES DE LAS MANGUERAS QUE SE INDICAN EN LOS ISOMETRICOS, SON LAS MINIMAS REQUERIDAS POR TIPO.
- 11.- LOS TRAMOS DE TUBOS QUE CONECTAN A ELEMENTOS TIPO HEMERA (PARTIDAS N°15 Y 16), AGUJEROS DEBERAN SUMINISTRARSE CON UNO DE SUS EXTREMOS CON CUERDA DE 1" DE LONGITUD.

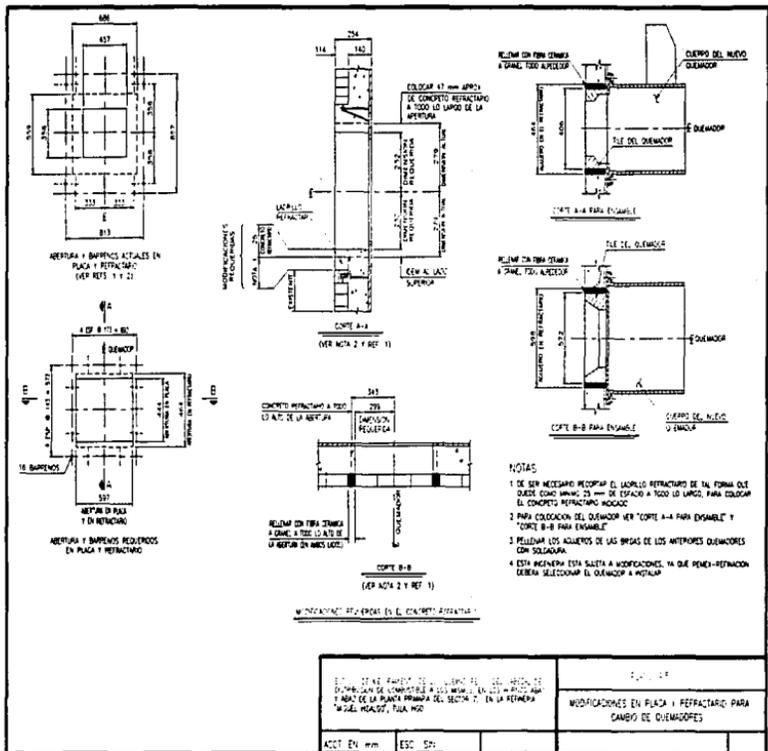
PLANTA COMBINADA N°2

TULA, HGO

NUEVO ARREGLO DE RAMALES DE ALIMENTACION A QUEMADORES DEL ABA-1/2.

ESC SIN  
A:01 ETE:mm

PLANO 4.4



En caso de que el quemador seleccionado requiera de una mayor presión, será necesario efectuar modificaciones al sistema de bombeo para adecuarse a los requerimientos del tipo de quemador seleccionado.

3. Se debe garantizar un mínimo de partículas finas en el combustóleo, conservando el mantenimiento de la unidad paquete de tratamiento y suministro del mismo.

4. En las tuberías que conducen el combustóleo pueden producirse incrustaciones y en algunos casos esto puede llegar a afectar las condiciones de operación de la línea, lo que puede hacerse más crítico cuando las tuberías son de diámetro pequeño, como es el caso de los disparos de alimentación a quemadores que son de 3/4 pulgada de diámetro; por lo que se recomienda continuar con la limpieza periódica de estas líneas por medio de vapor, utilizando el "by-pass" que para tal efecto está colocado en cada una de ellas.

#### **OBSERVACIONES GENERALES.**

Las siguientes observaciones son derivadas de la inspección que se efectuó a los calentadores A-BA-1/2:

1. Instalar un termómetro bimetalico con termopozo en la línea de combustóleo a la salida del cambiador A-EA-91.

2. Colocar el TAG respectivo a todos los instrumentos locales, tanto manómetros como termómetros por cada celda de los calentadores, de acuerdo al DTI correspondiente de la planta.

3. Actualmente se tienen instalados filtros simples (SIMPLEX) antes de la succión de las bombas A-GA-92/R por lo que se recomienda sean sustituidos por filtros dobles (DUPLEX), con fácil acceso para remover la canasta por medio de manija superior atornillable y desmontable; un juego de dos filtros con malla (MESH) de 1/16" de perforación en material de acero inoxidable tipo 304, además de un filtro duplex a la descarga del cambiador A-EA-91 con tamaño de malla de 1/32" del mismo material con objeto de garantizar el mínimo de partículas finas, las cuales actúan como abrasivos en las boquillas de los quemadores.

## 5. CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

A través de lo expuesto durante el desarrollo del tema, se ha pretendido resaltar la importancia que tiene un diseño adecuado del cabezal de distribución y de la línea de alimentación en general, ya que de esto depende el que funcionen de manera adecuada los equipos finales. Además, que el hacer una selección adecuada de la válvula de control y quemadores optimiza el funcionamiento del Calentador A Fuego Directo.

El análisis que se realizó al cabezal de distribución de combustóleo a quemadores determinó que su diseño es el adecuado para operar eficientemente tanto para las condiciones originales de diseño de los quemadores, como para las condiciones de operación de los nuevos quemadores. En la tubería que conduce el combustóleo, pueden producirse incrustaciones y algunos casos esto puede afectar las condiciones de operación de la línea, lo que puede hacerse más crítico cuando las tuberías son de diámetro pequeño.

El obtener los diámetros de las tuberías mediante velocidades recomendadas optimiza el sistema de alimentación, ya que mediante este cálculo se obtiene una línea diseñada en base a condiciones ya estudiadas y comprobadas, lo que minimiza posibles errores de configuración y diseño.

Además al establecer caídas de presión dentro de intervalos pequeños en las tuberías del sistema, no sólo nos da una mejor operación en los equipos de combustión, sino que da un considerable ahorro de energía.

Si se presenta una caída de presión elevada, al suministrar una cierta cantidad de flujo a condiciones requeridas de operación, se requerirá que el flujo deba bombearse a una presión mayor que la de trabajo para compensar dichas pérdidas; esto se logra aumentando el

suministro de energía al sistema de bombeo. Esto se traduce en un déficit económico que podría evitarse al diseñarse correctamente la línea de distribución.

También el precalentar el combustible para su posterior alimentación a quemadores es de gran ayuda, ya que al disminuir la viscosidad del fluido se presentan menos pérdidas por fricción; por lo que al ser bombeado su manejo resulta más eficiente desde el punto de operación.

Por lo anterior se concluye que con la aplicación del análisis hidráulico en el cabezal de distribución y el correcto diseño de la línea de alimentación así como el cálculo de los diámetros óptimos no sólo se obtiene una correcta operación de los quemadores y un funcionamiento adecuado del calentador a fuego directo, sino además un aprovechamiento al máximo de los recursos monetarios y energéticos.

## 6. GLOSARIO

## 6. GLOSARIO

Para los efectos explicativos de la presente tesis se dan las siguientes definiciones:

### **COMBUSTIBLES**

**COMBUSTIBLE:** Sustancia capaz de convertirse con el oxígeno en presencia de una fuente de calor dando como resultado luz y calor.

**GAS NATURAL:** Mezcla de gases combustibles con un contenido mínimo de 70% de gas metano.

**GAS L.P.:** Gas combustible el cual incluye en su composición una mezcla de propano/butano y pequeñas cantidades de propileno, iso-butano y/o butilenos.

**DIESEL:** Aceite combustible que resulta de la destilación del petróleo, cuando el 10% destila a una temperatura mínima de 200 °C, y el 90% destila a una temperatura máxima de 360 °C y cumple además una especificación de calidad establecida.

**GASOLEO:** Combustible líquido derivado del petróleo.

**COMBUSTOLEO:** Combustible que se obtiene como resultado de la destilación del petróleo, y que satisface una especificación de calidad establecida.

**CARBON RESIDUAL:** Cuando un aceite combustible se evapora, puede quedar algo de carbón libre, algunas veces formado por el rompimiento (cracking) durante el proceso de evaporación. La cantidad de carbón remanente indica para algunos aceites la tendencia a carbonizar bajo condiciones de evaporación.

**CENIZA %:** La ceniza de un combustible es determinada quemando todo el material combustible desde un peso conocido de aceite. La materia remanente mineral que queda es la ceniza. La ceniza no representa un problema en los quemadores, sin embargo, obstruye las superficies extendidas de transferencia de calor del **CAFD** provocando deficiencia en la operación del mismo.

### **COMBUSTION**

**AIRE DE COMBUSTION:** Aire total que se alimenta al equipo de combustión para quemar un combustible.

**AIRE PRIMARIO:** Aire que se introduce, paralelamente con el combustible, hacia los quemadores.

**AIRE SECUNDARIO:** Aire que se suministra al quemador y/o hogar para suplementar el aire primario y completar la combustión.

**AIRE TERCARIO:** Aire para la combustión, que se suministra al hogar para suplementar el aire primario y el aire secundario.

**ANALIZADOR DE GASES:** Aparato que se utiliza para realizar el análisis de los componentes preestablecidos de los gases de combustión y determinar sus proporciones respectivas.

**ATOMIZADOR DE COMBUSTIBLE LIQUIDO:** Proceso previo a la combustión de un componente líquido, que consiste en inyectar este en partículas de diámetro lo mas pequeño posible.

**CAPACIDAD DEL QUEMADOR:** Liberación máxima del de calor a que puede operar el quemador expresado en Kcal/h (BTU/h) a las condiciones normales de operación.

**COMBUSTION:** La oxidación rápida que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse y que dan como resultado la generación de gases, partículas, humo, luz y calor.

**EXCESO DE AIRE:** Cantidad adicional de aire, que se suministra para completar la combustión, por encima del requerido para la oxidación del combustible.

**EXPLOSION:** Incremento de la presión por aumento súbito de volumen de gases como resultado de la deflagración o detonación de una sustancia en condiciones de explosividad.

**PUNTO DE INFLAMACION:** Temperatura a que se debe llevar un combustible para que se realice su combustión.

**FALLA DE FLAMA:** Desaparición de la flama después de haberla establecido de forma estable.

**HUMO:** Gas de combustión que contiene hollín, formado por partículas de tamaño inferior a una micra, que resulta de la combustión incompleta del carbono, en número suficiente para ser observadas a simple vista.

**RELACION AIRE-COMBUSTIBLE:** Relación existente entre las masas del aire y del combustible utilizados, dentro del que se realiza una combustión estable y completa.

**RETROCESO DE FLAMA:** Propagación en sentido inverso al normal de la flama de un quemador y que generalmente se debe al incremento de presión en el hogar.

---

**EQUIPO PARA MANEJO DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS**

**BOMBA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE:** Equipo utilizado para hacer llegar el combustible liquido al quemador en las condiciones de caudal y de presión necesarias para su atomización.

**FILTRO:** Equipo que contiene un material poroso a través del cual se canalizan fluidos o mezclas de sólidos y fluidos que permite separar la materia contenida no deseada.

**ANEXO**

## ANEXO

## CRITERIOS DE VELOCIDAD Y CAIDA DE PRESION EN 100 FT PARA LA SELECCIÓN DE DIAMETROS DE TUBERIA

En el calculo para determinar el valor del diámetro óptimo en la línea de alimentación, se cuenta con valores de velocidad y caída de presión que se recomiendan para diferentes tipos de fluidos y que son encontrados en forma experimental. A continuación se enlistan dichos valores:

### PARA MANEJO DE LÍQUIDOS:

#### 1.- EN SUCCION DE BOMBAS:

Para líquido saturado:

$$\Delta P_{100} < 0.3 \text{ psi}$$

$$\Delta P_T < 2 \text{ ft de columna de líquido}$$

Para líquidos de equipos con presión negativa:

$$V < 2.5 \text{ ft/s}$$

Para líquidos viscosos con  $\mu > 10 \text{ cp}$ :

$$\text{cuando se tenga } \varnothing \geq 3'' \quad V < 2 \text{ ft/s}$$

$$\text{cuando se tenga } \varnothing < 2 \frac{1}{2}'' \quad \Delta P < 1.0 \text{ psi}$$

Para líquidos entrando a bombas Reciprocantes:

$$\text{teniendo 1 bomba operando: } 1 \text{ ft/s} < V < 3 \text{ ft/s}$$

$$\text{teniendo 2 bombas operando: } 1 \text{ ft/s} < V < 2.5 \text{ ft/s}$$

#### 2.- DESCARGA DE BOMBAS:

Para agua e hidrocarburos

$$\Delta P_{100} < 2.0 \text{ psi}$$

Para líquidos viscosos  $\mu > 10 \text{ cp}$

el  $\varnothing$  óptimo se calcula mediante la formula:  $\varnothing_{\text{optimo}} = 3.0 Q^{0.36} \mu^{0.18}$

Q en ft<sup>3</sup>/s

Para líquidos de bombas Reciprocante

$$3 \text{ ft/s} < V < 10 \text{ ft/s}$$

Para líquidos en flujo por gravedad

$$V < 3 \text{ ft/s}$$

Para líquidos en líneas con presión disponible

$$\Delta P_{\text{DM}} < 2.0 \text{ psi}$$

**NOTA:**

Cuando en la línea NQ se esté instalado el amortiguador de pulsaciones, las pérdidas por fricción se determinaran de la manera convencional para flujo constante pero considerando el flujo de diseño continuo o promedio de la bomba multiplicado por el siguiente factor dependiendo del tipo de bomba:

BOMBA	ACCION SIMPLE	ACCION DOBLE
Simplex	3	2
Duplex	2	1.5
Triplex	2	1.3
Cuadruplex	1.5	1.3
Otras	1.3	1.3

En caso de tener instalado amortiguador de pulsaciones en la línea, el flujo se determinara mediante la fórmula:

$$Q = 1.2 (Q_{\text{BOMBA}})$$

**3.- PARA MANEJO DE LÍQUIDOS CORROSIVOS Y/O EROSIVOS:**

A continuación se enlistan velocidades recomendadas para diferentes tipos de líquidos que deban circular por un sistema de tuberías. Las siglas al lado de cada criterio se refiere al material de la tubería más común utilizada para transportar al flujo mencionado:

Dietanol Amina o Monoecanolamina

$$V < 3 \text{ ft/s}$$

(A.C.)

Amoniaco

$$V < 6 \text{ ft/s}$$

(A.C.)

<b>Benceno</b>	
V < 6 ft/s	(A.C.)
<b>Bromo</b>	
V < 4 ft/s	(V.)
<b>Cloruro de Calcio</b>	
V < 4 ft/s	(A.C.)
<b>Tetracloruro de Carbono</b>	
V < 4 ft/s	(A.C.)
<b>Cloro seco</b>	
V < 5 ft/s	(A.C.)
<b>Cloroformo</b>	
V < 6 ft/s	(C./A.C.)
<b>Dicloruro de Etileno</b>	
V < 6 ft/s	(v.)
<b>Etil enGlicol</b>	
V < 5 ft/s	(R.H.)
<b>Cloruro de Metilo</b>	
V < 6 ft/s	(A.C.)
<b>Aceite Lubricante</b>	
V < 6 ft/s	(A.C.)
<b>Percloro Etileno</b>	
V < 6 ft/s	(A.C.)

Propilén Glicol		
V < 5 ft/s		(A.C.)
Solución de Cloruro de Sodio		
V < 5 ft/s		(A.C.)
Dicloruro de Etileno		
V < 6 ft/s		(A.C.)
Hidróxido de Sodio		
Concentración		
0 - 30%	V < 6 ft/s	
30-50%	V < 5 ft/s	
50-73%	V < 4 ft/s	(A.N.)
Estireno		
V < 6 ft/s		(A.C.)
Acido Sulfúrico		
Concentración		
82 - 92%	V < 4 ft/s	
93 - 100%	V < 5 ft/s	(A.I.)
Tricloruro de Etileno		
V < 6 ft/s		(A.C.)
Cloruro de Vinilo		
V < 3 ft/s		(A.C.)
Agua Salada		
V < 6 ft/s		(A.C.)

Estireno

 $V < 6 \text{ ft/s}$ 

(A.C.)

Donde:

A.C. = Acero al carbón  
v. = Vidrio  
C. = Cobre  
F.A. = Fierro Colado  
R.H. = Recubrimiento de Hule  
A.N. = Acero y Niquel  
A.I. = Acero inoxidable

## 7. BIBLIOGRAFIA

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Andrade, Roberto. *Bombas y sistemas de bombeo*. Ed. Limusa, México, 1984.
- Azevedo, J.M. *Manual de Hidráulica*. Ed. Harla, México, 1982.
- Chemical Engineering. *Artículo de Agosto 24, pp. 62-65*. Estados Unidos, 1959.
- Corinteo, Carlo. *Mecánica de fluidos aplicado a procesos industriales*. Ed. Prentice-Hall, México, 1989.
- Crane Co. *Flujo de fluidos*. Ed. McGraw-Hill, México, 1987.
- Honeywell Co. *Válvulas de control*. Boletín No M85-3, México, 1989.
- I.M.P. *Manual de diseño técnico de CAFD*. México, 1980.
- Mataix, Claudio. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Ed. Harla, México, 1982.
- Streeter, L. *Mecánica de fluidos*. 3ª edición. Ed. McGraw-Hill, España, 1985.
- Warring, R.H. *Filters and filtration*. Ed. Prentice-Hall, Inglaterra, 1991.