

111  
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**SISTEMAS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL EN  
HORNOS DE PIROLISIS PARA LA PRODUCCION  
DE ETILENO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

ALEJANDRA URRUTIA SANCHEZ

MEXICO, D. F.

1985



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 está 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.

## I N D I C E

1. I N T R O D U C C I O N
  2. G E N E R A L I D A D E S
    - 2.1 Instrumentación y Control
    - 2.2 Calentadores a fuego directo
  3. F U N C I O N D E L H O R N O E N L A P L A N T A .
    - 3.1 Descripción del proceso
    - 3.2 Descripción del horno de pirólisis
  4. S E L E C C I O N D E L A I N S T R U M E N T A C I O N D E L H O R N O
    - 4.1 Necesidades de Control
    - 4.2 Variables de medición y control  
del horno.
  5. A S P E C T O S E C O N O M I C O S
    - 5.1 Costo de la instrumentación
  6. C O N C L U S I O N E S
- BIBLIOGRAFIA

1.

## INTRODUCCION

## 1. INTRODUCCION

Entre 1900 y 1930 la instrumentación en los procesos industriales consistían en unos pocos indicadores y registradores de campo. Un solo hombre podía ser, el encargado de ir de un indicador a otro y controlar el proceso, haciendo un pequeño ajuste durante el tercer turno a una válvula de globo.

A mediados de los años treinta se impuso la instrumentación neumática, los controles automáticos y las válvulas de control de diafragma y muelle, todo esto dió paso a lo que más tarde se llamó: "Sistema de Control Automático". Haciéndose necesaria la creación de un cuarto de control; para obtener un control centralizado, dando como resultado una operación efectiva e inteligente.

Así, poco a poco se fueron logrando los adelantos necesarios respecto a la instrumentación y control, propiciado por la creciente industrialización, un hecho contundente en nuestro país y en el mundo.

Muchos de los procesos de las grandes plantas que existen en todo el mundo, como los de las plantas de: - combustibles, electricidad, acero, plásticos, alimentos, etc., sería prácticamente imposible que existieran; ya que sin aparatos automáticos para medir y controlar el proceso no se podrían detectar las condiciones y tomar las decisiones de control tan rápido y - más precisas que con el operador humano. La complejidad de las plantas modernas es tal, que el hombre no podría simplemente darse abasto.

Por todo esto, se ha creado la necesidad de un mejor y más eficiente funcionamiento de las plantas y equipos de proceso, lo cual se logra con una adecuada - instrumentación y automatización de las mismas. Interpretar los principios y técnicas de medición y control en las variables de un proceso en la industria, significa llegar a obtener eficiencia y optimización en el proceso, dando como resultado:

- a) Estabilidad en las variables del proceso.
- b) Mayor vida del equipo.
- c) Más calidad de los productos.
- d) Y por ende, una mejor economía.

Empleando instrumentos de control automático disminuye la mano de obra, se uniforma la producción y aumenta la capacidad del equipo, al mantener estables las variables que intervienen. Al eliminar las variaciones en la producción se opera el equipo a su máxima capacidad, permitiendo instalaciones más pequeñas y por tanto reducir el costo.

Dentro de la industria de refinación y petroquímica, frecuentemente se requiere suministrar energía a corrientes de proceso con diversos fines, pudiéndose llevar a cabo en equipos llamados "Calentadores de Fuego" u hornos de proceso.

El objetivo de este trabajo es instrumentar un horno de pirólisis en la producción de etileno; que es un equipo "clave" en este proceso; y por tanto es neces-

rio su buen funcionamiento a fin de lograr todo lo -  
dicho anteriormente.

En primer término se expondrá la terminología de la -  
instrumentación y control, así como la nomenclatura  
utilizada, los elementos de un circuito de control y  
los diferentes tipos de control existentes, para poder  
instrumentar un equipo, hay que conocer sus partes -  
primero; así por tanto, se da una breve explicación de  
la descripción de un horno de proceso, ya que es muy -  
extenso lo que se podría explicar acerca de éste. Es  
importante saber que hay diferentes tipos de calentado  
res, las secciones en que se dividen, etc., toda la -  
clasificación de los calentadores a fuego se dará en el  
Capítulo 2.

En el Capítulo 3 se ve la importancia y la función que  
desempeña el calentador en la planta donde se localiza,  
el proceso es una parte importante que hay que conocer  
bien, pues es lo que interesa controlar. El proceso en



donde intervendrá el calentador de fuego directo es en una planta de obtención de etileno. La alimentación de la planta es una corriente gaseosa de etano que se tomá de límites de batería, bajo control de presión y es calentada rápidamente en un horno de pirólisis, el proceso se explica ampliamente en éste capítulo para después hacer una descripción del horno de pirólisis; equipo que habrá de conocer bien.

Una vez familiarizados con el lenguaje de instrumentación, con el equipo a instrumentar y con el proceso en el que interviene, ya se procede a la selección de la instrumentación del horno, sabiendo cuáles son las variables a controlar o medir.

Como complemento a este trabajo se muestra en forma general el costo de los instrumentos necesarios para la instrumentación del horno.

Una buena instrumentación reditua beneficios económicos al ahorrar trabajo y mejorar la calidad del producto por medio de un control más preciso y rápido, se reducen desperdicios, permitiendo operar al proceso en su punto de mayor eficiencia, pero no es menos importante la contribución que la instrumentación da, al brindar confort y dignidad a aquellos que trabajan en la industria, a los que están en el área del proceso, punto también muy importante.

2.

GENERALIDADES

## 2.1. INSTRUMENTACION Y CONTROL.

En todo trabajo de ingeniería es importante - entender el lenguaje usado, para poder comprender completamente lo que estamos queriendo decir, y los que deseen leer el trabajo sobre un tema específico, capten lo que se dejó plasmado al momento de hacerlo.

En instrumentación y control se emplea un sistema especial de símbolos, con el objeto de - transmitir más efectivamente, tanto las ideas como la información. Esto se hace indispensable tanto en el diseño como en la selección, - operación y mantenimiento de sistemas de control.

Un sistema de símbolos ha sido estandarizado - por la I.S.A. (Instrument Society of America)

el cual se da a continuación en forma condensada. La identificación de un instrumento está definida de acuerdo al caso en que se encuentre, de los siguientes:

#### A. IDENTIFICACION GENERAL

Cuando se use una combinación de letras para establecer su propósito y funciones.

Las identificaciones generales se muestran en la tabla núm. 1, consistente en letras y en la tabla núm. 2, aparecen las combinaciones usadas.

Las letras de la tabla 1 pueden usarse con el significado que tiene cada una de ellas y la posición o posiciones permitidas en las cuales se pueden combinar.

En el uso de estas letras y sus combinaciones se deben aplicar las siguientes reglas o instrucciones:

- a) Las letras de identificación se escribirán en todos los casos como mayúsculas. Las únicas excepciones son el uso de "d", - "x" y "p" (esta última solo en la combinación pH).
- b) Cada letra tendrá un solo significado al usarse como primera letra en cualquier combinación, definiendo la variable del proceso.
- c) Cada letra tendrá un solo significado, al usarse como segunda ó la tercera letra, en una combinación al definir el tipo de servicio.
- d) Lo anterior es particularmente importante al formar las combinaciones de letras que indica la tabla 2, ó bien al agregar más, de acuerdo con dicha secuencia.
- e) No pueden usarse letras o combinaciones de letras intermedias.

## LETRAS PARA IDENTIFICACIONES

TABLA 1

LETRAS  MA YUS CU LAS	DEFINICIONES Y POSICIONES PERMITIDAS EN  CUALQUIER COMBINACION		
	1a. LETRA VARIABLE DE PROCESO	2a. LETRA TIPO DE REGIS- TRO U OTRA FUN CION	3a. LETRA FUNCION ADICIONAL
A	Analisis	Alarma o Anali zador	Alarma
C	Conductividad	Control	Control
D	Densidad	-	-
E	Voltaje	Elemento (prima rio)	-
F	Flujo	Relacionador	-
G	Calibración	Cristal (no mi de)	-
H	Manual (actuan te)	-	Alto
I	Corriente electr.	Indicador	-
L	Nivel	Luz piloto	Bajo
M	Humedad	-	-
P	Presión	Punto de Prueba	-
R	Radioactividad	Registro (regis trador)	-
S	Rapidéz o Frecuencia	Seguridad o - interruptor	Switch
T	Temperatura	Transmisor	Transmisor
V	Viscosidad	Valvula	Válvula
W	Peso	Pozo	-
Y	-	Convertidor	-

## IDENTIFICACIONES GENERALES

TABLA 2

la. letra	SEGUNDA Y TERCERA LETRAS TIPO DE MECANISMOS												
	Mecanismos controladores.				Vál- vulas	Mecanismos de Medición			Mecanismos de - A l a r m a			Ele- men- to  Pri- ma- rio	
	Re- gis- tro	In- di- ca- c- i- ó- n	C- O- N- T- R- O- L	Vál- vulas de- regu- lado- ras. act. p'si- mis- mas.	de- segu- ri- dad (rele- vo).	Re- gis- tro	In- di- ca- c- i- ó- n	A- pa- ra- tos de cristal p/medir por observa- ción	Re- gis- tro	In- di- ca- c- i- ó- n	A- L- A- R- M- A		
	-RC	-LC	-C	-CV	-SV	-R	-I	-G	-RA	-IA	-A	-E	
Flujo	F-	FRC	FIC	FC	FCV	FR	FI	FG	FRA	FIA	FA	FE	
Nivel	L-	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI	LG	LRA	LIA	LA	LE	
Presión	P-	PRC	PIC	PC	PCV	PSV	PR	PI	///	PRA	PIA	PA	PE
Densidad	D-	DRC	DIC	DC	DCV		DR	DI	///	DRA	DIA		DE
Manual	H-		HIC	HC	HCV		///	///	///	///	///		///
Conductividad	C-	CRC	ÇIC	CC	CCV		CR	CI	///	CRA	CTA	CA	CE
Rapidez	S-	SRC	SIC	SC	SCV	SSV	SR	SI	///	SRA	SIA	SA	RE
Viscosidad	V-	VRC	VIC	VC	VCV		VR	VI	VG	VRA	VIA		VE
Peso	W-	WRC	WIC	WC	WCV		WR	WI		WRA	WIA		WE
Temperatura	T-	TRC	TIC	TC	TCV	TSV	TR	TI	///	TRA	TIA	TA	TE

Los espacios con los guiones transversales indican combinaciones posibles



## B. IDENTIFICACIONES ESPECIFICAS.

A la combinación de letras acompaña un número que sirve para identificar al instrumento más detalladamente. En la mayoría de los casos será necesario agregar a la identificación general de un instrumento, un sistema numérico para establecer así una identificación específica.

Cualquier sistema de números en serie puede ser usado y pueden pertenecer a un solo proceso unitario, o bien puede ser un sistema completo de números seriados para una planta o grupo de plantas.

En cualquier caso, la serie de números consecutivos deberá ser apropiada para usarse en las identificaciones generales.

En un trabajo escrito, el número va -  
inmediatamente después de las letras,  
separado mediante un guión: El control  
y registro de temperatura número 1, se  
representará: TRC-1.

Estas identificaciones se usan para desig-  
nar a todo tipo de instrumentación en, -  
trabajos escritos, al combinarlos con -  
símbolos dibujados en las representaciones,  
en diagramas y planos en general.

#### S I M B O L O S .

Los símbolos se usan para indicar la posi-  
ción de cada instrumento en los diagramas  
y se muestran en la lista a continuación,  
los dibujos básicos más requeridos.

## RELACION DE SIMBOLOS MASUTILIZADOS EN INSTRUMENTACION

LINEA DE PROCESO	
SEÑAL ELECTRICA	
SEÑAL NEUMATICA	
TUBOS CAPILARES DE INSTRUMENTOS	
SEÑAL HIDRAULICA	
SUMINISTRO DE AIRE	
SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA	
INSTRUMENTO LOCALIZADO EN CAMPO	
INSTRUMENTO EN TABLERO LOCAL	
INSTRUMENTO EN TABLERO PRINCIPAL	

INSTRUMENTO EN PARTE POSTERIOR DE TABLERO PRINCIPAL	
TRANSMISOR DE SEÑAL	
CONVERTIDOR DE CORRIENTE A PRESION	
CONVERTIDOR DE PRESION A CORRIENTE	
CONVERTIDOR DE VOLTAJE A CORRIENTE	
ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICION DE FLUJO	
ELEMENTO PRIMARIO DE MEDICION DE TEMP.	
ELEMENTO PRIM. DE MED. DE TEMP. DUPLEX	
VALV. AUT. DE CONTROL CIERRA A FALTA DE AIRE	
VAL. AUT. DE CONTROL ABRE A FALTA DE AIRE	

VALV. AUT. DE CONTROL CON POSICIONADOR	
VALV. AUT. DE CONTROL CON VOLANTE MANUAL	
VALV. SOLENOIDE DE 3 VIAS CON REPOSICION MANUAL	
RETARDADOR DE SEÑAL	
TUBO VENTURI	
SUMINISTRO ELECTRICO CORRIENTE ALTERNA	
SUMINISTRO ELECTRICO CORRIENTE DIRECTA	
SUMINISTRO DE AIRE (PARA INSTRUMENTOS)	

Con el objeto de usar los símbolos -  
pertinentemente, se mencionan estas notas:

- a) El círculo se emplea para localizar la posición de cada instrumento - propiamente dicho.
  
- b) Generalmente es innecesario repetir la identificación para el transmisor, válvula de control, elemento primario, etc., los cuales son nombrados de acuerdo con el instrumento principal al cual están conectadas.
  
- c) Si se considera necesario, puede agregarse una pequeña nota junto al símbolo para aclarar la función ó propósito de cualquier componente del circuito de medición o control, ya que ésto evitaría el aplicar una gran variedad de símbolos complicados.

## TERMINOLOGIA DEL CONTROL

### EL PROCESO:

Comprende las funciones colectivas realizadas en y por el equipo en el cual la variable va a ser controlada, sin incluir en el "equipo" ningún elemento de control.

### VARIABLE CONTROLADA:

Es aquella cantidad o condición que es medida y controlada, condición o característica del medio controlado.

### MEDIO CONTROLADO:

Es aquella energía o material del proceso en el cual la variable es controlada.

### VARIABLE MANIPULADA:

Es aquella cantidad o condición que es variada por el controlador automático, de modo que afecta al valor de la variable controlada, eliminando el error.

AGENTE DE CONTROL:

Es aquella energía o material del proceso en el cual la variable manipulada es una condición o característica.

CONTROLADOR AUTOMATICO:

Dispositivo que mide una cantidad o condición variable, que opera para corregir o limitar la cantidad que la medición actual de la variable controlada difiera de la medición deseada (set point), ó valor de estado estacionario de esa variable,

SISTEMA DE CONTROL:

Es cualquier arreglo operable, de uno o más controladores empleado para ejecutar un conjunto de funciones de control planeadas .

**MEDIOS DE MEDICION:**

Elementos de un controlador que estan involucrados en la determinación y comunicación a los medios de control del valor de la variable controlada.

**ELEMENTO PRIMARIO:**

Es la porción de los medios de medición que primero utiliza o transforma energía del medio controlado para producir un efecto, que es una función del cambio en el valor de la variable controlada, de: presión, fuerza, posición, potencial eléctrico ó resistencia.

**MEDIOS DE CONTROL:**

Son aquellos elementos de un controlador automático que estan involucrados en la producción de una acción correctiva .

**ELEMENTO FINAL DE CONTROL:**

Es aquella porción de los medios de control que cambia directamente el valor de la variable - manipulada; en forma de un restrictor variable o ajustable, que pueda cambiar el flujo del - agente de control.

**CAPACIDAD:**

Es la cantidad máxima de material o energía que puede ser almacenada por el proceso.

**CAPACITANCIA:**

Es el cambio de capacidad contenida por unidad de cambio en una variable de referencia.

**RESISTENCIA:**

Es la oposición al flujo de materia o energía.

**RETRASOS:**

Es cualquier retardo entre dos acciones relacionadas.



TIEMPO MUERTO:

Es el retraso de tiempo que existe entre un - cambio de la variable controlada y el momento - en que el elemento primario de medición detecta totalmente ese cambio.

CAMBIO DE CARGA:

Es un cambio de la variable manipulada, no provo cado por el elemento final de control, sino, por un cambio de propiedades físicas o de energía del agente de control.

AUTO-REGULACION:

Es una acción constante y propia del proceso que ayuda o se opone a llegar al equilibrio.

OSCILACION O CICLAJE:

Es un cambio periódico de la variable controlada, de un valor a otro.

**PUNTO DE CONTROL:**

Valor de la variable controlada, el cual bajo cualquier condición de ajuste fijado, el control automático, opera para mantenerlo. (valor deseado)

**PUNTO DE AJUSTE:**

(Set Point) Posición a la cual se fija el mecanismo de control, para servir como señal de referencia.

**SENSIBILIDAD:**

Es la rapidéz de respuesta en la señal de salida con respecto a un cambio específico de la señal de entrada. Término que puede aplicarse a cualquier elemento en el circuito de control.

**DESVIACION O ERROR:**

Es la diferencia entre el valor instantáneo de la variable controlada y el valor de la variable controlada de acuerdo con el punto de ajuste.

**BANDA PROPORCIONAL:**

Es el rango de valores de la variable controlada a la que corresponde al rango de operación completo del elemento final.

**CONTROLADOR AUTOOPERADO:**

Es aquel en el cual toda la energía para operar el elemento final de control se deriva del medio controlado.

**ELEMENTOS DE MEDICION:**

Son aquellos elementos de un controlador automático los cuales tienen como función el indagar y comunicar a los medios de control el valor de la variable controlada ..

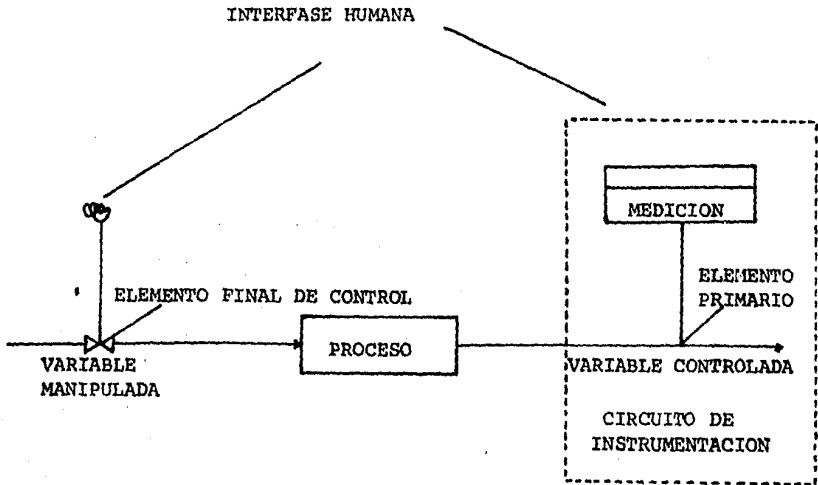
**BANDA MUERTA:**

Es el rango de valores a través del cual la variable medida puede cambiar sin iniciar una respuesta.

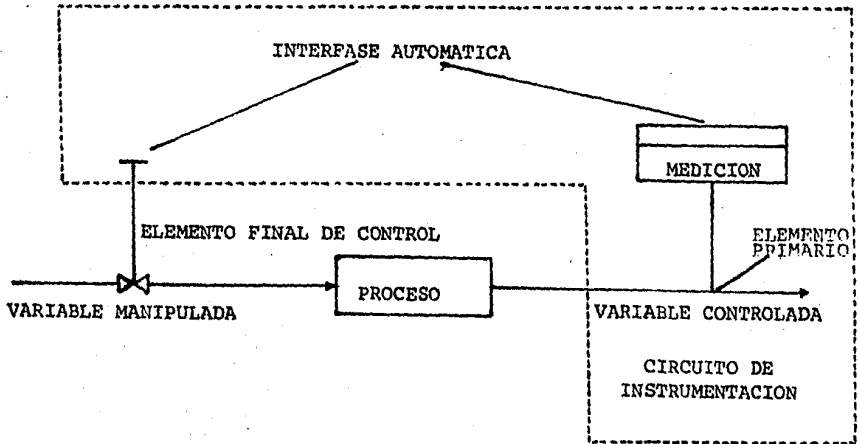
Después de familiarizarse con el lenguaje y símbolos -  
usados en instrumentación, a continuación se hablará  
de los elementos de un circuito de control y los -  
diferentes tipos de control que existen.

Los sistemas de control de las plantas para procesos -  
industriales aún los de las más modernas, pueden --  
reducirse en su forma más elemental a los siguientes  
esquemas en la figura No. 2.1.1.

En el inciso a) el circuito de instrumentación es un  
circuito de medición, mientras que en el inciso b) el  
circuito de instrumentación es un circuito de control,  
en estos, un valor o cantidad (la variable controlada),  
está siendo continuamente medido y comparado con otro  
valor (valor deseado de la variable o Set Point). Si  
estos valores no se encuentran dentro de los límites  
prefijados, existirá un error, para entonces producir  
una corrección (en la variable manipulada), para -  
llevar a la variable controlada a los límites preesta-  
blecidos, por medio de la interfase.



a. SISTEMA DE CONTROL MANUAL



b. SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO

FIG. No. 2.1.1

En el inciso a) el sistema de control tiene una interfase humana, o sea que es un sistema de control manual en donde el elemento primario y el receptor (la medición) forman lo que se conoce como circuito de instrumentación, en el inciso b) tiene una interfase automática, lo cual requiere de otro elemento, el receptor controlador automático para formar el circuito de instrumentación.

Los circuitos de instrumentación pueden utilizar medios de actuación de presión neumática, hidráulica o corriente eléctrica e inclusive pueden haber combinaciones y los dispositivos que forman los medios de medición, el controlador automático y algunos otros posibles, se conocen como instrumentos.

Parte muy importante del sistema de control, es el proceso a través del cual se forma un circuito cerrado basado en el principio de la retroalimentación, y desde el punto de vista del control automático, lo que interesa del proceso son sus características dinámicas ó

relacionadas con el tiempo como: los retrasos de capacitancia, de medición, tiempos muertos, perturbaciones y cambios de carga.

De acuerdo a las características dinámicas del proceso se establecen los modos de control, los que pueden ser definidos como la forma matemática en que el controlador manejará el error, con objeto de producir la corrección a través del elemento final de control, de forma que la variable controlada quede dentro de los límites preestablecidos.

Los elementos de un circuito de control se clasifican de la siguiente manera:

a) SISTEMA DE MEDICION:

Son aquellos elementos de un controlador automático los cuales comunican al "sistema de control" el valor de la variable controlada, el error o la desviación.

b) SISTEMA DE CONTROL:

Son los elementos de un controlador -  
automático los cuales tienen por objeto  
producir una acción correctiva en la  
variable controlada.

En la figura 2.1.2 el sistema de medición es un termómetro y el sistema de control consiste en un mecanismo neumático y una válvula de diafragma. Un cambio en el valor de la temperatura (variable controlada) es detectado por el elemento primario (bulbo del termómetro). El cambio es comunicado por el sistema de medición al sistema de control, produciendo una acción correctiva al valor de la variable manipulada (flujo entrando al proceso).

La acción correctiva se obtiene por medio del elemento final de control (válvula), el cual cambia directamente el valor de la variable manipulada, la unidad de potencia (actuador neumático) mueve el elemento final de control.



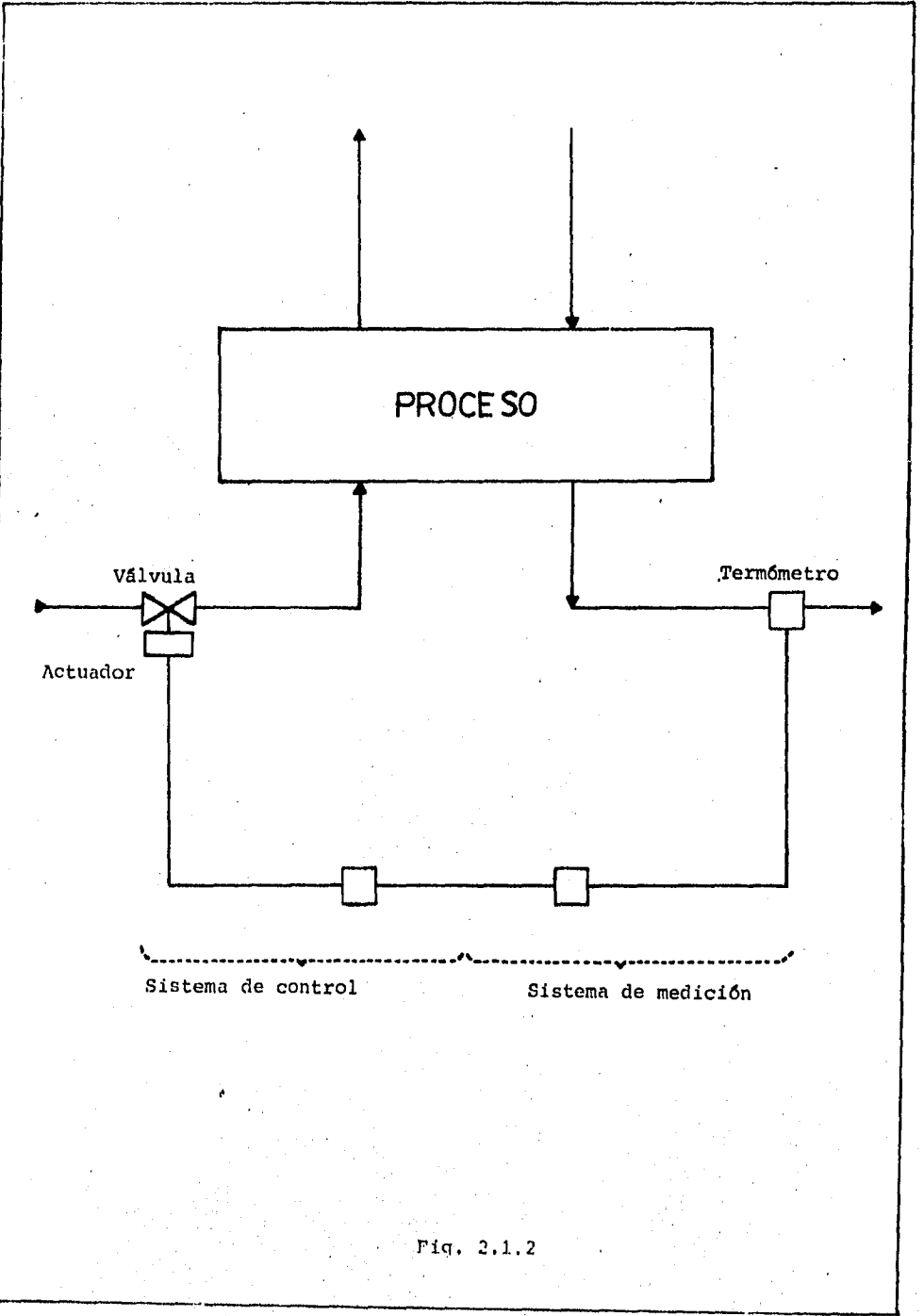


Fig. 2.1.2

Los sistemas de control se dividen en dos grandes grupos: sistema de circuito abierto y sistema de circuito cerrado.

#### SISTEMA DE CIRCUITO ABIERTO.

Este circuito simplemente involucra la realización de un estimado de la forma o cantidad de acción necesaria para obtener un objetivo deseado y su base radica en la predicción. No se hace una comprobación para determinar si la acción correctiva ha cumplido con el objetivo deseado, o sea que la acción de control es independiente de la señal de salida.

En la figura 2.1.3 se muestra el diagrama de bloques de este tipo de circuito, y para ilustrarlo mejor, a continuación de esta se da un ejemplo aplicado a un calentador;

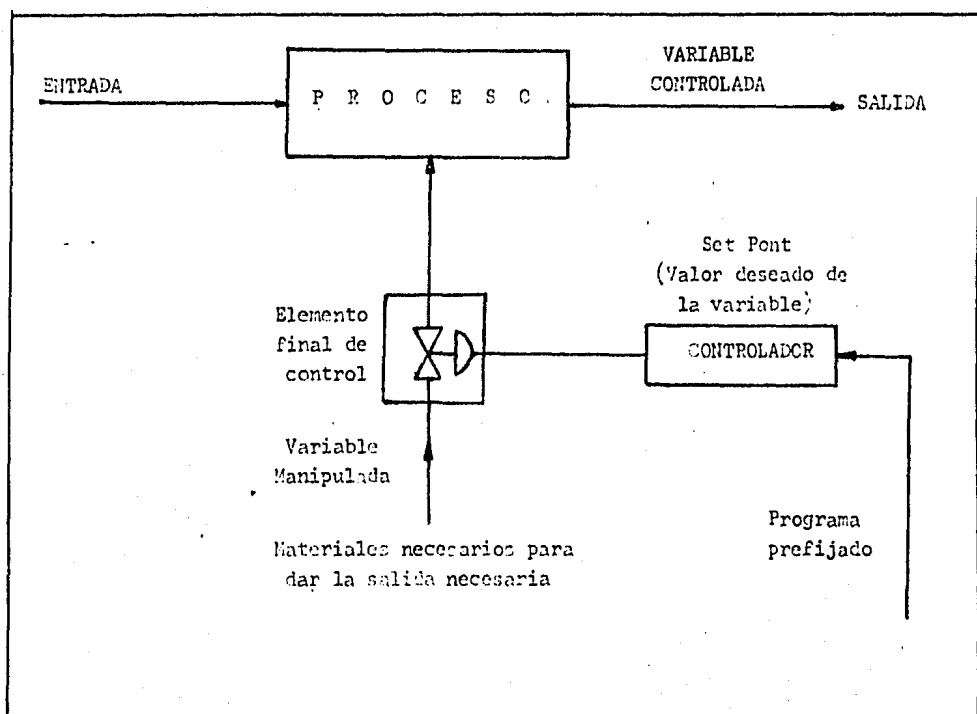


Fig. 2.1.3

Ejemplo de un sistema de circuito abierto

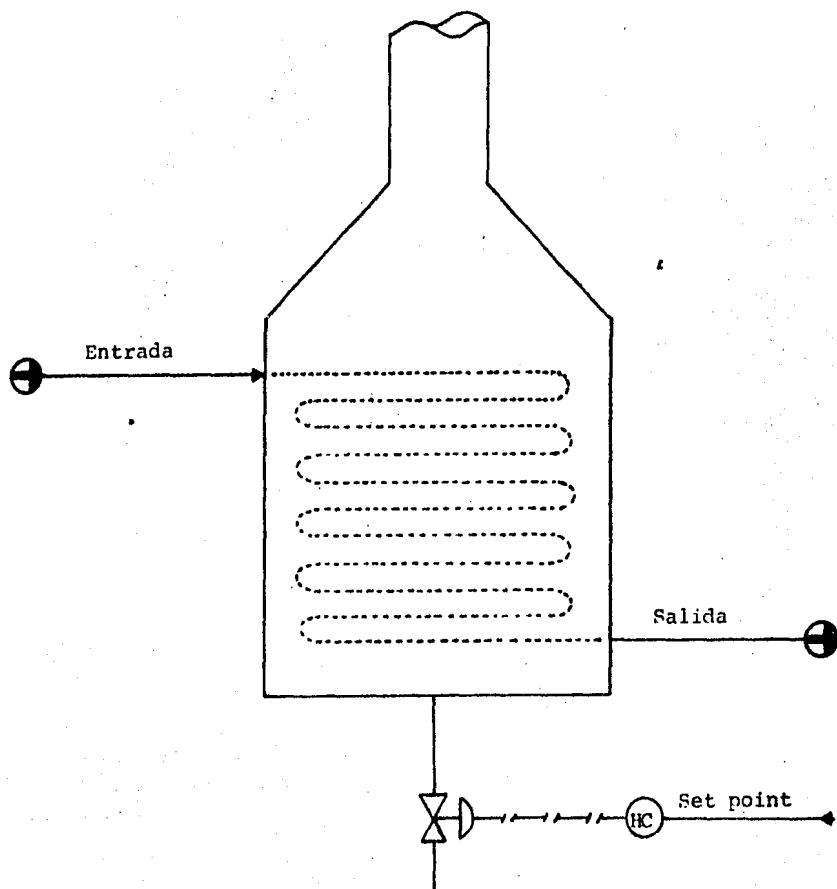
En la figura 2.1.4 se muestra un calentador que con la estación de control HC (control manual) - se fija un determinado gasto de combustible, el cual es estimado por el operador para obtener una determinada temperatura de salida.

El sistema de circuito abierto es comunmente - usado en lavadoras, tostadores, etc., sus prin cipales ventajas son: ser barato, estable - sencillo, de poco mantenimiento.

Sus desventajas son: que las condiciones a la salida dependen de la habilidad del operador; es afectado por las perturbaciones que existan, no se tiene medición a la salida.

#### SISTEMA DE CIRCUITO CERRADO.

En este sistema sí existe una comparación final y continúa entre los resultados deseados y el - resultado obtenido, si no son iguales, existe un error y el controlador opera para corregirlo a - través de un elemento final de control, esto en



Ejemplo de un sistema abierto aplicado a un calentador de fuego directo. en donde se controlaría en base, sólo a la experiencia del operador.

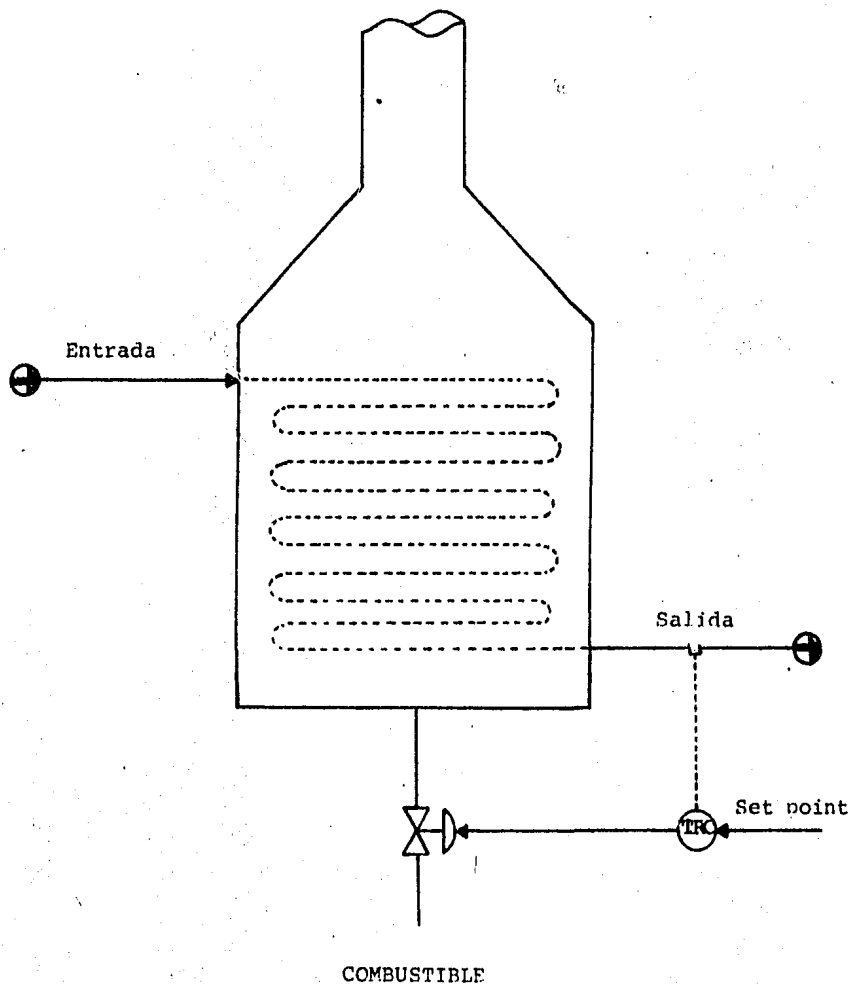
Fig. 2.1.4

términos generales: pues los circuitos cerrados se dividen en dos grupos:

a) Circuitos retroalimentados. (Feed back)

En este tipo de circuitos la variable controlada es medida y comparada con el set point para mandar una señal que modificará el valor de la variable manipulada y mantener la variable controlada en su valor si existiese algún error.

Para ejemplo de éste circuito, la figura 2.1.5 muestra que la temperatura (variable controlada) se mide y se compara con el setpoint, y entonces manda corregir el gasto del combustible para absorber las variaciones de carga, poder calorífico, presión, etc., de éste.



Ejemplo de un circuito de retroalimentación  
en un calentador a fuego directo.

Fig. 2.1.5

De otra manera, el ejemplo anterior se puede representar en forma de diagrama de bloques como se muestra en la Figura Número 2.1.6

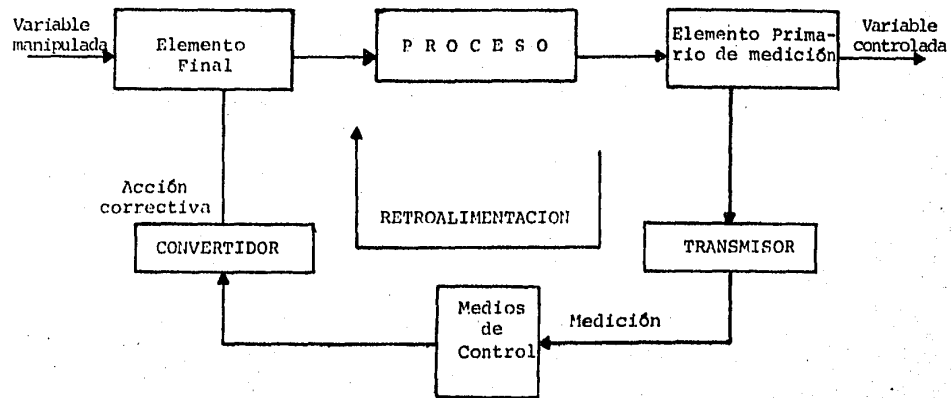


Fig. 2.1.6



CIRCUITO DE CONTROL PREALIMENTADO (FEED FORWARD) .

En este tipo de circuito se hace una medición de la variable de entrada al proceso (perturbación principal) y se compara con el set point (valor deseado) y el error se trata con los modos de control para mandar una señal al elemento final de control. Es importante aclarar que este circuito de control no mide el valor de la variable controlada y su control depende de los ajustes del controlador y del proceso.

En la figura No. 2.1.7 se muestra un ejemplo de este tipo de circuitos.

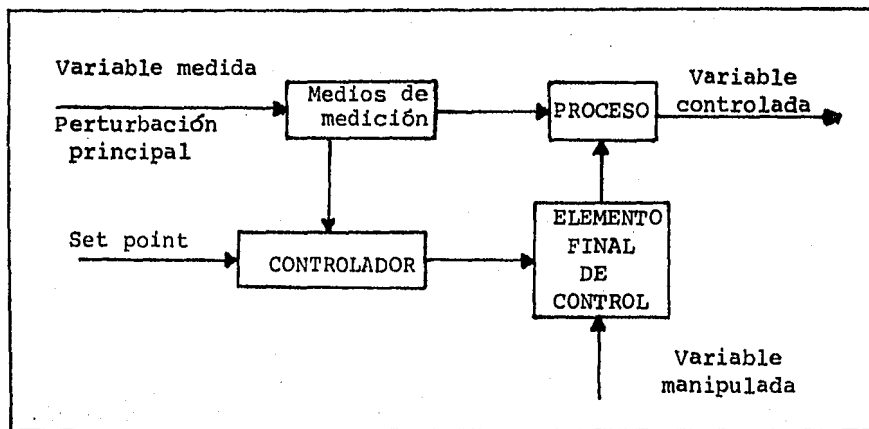


Fig. 2.1.7

Las ventajas del circuito de control de retroalimentación es que es mas estable, es mas conocido y más barato que el de prealimentación, además necesita poco conocimiento del proceso, mientras que el de prealimentación elimina retrasos por tiempos muertos.

Las desventajas del circuito de retroalimentación son: El no poder controlar el efecto de las perturbaciones antes de que entren al proceso, no se pueden eliminar por completo los tiempos muertos, el tiempo de respuesta del proceso y de los elementos de medición y transmisión. Mientras que el prealimentado; es mas caro y no por el número de instrumentos sino, que es debido al análisis del proceso, si no se conoce bien el proceso, puede ser muy inestable y en algunos casos hasta inaplicable.

La mayoría de los procesos industriales, son de tipo continuo y los sistemas de circuito abierto prácticamente no aplican por lo que los de circuito cerrado van a ser de mayor interés; las partes más importantes

de este se muestran en el cuadro N<sup>o</sup>. 1.

PARTES IMPORTANTES  
DE UN CIRCUITO  
CERRADO

1. El proceso.  
Donde será controlada la variable.
2. Sección sensible.  
Medita el valor actual de la variable controlada para trasmitir al controlador automático.
3. Fuente de referencia.  
Suministrará e indicará el valor deseado de la variable.
4. Controlador Automático.  
Operará para corregir a la variable controlada si no está dentro de los límites prefijados.
5. Elemento final de control.  
Ajustará la variable manipulada de acuerdo a la acción correctiva del controlador automático.

CUADRO NUM. 1

De las cinco partes enumeradas en el cuadro número uno el proceso no es un instrumento, importando sólo sus características dinámicas. Los números 2, 3, y 4 son instrumentos y pueden existir como un solo instrumento o por separado formando un circuito de instrumentación al interconectarse.

El número 5 es normalmente una válvula automática, operada por aire, hidráulicamente o eléctricamente. En ocasiones puede ser también un actuador especial, un interruptor o una resistencia variable eléctricas.

#### CIRCUITOS DE CONTROL AUTOMATICO

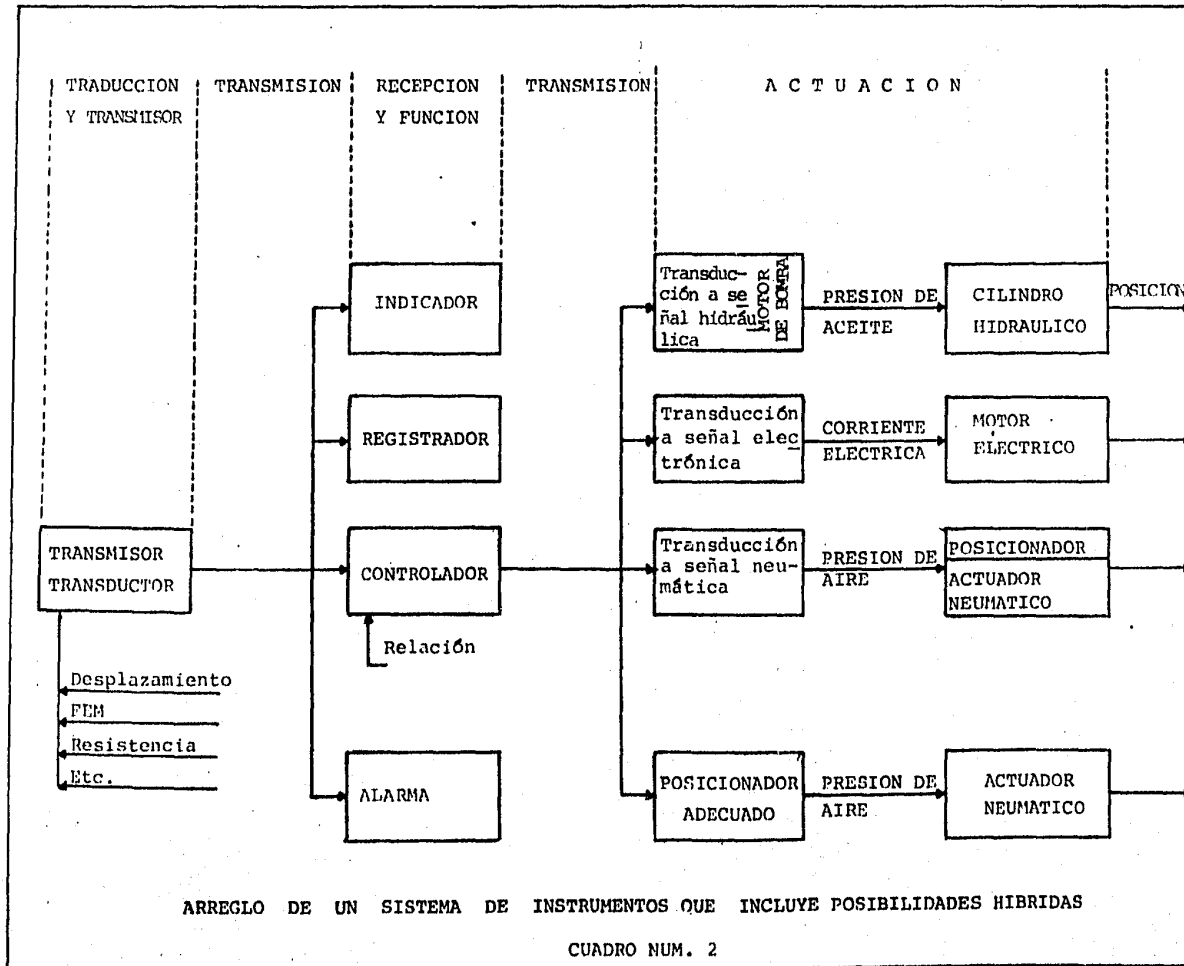
##### SENCILLO

Los instrumentos más usuales en un circuito de instrumentación sencillo son:

1. El transductor y transmisor. Dispositivo que transformara la variable a medir y/o controlar en forma de señal para que pueda ser manejada por el receptor.

2. El receptor. Realizará la función necesaria; indicación, registro, control, - alarma, disparo o alguna combinación de todas y/o entre ellas.
3. El actuador. Elemento final de control que operará sobre la variable manipulada. Estos tres instrumentos o los grupos posibles de instrumentos, se encuentran ligados entre sí por sistemas de transmisión que forman lo que se ha considerado como: "el sistema de distribución" y las formas de energía que utilizan los sistemas de distribución son de varias clases y las más relevantes son: la transmisión mecánica, la transmisión neumática y la transmisión eléctrica.

El cuadro No. 2 representa un arreglo de un sistema de instrumentos que incluye posibilidades híbridas.



## MODOS DE CONTROL BASICOS:

## 1. PROPORCIONAL:

Es el mas comunmente usado; es aquel en que el cambio en la salida del controlador es proporcional al cambio en la magnitud del error.

## 2. DOS POSICIONES (ON - OFF)

La salida cambia de un extremo a otro cuando la variable cruza el punto de ajuste.

## 3. DOS POSICIONES CON HISTERESIS O BANDA MUERTA.

Es un control de dos posiciones con zona muerta. La salida de control cambia de un extremo a otro cuando la variable alcanza el borde de la zona muerta. La salida vuelve a cambiar otra vez hasta que la variable cruza el otro extremo de la zona muerta.

4. INTEGRAL, (REAJUSTE AUTOMATICO O RESET)

En este modo de control el error es proporcional a la variación de la salida del control con respecto al tiempo. La acción de reajuste automático cesa cuando la señal de error regresa a cero.

5. DE DERIVADA (PRE-ACT O RATE)

Este es un modo de control en el cual la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. La acción derivada cesa cuando la señal de error se mantiene constante.

6. FLOTANTE.

La velocidad de cambio de la salida de control depende de la señal de error (la variable menos el punto de ajuste). Flotante de velocidad constante: la velocidad no puede ser cambiada. Flotante de velocidad proporcional:



La salida se mueve más rápidamente mientras más grande es el error.

Aplicación de los modos de control más utilizados de acuerdo a las características dinámicas del proceso.

La selección de un modo de control está basada en la naturaleza dinámica del proceso; está basada en la naturaleza dinámica y estática del elemento final de control, el proceso controlado, las perturbancias y elementos de medición. Algunos tipos, típicos de comportamiento dinámico de proceso son:

#### RETRASO DE CAPACITANCIA.

Este comportamiento se caracteriza por un efecto de amortiguamiento causado por el almacenamiento de fluido o energía en el proceso.

El retraso de resistencia capacitancia se presenta en todos los elementos constituidos de un circuito de control.

1. RETRASO EN LOS ELEMENTOS DE MEDICION.

Estos retrasos se pueden dividir en dos grupos:

Retraso en los elementos primarios de control debido al tiempo de respuesta del elemento primario de medición empleado y al tipo de variable que se esté midiendo.

a) Retraso en la transmisión, que involucra la resistencia, la capacitancia y la distancia a la cual debe de trasmitirse.

b) Retraso de velocidad.- Distancia - (tiempo muerto) debido a que tanto la materia como la energía necesitan - tiempo para desplazarse una distancia. Una variación de materia y energía, la cual se quiere detectar a una determinada distancia de donde sucedió la variación, es lo que ocasiona el tiempo muerto.

c) Retraso.- Cuando la variable controlada contesta inmediatamente a la variable manipulada; por lo tanto el único retraso remanente en el circuito es - debido a la válvula, medios de medición y elementos de transmisión.

## 2. RETRASO EN LOS ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.

Estos retrasos pueden ser muy cortos en el caso de elementos finales de control tipo eléctrico y, pueden tener un valor grande para el caso de elementos finales de control mecánicos. Es conveniente aclarar que el tiempo de respuesta aumenta con el tamaño, tipo de válvula y caída de presión en el puerto.

Hasta aquí se han visto los sistemas de control automático sencillos, sin embargo existen ocasiones que con objeto de incrementar y mejorar la estabilidad del sistema, es necesario utilizar esque--

mas más complejos como los llamados sis temas de control automático compuestos, los cuales se nombran a continuación.

#### 1. SISTEMA DE CASCADA.

Es una técnica para incrementar la estabilidad de un sistema de control, la cual reduce el efecto de los cambios de carga próximos a su fuente, y mejora por otro lado la reducción del efecto de retraso de tiempo.

#### 2. SISTEMA DE RELACION.

En este sistema se incluyen varios tipos, encontrándose entre los más relevantes:

- a) Con estación de relación: Sistema donde una variable dependiente va a ser controlada en relación directa con una variable independiente.

- b) De cantidad total; Sistema donde cierta cantidad total de material dependiente agregado durante cierto tiempo es manipulado en una relación directa a otra cantidad total independiente.
- c) Entre variables diferentes; Este sistema de control de relación se diferencia por poder mantener una relación arbitraria entre dos o más variables diferentes, (presión, temperatura, etc.).

### 3. DE IMPULSO CON AVISO DE SEÑAL.

Esta técnica se aplica cuando se tiene un sistema con largos tiempos de retraso sufriendo la desventaja de que el controlador trabaja con una señal de proceso que no representa la condición real de éste.

### 4. DE RANGO DIVIDIDO.

Es un sistema de control en el cual se realizan una serie de eventos definidos para que cierta variable manipulada pueda tener preferencia para el control de un proceso.

### 5. DE PREDOMINIO.

Este sistema se utiliza cuando es necesario limitar el valor de una -

variable (valor alto o bajo), para evitar daños en el proceso o producto.

6. DE CICLO DE TIEMPO.

Es un sistema que abre y cierra uno o más circuitos durante intervalos regulados de tiempo.

7. DE PROGRAMA DE TIEMPO.

Es una variante del sistema anterior, pero aquí el set point del controlador es variado automáticamente sobre - cierto período.

8. DE PUNTO FINAL .

Combinación del sistema de cascada y de relación, logrando que la relación de la variable dependiente (controlada) a la independiente, sea automáticamente ajustada por la variable final del proceso.

## 2.2. CALENTADORES A FUEGO DIRECTO

El suministro de energía a algunas corrientes en un proceso, se puede efectuar por alguna de las siguientes alternativas:

- a) Con un intercambiador de calor, obteniendo energía de otra corriente que la ceda.
- b) Con un calentador de vapor de agua.
- c) Con un calentador con fuego.

La selección de la alternativa forma parte del tipo de servicio que se requiera, del tipo de proceso o si se desea optimizar el proceso, sin embargo, utilizando un calentador con fuego se tienen ciertas ventajas como son:

- a) Amplio rango de temperaturas de calentamiento.
- b) Flexibilidad en cuanto a carga térmica.
- c) Factor de servicio grande por buena disponibilidad de combustible.



- d) Alcanza temperaturas altas, suficientes para hacer reaccionar al fluido que está recibiendo la energía, o sea que, sirven como reactores endotérmicos.

Las partes principales de un calentador con fuego, en términos generales son:

- a) Zona de radiación.
- b) Zona de convección.
- c) Sección escudo
- d) Quemadores
- e) Hogar
- f) Refractario
- g) Chimenea
- h) Caja de humo.

a) SECCION DE RADIACION

En la sección de radiación, como su nombre lo indica, el calor de combustión se transfiere principalmente por radiación a las

paredes de los tubos.

En esta sección se genera la flama y se alcanzan las temperaturas más altas por lo que es conveniente absorber en esta - sección la mayor cantidad de calor, tomando en cuenta el área expuesta y el material de los tubos para que esa absorción de calor resulte más económica.

b) SECCION DE CONVECCION.

La sección de convección es parte integral del horno y, su propósito es aprovechar el calor de los gases de combustión que abandonan la sección de radiación. El calor que se aprovecha se le adiciona al fluido de proceso que sufre un precalentamiento o es absorbido por otro servicio adicional en la zona de convección.

Debido a que los gases de combustión al abandonar la zona de radiación han perdido gran cantidad de su contenido de energía, cuando entran a la zona de convección ha disminuído su temperatura, por lo que la zona de convección opera a temperaturas menores que la zona de radiación.

Como en la sección de radiación, en la - sección de convección, el calor es trasmitido por radiación y por convección. Pero como los fenómenos de conducción y convección son afectados primordialmente por la diferencia de temperaturas y muy poco por el nivel térmico, en la sección de convección, la conducción y convección son los mecanismos que contribuyen en mayor proporción a la transmisión de energía.

Por lo anterior, los serpentines de la zona de convección, en la mayoría de los hornos, son hechos de tubos aletados ó birlados para mejorar la transmisión de calor por convección.

#### c) SECCION ESCUDO

Es la sección inicial de la sección de convección y ve directamente la flama, algunas veces se coloca en la sección de radiación y entónces forma parte de ella.

La transferencia de calor se efectúa por radiación y con gran influencia por convección, ya que está en el paso de los gases calientes de la sección de radiación a la de convección. Generalmente se usan tubos desnudos colocados horizontalmente en esta sección.

d) LOS QUEMADORES.

Tienen por objeto mezclar el aire con el combustible y así poder efectuar eficientemente el quemado.

e) HOGAR.

Es la parte del horno donde se efectúa la combustión, en las paredes del hogar están colocados los tubos de la sección de radiación de tal forma que reciban la mayoría de la energía calorífica radiada.

f) REFRACTARIO.

Tiene como papel primordial evitar la pérdida de calor, o sea que el calor producido por la combustión se aproveche al máximo. Además protege a las láminas metálicas del envolvente de las altas temperaturas que se generan.

El refractario debe estar bien colocado para hacer herméticas las paredes donde sea colocado.

g) CHIMENEA.

Es la parte del horno donde se eliminan los gases resultantes de la combustión y también produce el efecto del tiro, o sea la entrada del aire por las ventilas de los quemadores y la salida de los gases por la propia chimenea.

h) CAJA DE HUMO.

Es el conducto por donde van los gases calientes rumbo a la chimenea.

Familiarizándose con las partes que integran un calentador con fuego, se comprenderá mejor las clasificaciones que existen entre ellos.

Los calentadores con fuego se clasifican en dos grupos:

- a) Calentadores de bóveda.
- b) Calentadores compactos.

Cuando la flama se encuentra calentando directamente a los tubos de los serpentines, se denominarán calentadores a fuego directo (CAFD), en cambio, cuando exista una barrera o medio de separación para evitar el contacto de la flama con el serpentín del calentamiento, se denominarán calentadores a fuego indirecto (CAFI). Con esta otra clasificación; los calentadores de bóveda como los calentadores compactos, pueden ser además, a fuego directo ó a fuego indirecto. Como se muestra en la figura 2.2.1 en que se muestran estas clasificaciones.

En los calentadores con fuego ya sea CAFD ó CAFI, se presentan los mecanismos de transmisión de calor - existentes (radiación, convección y conducción) y de

acuerdo al mecanismo predominante que se lleva a cabo desde la flama y los gases calientes de combustión al fluido de proceso, se denominan las secciones del calentador ó incluso el calentador completo, pudiéndose nombrar a veces como tipo todo radiante, tipo de convección y del tipo de radiación-convección.

En la figura 2.2.2 se demuestran los mecanismos de transmisión de calor existentes en un CAFD convencional ó de bóveda.

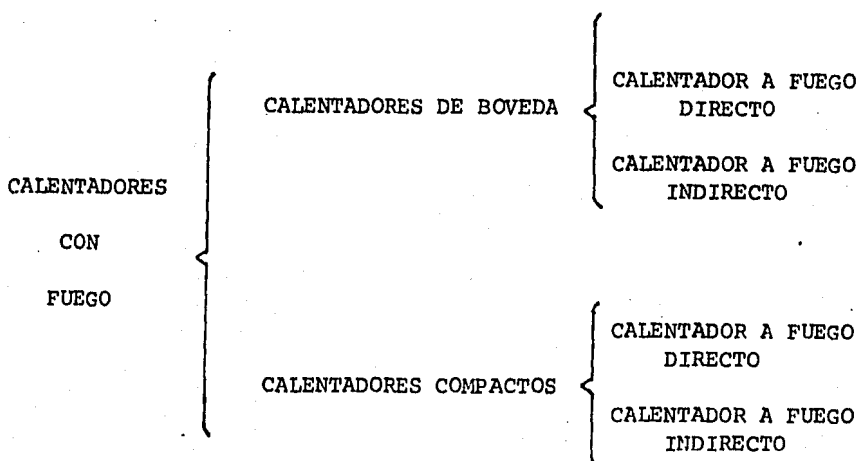
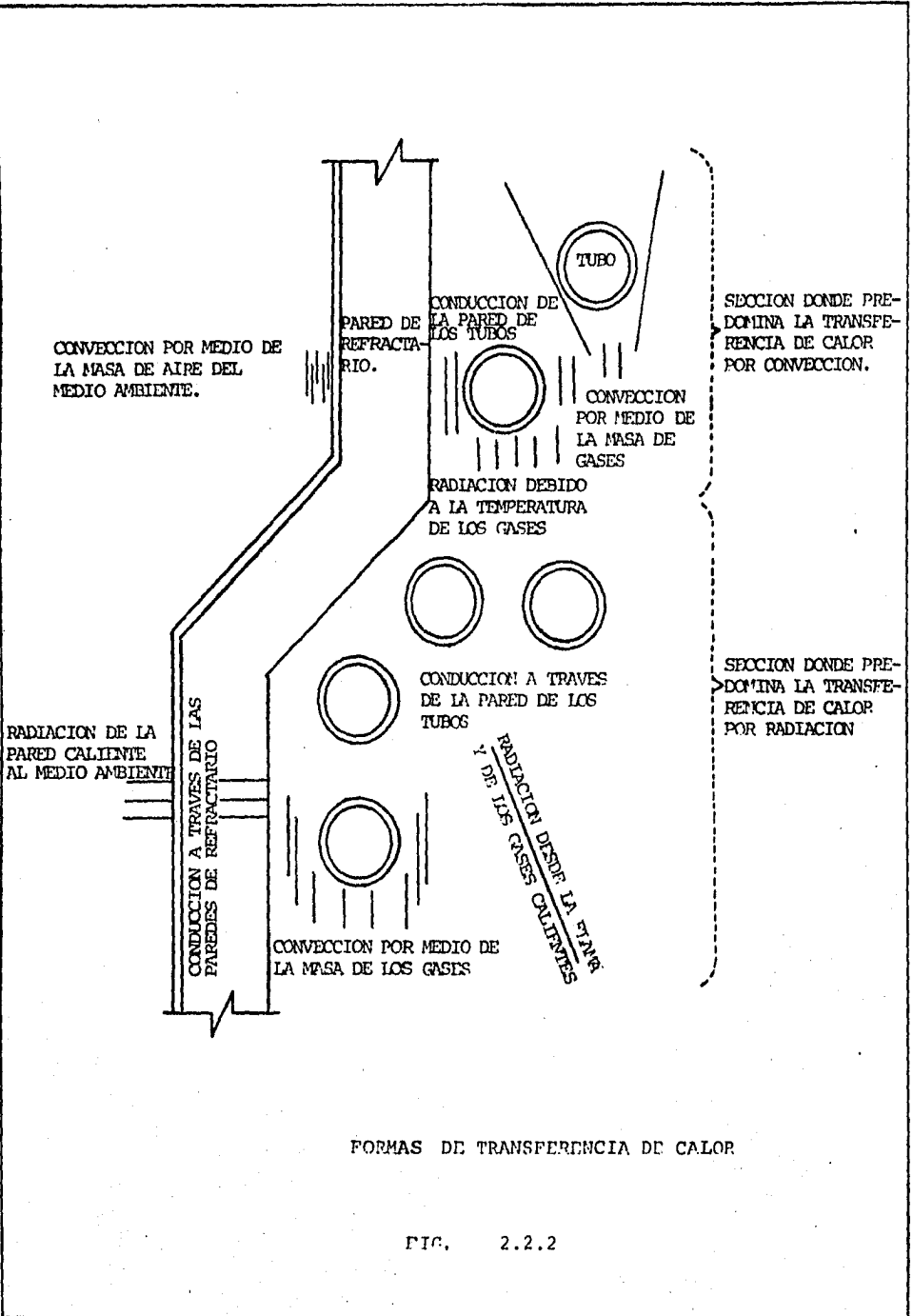


FIG. 2.2.1





## CALENTADORES DE BÓVEDA

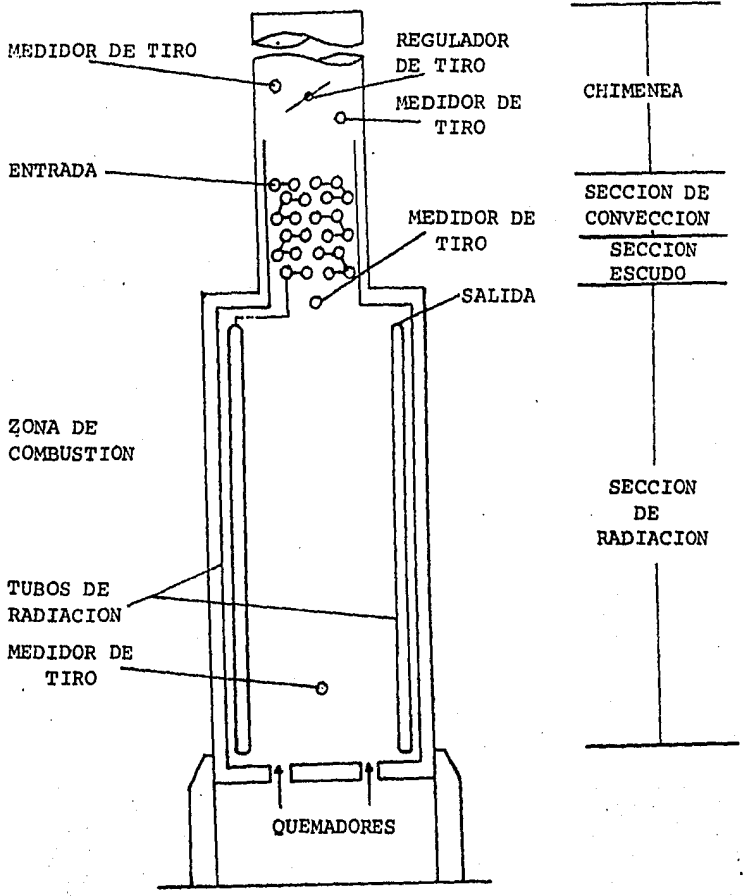
Los calentadores de bóveda son aquellos en los que la combustión se lleva a cabo en una cámara o caja, la cual contiene un serpentín de calentamiento. Dicha sección corresponde a la llamada, sección de radiación, ya que el mecanismo de transmisión de calor predominante es el de radiación. Como en esta sección se genera la flama y se alcanzan las temperaturas más altas, es aquí donde conviene absorber la mayor cantidad de calor, tomando en cuenta el área expuesta y el costo del material de los tubos, para que ésta absorción de calor resulte más económica.

Estos equipos pueden ser del tipo todo radiación ó del tipo radiación-convección, en la cual la sección donde se lleva a cabo la combustión, se absorbe el total de calor, teniéndose eficiencias de alrededor de 50 - 60 %, la sección de convección es una parte integral del calentador y su propósito es aprovechar la energía contenida en los gases de combustión que

abandonan la sección de radiación y con ello aumentar la eficiencia hasta un máximo de 92%.

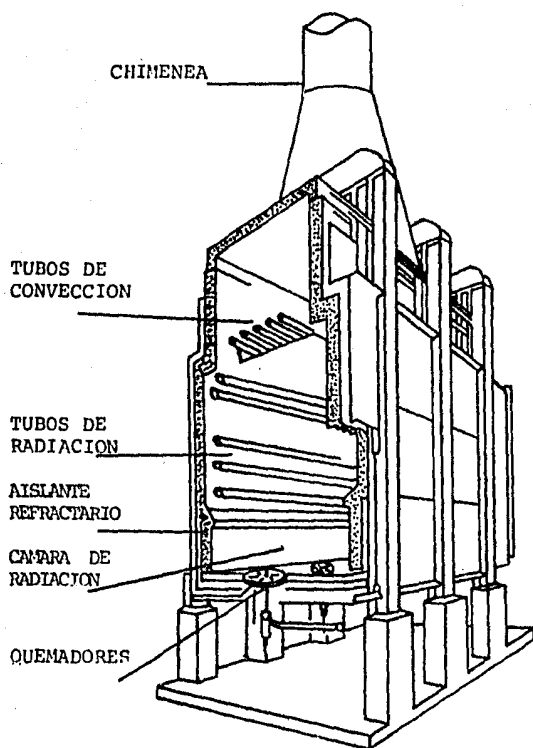
Aunque no existe un criterio uniformado para designar a los tipos de CADF de bóveda, éstos se pueden clasificar en dos grandes grupos, de acuerdo a la forma geométrica de su bóveda ó cámara de combustión:

- a) Calentadores cilíndricos (Fig. 2.2.3.)
- b) Calentadores rectangulares (Fig. 2.2.4.)



CALENTADOR CILINDRICO VERTICAL

FIG. 2.2.3



CALENTADOR HORIZONTAL

FIG. 2.2.4

La colocación de los tubos en estos calentadores según su forma y según la sección en la que se encuentran, pueden ser como sigue, en la Fig. 2.2.5

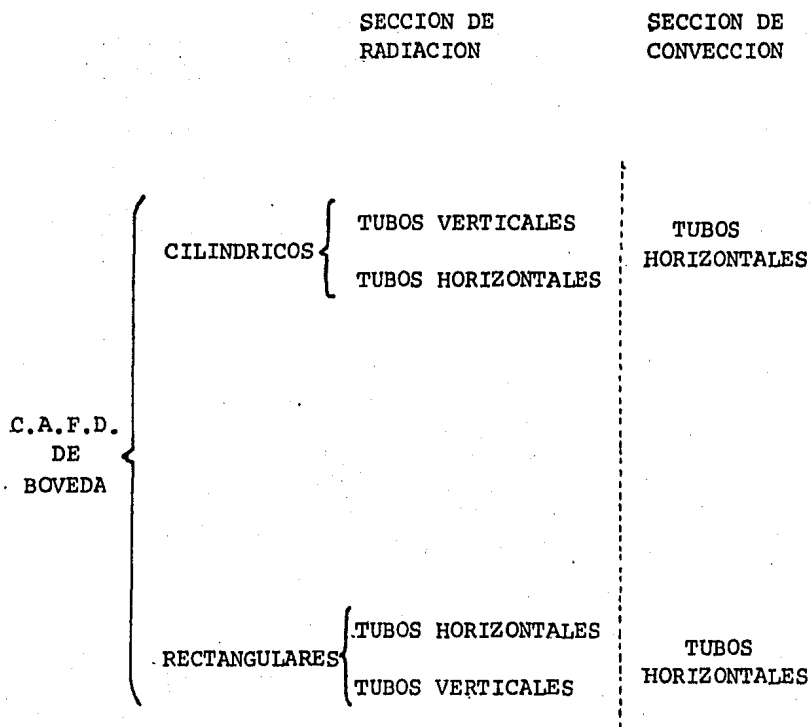


FIG. 2.2.5

El sistema de combustión puede ser de tiro natural, en el que la operación de los quemadores es manual ó, de tiro mecánico, en el que la operación de los quemadores generalmente es automática y el flujo de aire se introduce por medio de un ventilador de tiro forzado. Cuando se utiliza un ventilador de tipo inductivo, la entrada de aire se regula manualmente.

Las características de estos calentadores a fuego directo son:

- a) Capacidad termica por equipo, hasta 1,000 MMBTU/hora.
- b) Eficiencia térmica máxima de 92%.
- c) Flexibilidad de operación con mantenimiento adecuado.
- d) No hay problemas por la presión del fluido.
- e) En caso de rotura de tubos, el fluido escapa directamente a la sección de combustión.
- f) Estructuración pesada.
- g) Cuando se usan refractarios vaciados aumenta grandemente su peso.

- h) Cuando se usan equipos de tiro natural, puede existir mala distribución de la absorción de calor.
- i) Arranques y paros lentos.
- j) No se recomiendan de tiro mecánico en lugares apartados.
- k) Fluxes de calor en radiación de 9,000 a 14,000 BTU/h ft<sup>2</sup> .
- l) Temperaturas altas en la pared de los tubos.



### CALENTADORES COMPACTOS

Se les denomina así a los calentadores que son fabricados completamente con todas sus partes y que el espacio de combustión es mínimo, incluyendo la instrumentación de los mismos.

Los calentadores de este tipo pueden ser a fuego directo o a fuego indirecto.

Clasificándose los de fuego directo en:

- A) Intercambiadores de calor a fuego directo, que consta de un haz de tubos helicoidales conectados a un cabezal de entrada y a uno de salida, una parte del haz de tubos se encuentra en la sección donde se genera la flama. La otra sección está rodeada por una mampara que los separa de los demás tubos, los cuales son bañados por el flujo de gases calientes sin contacto con la flama.

Sus principales características son:

- a) Respuesta rápida para encendido y/o cambios básicos de carga.
- b) Control adecuado y preciso de la temperatura de la salida del gas.
- c) Rango de operación amplio.
- d) Caída de presión mínima.
- e) Con quemadores de alta velocidad, sin choque de flama.
- f) Tiro forzado.
- g) Eficiencia térmica máxima de 85%.
- h) Máxima capacidad por unidad de 30 MMBTU/h.
- i) Material de tubos: acero inoxidable.

Entre las más importantes y por mencionar algunas.

B) Calentadores de tubos de humo.

Este calentador consta de un tubo que puede ser sencillo ó en horquilla, teniendo en un extremo el quemador y en el otro la salida a la chimenea.

Dicho tubo se introduce en una carcaza, por la cual pasa el fluído a calentar. Generalmente se emplean para calentar fluídos viscosos e incrustantes, por su facilidad de limpieza, aunque también se pueden usar para otros fluídos, algunas de sus características son:

- a) Respuesta rápida para encendido y/o cambios bruscos de carga.
- b) Quemadores de tipo natural.
- c) Fácil limpieza
- d) Caída mínima de presión.
- e) Eficiencia máxima térmica 75%.

- f). Máxima capacidad por unidad:  
5 MMBtu/h.
- g). Material del tubo de humo:  
acero al carbón.

Los calentadores de fuego indirecto se clasifican en:

A) Calentadores de pura convección o de flux de calor controlado

Este tipo de equipo es similar a los intercambiadores a fuego directo a excepción de las siguientes características:

- a) No tienen tubos en la sección donde se genera la flama.
- b) Eficiencia térmica máxima de 75%.

B) Calentadores de combustión sumergida.

Se utilizan para calentar fluídos criogénicos. Los gases calientes se descargan a alta velocidad en un baño de agua, en el cual está completamente sumergido el haz de tubos. Para evitar problemas de corrosión se mide continuamente el Ph del baño y en caso de haber problemas se aumenta la purga de agua y se agrega agua de reposición.

Algunas de sus características son:

- a) Eficiencia térmica máxima de 98%.
- b) Fluxes de calor altos.
- c) Capacidad máxima por equipo de 20 MMBtu/hr
- d) Fácil operación.
- e) No usa refractario.
- f) Compacto, poco espacio requerido.

#### CALENTADOR BAÑO DE AGUA

Este tipo de calentador está diseñado para cualquier gas a alta presión. También se pueden emplear para el calentamiento de "colas pesadas" y evitar condensaciones en las tuberías de conducción del fluido. - Consta de un tanque que en la parte inferior tiene un tubo en forma de horquilla, el cual en un extremo está el quemador y el otro conecta a la chimenea, en la parte superior un serpentín de tubos más pequeños por el que fluye el gas que se va a calentar.

Cuando se requiere un calentamiento a temperaturas mayores, el agua puede reemplazarse por un aceite ó por una salmuera, algunas de sus características son:

- a) Especial para calentar gases ó líquidos en amplio rango de presiones y temperaturas sin diseño especial para la carcaza.
- b) Eficiencia térmica máxima de 70%
- c) Capacidad máxima por unidad de 4 MMBTu/Hr.
- d) Paros y arranques rápidos
- e) Sistemas de seguridad e instrumentación sencillos.
- f) El serpentín de calentamiento se soporta independientemente del tubo de combustión, por lo que son fácilmente intercambiables.

#### CLASIFICACION DE LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE ACUERDO AL SERVICIO.

De acuerdo al servicio que proporciona un CAFD a un -  
fluído de proceso, la clasificación es como sigue:

## I. CALENTADORES.

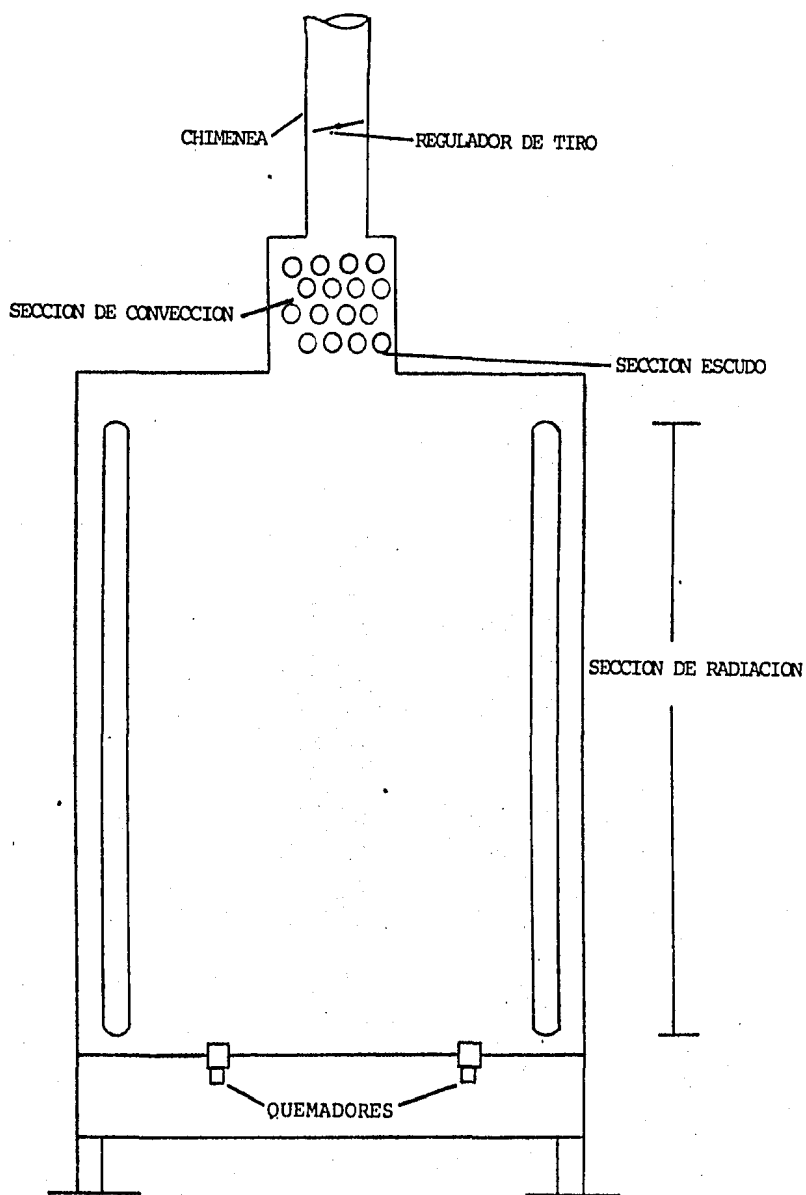
Se denominan así a los que se usan sólomente para suministrar calor a la corriente de proceso para calentarla, evaporar una parte o toda la carga sin que haya cambios químicos. Por ejemplo calentadores de carga al reactor, rehervidores de columnas, supercalentadores de vapor, calentadores de gas, etc. (ver Fig. 2.26 y 2.27)

## II. CALENTADORES DE CRACKING.

Son calentadores en los que se efectúa una descomposición térmica en los serpentines de pirólisis empacados con catalizador, donde ocurrirá el rompimiento de las largas cadenas de los hidrocarburos alimentados, en moléculas de cadenas cortas y la formación de olifinas.

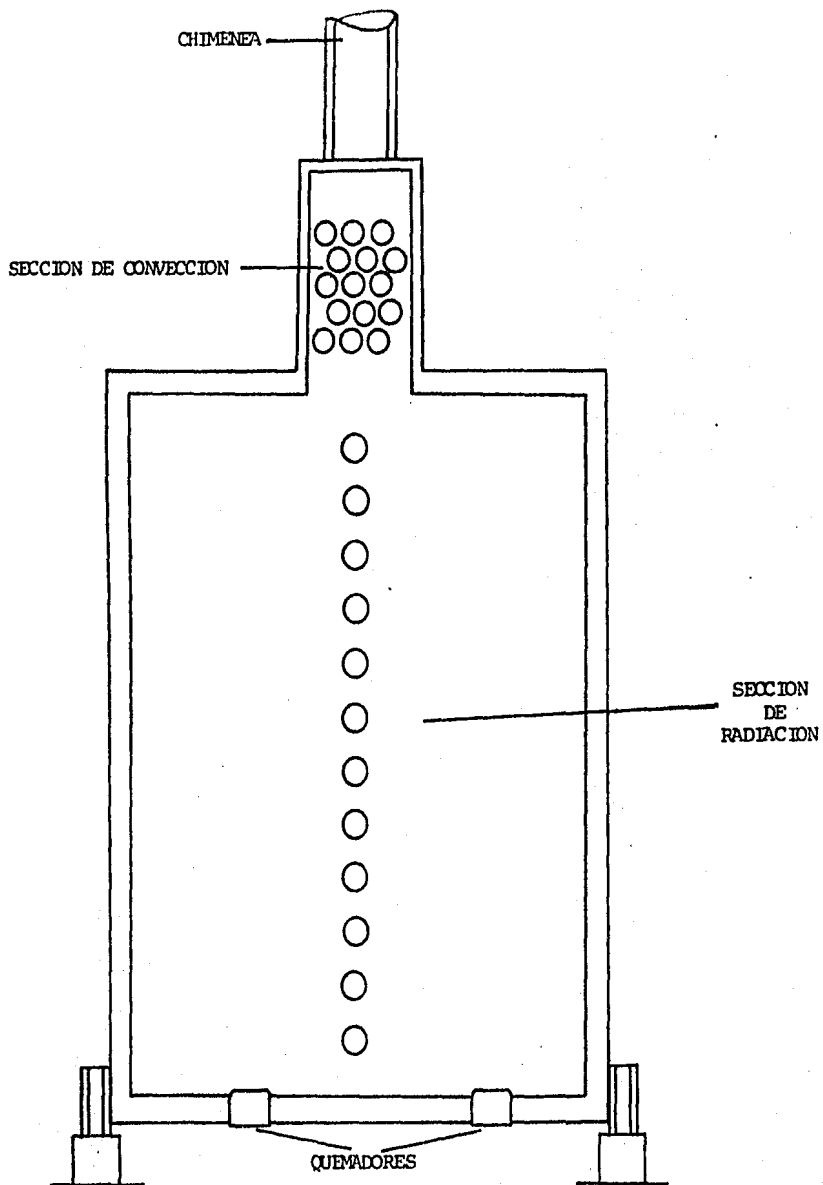
La severidad del cracking depende de la temperatura a que se lleve a cabo y del tiempo de residencia en los serpentines de pirólisis. Por consiguiente la distribución de los productos en





EJEMPLO DE UN CALENTADOR PARA SUMINISTRAR CALOR UNICAMENTE  
TIPO VERTICAL

FIG. 2.2.6



EJEMPLO DE UN CALENTADOR PARA SUMINISTRO DE CALOR, TIPO HORIZONTAL.

FIG. 2.2.7.

el horno dependerá del grado de combustión y del perfil de temperatura en él.

El efluente de salida del horno tiene que ser rápidamente enfriado para evitar que se produzcan polímeros y así obtener determinados productos ó mejores compuestos para uso industrial.

Como ejemplos de este tipo de hornos tenemos a los hornos de producción de olefinas, reductores de viscosidad, los hornos productores de etileno (ver figura No. 2.2.8).

### III. REFORMADORES U HORNOS VAPOR - HIDROCARBUROS.

Son hornos en los cuales se lleva a cabo una reacción química catalizada dentro del serpentín, generalmente se diseñan los tubos como cámaras individuales de reacción, con lechos de catalizador y que se calientan en la sección de radiación. Estos reformadores se usan para la producción de hidrógeno con los siguientes fines:

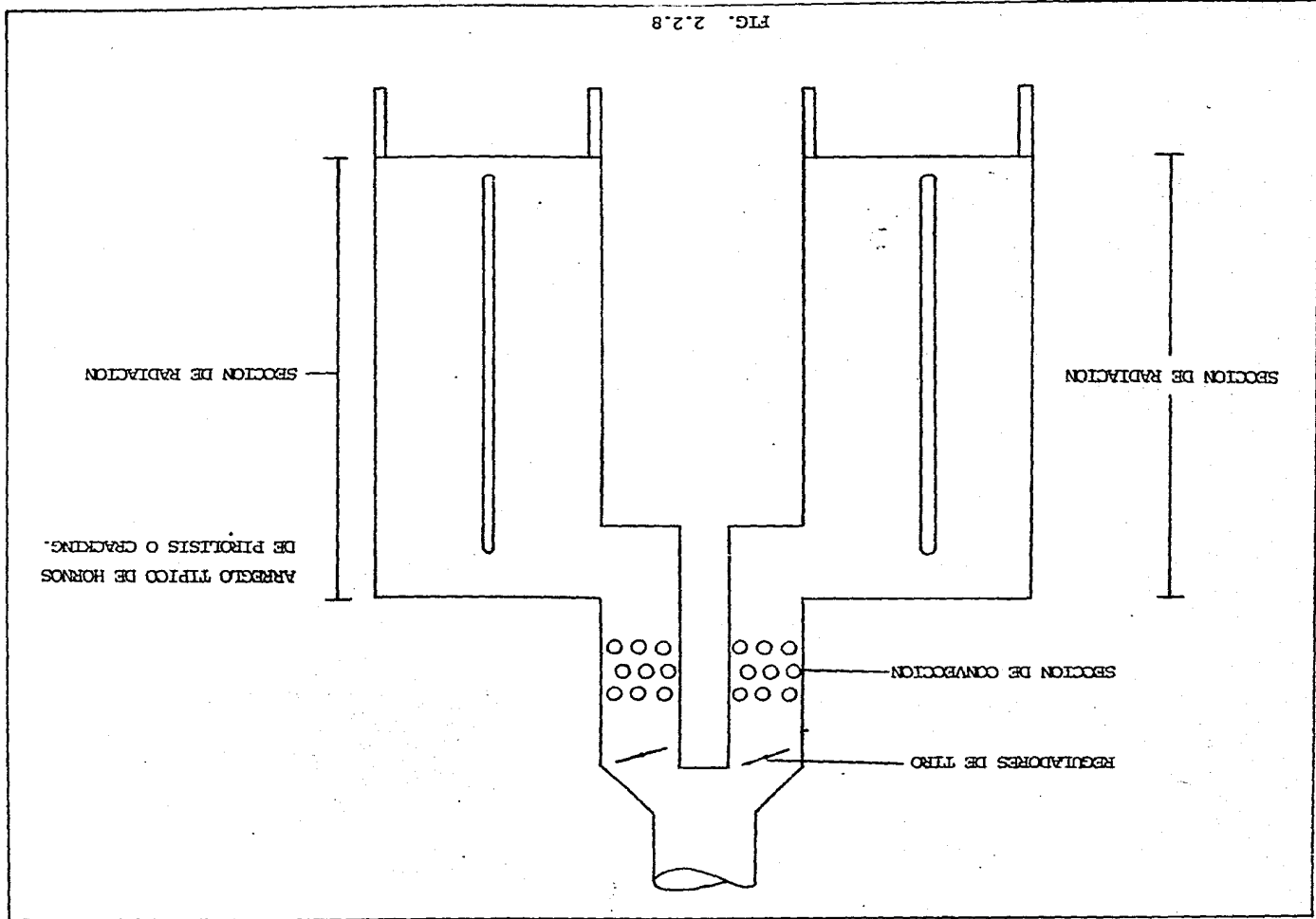
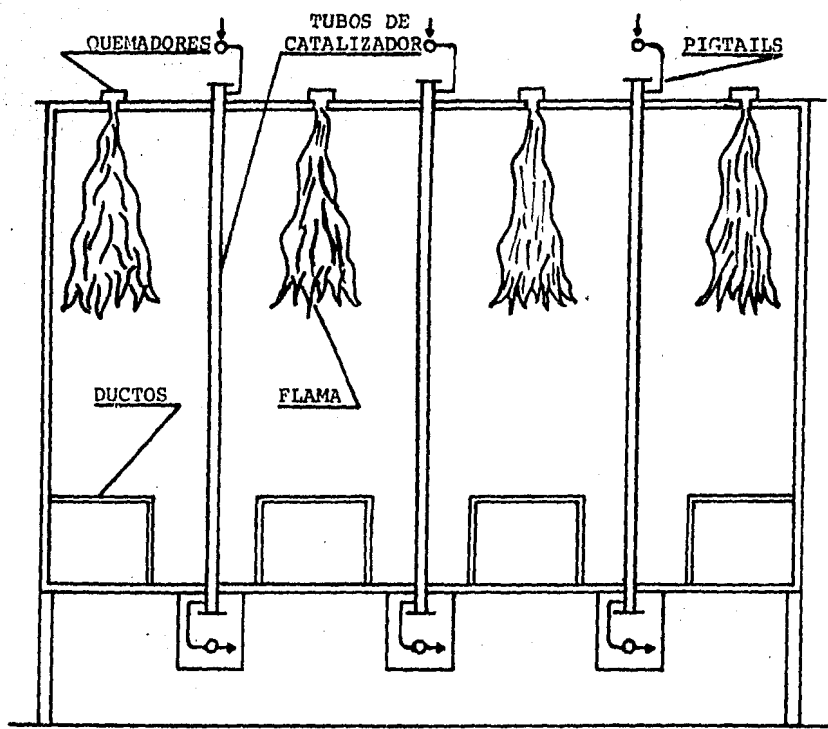


FIG. 2.2.8

- a) Hidrógeno puro
- b) Producción de amoníaco
- c) Producción de metanol.

Para los calentadores del inciso a) se usan - métodos de evaluación y de diseño térmico, empíricos y semi-empíricos con una distribución de calor sin mayor problema en su control, salvo - en casos especiales en los que el fluido de - proceso tiende a coquizar o sufrir cambios quí- micos.

Los demás son hornos reactores y los métodos que se utilizan son más estrictos y sofisticados, - ya que la distribución de calor es importante para obtener una conversión deseada. (ver figu ra 2.2.9').



REFORMADOR VAPOR-HIDROCARBUROS

FIG. 2.2.9

## TIPOS DE CALENTADORES

En la figura 2.2.10 se muestran diagramas simplificados de 6 diferentes tipos de calentadores, en los diagramas A y B se dan ejemplos de calentadores, tipo - caja de tubos horizontales, en los cuales los tubos son soportados por soportes de alta aleación desde - las paredes laterales y en los arcos. Estos tipos de calentadores pueden tener quemadores en el piso, en las paredes extremas ó en las paredes laterales.

El tipo C es un horno cilíndrico vertical en el cual los tubos son soportados desde el techo al piso de la zona de radiación, por lo tanto requieren menos sopor- tes que los del tipo ilustrado en A o en B.

Este tipo de horno es con quemadores al piso y general- mente es más económico para fabricar. En el esquema D, se ilustra un horno de tubos verticales tipo caja. Este tipo puede usarse con una sola fila de tubos ó con hileras de quemadores a ambas caras de los tubos.

El esquema E, es también un calentador tipo caja de tubos verticales pero de un tipo especial. Una unidad de doble celda radiante se muestra, pero este tipo es también formado por unidades de simple celda, con quemadores en ambos lados para mejorar la distribución del calor alrededor del tubo. También los quemadores se distribuyen a lo largo de los tubos, siguiendo un patrón de calentamiento vertical para un control máximo del perfil de flujo térmico.



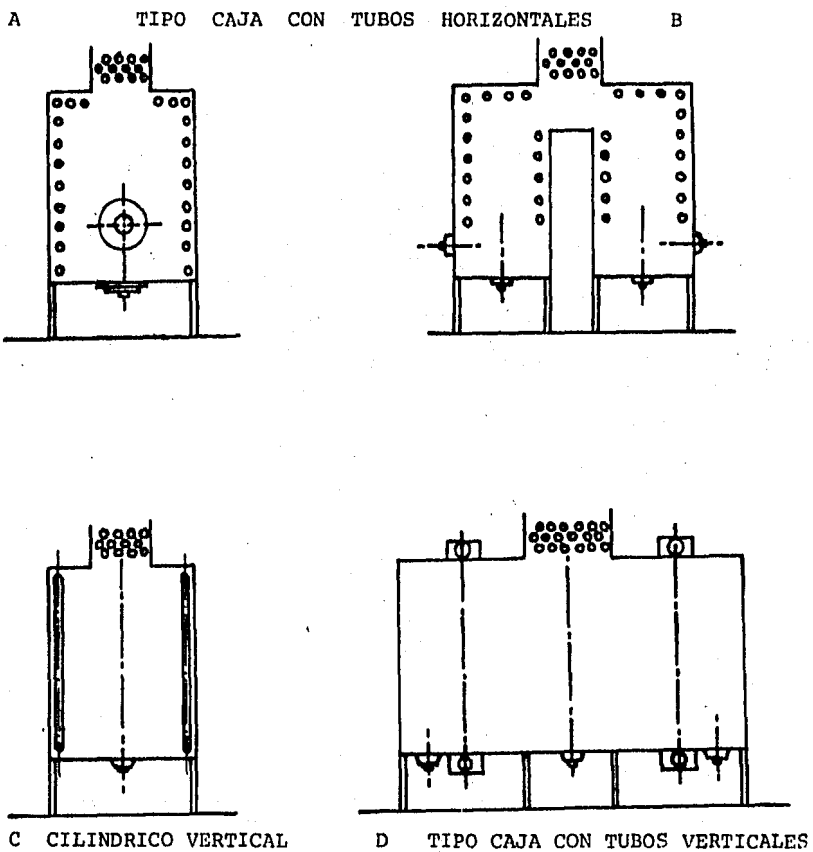
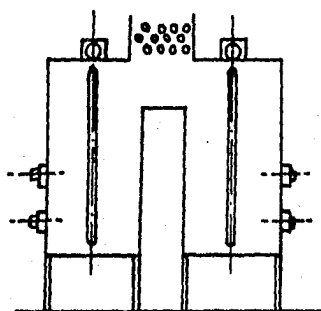
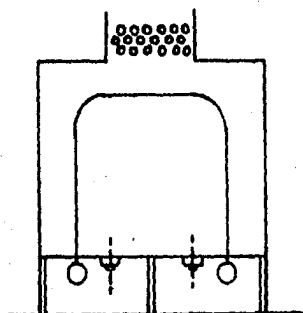


FIG. 2.2.10



E.-HORNO REACTOR DE DOBLE CELDA



F.- DE ARCO

FIG. 2.2.10

Estas características se desean en el control de la energía suministrada para los hornos reactores, pero es el tipo de diseño más caro, al igual que para construirlo.

El esquema F, es un diseño tipo arco, especialmente adaptado para flujos de calentamiento bajo condiciones uniformes y con muy poca caída de presión, desde el distribuidor de entrada hasta el de salida.

3.

**FUNCION DEL HORNO EN LA PLANTA**

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

La importancia del etileno como materia prima de síntesis es tal que se han buscado las más variadas fuentes de producción.

El gas de coquerías contiene de 2 a 4 % de etileno, sometiendo el gas de coquería a licuefacción y destilación fraccionada se separan entre otras fracciones la "fracción etileno" que contiene un 20% de etileno.

El cracking catalítico del petróleo, de gases de refinación o del etano son fuentes importantes para la obtención de etileno. Dos procedimientos se han revelado como particularmente adecuados para la obtención de etileno:

1. La hidrogenación rigurosamente selectiva del acetileno a etileno.
2. La pirólisis conducida catalíticamente de los hidrocarburos del petróleo.

La figura No. 3.1.1 indica de qué manera se puede obtener etileno y la importancia de éste, pues es materia prima para la obtención de productos de petroquímica secundaria.

Hasta hace pocos años era el acetileno en Alemania la más importante materia prima para la obtención del etileno (por hidrogenación). Pero los recientes hallazgos de petróleo y de gas natural en América, se han ido poniendo en primer término, para la producción de etileno a partir de la escisión de estos productos.

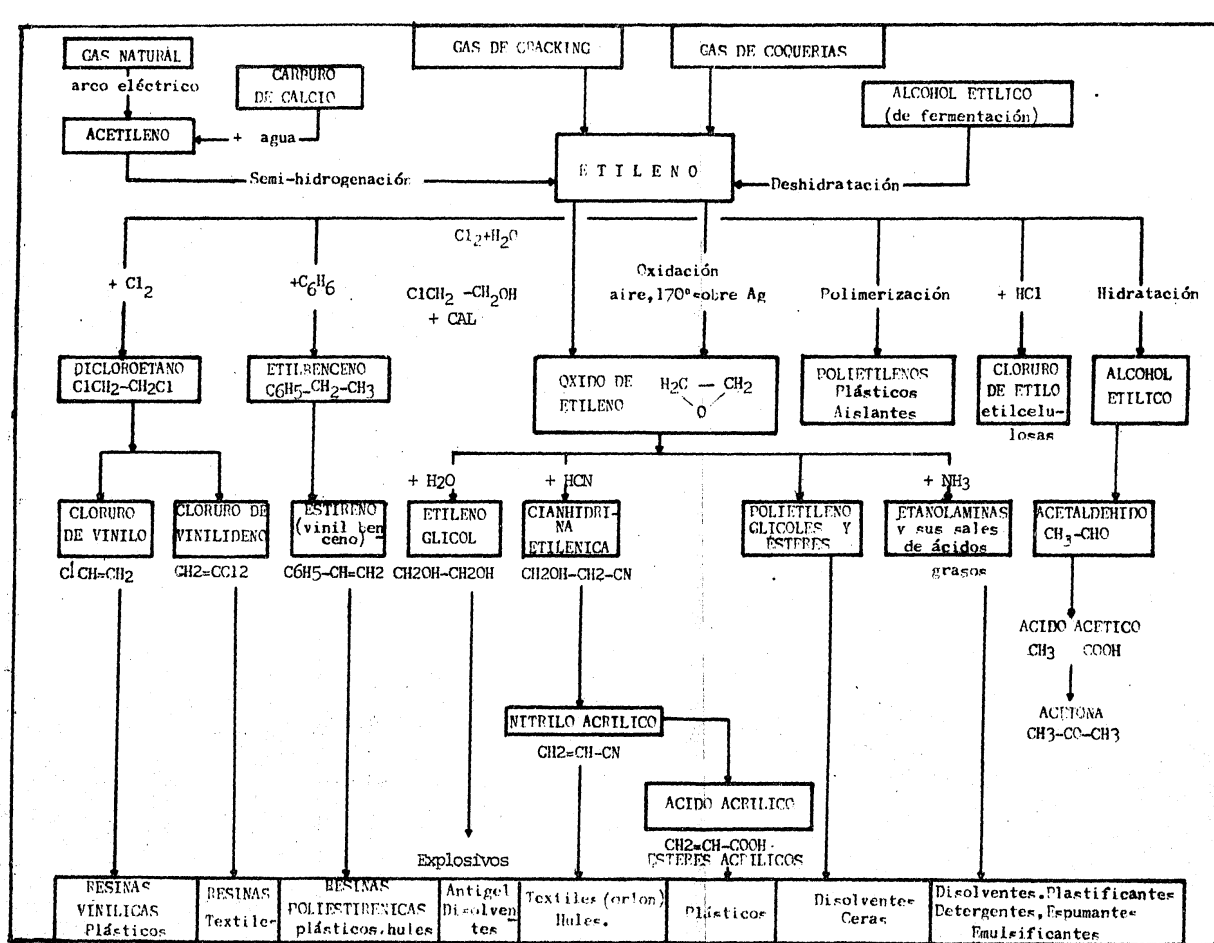
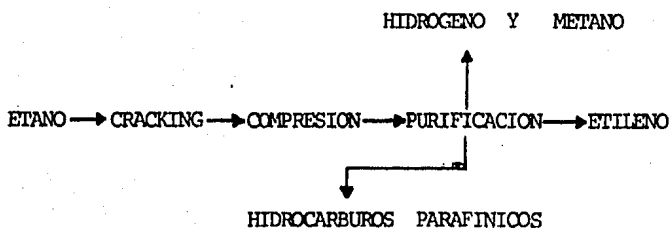


FIG. 3.1.1

El proceso que a continuación se muestra, es el empleado en México por Petróleos Mexicanos en sus Plantas Petroquímicas de: Poza Rica, Cangrejera, Pajaritos y en un futuro próximo Morelos, Laguna del Ostión y Dos Bocas efectuándolo a partir del gas etano considerando fundamentalmente tres etapas:

1) CRACKING                    2) COMPRESION                    3) PURIFICACION

La complejidad de cada una de estas etapas está en función del producto que se alimenta para la obtención del etileno.





La función de la unidad\* de etileno es la producción de etileno de alta pureza a partir del etano, por medio de una desintegración térmica.

Produciendo y separando las siguientes corrientes de subproductos: gas rico en hidrógeno, gas rico en metano y una corriente de propileno y productos pesados.

La unidad\* está diseñada para una producción de 400 millones de libras por año de etileno contenidas en el etileno producto de alta pureza.

Basada en 330 días de operación al año, la capacidad de esta unidad es de 1'212,120 lbs. de etileno, producto de alta pureza por día de operación, mandándolas

(\*) Localizada en el Complejo Petroquímico de Poza Rica.

a límite de batería a 272 psig. y  $80 \pm 7^\circ\text{F}$ .

La unidad procesa una corriente de etano con las características mostradas a continuación:

Vapor de etano de alimentación.

<u>Componente</u>	<u>% en mol.</u>
Metano	5.3
Etano	90.0
Propano	4.4
Bióxido de carbono	<u>0.3</u>
T o t a l . . . .	100.0
Azufre total	50 ppm en peso*

Produciendo simultáneamente las corrientes especificadas a continuación:

Etileno

Etileno	99.95 Min % en peso.
Metano y etano menos de	350 ppm en peso
Propileno menos de	1 ppm en peso

\* El azufre se inyecta en la alimentación.

Butileno, menos de	1 ppm en peso
Otras olefinas, menos de	1 ppm en peso
Butadieno, menos de	1 ppm en peso
Bióxido de carbono, menos de	5 ppm en peso
Nitrógeno, menos de	5 ppm en peso
Acetileno, menos de	5 ppm en peso
Hidrógeno, menos de	1 ppm en peso
Monóxido de carbono, menos de	5 ppm en peso
Oxígeno, menos de	2 ppm en peso

La unidad cuenta con una capacidad de auto-alimentación de 30 minutos ,basada en la alimentación de diseño a los hornos de pirolisis,por medio de un recipiente acumulador de etano de recirculación .

El etano proveniente de los límites de batería junto con el etano de recirculación y con vapor de dilución reaccionan en calentadores tubulares de fuego directo, donde se logra una temperatura de salida de 1580 °F (860 °C) y una conversión de hasta 60%.

El efluente de cada horno es preapagado hasta 1200 °F (649 °C) con condensado y vapor en un equipo para este fin y posteriormente se enfría hasta 600 °F (316 °C) en los "cambidores de transferencia", los que generan vapor a 620 psig. (45.8 Kg./cm<sup>2</sup>) en el proceso de intercambio de calor. Para la producción de la cantidad de diseño de etileno se requieren 5 hornos.

Los efluentes de los cambiadores de transferencia se mezclan entre sí y se envían a la torre de apagado.

En ésta, la mayor parte del vapor de dilución y algunos hidrocarburos pesados se condensan por contacto directo con agua de enfriamiento. El producto neto del domo a 110° F (43.4° C) se envía al sistema de compresoras. Los hidrocarburos condensados se separan del agua de apagado y del vapor de agua condensado en un tanque de decantación de agua de apagado que opera a 180° F (82.1° C) aproximadamente.

El exceso de condensado se envía al drenaje. Una parte de la recirculación de agua de apagado se usa para precalentar la alimentación de etano a los hornos. La regulación de la temperatura del agua de apagado a la entrada de la torre de apagado se efectúa controlando el intercambio de calor entre el agua de apagado y el agua de enfriamiento.

Los vapores de la torre de apagado se comprimen en una compresora centrífuga de 4 etapas hasta una

presión de 550 psig. con enfriamiento entre etapas a 110° F. El gas ácido que acompaña a los vapores comprimidos, se separa entre la 3a. y 4a. etapa en una torre de lavado con solución de sosa. De ahí los vapores se envían al convertidor de acetileno a través de un cambiador de alimentación-efluente y de un recalentador de vapor.

El acetileno se hidrogena con ayuda de un compuesto catalizador patentado, en un reactor de lecho empacado, agregándosele  $H_2S$  en cantidades controladas para - mejorar la selectividad del catalizador. Se suministran dos recipientes; uno está en operación, mientras el otro está de repuesto. La regeneración requiere el uso de un calentador a fuego directo.

El efluente del convertidor, que se usa para precalentar la alimentación, se envía posteriormente a la 4a. etapa de la compresora. El gas a la salida de la 4a. etapa se enfría hasta 60° F con propileno -

refrigerante. El líquido que se condensa se separa y los vapores se envían a los secadores.

Los condensados de agua e hidrocarburos de las tres primeras etapas se regresan al tanque acumulador de agua de apagado. El condensado de la 4a. etapa se recircula al tanque de descarga de la 3a. etapa, donde los componentes ligeros se autoevaporan y los pesados se combinan con el condensado de esta etapa para regresarlos al tanque acumulador de agua de apagado.

El gas obtenido a 60° F y 540 psig. se seca en secadores de lecho empacado usando como desecante alúmina activada antes de pasar a las secciones de recuperación a baja temperatura. Se suministran 3 secadores, 2 funcionan en serie, mientras el tercero está regenerándose. La regeneración y el enfriamiento de los secadores se realizan mediante un solo paso de gas residual rico en hidrógeno.

Se suministran un calentador y un enfriador para la operación de regeneración. Los gases de regeneración y de enfriamiento se envían al tanque de gas combustible, después de librarlos de hidrocarburos y agua que pudiesen condensarse en el enfriador.

El gas seco a  $60^{\circ}$  F se subenfria progresivamente y se condensa parcialmente por etapas a diferentes niveles de baja temperatura, con eliminación de condensado a  $-30^{\circ}$  F,  $-95^{\circ}$  F,  $-145^{\circ}$  F y  $-185^{\circ}$  F. Los vapores remanentes forman el gas residual rico en hidrógeno. Los condensados extraídos constituyen las corrientes de alimentación a la torre demetanizadora. El subenfriamiento no sólo se logra mediante el empleo de propileno y etileno como refrigerantes, sino también evaporando la corriente de etano de recirculación y recalentando los gases residuales ricos en hidrógeno y metano. El uso de un expansor para reducir la presión del gas residual rico en



hidrógeno, extrayendo energía mecánica, permite - alcanzar el nivel más intenso de frío requerido de la etapa final del proceso de subenfriamiento. La planta puede funcionar sin expansor a cambio de una reducción en la recuperación de etileno. Los gases residuales ricos en hidrógeno y metano se envían al tanque de gas combustible, después de utilizarlos para enfriamiento en el tren de subenfriado del propileno refrigerante.

La demetanizadora opera a 445 psig. y temperaturas de 35°F para el fondo y -110° F para la parte superior.

La torre se calienta usando vapores de propileno, como medio calefactor, provenientes del sistema de refrigeración con propileno, el reflujo se obtiene por condensación parcial de los vapores del domo, usando etileno refrigerante. El producto neto del domo forma gas residual, rico en metano mencionado

anteriormente. Los fondos de la demetanizadora se envían a la deetanizadora, donde el etileno y el etano se separan del propileno e hidrocarburos más pesados.

La deetanizadora opera a 395 psig. a temperaturas de 16° F en el domo y de 196° F en el fondo. El hervidor utiliza vapor de baja presión como medio calefactor. El reflujo se obtiene por condensación parcial de los vapores del domo, utilizando propileno refrigerante. El producto del fondo se envía al límite de batería y, el producto neto del domo se envía a la fraccionadora de etileno.

La alimentación a la fraccionadora de etileno consiste principalmente de etileno y etano, con pequeñas cantidades de metano, propileno y propano. La columna opera a 287 psig. y la temperatura de -19° F en la parte superior, se mantiene usando reflujo

condensado por evaporación del propileno refrigerante. La temperatura del fondo de 22° F se mantiene - condensando los gases calientes de propileno refrigerante que vienen de la compresora de propileno. - El etano, producto del fondo, se envía a un tanque de balance donde se mantiene constantemente un volumen de etano, capaz de suministrar a la planta su capacidad normal durante 30 minutos. El efluente de - etano se evapora para recircularlo a la alimentación de los hornos de pirólisis, usando los vapores de alimentación a la demetanizadora. Un cambiador en paralelo permite el uso de los gases de propileno - para evaporar cantidades adicionales de etano, para la alimentación de los hornos de pirólisis, en caso que hubiera fluctuaciones anormales en el fondo de la fraccionadora de etileno y/o la alimentación a la demetanizadora. Sin embargo, el uso principal de este cambiador y del tanque de balance es proporcionar alimentación a los hornos de pirólisis en los

casos de falla total o parcial del suministro de -  
etano desde fuera y facilitar así un paro ordenado  
de la planta.

El etileno producto es extraído del plato 9 de la  
sección de purificación de la fraccionadora de eti-  
leno y entregado en los límites de batería.

Finalmente y de acuerdo con la planeación actual, el  
100% del producto se entregará como vapor sobrecal-  
entado a 80° F y 272 psig. Sin embargo, las insta-  
laciones permiten la entrega del 33% del producto -  
como líquido a 80° F y 1000 psig.

La condensación en el domo está controlada para -  
permitir la eliminación de una corriente pequeña de  
gases del tanque de reflujo. Esto permite la purga  
de impurezas ligeras del producto. La purga se -  
envía a la sección de la 2a. etapa del compresor -  
de gases de proceso como recirculación.

El sistema de refrigeración con propileno es un sistema cerrado de etapas múltiples que emplea una compresora centrífuga que suministra refrigeración a cuatro diferentes niveles que son:  $-35^{\circ}\text{F}$ ,  $-5^{\circ}\text{F}$ ,  $36^{\circ}\text{F}$  y  $60^{\circ}\text{F}$ .

El efluente de la compresora se condensa con agua de enfriamiento y se subenfria con varios productos y corrientes de proceso. La condensación a diferentes niveles de presión, también se efectúa en los hervidores de la demetanizadora, en la fraccionadora de etileno y en el evaporador de etileno producto líquido. Bajo condiciones especiales, la condensación también se efectúa en el evaporador complementario de etano.

El sistema de refrigeración con etileno es un sistema cerrado de etapas múltiples, emplea una compresora centrífuga, que suministra refrigeración a 3 diferentes niveles que son:

$-150^{\circ}\text{F}$ ,  $-100^{\circ}\text{F}$  y  $-65^{\circ}\text{F}$ .

El efluente de la compresora se sobrecalienta, -  
usando los niveles de alta presión del propileno -  
refrigerante y se condensa con los niveles de baja  
presión del mismo.

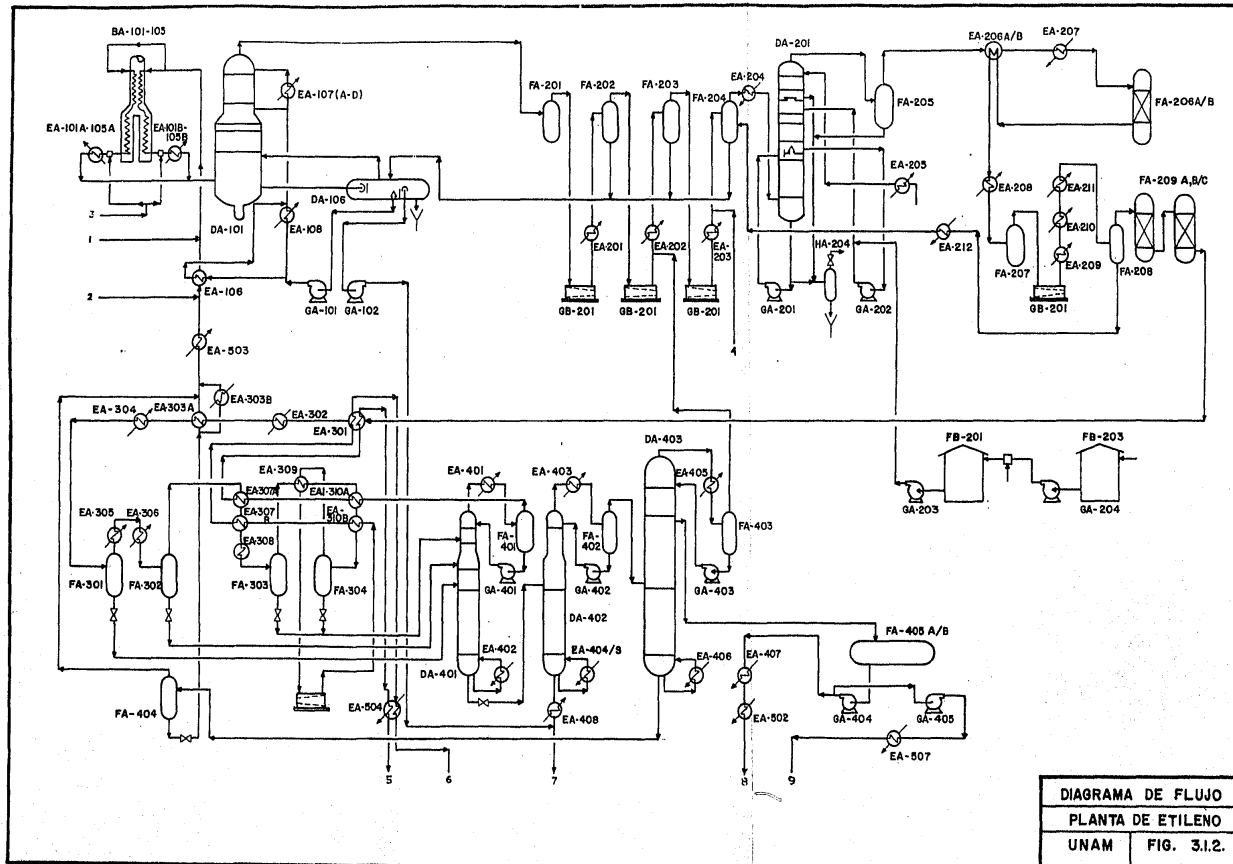


DIAGRAMA DE FLUJO	
PLANTA DE ETILENO	
UNAM	FIG. 3.1.2.

## LISTA DE EQUIPO

<u>C L A V E</u>	<u>DESCRIPCION</u>
BA-101-105	Hornos de Pirólisis
DA-101	Torre de Apagado
DA-201	Torre de Lavado Caustico
DA-401	Columna Demetanizadora
DA-402	Columna Demetanizadora
DA-403	Columna Fraccionadora Etileno
EA- ↗	Recuperadores de calor
EA- ↘	Subenfriadores
FA-106	Sedimentador de agua de apagado
FA-201,202,203	1°, 2°, 3° Etapa succión
FA-204	3° Etapa descarga
FA-206 A y B	Convertidor Acetileno
FA-207	4°Etapa Succión
FA-208	4°Etapa descarga
FA-301	Demetanizador separador No. 1
FA-302	Demetanizador separador No. 2
FA-303	Demetanizador separador No. 3
FA-304	Demetanizador separador No. 4



<u>C L A V E</u>	<u>DESCRIPCION</u>
FA-401	Dememetanizador reflujo
FA-402	Deetanizador reflujo
FA-403	Fraccionador Etileno reflujo
FA-404	Tanque recirculación Etano
FA-405 A y B	Tanques de Etileno
FB-201	Tanque de Causticos
FB-203	Tanque de causticos 50%
GB-201	1°, 2°, 3°, y 4° Etapa de <u>compresión</u>
GC-301	Expansor

1. Vapor de dilución
2. Vapor de Etano a límites de batería
3. Vapor Condensado
4. Gas de Purga de la Unidad de Polietileno
5. Gas rico en Metano al tanque de Gas combustible
6. Gas rico en Hidrogeno al tanque de gas combustible
7. Propileno y productos más pesados
8. Vapor de Etileno producto a límite de baterías
9. Etileno líquido producto a límite de baterías

### 3.2 DESCRIPCION DEL HORNO DE PIROLISIS

La mayor parte de los procesos petroquímicos requieren de un gran suministro de calor, por ejemplo:

- a) La destilación.
- b) Desintegración térmica.
- c) Desintegración catalítica.
- d) Reformación catalítica.

La planta de etileno es la conexión principal entre las refinerías de petróleo crudo y la industria petroquímica, ya que los hidrocarburos, desde el etano hasta el gasoleo pesado pueden ser pirolizados para producir etileno.

En los hornos de pirólisis, los hidrocarburos son convertidos principalmente en etileno.

La finalidad de estos calentadores a fuego directo es descomponer toda ó una fracción de la alimentación en productos específicos, por lo que se diseñan para

proporcionar el efecto tiempo-temperatura requerido para obtener la conversión óptima de los reactivos en productos deseados, con una mínima cantidad de reacciones secundarias indeseables, para obtener mejores productos.

Basada en teorías experimentales, se sabe que la pirólisis de hidrocarburos tiende a formas olefinas y diolefinas, se ha demostrado que la formación de éstas se favorece por tiempos de residencia cortos y presiones parciales de hidrocarburos bajas, por lo tanto, la selectividad del horno de pirólisis se expresa como una función de éstos parámetros.

La industria identifica indistintamente estos calentadores con nombres tales como: hornos reactores, reactores tubulares a fuego directo ó simplemente calentadores a fuego directo. La función fundamental de un calentador a fuego directo, es suministrar una cantidad específica de calor a niveles elevados de

temperatura al fluido que está siendo calentado, debe ser capaz de hacer esto sin sobrecalentamiento localizado del fluido o de los componentes estructurales.

El tamaño del calentador está definido en términos de su diseño, de la capacidad de absorción de calor ó de la carga. Los intervalos de servicio son de alrededor de 500 000 BTU/hora para unidades pequeñas, a unidades especiales de alrededor de 1 Billón de BTU/hora, para servicios en grandes proyectos, tales como: los enormes calentadores reformadores de vapor de hidrocarburos y los hornos de pirólisis.

La buena operación del horno da como resultado una vida más larga del mismo; requiere menos número de reparaciones y el gasto de combustible resulta más económico, en otras palabras, una operación correcta del horno significa dos factores:

seguridad y economía.

En los hornos de pirólisis se necesita un control del suministro de calor por regiones, por lo que al diseñarse se considera una colocación específica de los quemadores, de tal forma que se obtenga la distribución deseada de intensidad de calor.

Debe ser capaz de precalentar y proporcionar el calor de reacción a la carga, de tal manera que maximice la conversión de etileno, mientras que se mantiene baja la formación de coque .

Para la obtención de etileno, el suministro de calor en éstos hornos debe ser controlado y homogéneo para dar la distribución de calor requerido y, evitar "puntos calientes" que provocan un sobre-rompimiento de los hidrocarburos, resultando compuestos indeseables.

En hornos con serpentines verticales, podrían taparse los serpentines en los retornos inferiores; pero esto se solucionó disminuyendo el tiempo de residencia. - Disminuyó la cokización y el poder usar los serpentines verticales, representó las siguientes ventajas:

1. Se pueden colocar varios serpentines en una cámara de combustión, cada una teniendo exactamente la misma configuración de flujo y exposición al calor.
2. No se necesitan soportes en la parte más caliente de la sección de radiación porque se colocan en la parte superior o fuera de la cámara de combustión para evitar problemas de calentamiento de éstos.
3. Los tubos verticales suspendidos quedan libres para expandirse y contraerse con

los cambios de temperatura, sin friccionar se con los soportes.

La composición de la alimentación es el factor más importante para los hornos de pirólisis, ya que dependiendo de éste se fijan las condiciones de operación para obtener determinado producto. También en lo económico, ya que - del tipo de alimentación, depende el costo - del proceso y la cantidad de subproductos de valfa que se obtengan.

Los tipos de alimentación comunmente más empleados son:

#### 1. GAS RESIDUAL

Con este tipo de alimentación, la planta debe tener una sección de purificación, donde se separan el etano y el propano del metano e hidrógeno y se alimentan a

los hornos individuales de pirólisis de etano y de pirólisis de propano.

## 2. ETANO.

Este tipo de alimentación tiene la ventaja de que se obtiene una conversión alta de etileno, con productos secundarios mínimos; es una alimentación ideal cuando los productos secundarios sólo sirven como combustible.

## 3. PROPANO.

Con ésta alimentación se obtiene una conversión alta dependiendo de la cantidad deseada de propileno sin etileno. Se obtienen más subproductos que con etano.

## 4. N-BUTANO.

Son muy pocas las plantas existentes en las que se usa N-Butano para producir



etileno. Pirolizar N-Butano tiene la desventaja de que parte de éste no se convierte, sale con los productos C<sub>4</sub>, - diluido en el butadieno y los butenos, - haciendo más costosa y difícil su separación.

5. NAFTA DE CUALQUIER RANGO.

La desventaja de usar este tipo de alimentación es que tiene un rango amplio de subproductos.

Las naftas son caracterizadas por su peso específico, rango de punto de ebullición, relación carbono/hidrógeno, los cuales influyen la conversión de etileno.

6. GASOLEOS

Usando gasoleos se obtiene mayor cantidad de gasolina de pirólisis que usando nafta para producir una misma cantidad de etileno.

Anteriormente se usaba el gasoleo para producir aromáticos y naftenos, pero desde los cuarentas se desarrolló la tecnología para usarlo para producir etileno.

En la figura 3.2.1 se muestra una ilustración de un horno típico de pirólisis.

Los primeros diseños de hornos de etileno, consideraban los tubos del serpiente, colocados horizontalmente y con tiempos de residencia largos hasta de cuatro segundos, lo cual favorecía la carbonización de los hidrocarburos (formación de coke) principalmente. Los estudios sobre las reacciones de pirólisis y de formación de coke muestran lo deseable que es mantener tiempos de residencia cortos para rendimientos adecuados tanto de etileno como de subproductos.

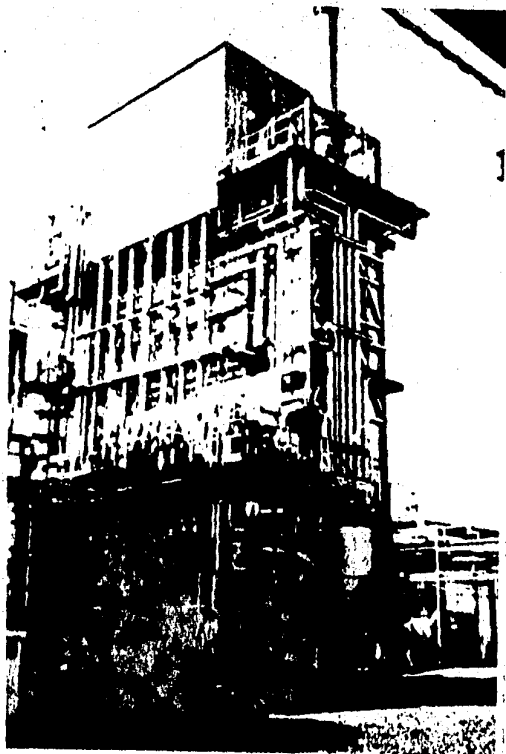


Fig. 3.2.1

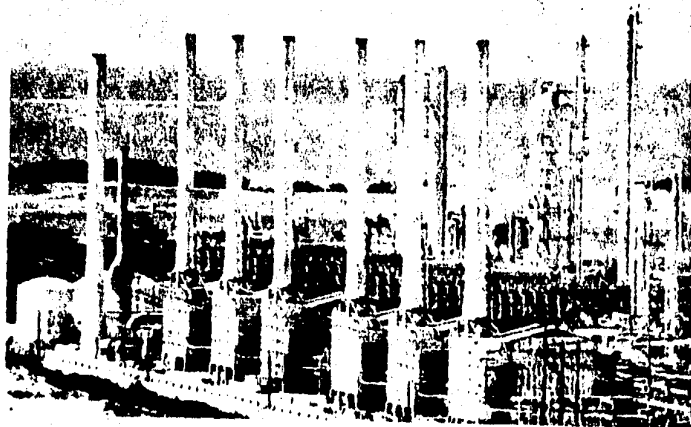


Fig. 3.2.2

Fig. 3.2.1

Se muestra un horno de pirólisis en la planta de etileno de Tokuyama, Japon en donde se alcanzan temperaturas de - 1600 -1700°F y el tiempo de contacto con el catalizador - es de 0.1 segundos . Obteniendose óptimos productos a - partir de una gran interválo de alimentaciones ,incluyen- do gas-oil pesado .

Fig. 3.2.2

Hornos de pirólisis de multicelda de la compañía de Olefi- nas en Ponce, Puerto Rico . Esta planta de etileno opera - con alimentaciones tanto de gas-oil ligero o refinado , co- mo de naftas ; un número minimo de grandes lineas de trans<sub>u</sub> ferencia verticales generan vapor de 1800 psig ; recuperan<sub>u</sub> do el calor de los gases efluentes ; resultado de la piró- lisis.

Dependiendo de la capacidad de la planta e etileno, se ha optado por diseñar el horno en módulos, colocados en paralelo, o sea, varios hornos iguales con igual carga térmica y que representa las siguientes ventajas contra tener 1 ó 2 hornos grandes:

- a) Mayor facilidad para construcción.
- b) Mayor tiempo de vida del equipo.
- c) Mayor control en el suministro de calor.
- d) Reducción de los "puntos calientes" en el serpentín.
- e) Tiempos de residencia menores.
- f) Mantenimiento por módulos.
- g) Mayor eficiencia térmica en la cámara de combustión.

Para la producción de la cantidad de diseño de etileno, se requieren 5 hornos y aunque cuatro de los hornos - estén agrupados en pares , cada uno puede ser decokizado individualmente o parado para su mantenimiento, ya sea interno o externo . Los hornos se han diseñado en tal forma que pueden ser aislados por medio de la inserción de placas de sello en las chimeneas o tiros ,de esta manera puede llevarse a cabo el mantenimiento interno de uno del par de hornos ,mientras el otro permanece en operación .

El lapso de la duración en operación del calentador de pirolisis esta generalmente limitado por uno de los siguientes fenomenos :

- . Coquización del serpentín del calentador
- . Coquización de la línea de transferencia y el subsecuente depósito de coque dentro de los cambiadores de transferencia.
- . Incrustación en los tubos del cambiador de transferencia.

Los procedimientos y recomendaciones para la operación de los calentadores, también están orientados a minimizar el ciclo térmico, ya que la experiencia ha mostrado que un factor muy importante en la vida de los tubos, es el número de ciclos de calentamiento y enfriamiento al cual los tubos pueden verse sujetos. Los combustibles gaseoso más comunmente usados son:

- a) Gas natural.
- b) Gas del cracking.
- c) Gas de residuo.

La combustión se lleva a cabo por la oxidación del combustible de la cual hay un desprendimiento de calor considerable; para la oxidación del combustible, se emplea aire, el cual se obtiene de la atmósfera ambiental y su contenido de nitrógeno absorbe calor del que se produce en la combustión (ya que es inerte y no reacciona), evitando que se eleve la temperatura de los gases, (producto de la combustión) a un nivel que produzca reacción violenta de los combustibles y pueda producir explosión ó que dañe el equipo.

Los hornos SRT<sup>\*</sup> están equipados con numerosos quemadores de gas distribuidos a través de las paredes laterales de la cámara de radiación.

En la figura 3.2.3, se muestran los tipos de horno de pirólisis más empleados actualmente.

Anteriormente había una gran diversidad de tipos de hornos, pero la experiencia ha mostrado que se logra la mejor distribución y control del suministro de calor con quemadores de alta intensidad radiante en las paredes de la sección de radiación - con el serpentín colocado al centro, ya sea en una o dos hileras.

\* SRT: Short Residence Time.



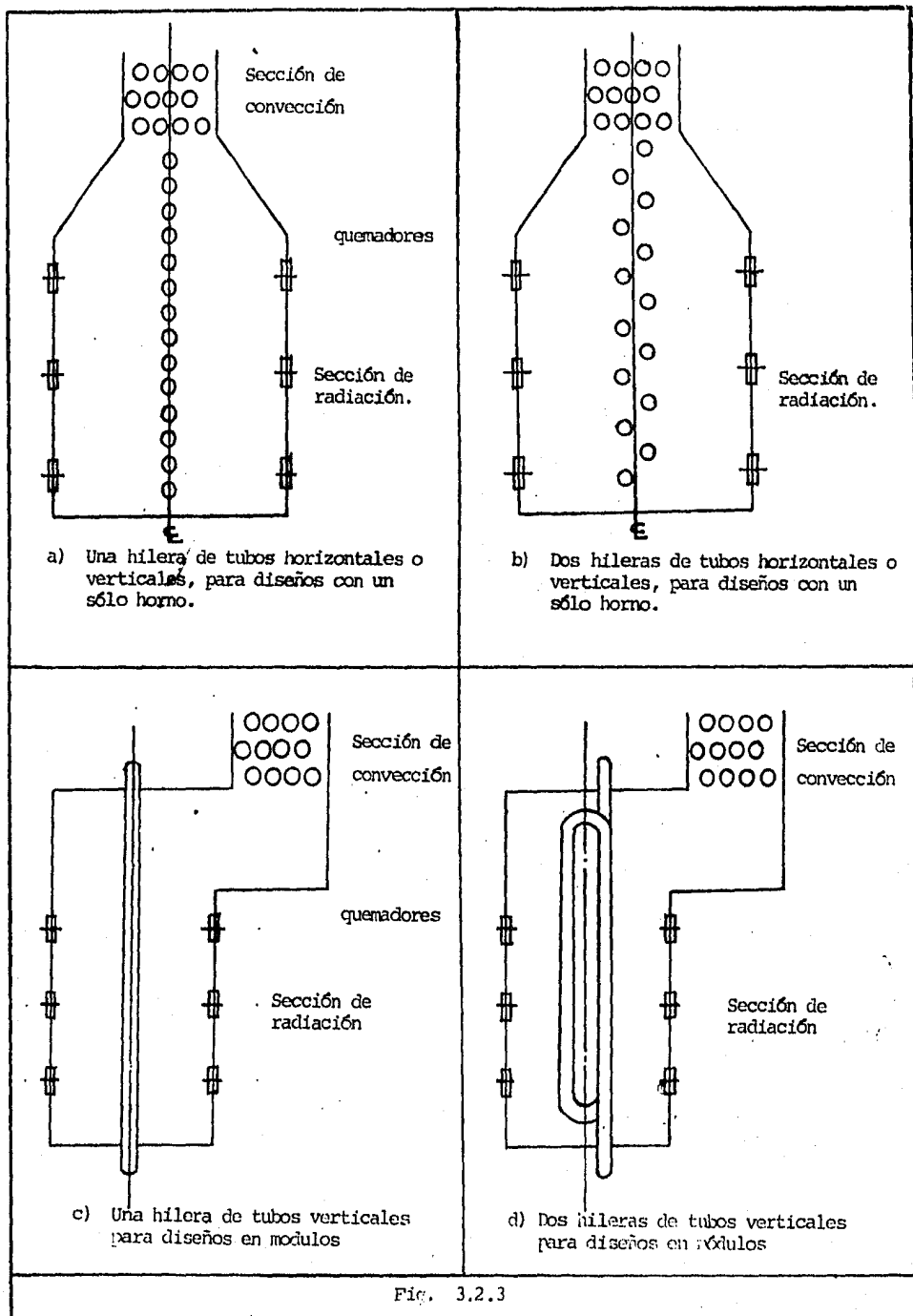


Fig. 3.2.3

La selección apropiada del arreglo y espaciamiento de los tubos, combinado con el control de los quemadores y una rerradiación adecuada del refractario, resulta en una uniformidad excepcional de la distribución de calor sobre la circunferencia del tubo.

El aprovechamiento del calor que llevan los gases de combustión se hace por medio de serpentines o equipos adicionales, colocados en la sección de convección y pueden ser:

- a) Precalentadores de aire para la combustión.
- b) Generadores de vapor.
- c) Sobrecalentadores de vapor.
- d) Economizadores.
- e) Calentamiento de aceite para uso como medio de calentamiento en otro equipo de transferencia de calor.

En la figura 3.2.4 se muestran arreglos típicos para recuperación de calor en la sección de convección de los hornos,

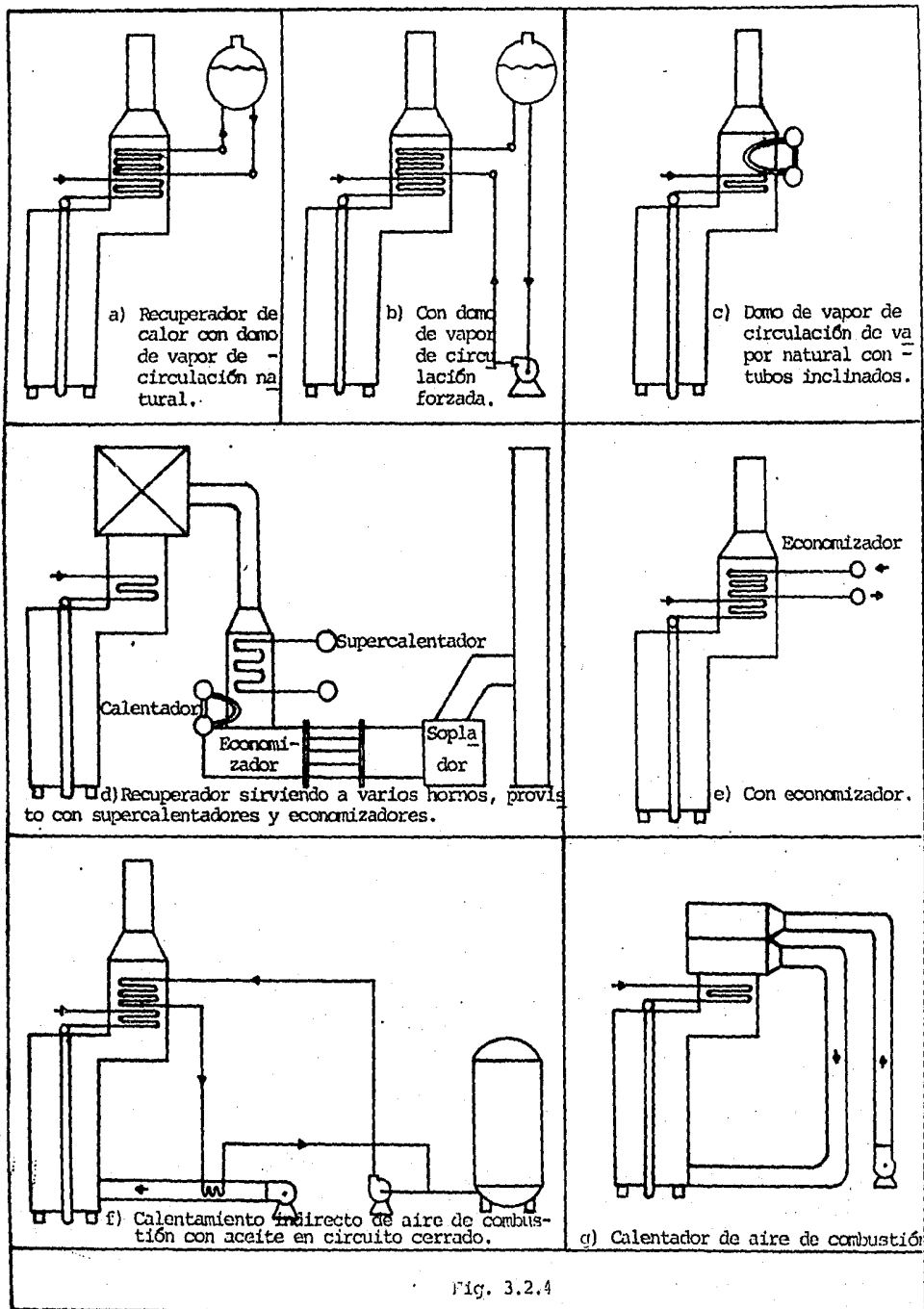


Fig. 3.2.4

## ENCENDIDO

El encendido de los quemadores se lleva a cabo metiendo un mechón de gas portátil a través del registro de aire, si no se tienen pilotos de gas.

Se abren totalmente las compuertas de la chimenea y las puertas de observación en la parte inferior de la cámara de radiación para dar máxima circulación de -  
aire para purga y / o secado, es decir, se asegura -  
que el calentador ha sido purgado adecuadamente con i  
vapor antes de encender un quemador.

El fin que se persigue durante el secado es proporcionar calentamiento uniforme del hogar. Una velocidad de calentamiento del refractario de 100°F (60°C) por hora, es el máximo permitido en los hornos SRT.

Al comienzo del secado, se recomienda que sólomente se enciendan dos (2) quemadores por serpentín. Estos quemadores deben estar localizados en la hilera más baja y en paredes opuestas del horno. Los quemadores en paredes opuestas deben estar separados de tal manera que cubra la mayor parte del serpentín. Como regla general los quemadores en la misma posición -

aproximada en paredes opuestas no deben ser encendidos simultáneamente, ni tampoco quemadores adyacentes en la misma pared.

Después de las primeras cuatro (4) horas de encendido y cuando en el hogar se ha alcanzado una temperatura de 250°F (120 °C) se establece el flujo de vapor de dilución a través de los serpentines, tambores de preapagado y cambiadores de línea a la torre de apagado, el encendido se controla para mantener 250°F (120°C) en las salidas del serpentín durante 20 horas.

Los quemadores se encenderán para liberación de calor mínima. Si bajo estas condiciones la liberación de calor total es insuficiente para suministrar el grado de calentamiento deseado, se deben encender, quemadores adicionales a intervalos iguales. Si la liberación de calor total da un grado de calentamiento demasiado alto, puede admitirse aire de enfriamiento a través de una hilera inferior de mirillas o algunos quemadores podrán apagarse completamente a intervalos iguales.

La temperatura de los gases de combustión en cualquier punto del ciclo no debe ser mayor de 200 °F (100°C) arriba de la temperatura de salida del fluido y debe ser comprobada por los dos (2) puntos de temperatura en el hogar. Esto sólo se aplica para temperaturas del serpentín hasta 750°F (400°C), arriba de esta temperatura, las temperaturas del refractario pueden ser comprobadas por medio de un pirómetro óptico.

Al elevarse poco a poco la temperatura del hogar a 750 °F (400 °C) encendiendo quemadores adicionales en la hilera inferior, cuando todos los quemadores en la hilera inferior están encendidos a liberación mínima, se aumenta suficientemente la temperatura del horno encendiendo quemadores adicionales, con objeto de mantener temperaturas uniformes, a todo lo largo del horno poniendo en servicio quemadores alternados en cada hilera y manteniendo las temperaturas de salida del serpentín a 750°F (400 °C) durante 12 horas.

## EXCESO DE AIRE

Después de lograr una operación estable cerca de la capacidad de diseño, se ajusta el horno para un exceso de aire adecuado por medio de los siguientes pasos:

1. Ajustar la compuerta de la chimenea para un tiro de 0.1-0.2"  $H_2O$  en la base de la sección de convección.
2. Cerrar los registros de aire primario de todos los quemadores que no estén en operación.
3. Ajustar los registros de aire primario de los quemadores en operación para dar de 2.5 a 3.5%  $O_2$  en los gases de combustión que salen de la cámara de radiación. Tomar muestras de gas de combustión en diferentes puntos alrededor del horno para asegurar un balance adecuado.

Mantener un ajuste casi uniforme de los registros de aire primario para todos los quemadores en operación.

4. Reajustar la compuerta de la chimenea después de cada cambio significativo en los ajustes del registro de aire del quemador.

El contenido de  $O_2$  en los gases de combustión, medido con un instrumento confiable, es el único medio práctico de determinar el exceso de aire. Debido a la muy alta temperatura del hogar, la apariencia de la flama del quemador no dará una indicación confiable de un ajuste adecuado.

#### NIVEL DE CONVERSION

Durante el primer arranque de la planta, el calentador de pirólisis debe ser operado en condiciones poco severas.



Se recomienda que el nivel inicial de conversión sea 50% para desintegración de etano.

conforme la demanda de producción aumente, el nivel de conversión puede aumentarse gradualmente hasta el valor de diseño, (generalmente 60% de conversión para etano).

Debe entenderse, sin embargo, que incrementando la carga de alimentación al calentador en vez de aumentar el nivel de conversión, el nivel de temperatura de la pared de los tubos será menor para la misma producción neta de etileno.

Aunque los controles directos de operación instalados en los calentadores SRT consisten de controles de flujo y temperatura, el control fundamental del calentador se obtiene manteniendo el nivel de conversión. Por consiguiente es muy importante revisar frecuentemente la composición del efluente del calentador para determinar que se está manteniendo el nivel de conversión deseado.

## VAPOR DE DILUCION

El vapor de agua que prácticamente no toma parte en las reacciones se agrega en una porción en peso de 0.30 a 1.0 , por varias razones ,siendo las más importantes:

- a).- Cambia el equilibrio químico hacia la producción de olefinas al reducir la presión parcial de los hidrocarburos.
- b).- Reacciona con el carbón removiendolo.
- c).- Actúa como diluyente para reducir los requerimientos de calor por unidad de volumen de tubo.
- d).- Estabiliza la temperatura transfiriendo calor de la pared de los tubos a los hidrocarburos para que se efectúen las reacciones endotérmicas de pirólisis ,disminuyendo la temperatura de pared de tubo .

Durante la operación de desintegración deberá utilizarse la mínima cantidad de vapor de dilución cuando flujo de hidrocarburos a través del calentador menor que el de diseño .

Cuando sea necesario mantener el calentador caliente sin flujo de hidrocarburos en el serpentín(en reserva de vapor),debera ser empleada la cantidad de diseño de vapor . Además, en la reserva de vapor deberá calentarse la salida a una temperatura aproximadamente de 1400°F(760°C).

Esta es la temperatura normal a la cual la carga de hidrocarburos se introduce al calentador .

En la tabla 3.2.1 se muestran las relaciones típicas en peso de vapor de agua/hidrocarburos usadas para diferentes alimentaciones .

ALIMENTACION	RELACION PESO VAPOR DE AGUA/HIDROCARBUROS
ETANO	0.30 - 0.35
PROPANO	0.30 - 0.40
N-BUTANO	0.40
NAFTA LIGERA	0.50
NAFTA DE RANGO MEDIO	0.50 - 0.60
NAFTA PESADA	0.60 - 0.65
GASOLEO LIGERO	0.60 - 0.80
GASOLEO PESADO	0.80 - 1.00

Tabla 3.2.1

## TEMPERATURA

La temperatura de entrada de la carga y de salida de los productos se muestra en la tabla 3.2.2 . Al entrar al serpentín de radiación la carga se lleva a la temperatura óptima para obtener la máxima conversión de etileno sin favorecer la coquización y mantener la temperatura de pared de los tubos abajo de la temperatura máxima de diseño del material de los tubos, generalmente ésta temperatura es la que limita la temperatura del fluido y es aproximadamente de 1000°C.

ALIMENTACION	RANGO DE ENTRADA °C	RANGO DE SALIDA °C
ETANO	540 - 545	800 - 827
ETANO-PROPANO	540 - 545	810 - 815
PROPANO	427 - 482	810 - 815
N-BUTANO	427 - 454	788 - 815
NAFTA	400 - 454	782 - 815
GASOLEOS	400 - 450	777 - 800

TABLA 3.2.2

#### PRESION DE SALIDA

La presión de salida se encuentra entre 0.34 y 1.0 atm. cuando se emplean alimentaciones de componentes ligeros y de 0.68 a 2.0 atm. cuando se emplean naftas o gasoleos . La finalidad de tener presiones de salida del efluente del horno bajas es obtener mayor conversión de olefinas y además se tendrá por consiguiente menor costo de compración .

### CONFIGURACION DE LA FLAMA

Las temperaturas del metal de los tubos varía con la cantidad de carga a través del serpentín y con el nivel de conversión. La configuración de la flama deberá estabilizarse para minimizar el gradiente de temperatura entre la parte alta y la parte baja, así como entre la entrada y la salida del serpentín.

Es importante lograr una temperatura de pared uniforme consistente con el nivel de conversión deseado. Las temperaturas en el "cross over" (salida de la sección de convección) deberán ser mantenidas tan cercanas a las temperaturas de diseño en el "cross over" como sea posible, independientemente del nivel de conversión. Puede ser necesario utilizar los elementos de calentamiento por zonas del calentador con objeto de mantener la temperatura de conversión al valor deseado.

para asegurar la uniformidad de las temperaturas, debe instituirse un programa rutinario de medición con pirómetros ópticos. empezando desde el arranque inicial de la unidad.

La temperatura máxima de pared de los tubos del serpen tín de radiación, no deberá exceder de 1900° F (1040 °C) por ningún período de tiempo prolongado.

Los operadores que hagan la revisión con el pirómetro óptico deberán ser instruídos para que observen con particular cuidado y reporten de inmediato puntos calientes o cualquier variación de consideración en la temperatura entre tubos.

#### CONSIDERACIONES RELATIVAS AL CALENTAMIENTO Y AL ENFRIAMIENTO.

La máxima velocidad permisible de calentamiento de ladrillo refractario son 180° F (100 ° C) por hora.

Para el secado inicial del calentador, una vez que se

ha introducido el vapor al serpentín, la velocidad del calentamiento está limitada a 90° F (50° C) por hora, debiendo mantenerse períodos a temperaturas fijas, - cuando se alcancen 250° F (120°C) y 750° F (400° C).

Las velocidades de calentamiento para todos los arranques subsecuentes deberán limitarse a una velocidad - máxima de 180° F (100° C) por hora.

Si un calentador va a ser puesto en servicio, la carga de hidrocarburos generalmente se introduce a 1400° F (760° C) aproximadamente. Se recomienda que la cantidad total de alimentación que deba ser cargada al serpentín sea introducida de tal manera que la temperatura de salida no exceda de 1470°F (800° C) durante el período de introducción. Después de que la cantidad requerida de carga esté en el serpentín, la temperatura de salida del serpentín podrá ser aumentada al valor deseado a una velocidad de 125°F (70°C) por hora.



Normalmente el calentador será decoquizado con anterioridad al enfriamiento, sin embargo, si fuera necesario parar el calentador, o eliminar los hidrocarburos; en preparación para el enfriamiento del calentador, es recomendable que el flujo de hidrocarburos se reduzca a cero en el menor tiempo que sea posible - (una reducción lenta en la alimentación puede resultar en una formación adicional de coque)

Simultáneamente el flujo de vapor de dilución puede aumentarse para controlar la velocidad de enfriamiento. Conforme se vaya reduciendo la carga de hidrocarburos, la temperatura de salida del serpentín - deberá reducirse a una velocidad no mayor que 125° F (70° C) por hora. El flujo de hidrocarburos deberá suspenderse completamente cuando la temperatura de salida alcance aproximadamente 1400°F (760° C).

Si se desea continuar el enfriamiento a partir de este punto, debe mantenerse el flujo de vapor de dilución y las reducciones subsecuentes de temperatura no -

deberán exceder una velocidad de 180° F (100°C) por hora. Generalmente los calentadores podrán apagarse y el flujo de vapor de dilución suspenderse cuando se alcance una temperatura de 750° F (400° C). - Cuando se corte la alimentación de hidrocarburos con anterioridad al decoquizado con vapor.

#### LIMITACIONES DE TEMPERATURA

Bajo condiciones de operación normal, la temperatura de salida de la sección de convección no deberá exceder 1300° F (700°C). Durante el decoquizado, esta temperatura máxima puede aumentarse a 1470° F (800°C). Estas temperaturas se han establecido para no exceder la temperatura máxima del metal del tubo para la salida de la sección de convección que es de 1500°F (825°C).

El serpentín de radiación no deberá ser operado a una temperatura de metal en la parte exterior de los

tubos arriba de 1900 °F (1040 °C) por un período prolongado. Bajo condiciones de operación normal la temperatura en la salida del serpentín de radiación no deberá exceder la temperatura máxima de diseño de los cambiadores de transferencia.

#### MOVIMIENTOS EN LOS SERPENTINES

Ya que uno de los conceptos básicos en los calentadores SRT es minimizar la longitud de la línea que conecta el calentador con el cambiador de transferencia, el soporte o punto de anclaje del cambiador de transferencia debe ser el punto de anclaje para el serpentín de radiación (para calentadores que utilizan apagado de agua). El serpentín está acondicionado con guías y soportes de resortes para permitir la libre expansión hacia arriba independientemente del cambiador de transferencia cuando éste esté montado al nivel del piso, o para permitirle expansión libre hacia -

abajo en el caso de cambiadores de transferencia montados sobre el calentador. Se ha previsto una junta flexible entre el serpentín de radiación y la sección de convección para absorber cualquier movimiento diferencial que se requiera.

La expansión total de los tubos de radiación es cercana a 7" (175 mm) para la salida del tubo y aproximadamente 5" (125mm) para la entrada. La expansión adicional de las conexiones (conos, tes y/o codos) entre la salida del tubo y el anclaje de los cambiadores de transferencia será de aproximadamente 1" (25mm), y será adicional al movimiento del serpentín. Para los calentadores que tienen el cambiador de transferencia montado al nivel de piso los soportes de la parte superior, se moverán hacia arriba aproximadamente 3" (200 mm) en los tubos cercanos a la salida y su expansión disminuirá progresivamente hasta 7" (180 mm) en la entrada de los tubos.

Tanto las guías de la parte inferior como los soportes de la parte superior, pero particularmente las guías, deberán marcarse de tal forma que permitan de una manera fácil y conveniente inspeccionar la expansión. Los movimientos de expansión deberán verificarse periódicamente durante el calentamiento del calentador para asegurarse que se ha tenido una dilatación proporcional.

Si el serpentín no se ha extendido la cantidad esperada en la dirección adecuada, el calentamiento de la unidad deberá suspenderse hasta que la causa sea determinada y se tomen las medidas correctivas pertinentes.

Se hace notar que en algunos diseños de calentadores, las guías inferiores de los tubos se localizan en cajas con tapa. Estas tapas se quitan durante el período de calentamiento con el fin de observar el movimiento de las guías.

EQUIPO DE PROTECCION PARA LA GENERACION DE VAPOR  
DE ALTA PRESION Y DE LA SECCION DE CONVECCION DEL  
CALENTADOR

El problema de una disipación segura del calor almacenado en un calentador SRT es muy importante debido a la gran masa de refractario con que cuentan los calentadores, los cuales operan a altos niveles de temperatura. Se necesitan precauciones especiales debido a que los calentadores SRT normalmente usan un quemador que opera solamente con aire primario, utilizando gas combustible con aspiración de aire en operación normal. Este tipo de quemador no pasa un flujo considerable de aire de enfriamiento dentro de la cámara de combustión cuando se suspende la alimentación de combustible.

Debido a que no se puede hacer un cálculo cuantitativo exacto de la relación tiempo-temperatura en un paro de emergencia, es evidente que el calor almacenado en el hogar tenderá a sobrecalentar la sección de convección

conforme se ha disipado gradualmente a través de la chimenea.

Sin embargo, la sección de convección de un calentador SRT quedará protegida en una operación de paro de emergencia si se mantiene un flujo de vapor a través del serpentín de proceso y si se mantiene circulación de agua tratada en el serpentín de precalentamiento de agua. Si estos flujos se mantienen a niveles razonables, el calor almacenado en el hogar podrá disiparse con seguridad por los flujos de vapor y agua que además sirven como medio de enfriamiento del calentador de tal forma que esos flujos podrán suspenderse en pocas horas.

Para proteger la sección de convección durante las operaciones de decoquizado, es necesario aumentar la purga de los tambores de vapor de alta presión a una cantidad suficiente que asegure el flujo a través del serpentín de convección. Para asegurarse que este

flujo no se ha vaporizado completamente, la válvula de purga deberá abrirse lo suficiente para que en los tambores de vapor se note una disminución a nivel. A continuación el flujo de agua tratada deberá arreglarse para mantener un nivel constante en los tambores. - Además de mantener los flujos de agua tratada y de vapor de dilución, es importante que ciertos instrumentos se mantengan en operación; por ejemplo, la válvula de control de nivel de agua tratada a la entrada del serpentín de convección, la válvula de control de presión que mantiene la presión de vapor de alta presión y todas las válvulas de control de operación asociadas con el sistema de vapor.

También en las secciones de convección diferentes a las de precalentamiento de agua de alimentación a calderas y serpentines de precalentamiento de hidrocarburos, tales como los serpentines del sobrecalentador de vapor, se deberá mantener el flujo de alimentación hasta observar el enfriamiento adecuado del hogar.



Finalmente, en caso de un paro de emergencia, la purga adecuada del vapor efluente del calentador podrá ser efectuada asegurándose de que existe disponibilidad de vapor de apagado o por relevo directo a la atmósfera.

#### CONTENIDO DE AZUFRE EN LA CARGA DEL CALENTADOR

La experiencia ha mostrado que la concentración de CO y CO<sub>2</sub> en el efluente de un calentador SRT puede reducirse por la inyección de pequeñas cantidades de azufre en el gas de carga, que esencialmente está libre de azufre. En la desintegración de cargas compuestas de etano-propano, la inyección de azufre debe ser tal que mantenga aproximadamente 30 p.p.m. de azufre total en la carga alimentada. Esta cantidad puede variar en más o menos dependiendo de la experiencia inicial que se adquiriera referente a la formación de CO y CO<sub>2</sub>.

Los niveles de concentración máximos esperados de CO y CO<sub>2</sub> se encuentran en el rango de 0.05% a 0.10% mol. Niveles más altos indicarán la necesidad de inyectar azufre o bien que la cantidad inyectada deberá aumentarse.

#### DECOQUIZADO

Se hará necesario decoquizar cuando se presenten - cualesquiera de las siguientes circunstancias:

- a) Siempre que el calentador haya sido parado; por falla en la energía eléctrica, por falla de vapor., etc., la experiencia ha mostrado que cualquier calentador que haya sido enfriado y vuelto a poner en línea sin decoquizar, generalmente deposita coque y puede obstruir el cambiador de transferencia. Además, el calentamiento y el enfriamiento de los serpentines de radiación

que contienen depósitos de coque produce esfuerzos en el serpentín que eventualmente afectan la vida de los tubos.

- b) Incremento mayor de  $90^{\circ}\text{F}$  ( $50^{\circ}\text{C}$ ) en la temperatura del metal de los tubos a partir de la temperatura inicial de la pared del tubo, ó cuando la temperatura del metal de los tubos aumente hasta  $1900^{\circ}\text{F}$  ( $1040^{\circ}\text{C}$ ).
- c) Cuando la presión de entrada o la de salida del calentado aumente 10 psi. Este aumento puede deberse a depósitos de coque en el serpentín en cuyo caso la presión de entrada al serpentín tenderá a subir, o por taponamiento o depósitos de coque en el cambiador de transferencia en cuyo caso la presión de salida aumentará.
- d) Cuando se localicen puntos calientes en el serpentín de radiación. Cuando se haga necesario

decoquizar un calentador, se recomienda que se utilice el procedimiento de decoquizado con vapor solo. El decoquizado empleando vapor solo en unidades que procesan etano, propano ó mezclas de ambos es muy efectiva, no sólo para decoquizar los serpentines de radiación, sino también para las líneas de transfer y sus conexiones con el calentador.

La experiencia también indica que el cono de salida y el espejo de los intercambiadores de calor se decoquizan suficientemente, aplicando este sistema a tal grado que generalmente no requiere limpieza mecánica adicional.

Utilizando el procedimiento anterior, se reduce el ciclo térmico del serpentín de radiación y adicionalmente evita enfriamiento del serpentín sobre el depósito de coque que puede provocar esfuerzos innecesarios en el tubo.

4.

SELECCION DE LA INSTRUMENTACION DEL HORNO

#### 4.1 VARIABLES DE MEDICION Y CONTROL.

El éxito del funcionamiento de un proceso radica, fundamentalmente en un buen diseño, basado en los mejores códigos sin salirse de las normas en vigor y sin olvidar los coeficientes de seguridad especiales en función de la tarea - que les será exigida; por lo mismo, cualquier sistema de control automático que se seleccione, deberá conjugar los cambios de carga con las - bases de diseño para lograr el mayor grado de flexibilidad, optimizando así el proceso, de aquí la importancia de la elección de un buen sistema de control que nos permita alcanzar - ésto.

Son muchas las variables que afectan al sistema, algunas más importantes que otras; en base a ésto, dichas variables deben y/o pueden ser:

- a) Controladas
- b) Registradas
- c) Indicadas
- d) Medidas Periódicamente
- e) O bien las diferentes combinaciones que se puedan hacer de los primeros cuatro incisos.

Para poder diseñar el sistema de control del -  
horno, es necesario conocer las variables que  
intervienen en la pirólisis del etano.

A continuación se detallan las variables que  
mediante un control adecuado pueden ayudar a  
hacer más eficiente el proceso.

#### PRESION DE COMBUSTIBLE.

Esta es una de las variables más importantes que  
se deben tener bajo control, ya que sus varia-  
ciones repercuten fuertemente en la temperatura  
del etano, haciendo que varíe en forma conside-  
rable. Si la temperatura está en el valor de-  
seado y por cualquier razón la presión del --

combustible disminuye, pasará menos flujo, el calor de la flama disminuirá, el calor absorbido por el etano será menor, y consecuentemente afectará la temperatura necesaria para la pirólisis.

#### FLUJO DE CARGA.

Si el flujo de etano a través del calentador decrece, la cantidad de calor absorbido por este, dentro del horno, aumentará haciendo que su temperatura varíe.

Consecuentemente se deberá mantener bajo control el flujo del etano que entra al horno, primero para tener un control de producción y segundo para evitar variaciones de temperatura de etano.

#### TIRO DE LA CHIMENEA.

Muchos calentadores requieren cierta cantidad de aire secundario, que se admite a través de los registros del calentador, En general los registros deben usarse para controlar la



razón aire-combustible, mientras que la mampara o compuerta de la chimenea, deberá usarse para controlar el tiro de la parte superior del horno. En este punto debe mantenerse un tiro reducido, para que el horno se mantenga a presión negativa y así evitar las fugas de gases de combustión.

#### TEMPERATURA DEL ETANO.

Finalmente se tendrá que detectar la temperatura de la corriente de salida del horno de pirólisis para controlarla. Existen varios arreglos para poder controlar dicha temperatura.

#### DIVISION APROPIADA DEL FLUJO EN LOS PASOS

##### PARALELOS A TRAVES DEL HORNO.

El flujo de etano puede circular a través de uno o varios pasos. Se llama paso a la unión de tubos colocados en serie desde la entrada hasta la salida del horno.

Una mala repartición de la carga puede fácilmente favorecer una separación de líquido y vapor de tal manera que por cada uno de los pasos, no circulará una cantidad de flujo equivalente, pudiendo llegar a formarse un tapón de vapor que impedirá momentáneamente el flujo de etano a través del paso, creando entonces, un caso de graves dificultades.

Se hace necesario controlar el flujo en cada uno de los pasos del horno, por las siguientes razones principales:

- a) Existe vaporización parcial.
- b) Variación en el flujo a calentar.
- c) Perturbaciones por cambios rápidos y mal compensados de la calidad de combustible.

Una disminución de flujo en un paso, provoca un aumento de volumen de vapor. Al disminuir la carga a calentar, la temperatura del fluido a la salida de este paso aumenta, pero la temperatura media del etano no varía sustancialmente, ya que se compensa

el incremento antes mencionado con la disminución de temperatura de los otros flujos.

#### FACTORES DE MENOR IMPORTANCIA

Se pueden presentar cambios en la temperatura del etano debido a cambios en parámetros, tales como:

- . Contenido calorífico del combustible.
- . Flujo del combustible.
- . Composición del medio calentado, etc.

#### CONTENIDO CALORIFICO DEL COMBUSTIBLE

Si el contenido de BTU del combustible cambia, (cambiando de suministro), puede ocasionar, para un mismo flujo de combustible, cambios en el calor desarrollado en el horno, modificando la temperatura del etano que pasa a través de los serpentines.

#### CAMBIOS EN EL FLUJO DE COMBUSTIBLE.

Si por alguna razón se alterara la cantidad de flujo

del combustible, el calor suministrado cambiará, originando una variación en la temperatura de la corriente de salida del horno.

#### COMPOSICION DEL MEDIO CALENTADO.

Un cambio en la composición del etano (por ejemplo - durante el arranque) provocara que la cantidad de calor que se necesite para alcanzar la temperatura de control sea diferente.

Estos factores serán tomados como constantes en este estudio, ya que de lo contrario se tendrían que hacer un análisis bastante complejo, el cual no es necesario en la práctica.

#### OTROS FACTORES

Existen otros factores de menor importancia que los anteriores, aunque de ninguna manera despreciables, tales como cambios de la temperatura del combustible, lluvias, el grado de premezcla (cuando sea ne-

cesario), cambiar en la relación vapor/aceite combustible, cuando este sea usado, el tiro, el grado de limpieza del equipo; todas estas variables influyen en mayor o menor grado para mantener la temperatura deseada.

Sin embargo sólo los cambios vigorosos de éstos - factores afectarán realmente.

Las variables de operación fundamentales en la operación de pirólisis son:

- a) Tiempo de residencia.
- b) Temperatura a la salida del horno.

Los factores que afectan el tiempo de residencia son gasto de alimentación, vapor de dilución y presión.

Los efectos cuantitativos e interacciones de estas variables no son del todo conocidos.

En general, tiempos de residencia largos, aumentan la producción de coque y alquitranes. Los hornos están diseñados para un tiempo de residencia de aproximada-

mente 0.6 segundos. Una mayor alimentación de etano y/o vapor de dilución que las de diseño disminuyen el tiempo de residencia, mientras que una presión de operación mayor a la de diseño, aumenta el tiempo de residencia.

Tanto la alimentación de etano como de vapor de dilución a los hornos, están controlados por flujo.

Un aumento en la temperatura de salida de los hornos, resulta en una mayor producción de etileno, pero en un menor rendimiento total de kilo de etano alimentado.

La temperatura de salida es el punto de control para la regulación del fuego a los hornos de pirólisis.

Otra consideración importante para una operación eficiente de los hornos es el patrón de flama o fuego en la sección de radiación del horno. El tiempo de residencia depende de la temperatura en la sección de enlace comprendida entre la salida de la sección

de convección y la entrada a la sección de radiación, así como del régimen de alimentación de calor para un flujo de material y una temperatura de salida dados.

En la corriente de alimentación a los hornos de pirólisis se inyecta azufre en forma de extracto Merox, con el fin de inhibir el efecto catalítico del níquel - contenido en los tubos de los serpentines y así limitar la producción de monóxido de carbono y evitar en consecuencia la disminución del rendimiento de etileno.

## 4.2

## CONTROL DEL PROCESO

Las funciones primarias de un sistema de control en un horno son:

1. Mantener la velocidad deseada de transferencia de energía a la carga (Control del Proceso).
2. Mantener una combustión eficiente y controlada del combustible.
3. Mantener las condiciones de seguridad en todas las fases de operación del horno.

El sistema de control deberá asegurar que la carga recibe la energía calorífica a la velocidad apropiada.

Comunmente la temperatura de la carga es el índice usado como la medida del calor transferido.

Cuando la vaporización ocurre tanto con la transferencia de calor sensible, la temperatura de la



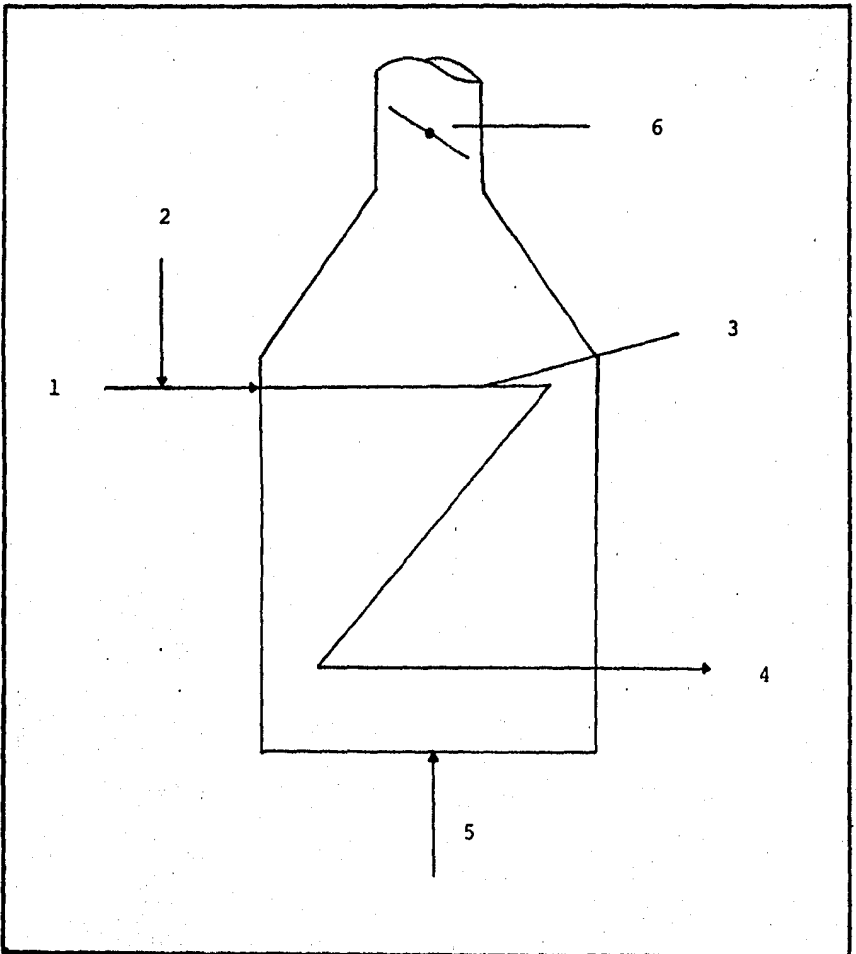
carga puede no ser un buen índice. En este caso el contenido de calor total es importante, pero esta es una condición más difícil de medir.

La combustión apropiada del combustible, segundo propósito del sistema de control, involucra muchos factores, tales como, regulación del aire de combustión, la preferencia de quemar un combustible sobre otro y el control de la atomización del vapor cuando se quema aceite combustible.

La seguridad es siempre un aspecto importante en cualquier proceso, y lo es aún más en los hornos donde tiene lugar la combustión, ya que siempre existe la posibilidad de que se forme una mezcla explosiva potencialmente muy peligrosa que puede causar graves accidentes. Las alarmas de alto y bajo valor con que se suministran los instrumentos de control, para las variables importantes del proceso, la selección de la acción de las válvulas,

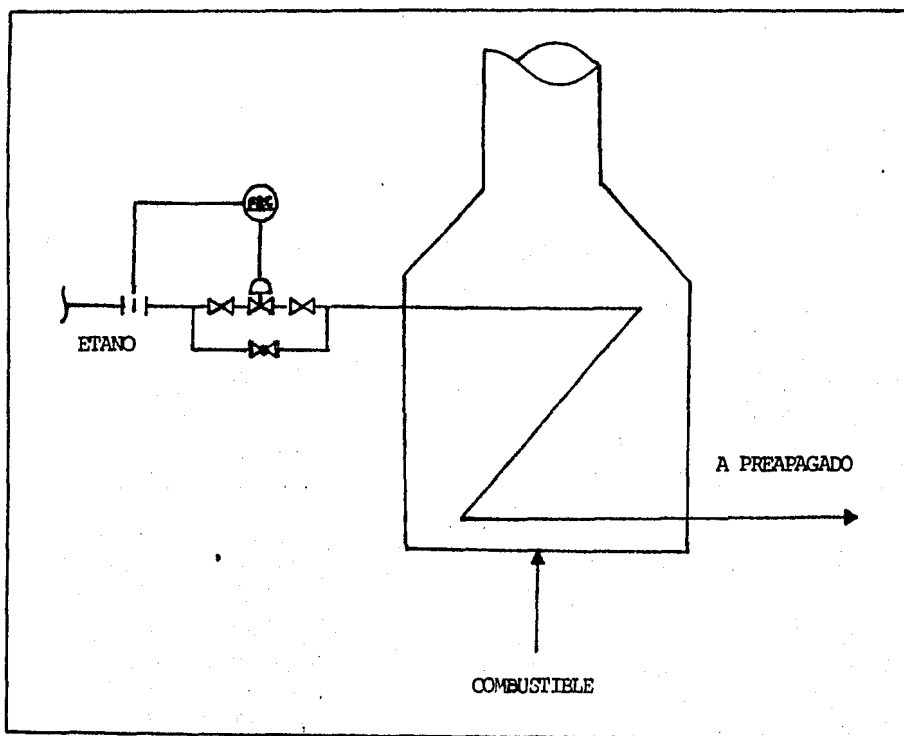
la posición de los elementos sensibles, etc. contribuyen a la seguridad de operación del horno.

Las principales variables a controlar en el horno son:



1. Flujo de la alimentación
2. El flujo de vapor de dilución
3. La temperatura de los serpentines en diferentes puntos del horno.
4. La temperatura de la carga a la salida
5. Presión de combustible
6. Relación aire- combustible.

1. Para controlar el flujo de entrada al horno en la figura No. 4.2.1 se muestra un sistema bastante sencillo para controlar el flujo de etano, entrando al horno.

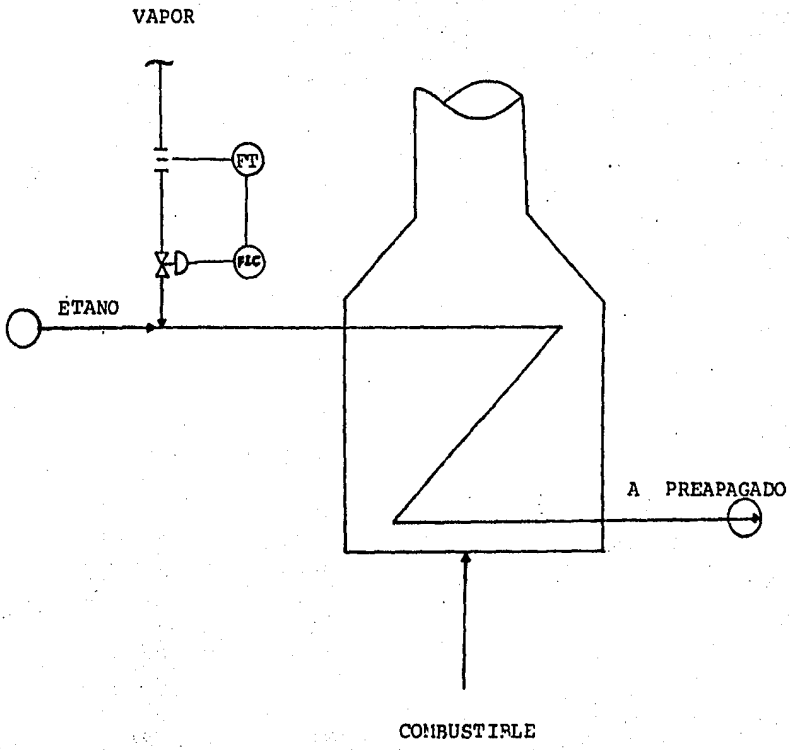


CONTROL DE FLUJO DE LA ALIMENTACION

Fig. 4.2.1

2. Para controlar el flujo de vapor, la figura 4.2.2 muestra el sistema que se encargará de realizar tal control para la correcta dilución del etano.

El vapor se suma a la alimentación, con una determinada relación al hidrocarburo para reducir la presión parcial de la alimentación de este. De esta manera se tiende a hacer máxima la cantidad de olefinas producidas y a minimizar el carbón que se produce y se queda en los serpentines.



CONTROL DEL VAPOR DE DILUSION A LA ALIMENTACION

Fig. 4.2.2.

### 3. TEMPERATURA DE LOS SERPENTINES EN DIFERENTES PUNTOS DEL HORNO.

Es importante conocer la temperatura dentro del horno para tener un mejor control. Si en alguno de los serpentines existe una temperatura muy alta existirá mayor rompimiento de moléculas que el deseado, ésto es en sí un problema para el proceso, pero el mayor problema es una temperatura excesiva en los tubos del serpentín, que al sujetarse a temperaturas más altas que las de diseño, se queman, se van debilitando y en un momento dado pueden hasta romperse, ocasionando un daño mayor en los tubos.

Las conexiones en el horno están colocadas entre los tubos de serpentines y otras dentro de los serpentines. Para la medición en la zona de radiación, debido a las temperaturas que pueden alcanzar, se usa un termopar con termopozo del tipo protector de acero inoxidable con brida

deslizable y cara realzada.

Para la medición en la zona de convección se puede seleccionar sólo un termopar.

En la figura 4.2.3 se muestra como se distribuyen los indicadores de temperatura en el horno.

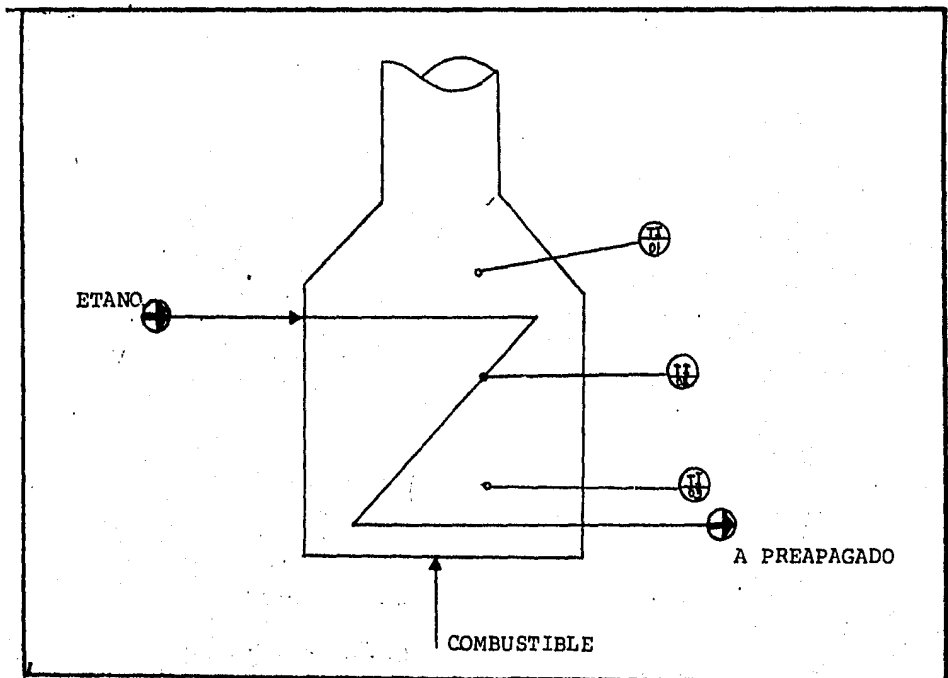


Fig. 4.2.3



4. La principal variable que se debe controlar es la temperatura de salida de la carga.

El valor de la temperatura de salida, depende -  
principalmente de:

- a) La temperatura de la carga a la entrada.
- b) La cantidad de la carga.
- c) Cantidad del combustible quemado.
- d) La relación aire-combustible.

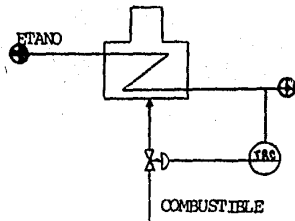
Existen varios arreglos para controlar esta temperatura:

- 1. Un circuito convencional de control para -  
retroalimentación de temperatura.
- 2. Un circuito de control en cascada de temperatura con flujo.
- 3. Un circuito de control en cascada de temperatura con presión.

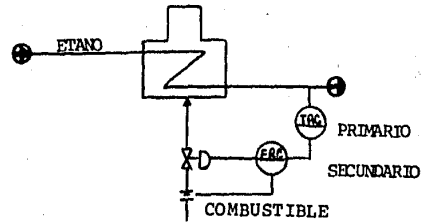
4. Un circuito de control en cascada de temperatura con temperatura.
5. Un circuito de control pre-alimentado ó feedforward.

Los arreglos anteriormente propuestos se ilustran mediante las figuras 4.2.4 del inciso 1 al 4 y del inciso 5 en la figura 4.2.5.

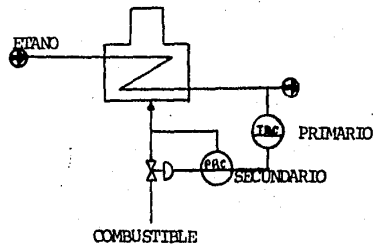
## TEMPERATURA DE SALIDA DE LA CARGA



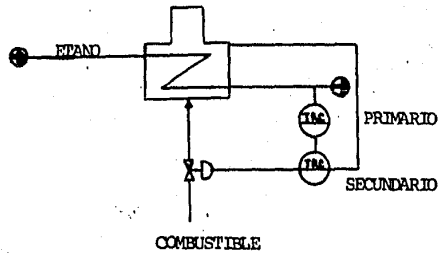
1. Circuito convencional de control de temperatura.



2. Circuito de control cascada Temperatura - Flujo

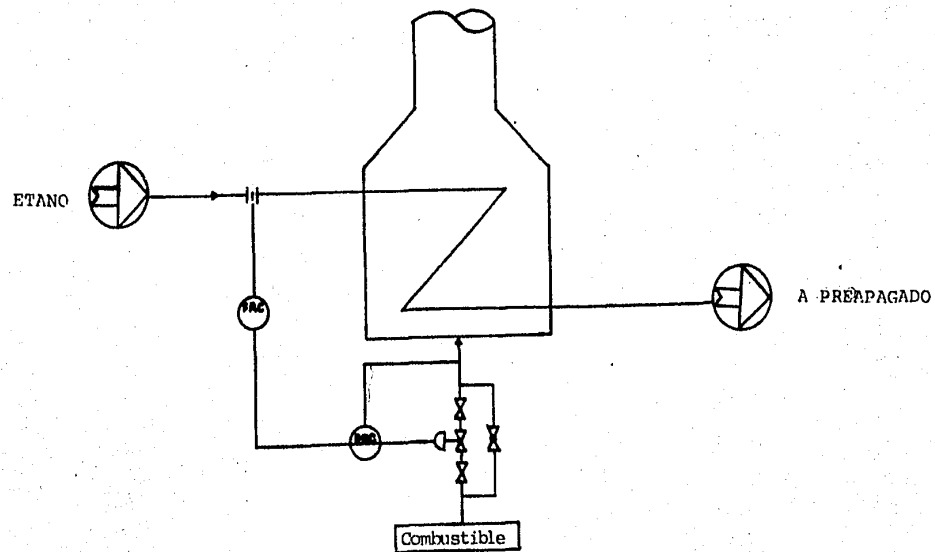


3. Circuito de control cascada Temperatura - presión



4. Circuito de control cascada Temperatura - Temperatura.

FIG. 4.2.4.



5. CIRCUITO DE CONTROL PREALIMENTADO PARA CONTROL DE TEMPERATURA

FIG. 4. 2. 5.

El circuito de control convencional es el más sencillo de todos los demás sistemas cerrados. Este sería recomendable siempre y cuando los demás parámetros del horno se mantuvieran dentro de límites aceptables o constantes.

Lo anterior es muy difícil de encontrar, ya que siempre en la mayoría de los casos existiran fuertes variaciones en los parámetros del horno, como en el caso de la presión del combustible.

Para solucionar este problema se recurre al diseño de circuitos de control en cascada y el control feedforward (prealimentado).

De los circuitos de control en cascada, se pueden hacer en este caso tres combinaciones:

La primera es tener un control "primario" de temperatura del etano que esté reajustando continuamente a un control "secundario" de flujo de

combustible, formando el anteriormente mencionado control en cascada de temperatura con flujo.

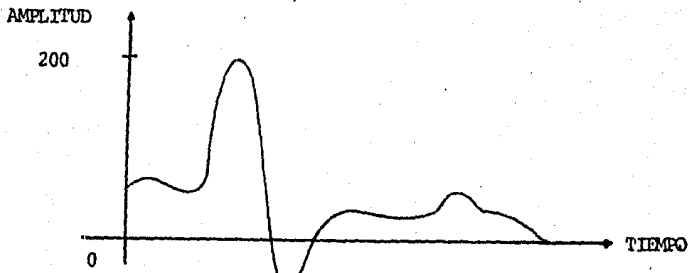
Otra forma es la de tener un control "primario" de temperatura del etano a la salida del horno, que esté reajustado continuamente a un control "secundario" de presión del combustible a la entrada del horno, de esta manera formamos el circuito de control en cascada de temperatura con presión, y por último es posible tener un circuito de control en cascada de la temperatura de etano a la salida del horno "primario" que se ajusta a un control de temperatura del hogar del horno, "secundario", en forma continua.

El sistema de control pre-alimentado consiste en un control "primario" del flujo del etano a la entrada del horno que reajusta continuamente a un control "secundario" de flujo (ó de presión) del combustible a la entrada del horno.

En conclusión, debido a que es sumamente importante mantener la temperatura de salida de la carga controlada, se usará el circuito de control en cascada de temperatura-presión, además de que es el más usado en los sistemas de control de hornos en las refinerías de Pemex, por sus características de precisión y economía.

Es importante aclarar que la cascada de el circuito temperatura-temperatura, puede reducir hasta en 200 veces los picos que se obtendrían con un circuito sencillo de control de temperatura, la figura 4.2.6 muestra la comparación correspondiente a estos circuitos, con gráficas.

## CIRCUITO SENCILLO



## CASCADA TEMPERATURA - TEMPERATURA

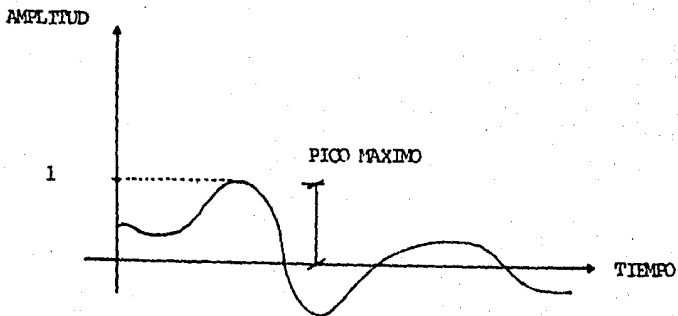


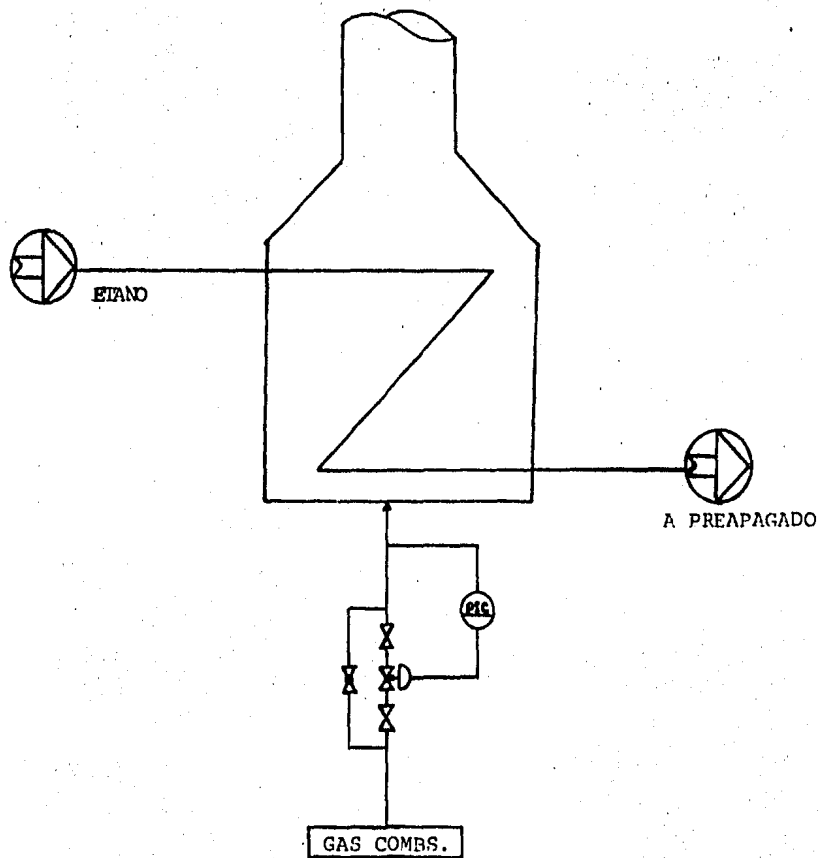
FIG. 4. 2. 6.



## 5. PRESION DEL COMBUSTIBLE.

El combustible que servirá para alimentar al horno, es gas proveniente de límites de batería. Se debe contar además con un refuerzo de combustible, consistente en combustoleo, para casos en que el gas combustible se termine. Esto se hace con el fin de mantener el proceso continuo, ya que de otra manera si el gas se terminara se vería en la necesidad de parar el proceso.

Para el caso, cuando se esté trabajando con gas combustible, Fig. 4.2.7., se tendrá que controlar la presión del mismo, de tal manera que las variaciones de temperatura del etano, debidas a variaciones en la presión del combustible sean nulos.

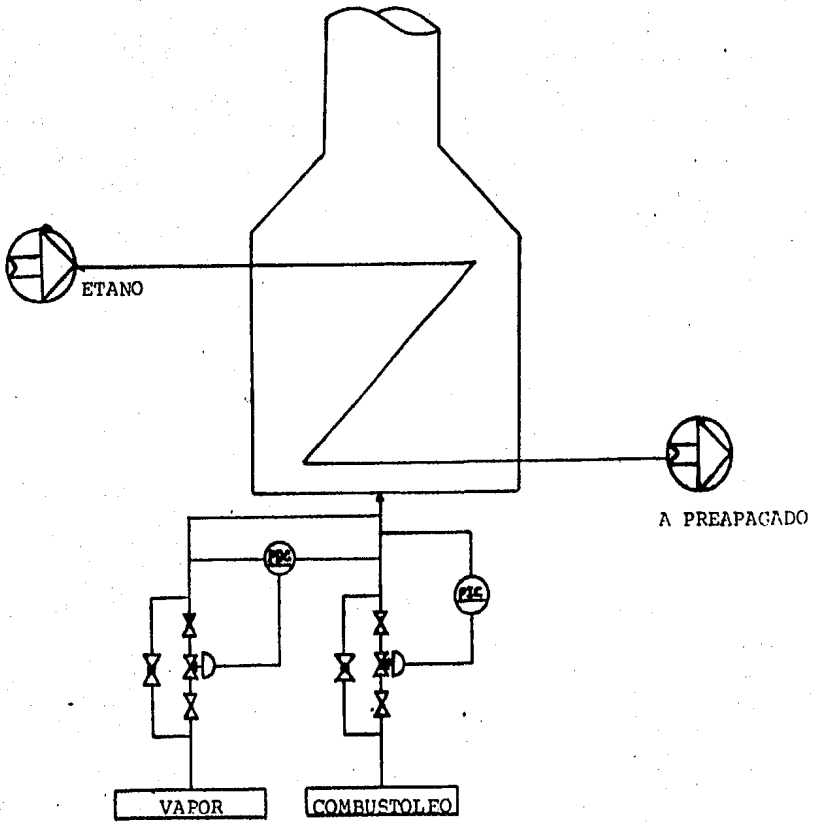


ALIMENTACION NORMAL DE GAS COMBUSTIBLE

FIG. 4. 2. 7.

Cuando la alimentación del combustible del horno sea de combustoleo esta tendra que ser atomizada mediante una corriente de vapor . Esto es con el fin de formar un rocío de pequeñas gotas de combustoleo, y de esta manera quemarlo con mayor facilidad;Fig.4.2.8 ,en éste caso se tendrá que controlar la presión del combustoleo y ademas controlar la presión diferencial requerida entre el combustoleo y el vapor .

## CONTROL DE PRESION CON COMBUSTOLEO



REFUERZO EN CASO DE FALLAS DE GAS COMBUSTIBLE.

FIG. 4. 2. 8.

El uso de quemadores pilotos fue muy discutido - desde hace algunos años, pero en la actualidad se consideran imprescindibles, tanto para quemadores de gas como para aceite, ya que permiten:

- a) Encender más fácilmente los quemadores.
- b) Evitan extinciones intempestivas, ayudando a mantener encendidos los quemadores.
- c) Facilitan el reencendido.
- d) Proporcionan un sistema de seguridad que funciona perfectamente bien.

Los pilotos pueden ser conservados en funcionamiento, en caso de paro del horno, aún si la carga de etano no está circulando.

El horno no sufrirá daño si los pilotos no son - alimentados a presión correcta, pero si la presión es de 10 a 20 veces mayor o menor que la que debería tener, las llamas pueden ser sopladas en el - momento de la extinción total de los quemadores,

lo cual puede ser de terribles consecuencias si -  
 existe un flujo importante de gas.

Para mantener la presión constante se instala un  
 controlador indicador de presión (PIC), con alarma  
 de baja presión (PAL), que cortara la llegada de  
 combustible en los casos de extrema emergencia  
 (baja presión) Fig. 4.2.9.

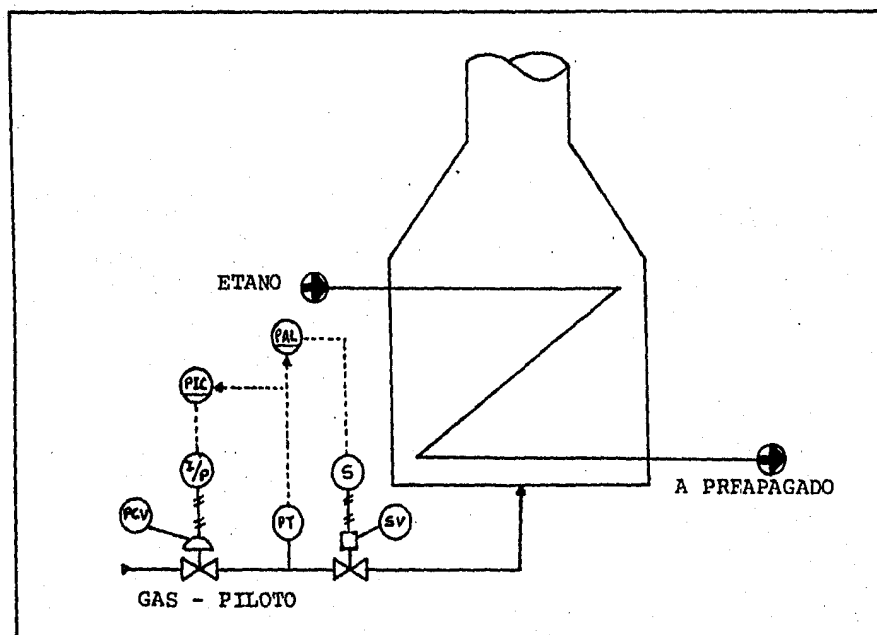


Fig. 4.2.9

## 6. RELACION AIRE-COMBUSTIBLE.

Para la completa combustión de cualquier porción de combustible, hay una cantidad ideal de Oxígeno y por lo consiguiente una cantidad ideal de aire requerido. Bajo condiciones reales, las ineficiencias en la combustión requieren de una cantidad adicional de aire para asegurar que la combustión sea completa. La cantidad extra y arriba de la ideal requerida es llamada "exceso de aire", y es usual hablar del "porcentaje de aire en exceso", el cual está dado por la relación siguiente:

$$\% \text{ de aire en exceso} = \frac{\text{aire en exceso}}{\text{aire requerido para la combustión ideal}} \times 100$$

Cada combustible tiene un límite mínimo práctico de porcentaje de aire en exceso y probablemente la más importante función del sistema de control de combustión es mantener el por-

ciento del exceso de aire arriba del mínimo.

Los requerimientos del "exceso de aire" son usualmente satisfechos manteniendo un tiro adecuado en el horno, (una adecuada baja de presión en la chimenea), para asegurar que entra suficiente aire a la cámara de combustión. Para una medición más exacta del exceso de aire, se requiere medir el contenido de Oxígeno de los gases de la combustión.

El analizador de Oxígeno es un instrumento común, para hornos que consumen grandes cantidades de combustible. Su principal función es medir el contenido de Oxígeno de los gases de la combustión, a partir del cual, se puede calcular el exceso de aire que se proporciona al horno.

El analizador tiene una función secundaria, ya que puede conectarse a una alarma que se



activará cuando se maneje bajo Oxígeno, y que alertará al operador de una inminente atmósfera peligrosa en el horno.

Se puede justificar el uso de un analizador de Oxígeno en los siguientes casos:

- a) Hornos que consumen grandes cantidades de combustible. El tiempo que se requiere para que la instalación del analizador se pague, puede ser cosa de meses.
- b) Hornos donde las condiciones de operación son tales que hay frecuentes cambios en las cargas de etano y/o frecuentes cambios en el tipo de combustible. En estos casos, el analizador podría considerarse una necesidad tomando en cuenta solamente la necesidad de operación.

Con relación al montaje del analizador se debe:

- a) Ubicar la toma de muestreo en un lugar - donde los humos son homogéneos, sin riesgo de infiltraciones de aire parásitas.
- b) Proteger la línea de muestreo contra el hielo y las grandes variaciones de temperatura.
- c) Instalar la línea de muestreo con cierta - pendiente y con puntos de carga.

#### TIRO DE LA CHIMENEA.

De la necesidad de mantener un tiro adecuado, se deriva la necesidad de medirlo para que dicha - medición sea una guía para el operador y dependiendo de esta medida nueva la mampara de salida de los gases.

De hecho un medidor de tiro no es sino un medidor de presión, el cual es montado en el tablero local

del horno al cual se le hace un arreglo de valvulas de bloqueo para tener las distintas mediciones en todo el horno por medio de un maneral . El diagrama correspondiente es mostrado en la figura 4.2.10 .

El tiro es la diferencia de presión creada por la chimenea su valor depende de la altura de la boca de la chimenea y de la diferencia media de temperatura entre la de los gases quemados , contenidos en la chimenea y la del aire exterior.

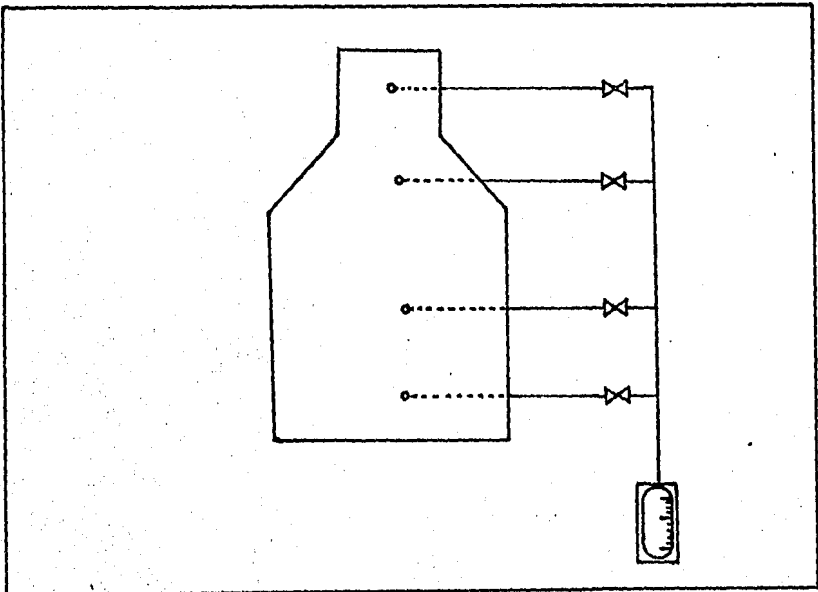
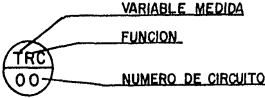




















Fig. 4.2.10

SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTOS	V A R I O S	M I S C E L A N E O S
<p><b>IDENTIFICACION DE INSTRUMENTOS</b></p>  <p><b>FLUJO</b></p> <p>AA ALARMA DE ANALISIS  AR REGISTRADOR DE ANALISIS  FIC INDICADOR CONTROLADOR DE FLUJO  FRC REGISTRADOR CONTROLADOR DE FLUJO  FAL ALARMA POR BAJO FLUJO  FAH ALARMA POR ALTO FLUJO  FR REGISTRADOR DE FLUJO  FU VALVULA CONTROLADORA DE FLUJO</p> <p><b>PRESION</b></p> <p>PdI INDICADOR DIFERENCIAL DE PRESION  PI INDICADOR DE PRESION  PIC INDICADOR CONTROLADOR DE PRESION  PAL ALARMA POR BAJA PRESION  PAH ALARMA POR ALTA PRESION  PV VALVULA DE CONTROL DE PRESION  HV VALVULA DE TRES VIAS</p> <p><b>TEMPERATURA</b></p> <p>TI INDICADOR DE TEMPERATURA  TIC INDICADOR CONTROLADOR DE TEMPERATURA  TAL ALARMA POR BAJA TEMPERATURA  TAH ALARMA POR ALTA TEMPERATURA  TRC CONTROLADOR REGISTRADOR DE TEMPERATURA</p>	<p>BS BOTON DE PARO  HC CONTROL MANUAL</p> <p> SUMADOR DE SEÑALES</p> <p> MULTIPLICADOR DE SEÑALES</p> <p> EXTRACTOR DE RAIZ</p> <p> UNIDAD DE ADELANTO O ATRASO</p> <p> TRANSDUCTOR DE SEÑAL DE CORRIENTE A NEUMATICO</p> <p> ALARMA SONORA Y LUMINOSA</p>	<p> SOLENOIDE CON REPOSICION AUTOMATICA</p> <p> ABIERTA A FALLA DE AIRE</p> <p> CERRADA A FALLA DE AIRE</p> <p> ENTRADA O SALIDA DE LIMITES DE BATERIA</p> <p> CORRIENTE PRINCIPAL</p> <p> 'SERVICIOS'</p>
	<p><b>SIMBOLOS GENERALES DE INSTRUMENTOS</b></p> <p> INSTALADO LOCALMENTE</p> <p> INSTALADO EN TABLERO PRINCIPAL</p> <p> LOCALIZADO EN LA PARTE POSTERIOR DEL TABLERO</p> <p> INSTRUMENTOS COLOCADOS EN CUATRO LINEAS DE UNA MISMA CORRIENTE</p>	<p><b>SEÑALES DE INSTRUMENTOS</b></p> <p> NEUMATICA</p> <p> ELECTRICA</p>
		<p><b>NOTAS</b></p> <p>NOTA 1 UNA SOLA LINEA</p> <p>NOTA 2 SE DIVIDE EN CUATRO LINEAS</p>
		<p><b>U N A M</b></p> <p><b>PLANO DE NOTAS GENERALES LEYENDAS Y SIMBOLOS</b></p> <p>FIG. 4. 2.0 SECC. PIROLISIS PLANTA DE ETILENO</p>

Hasta aquí se han contemplado las diferentes variables a controlar y el posible circuito de instrumentación en particular para cada una de ellas. Tomando en consideración todo lo anteriormente mencionado, se exponen a continuación diferentes sistemas de instrumentación para el horno de pirólisis y la descripción del funcionamiento de los sistemas mostrados en las siguientes figuras.

Hay diferentes maneras de instrumentar, por lo tanto los sistemas de instrumentación que se muestran no se deberán tomar como sistemas rígidos o únicos para este tipo de equipo, si no con flexibilidad y ésta siempre estará en función de la dinámica del proceso en consideración.

Los diagramas de instrumentación en las figuras siguientes presentan un típico para un solo serpentín, para efecto práctico del presente trabajo, pero cabe aclarar que el horno de pirólisis tomado en consideración consta de cuatro serpentines, esta será la razón por la cual en algunos instrumentos aparecerán las letras a, b, c, d, como subíndices indicando los instrumentos para cada uno de los serpentines.

En la figura 4.2.11 se muestra un sistema de instrumentación donde el proceso de pirólisis en el horno es controlado por un circuito en cascada, de la temperatura del efluente del -

horno con la presión de alimentación del combustible. El sistema mostrado en esta figura funciona de la siguiente manera:

## T E M P E R A T U R A

### CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente de etano que viene de límite de baterías, entra al serpentín de precalentamiento y a la salida de éste se encuentra el indicador de temperatura TI-02 que esta informando acerca de la temperatura a la que esta saliendo la corriente de etano precalentada a partir de aquí la corriente se divide en 4 para mezclarse con vapor y entrar al serpentín de pirólisis, en el cual el indicador de temperatura TI-06<sub>abcd</sub> indica la temperatura a la que entra la mezcla etano vapor; mientras que el indicador de temperatura TI-07<sub>abcd</sub> informa de la temperatura del producto en cada serpentín antes de salir del horno.

El indicador de temperatura TI-014<sub>abcd</sub> indica la temperatura de salida de la corriente de productos para cada uno de los serpentines en particular, así el indicador de temperatura TI-015 informa de la temperatura del producto; del conjunto de las cuatro corrientes individuales, correspondientes a cada uno de los serpentines y que inmediatamente pasa a la sección de apagado.

El controlador registrador de temperatura TRC-016 registra la temperatura de la corriente de salida del producto y controla la temperatura de dicha corriente enviando una señal a los indicadores controladores de presión PIC-018 y PIC-021 los que al relacionar la señal enviada por el TRC-016 regularán la cantidad de combustible necesaria para mantener la temperatura del efluente del horno en el valor deseado. El TRC-016 proporciona la corrección requerida para disturbios locales lentos, tales como cambios ambientales o de proceso. Este tipo de control es conocido como "Control en cascada - temperatura - presión".

#### SERVICIOS.-

El conocimiento de las temperaturas es un punto importante, para el proceso de pirólisis, porque es necesario mantener en el horno un perfil de temperatura conveniente con objeto de tener una distribución de productos uniforme y para ello se colocan indicadores de temperatura a lo largo del horno hacia la chimenea. Ya que estos indicarán el lugar en un momento dado de la existencia de un problema. Por tanto, los indicadores de temperatura TI-011, TI-012, TI-013 indicarán la temperatura a que se encuentran las secciones de radiación, radiación-convección y convección. Mientras que el indicador de temperatura TI-027 colocado en la chimenea del horno indica la temperatura a la que son expulsados los --

gases de combustión a la atmósfera.

El conjunto de indicadores de temperatura colocados en la corriente principal y en los colocados en los servicios, darán a conocer el perfil que existe en el horno.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La acumulación de carbón en algunos de los serpentines causará aumento de temperatura y este aumento causará más carbón; provocando un mayor taponamiento en el serpentín, y aumentando más la temperatura.

Para prevenir esto se coloca una alarma por alta temperatura a la salida del horno en cada uno de los serpentines ---- TAH-014<sub>abcd</sub> sonoras y luminosa para avisar de la peligrosa situación y tomar medidas de corrección en los serpentines con problemas.

Por otra parte, en la corriente total de salida se coloca otra alarma por alta temperatura: TAH-016 como medida de seguridad para avisar cuando la temperatura de salida se eleve, indicando que existe un problema en el proceso.

F L U J O

#### CORRIENTE PRINCIPAL

El registrador de flujo FR-01 informa del volumen de etano que viene de límite de baterías al horno, después del --



precalentamiento y antes de entrar a los serpentines de pirólisis se encuentran los indicadores controladores de flujo FIC-03<sub>abcd</sub> que indican el flujo de etano precalentado que se mezclará con vapor antes de entrar a los serpentines de reacción, así mismo el FIC-03<sub>abcd</sub> controla la cantidad aóronia-da que deberá ser alimentada a cada serpentín de reacción.

Es importante mantener el flujo constante a través de los serpentines, para que el carbón que se va produciendo y acumulando gradualmente, no sea mayor en uno que en otro, ya que esto causaría un aumento en la caída de presión en estos, provocando mayor acumulación de carbón.

#### SERVICIOS

El flujo de vapor destinado a mezclarse con el etano que entrará al horno por cada uno de los serpentines es registrado y controlado por los registradores controladores de flujo -- FRC-04<sub>abcd</sub> los cuales registran y controlan la cantidad adecuada de vapor que deberá estar en relación con la cantidad alimentada de etano.

En la corriente de combustible, se ha colocado un registrador de flujo: FR-022 que registrará el flujo de gas combustible que se suministra por el cabezal principal a los quemadores.

### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.

En la corriente de alimentación de etano se encuentra una alarma por bajo flujo FAL-01, la cual recibe señal del registrador de flujo FR-01. Esta alarma sonora y luminosa avisará cuando la cantidad de flujo sobrepase el límite mínimo de etano que debe ser alimentado, ya que si entra menos flujo por los serpentines, la temperatura de estos aumentará considerablemente. Al haber menos masa que absorba ese calor la temperatura aumentará a niveles peligrosos al grado que los tubos se puedan romper.

## P R E S I O N

### CORRIENTE PRINCIPAL

En este caso la corriente principal no presenta instrumentos con relación a la variable de presión.

### SERVICIOS

En la corriente del gas combustible el controlador indicador de presión PIC-023, indica y controla la presión del gas en el cabezal de los quemadores. Mientras que los indicadores controladores de presión PIC-018 y PIC-021 tienen un punto de ajuste para mantener la presión exacta en los quemadores y así satisfacer la liberación de calor requerido, para

sostener el grado de cracking deseado. De esta manera se controla localmente cualquier disturbio en la presión del combustible con lo que se logra dar más estabilidad a la temperatura de salida, debido a que la corrección será inmediata, sin esperar a que el TRC-016 mande la señal correctiva y la temperatura se dispare, debido al tiempo muerto utilizado. En campo se encuentran los indicadores de presión PI-019 y PI-020 que facilitan la supervisión de la presión del combustible.

Los indicadores de presión PI-05, PI-08, PI-09 y PI-010 distribuidos a lo largo del horno camino a la chimenea, proporcionan información a cerca de la caída de presión que existe en el horno, lo cual influirá en una buena combustión.

El aspecto más importante del control de combustión, es proporcionar económicamente la relación combustible-aire para una eficiente combustión. Una insuficiencia en el suministro de aire dará por resultado que el combustible no se quemara por completo; en cambio un exceso de aire aumentará las pérdidas a través de la chimenea innecesariamente ocasionando una eficiencia total menor de la operación.

Estos indicadores se usan también para ajustar los quemadores y para indicar el alcance de las condiciones de operación límites.

### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Cuando se presentó una interrupción en el flujo del gas combustible esto provocará que los quemadores se apaguen de momento y al reanudarse de nuevo el flujo de gas; este escaparía por los quemadores resultando una mezcla peligrosa de gas-aire. Para prevenir esto, de la señal del indicador-controlador de presión PIC-023 se envía una señal a la alarma por baja presión PAL-023 (sonora y luminosa), que avisa de cualquier situación peligrosa. Señal que llega a la válvula seleloide HV-024 la cual corta el suministro de gas combustible inmediatamente. Además se tiene un botón de paro manual BS-024, para cuando se tenga una situación de emergencia, y se requiere cortar el suministro del gas combustible.

### C O M P O S I C I O N

#### CORRIENTE PRINCIPAL

Con objeto de determinar si el producto que se obtiene está dentro de las especificaciones establecidas para esto se instala un analizador a la salida del horno, antes del sistema de apagado, este analizador AR-025 es un cromatógrafo que medirá la composición y la humedad de los componentes de la corriente de salida del horno que será más ligera que el butano. Hay que hacer notar que este tipo de instrumentos son --

los más delicados en cuanto a su mantenimiento debido a que el tomar muestras para que sean analizadas implica - tener un sistema para eliminar el coque y alquitranes que tre la corriente y que ocasionan desperfectos en el cromatógrafo .

#### SERVICIOS

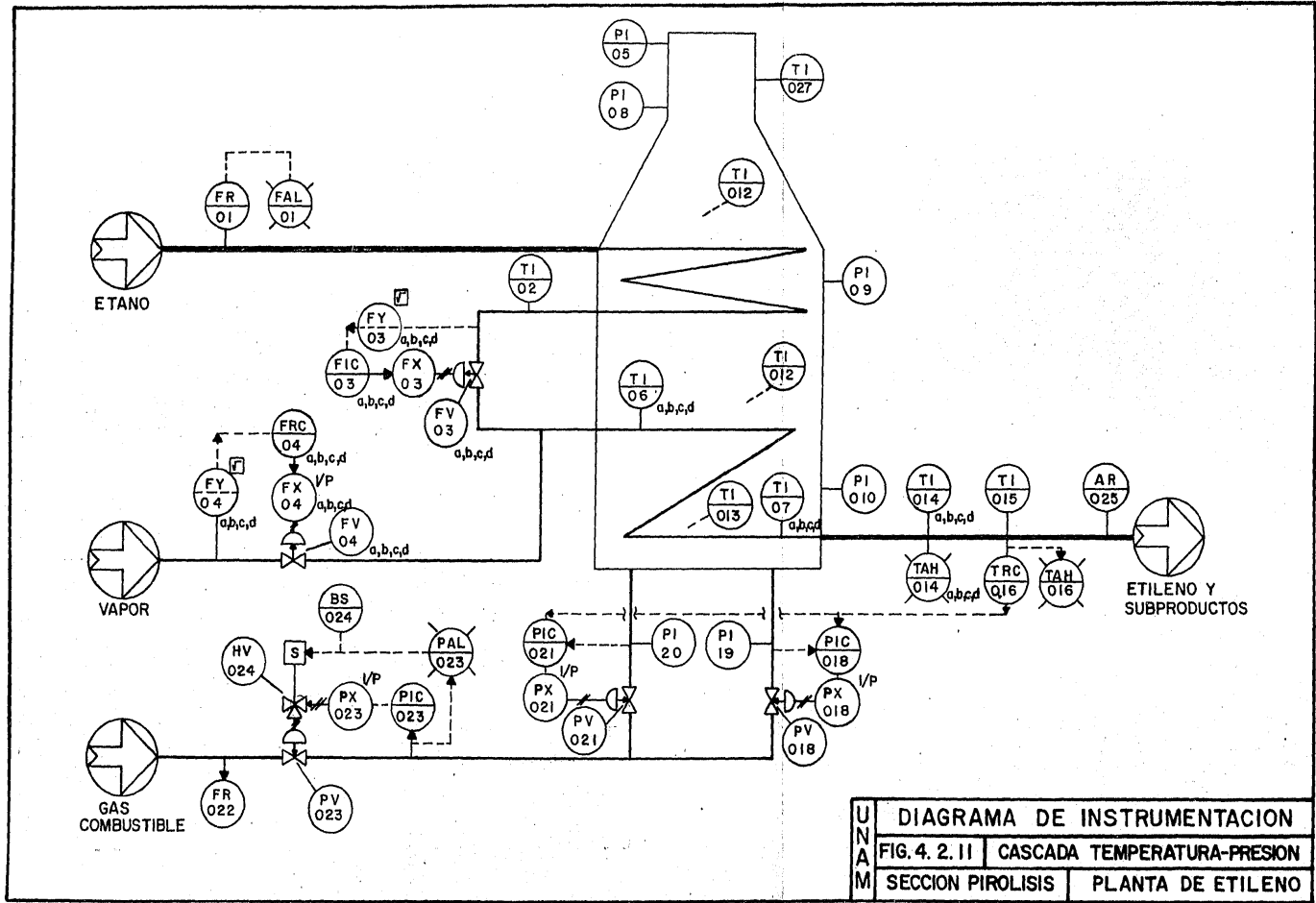
En este caso los servicios no presentan instrumentos con relación a la variable de composición .

#### VENTAJAS

Este sistema presenta la ventaja de que se estan comparan do dos señales lineales como lo son la variable de presión y la variable de temperatura. Además el loop secundario considera los peores trastornos que se puedan presentar en lo que respecta a la presión. El control secundario es de respuesta rápida cuando se presenta una alteración.

#### DESVENTAJAS

La desventaja de este sistema es que no toma en cuanta todas las alteraciones que pudiera recibir el sistema.



UNAM	DIAGRAMA DE INSTRUMENTACION	
	FIG. 4. 2. 11	CASCADA TEMPERATURA-PRESION
	SECCION PIROLISIS	PLANTA DE ETILENO

En la figura 4.2.12 se muestra un sistema de instrumentación donde el proceso de pirólisis en el horno se controla por medio de un " Control de cascada ", en este caso, entre la temperatura del efluente del horno y el flujo de alimentación del combustible.

A continuación se explica el funcionamiento de este sistema:

#### T E M P E R A T U R A

##### CORRIENTE PRINCIPAL

En lo que se refiere a la instrumentación de control de la temperatura, esta permanece casi constantemente en relación con la utilizada en la figura 4.2.11.

La diferencia radica en la salida del horno, ya que el TRC-016 registra la temperatura de la corriente de salida del producto y la controla enviando una señal hacia los indicadores - controladores de flujo FIC-018 y FIC-021 los cuales regulan el flujo adecuado de combustible con objeto de mantener la temperatura del efluente del horno en el valor deseado.

##### SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la temperatura, permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Al igual que en los servicios los dispositivos de seguridad permanecen constantes en referencia a los utilizados en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente.

### F L U J O

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación con respecto al flujo permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11, la cual se explica en el parrafo correspondiente.

#### SERVICIOS

En lo que se refiere a la instrumentación de control del flujo, ésta permanece casi constante en comparación con la de la figura 4.2.11. La diferencia radica en la alimentación de combustible a los quemadores, donde los controladores-indicadores de flujo FIC-018 y FIC-021 controlan el flujo adecuado del combustible proporcionando una corrección para los disturbios locales para sostener el mismo grado de liberación de calor. Por otra parte hay que hacer notar que el controlador registrador de temperatura TRC-016 registra la temperatura del efluente y controla la temperatura de dicha corriente enviando una señal a los indicadores



controladores de flujo FIC-018, FIR-021, ya que esta señal es lineal no se puede relacionar con la de flujo que es una señal cuadrática, para lo cual se colocan unos extractores de raíz cuadrada FY-018 y FY-021 para linealizar la señal de flujo y de esta manera poder relacionarla con la señal enviada por el TRC-016 manteniendo la temperatura del efluente en el valor deseado.

Este tipo de control es conocido como "Control en cascada - Temperatura-Flujo"

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación en relación a los dispositivos de seguridad permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### P R E S I O N

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente principal no presenta instrumentos con relación a la variable de presión.

#### SERVICIOS

La instrumentación en relación a la presión permanece casi constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11

con la única diferencia de que, los controladores indicados de presión PIC-018 y PIC-021 que aparecen en dicha figura cambian a: controladores de flujo en la figura 4.2.12.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación en relación a los dispositivos de seguridad permanece constante tomando como referencia a la -- utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### C O M P O S I C I O N

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación en relación a la composición de esta -- corriente permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 que se indica en el párrafo correspondiente.

#### SERVICIOS

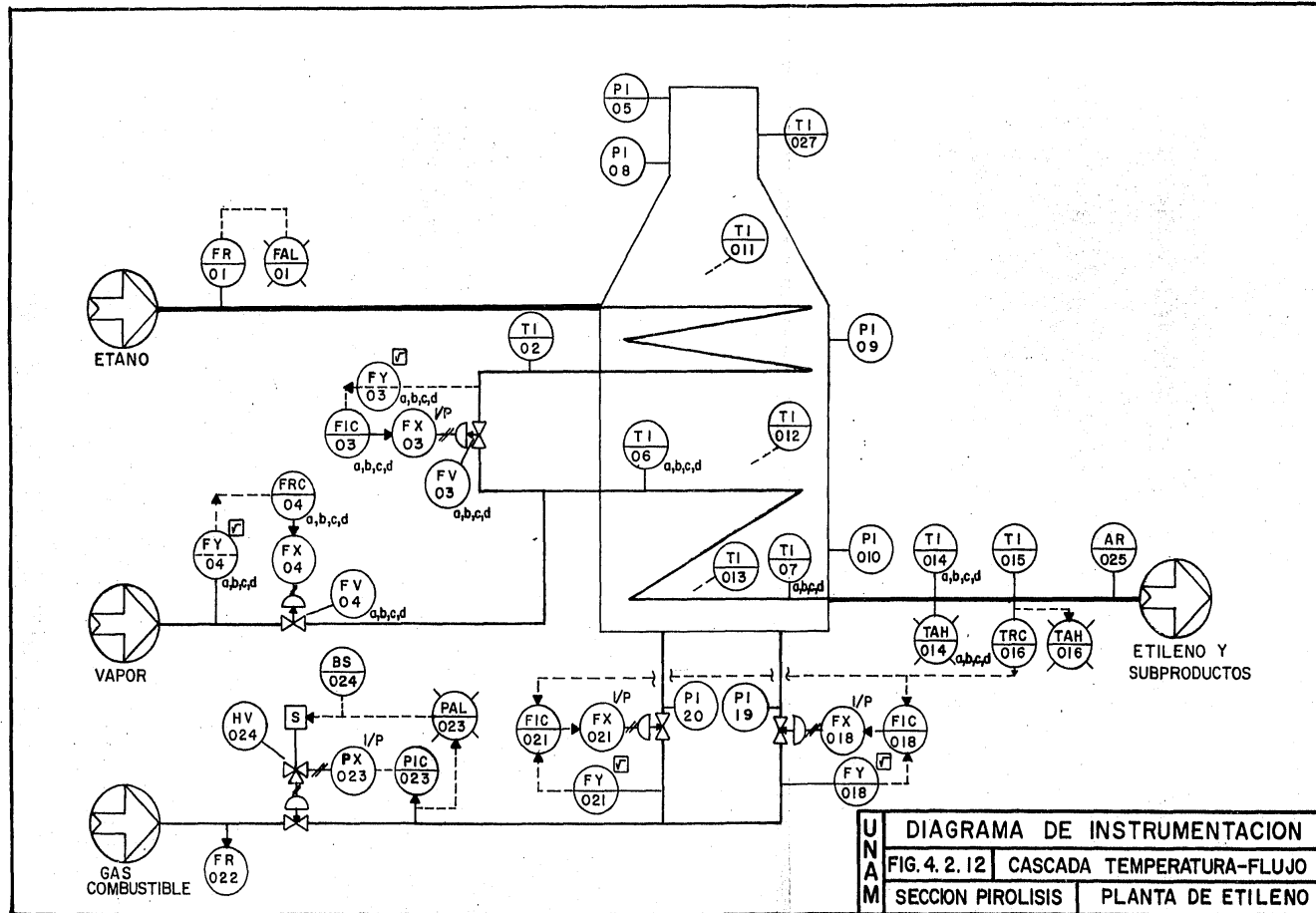
En este caso los servicios no presentan instrumentos con -- relación a la variable de composición.

### VENTAJAS

Este sistema presenta la ventaja de que el loop secundario considera los peores trastornos que se puedan presentaren lo que respecta al flujo .Ademas el control secundario es de respuesta rapida cuando se presenta una alteración .

### DESVENTAJAS

La desventaja de este sistema es la comparación de una variable de señal lineal como lo es la temperatura con una variable de señal cuadrática como lo es el flujo , Ademas de que el loop secundario no considera todas las alteraciones que puede recibir el sistema .



En la figura 4.2.13 se muestra un sistema de instrumentación donde del proceso de pirólisis en el horno se controla por medio de un control en cascada en este caso, entre la temperatura del efluente del horno y la temperatura que prevalece en el horno.

A continuación se explica el funcionamiento de este sistema:

#### T E M P E R A T U R A

##### CORRIENTE PRINCIPAL

En lo que se refiere a la instrumentación de control de la temperatura, esta permanece casi constante en referencia con la utilizada en la figura 4.2.11

La diferencia radica en que el controlador-registrador de temperatura TRC-016 que registra y controla la temperatura de la corriente total de salida de producto, envía una señal en este caso a los controladores-registradores de temperatura TRC-018, TRC-021. Los que al relacionar la señal enviada por el TRC-016 con la señal que les llega a cerca de la temperatura en el horno regulan la cantidad adecuada de combustible necesaria para mantener la temperatura del efluente del horno en el valor deseado.

A este tipo de control se le conoce como "Control en cascada temperatura-temperatura".

### SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la temperatura permanece casi constante en referencia a la utilidad en la figura 4.2.11. La diferencia radica en el suministro de combustible a los quemadores, donde los controladores indicadores de temperatura TRC-018, TRC-021 contarán el suministro de combustible necesario, tomando una medición de temperatura de la zona de convección del calentador, los termopozos se insertan en la pared entre los tubos que están a 6 pies arriba de las flamas del quemador. Esta señal de temperatura de los gases de combustión puede tener variaciones debidas a la cantidad de combustible suministrado o a la variación del poder calorífico variación que puede detectarse y corregirse localmente con los controladores TRC-018, TRC-021 los que envían la señal de control a las válvulas correspondientes para que regulen el suministro de combustible sin necesidad de esperar a que lo haga el controlador de temperatura TRC-016.

### DISPOSITIVO DE SEGURIDAD

Los dispositivos de seguridad utilizados permanecen constantes en referencia a los mostrados en la figura 4.2.11 y que se explican en el párrafo correspondiente.

## F L U J O

### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación con respecto al flujo permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### SERVICIOS

En lo que se refiere a la instrumentación de control de flujo, ésta permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### DISPOSITIVO DE SEGURIDAD

Al igual que en los servicios, los dispositivos de seguridad permanecen constantes en referencia a los utilizados en la figura 4.2.11 y que se explican en el párrafo correspondiente.

## P R E S I O N

### CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente principal no presenta instrumentos con relación a la variable de presión.

### SERVICIOS

La instrumentación en relación a la presión permanece casi constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 -

solo que en este caso los controladores-indicadores de presión PIC-018 y PIC-021 que aparecen en dicha figura cambian en este caso a controladores registradores de temperatura: TRC-018, TRC-018, TRC-021 que son los que mantienen el suministro de combustible en el punto justo para los requerimientos del proceso.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación en relación a los dispositivos de seguridad permanecen constantes a las utilizados en referencia con la figura 4.2.11 y que se explican en el párrafo correspondiente.

### C O M P O S I O N

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación en relación a la composición de esta corriente, permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

#### SERVICIOS

En este caso los servicios no presentan instrumentos con relación a la variable de composición.

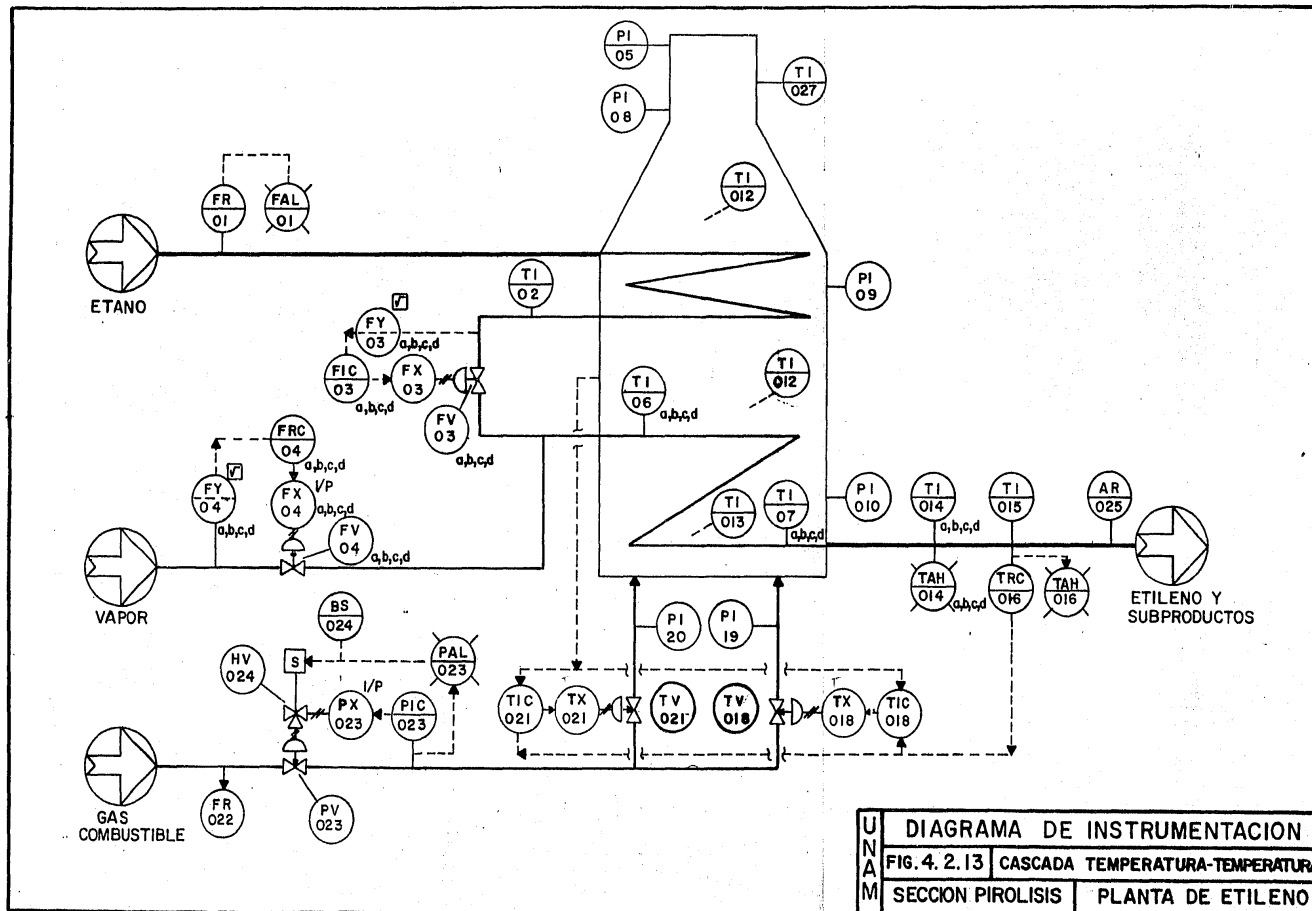


### VENTAJAS

La ventaja de este sistema es que se están comparando dos señales lineales como son la temperatura . Además el loop secundario toma en cuenta cualquier alteración que se presente en el sistema .

### DESVENTAJAS

La desventaja de este sistema es que tiene una respuesta lenta para cuando se presenta una alteración , provocando tiempos muertos grandes.



En la figura 4.2.14 se muestra un sistema de instrumentación donde el proceso de pirolisis en el horno se controla por medio de un circuito de "Control prealimentado estático" de esta manera se detectan las perturbaciones que se presentan en el caudal de alimentación al horno, tomando acciones correctivas desde ese momento antes de que exista el error sin tener que esperar a que el controlador de temperatura - TRC-016, a la salida del horno, registre y corrija una corriente ya afectada, significando consecuencias lamentables para el proceso.

Acontinuación se explica el funcionamiento de este sistema:

## T E M P E R A T U R A

### CORRIENTE PRINCIPAL

En lo que se refiere a la instrumentación de control de la temperatura, ésta permanece constante en referencia con la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la temperatura permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

## DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

En lo que se refiere a la instrumentación de seguridad por temperatura, ésta permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

### F L U J O

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación con respecto al flujo permanece casi -- constante en referencia a la figura 4.2.11. La diferencia radica en la alimentación al horno, donde un cambio del flujo en la alimentación al horno ( La cual es una variable -- independiente) implicará la necesidad de cambiar el valor del flujo de combustible, el cambio en el flujo es registrado por el FR-01 el cual envía una señal al extractor de -- raíz cuadrada FY-025 para linearizar la señal de flujo, pasa esta señal al relevador multiplicador FY-026 el cual establece la relación entre un cambio en el flujo de alimentación y el cambio requerido en la presión del cabezal del -- combustible, posteriormente la señal ya modificada entra -- al relevador sumador FI-017 en el cual se suman: tanto la -- señal de flujo del caudal de alimentación como la señal de temperatura del efluente del horno, enviando una señal que llega a los controladores de presión que regulan el --

suministro de combustible con este sistema la señal del -- caudal de alimentación actua' directamente sobre el punto de ajuste de los controladores PIC-018, PIC-020 los cuales a su vez actuan sobre la válvula de control del combustible sobre la válvula de control del combustible con lo que la -- variación en el caudal de entrada corrige la cantidad de -- combustible requerido sin esperar a que actue el controlador de temperatura TRC-016 que generaría el cambio, mucho -- mas tarde .

Si existe una relación constante entre los flujos de alimentación y la presión con el cabezal de los quemadores el controlador de temperatura podría no ser necesario pero en la practica, con los cambios ambientales y las condiciones de proceso, esta relación cambia con el tiempo por lo que el TRC-016 actua como un controlador de corriente: lento, para mantener la variable controlada en el valor deseado.

Este tipo de control es conocido como "Sistema de control prealimentado estático"

### SERVICIOS

La instrumentación con respecto al flujo permanece, constante en referencia a la figura 4.2.11 y que explica en el parrafo correspondiente.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación con respecto a los dispositivos de seguridad permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente.

## P R E S I O N

CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente principal no presenta instrumentos con relación a la variable de presión.

SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la presión permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y -- que explica en el parrafo correspondiente.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación con respecto a la presión permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y -- que se explica en el parrafo correspondiente.

## C O M P O S I C I O N

CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación en relación a la composición de esta -

corriente permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente .

#### SERVICIOS

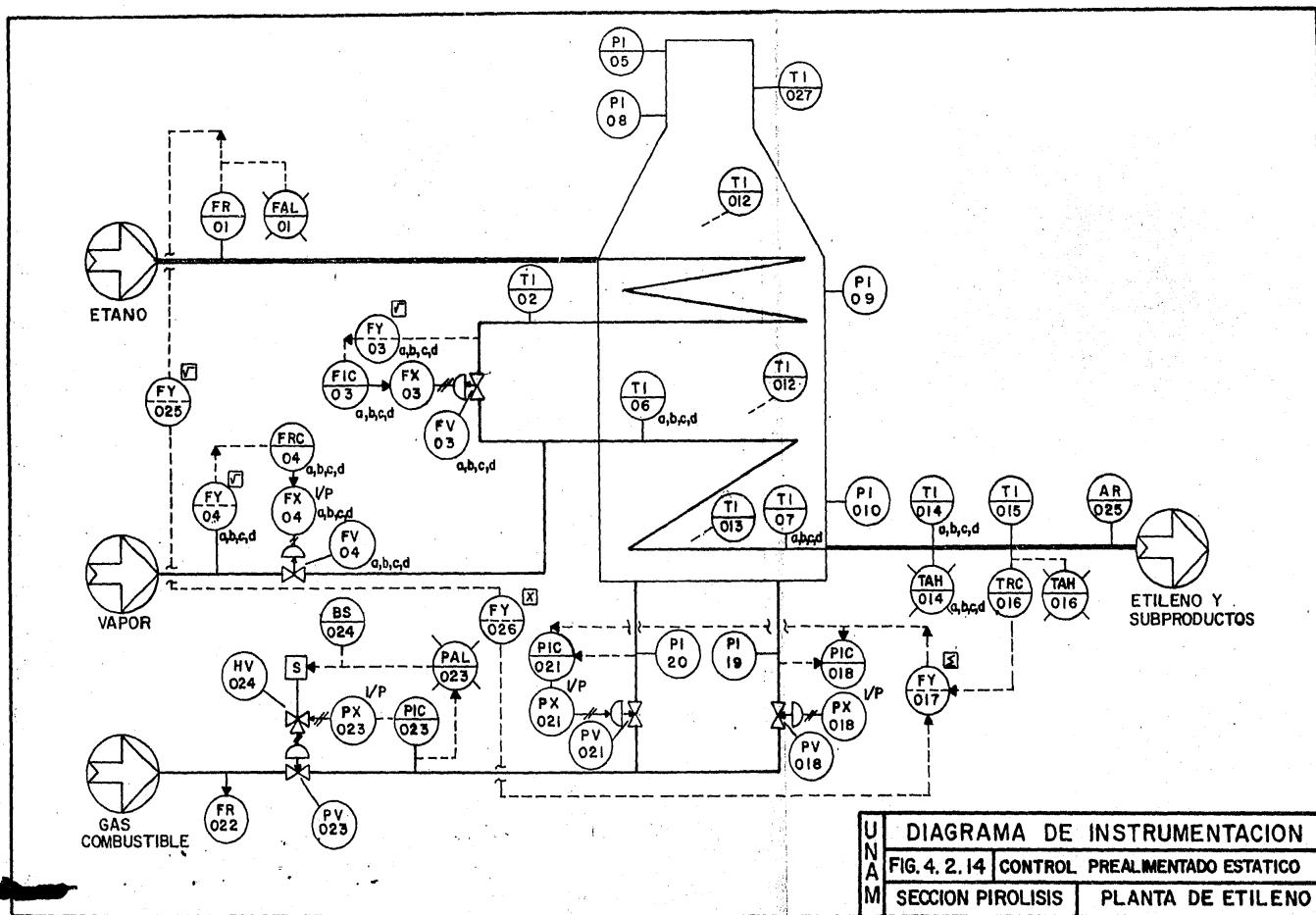
En este caso los servicios no presentan instrumentos con relación a la variable de composición.

#### VENTAJAS

La ventaja de este sistema es la de tomar las acciones correctivas con anticipación , al conocer las variaciones del flujo de alimentación antes de entrar al horno .

#### DESVENTAJAS

La temperatura de salida puede aún saliese de los límites preestablecidos ,debido a que la corrección del circuito prealimentado puede ser muy fuerte en un momento dado.





En la figura 4.2.15 se muestra un sistema de instrumentación donde el proceso de pirólisis en el horno se controla por medio de un sistema conocido como "Control prealimentado dinámico". Con este sistema se logra dar al proceso una corrección fuerte un momento, la cual desaparecerá gradualmente.

Este sistema funciona de la siguiente manera:

## T E M P E R A T U R A

### CORRIENTE PRINCIPAL

En lo que se refiere a la instrumentación de control de la temperatura, ésta permanece constante en referencia con la utilizada en la figura 4.2.11 y se explica en el párrafo correspondiente.

### SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la temperatura permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y se explica en el párrafo correspondiente.

### DISPOSITIVO DE SEGURIDAD

En los que se refiere a la instrumentación de seguridad por temperatura, ésta permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el párrafo correspondiente.

## F L U J O

### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación con respecto al flujo, en comparación con la utilizada en el sistema mostrado en la figura 4.2.14, solo difiere en que la señal que envía el FR-01, después de salir del relevador multiplicador FY-026 es enviada al relevador FY-027 con el que se puede adelantar o atrasar la señal de flujo, según la variación que se presente en el caudal de alimentación. Esto es con objeto de hacerla llegar a tiempo al relevador sumador FY-017 en el cual se suman; tanto la señal del caudal como la señal de temperatura que envía el controlador registrador de temperatura TRC-016, obteniéndose una señal que actúa directamente sobre el punto de ajuste de los controladores de presión PIC-018, PIC-021 obteniendo un suministro adecuado de combustible. Con este circuito se obtiene un control bastante aceptable y se le conoce como "Sistema de control prealimentado dinámico" .

### SERVICIOS

La instrumentación con respecto al flujo permanece constante con referencia a la figura 4.2.11 y que se explica en el -

parrafo correspondiente.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación con respecto a los dispositivos de seguridad permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente.

### P R E S I O N

#### CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente principal no presenta instrumentos con relación a la variable de presión.

#### SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la presión permanece -- constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

La instrumentación con respecto a la presión permanece -- constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y que se explica en el parrafo correspondiente.

## COMPOSICION

### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación en relación a la composición de ésta corriente permanece constante con referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 y la cual se explica en el párrafo correspondiente .

### SERVICIOS

En este caso los servicios no presentan instrumentos con relación a la variable de composición .

### VENTAJAS

Con este sistema se obtiene un control bastante aceptable ya que la corrección de las perturbaciones es por anticipado y gracias al relevador de adelanto o atraso de señal evita que la corrección sea demasiado fuerte.

### DESVENTAJAS

La desventaja de este sistema es el costo; ya que para la colocación del relevador de adelanto o atraso de señal, es necesario realizar un estudio a conciencia del proceso , para obtener la función de transferencia que rige al proceso.

Ya establecida dicha función , el siguiente paso en complejidad para el control del proceso sería la utilización de una computadora , pero los alcances del presente trabajo no incluyen la aplicación de las computadoras al control del horno.



Tomando las ventajas de los anteriores sistemas y explicando lo que en la práctica se utiliza, se propone el sistema de instrumentación mostrado en la figura 4.2.16.

Del cual a continuación se describe su funcionamiento.

## T E M P E R A T U R A

### CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente de etano que viene de límites de batería, es dividida en cuatro corrientes y mezcladas con vapor antes de entrar a los serpentines de precalentamiento.

A la salida de estos se encuentra el indicador de temperatura TI-2-02. Esta notación indica que la señal es enviada a un indicador de temperatura multipunto No. 2 (a cual le pueden llegar hasta diez señales en un solo cuadrante) y el número del indicador es El-02. De la misma manera el indicador de temperatura TI-1-06 que indica la temperatura a la entrada de los serpentines de pirólisis envía la señal pero al indicador de temperatura multipunto No. 1.

Asimismo, el indicador TI-1-07 antes de salir de los serpentines de pirólisis y el TI-2-14 a la salida del horno dan el perfil de las temperaturas que existen en el horno. Apreciándose más fácilmente por la utilización de estos indicadores multipunto.

SERVICIOS

La instrumentación con respecto a la temperatura permanece - constante en referencia con la utilizada en la figura 4.2.11 la cual se explica en el párrafo correspondiente.

Con la observación, como en la corriente principal, de la no tación, debida a la utilización de indicadores de temperatura multipunto.

DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Al igual que en los servicios, los dispositivos de seguridad permanecen casi constantes en referencia a los utilizados en la figura 4.2.11 Los cuales se explican en el párrafo corres pondiente. Como única diferencia están las alarmas por baja temperatura TAL-014 a la salida de los serpentines del horno y la TAL-016 en la corriente total de salida.

## F L U J O

CORRIENTE PRINCIPAL

En la corriente de etano que proviene de limites de bateria se ha colocado el registrador de flujo FR-026 que registra el flujo total que se alimenta .Posteriormente en cada una de las cuatro lineas en las que se ha dividido la corriente de etano se ha colocado un controlador indicador de flujo FIC-01<sub>abcd</sub> con objeto de tener control en esta corriente .

Por otro lado después del extractor de raíz FY-01 se envía una señal hacia el sumador FY-017 pasando por multiplicador FY-026 (control prealimentado estático). Misma señal que llega al controlador registrador de flujo FRC-04 colocado en las líneas del vapor destinado a mezclarse con el etano. Asimismo ésta señal se hace llegar a la válvula solenoide HV-024 para corte de combustible.

#### SERVICIOS

La corriente de vapor también se divide en cuatro líneas que se unen a las de etano para obtener la mezcla etano vapor. - En cada línea de vapor se ha colocado un controlador registrador de flujo FRC-04<sub>abcd</sub> que tienen un punto de ajuste para suministrar la cantidad adecuada de vapor.

A los controladores registradores de flujo FRC-04 les llega además una señal que proviene de los controladores indicadores de flujo FIC-01 colocados en las líneas de alimentación de etano, con objeto de que al existir alguna variación en estas se ajuste el flujo de vapor de acuerdo al nuevo requerimiento.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

En la corriente de alimentación de etano se a colocado además de la alarma por bajo flujo FAL-01, una por alto flujo FAH-01 ya que tanto el bajo como el alto flujo afectan el rendimiento de la reacción en el horno.



## P R E S I O N

### CORRIENTE PRINCIPAL

En la corriente principal se ha colocado un indicador de presión PI-01 después de la mezcla con vapor. Con objeto de observar que la presión a la que esta entrando la mezcla sea baja ya que ello favorece a una conversión mayor de olefinas y además se tiene menor costo de compresión.

### SERVICIOS

A salida de los gases combustión por la chimenea, se ha colocado un indicador diferencial de presión PDI-08 el cual indica la diferencia de presión que existe antes y después de la palometa permitiendo observar directamente esta diferencia - evitando la lectura de dos cuadrantes y la consiguiente operación aritmetica.

La colocación de los indicadores de presión PI-09 y PI-10 es la misma en los anteriores dibujos.

### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

En la corriente de gas combustible se ha colocado aparte de la alarma por baja presión PAL-023, una por alta presión -- PAH-023 ya que también es peligroso tener una alta presión de combustible, ocasionando por otra parte defectos en los quemadores ya sea la alta o la baja presión.

Además, el botón de paro manual BS-024 se ha eliminado

que la señal que va del extractor de raíz FY-01 colocado en la corriente de alimentación de etano al sumador FY-017 se hace llegar también a la válvula solenoide HV-024, esta señal la accionara cuando el flujo de etano alimentado sea bajo cortando el suministro de gas combustible.

## C O M P O S I C I O N

### CORRIENTE PRINCIPAL

La instrumentación en esta corriente permanece constante en referencia a la utilizada en la figura 4.2.11 la cual se explica en el párrafo correspondiente.

### SERVICIOS

Con respecto a los servicios se ha colocado un analizador de oxígeno AR-27 colocado al final de la zona de convección. Con este analizador de oxígeno se obtiene una medición del contenido de oxígeno de los gases de combustión, a partir del cual se puede conocer el exceso de aire que se proporciona al horno. Si se mantiene el exceso de aire al mínimo, el calor se conservara ya que el calor sensible que absorbe el exceso de aire es una pérdida total de calor que hace ineficiente la combustión.

Por otra parte, se mantiene al mínimo el exceso de oxígeno por medio de la admisión de aire en el horno manipulando el tiro de chimenea, por medio de la palometa HC-028 de control

manual, la eficiencia de combustión puede ser optimizada con respecto al consumo de aire, de esta manera.

#### DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

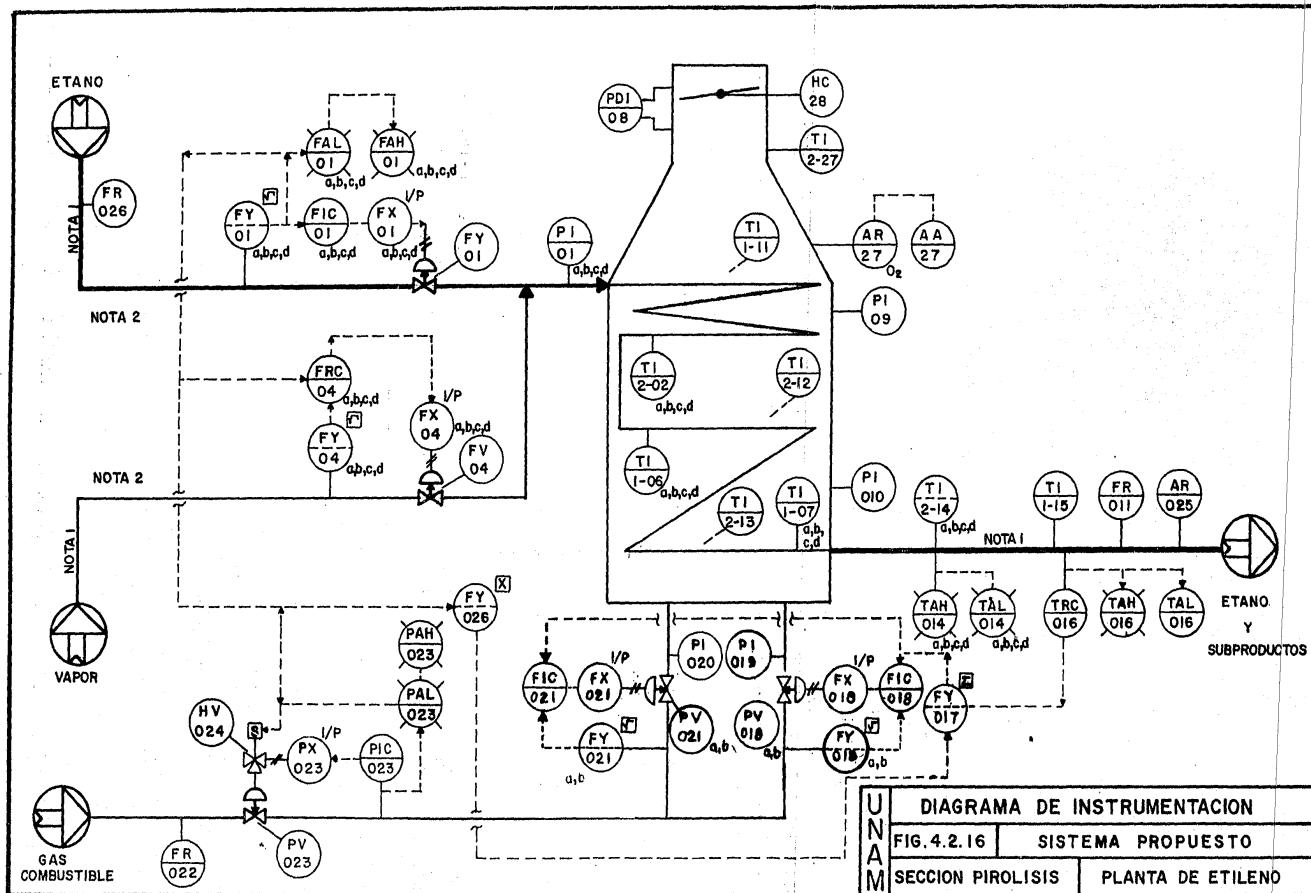
El analizador tiene un función secundaria ya que puede conectarse a una alarma que se activará cuando se maneje un bajo porcentaje de oxígeno AA-027 La cual alertará al operador de una inminente atmosfera peligrosa en el horno.

#### VENTAJAS

Las ventajas de este sistema son las que da el utilizar un sistema prealimentado estatico y para evitar las desventajas de éste se ha colocado control en la alimentación al horno impidiendo los cambios bruscos de flujo .

#### DESVENTAJAS

La desventaja en este sistema seria el costo ,ya que es más caro que los sistemas sencillos en cascada .



5.

**ESTUDIO TECNICO ECONOMICO**

### 5.1. COSTO DE LA INSTRUMENTACION.

Para la adquisición de la instrumentación se realiza un concurso técnico-comercial con objeto de elegir al proveedor idóneo, que cumpla tanto con el aspecto técnico así como por el lado comercial ofrezca el mejor precio.

Las requisiciones originadas por el departamento técnico son enviadas al departamento de compras acompañadas por una lista de materiales correspondiente, así como dibujos y especificaciones generales aplicables al instrumento en cuestión.

Con la información anterior y de acuerdo al tipo, tamaño y número de instrumentos, se selecciona a los concursantes. Una vez ya seleccionados se elaboran solicitudes de cotización, que se les hace llegar a los proveedores.

Los cuales mandan sus cotizaciones técnico-comerciales y se elabora una tabulación técnica y otra comercial en base a las cuales se escoge al proveedor que este cotizando con un buen precio y cumpliendo con los requerimientos técnicos al mismo tiempo.

Los concursos se hacen de acuerdo al tipo específico de los instrumentos y se invita al concurso a los proveedores que fabrican el tipo requerido de instrumentos.

En la tabla No.5,1 de acuerdo al tipo de instrumentación se muestran los diferentes proveedores especialistas de tecnologías en instrumentación de tableros.

Es oportuno mencionar que en México se cuenta con muy importantes firmas de instrumentación con capacidad de suministrar casi toda la gama de dispositivos de medición y control que se requieren en la industria moderna. Así mismo dichas firmas se encuentran en constante competencia para integrarse a la industria nacional mediante la fabricación de cada vez mayor número y variedad de componentes e instrumentos, en un esfuerzo por abatir los costos y tiempos de entrega actuales.

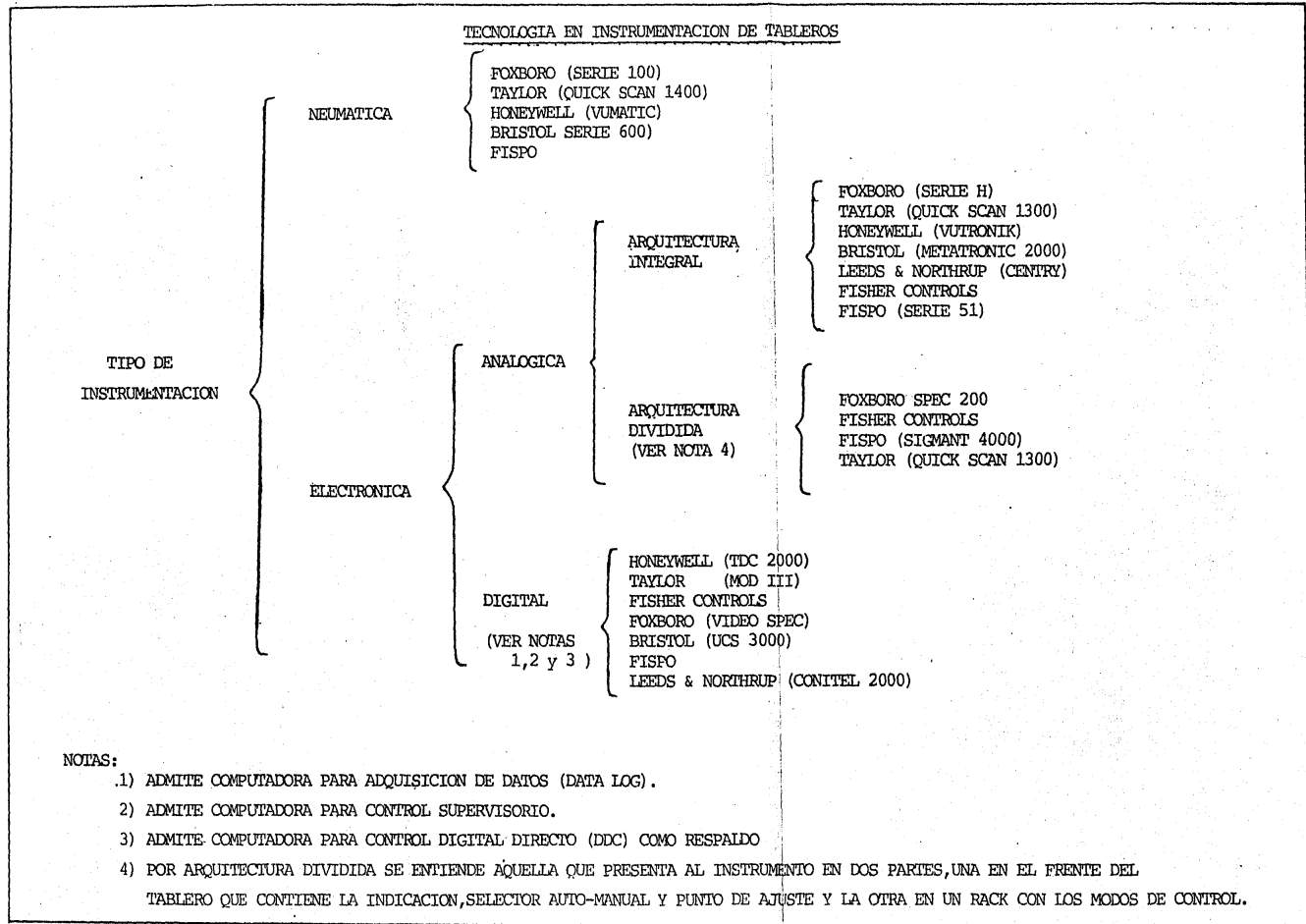


TABLA 5.1



En la tabla 5.2 se muestra el porcentaje del costo de los hornos de pirólisis en relación al costo total de una planta típica de etileno.

PARTE DE LA PLANTA DE ETILENO	PORCENTAJE DE COSTO
CALENTADORES	3.0
COLUMNAS Y TORRES	8.0
COMPRESORAS	11.0
RECIPIENTES Y TANQUES	3.0
INTERCAMBIADORES DE CALOR	15.0
HORNOS DE PIROLISIS	17.0
RECUPERADORES DE CALOR	4.0
BOMBAS	3.0
PARTES ELECTRICAS	2.0
INSTRUMENTACION	6.0
AISLAMIENTO Y SISTEMAS CONTRA INCENDIO	4.0
PINTURA	0.5
TUBERIA	20.0
ESTRUCTURAS	2.0
DIVERSOS	1.5
T O T A L	100.0

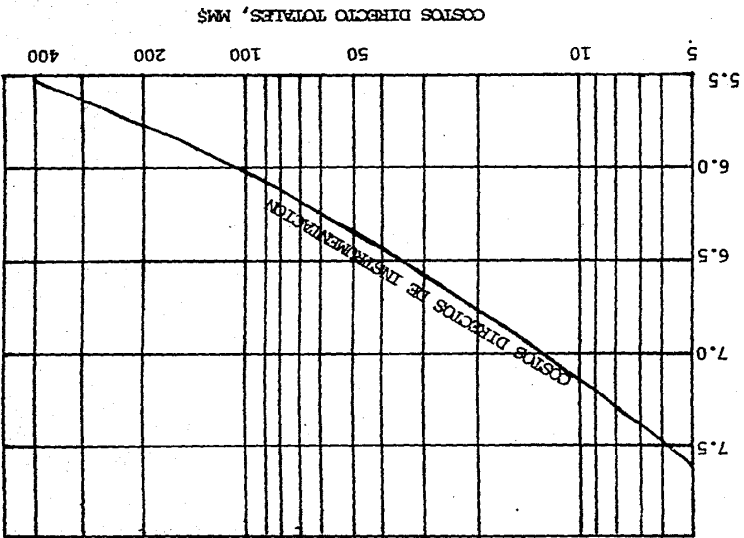
Tabla 5.2

Se puede observar que de todos los componentes integrantes de una planta de etileno, los hornos de pirolisis representan casi la 5a. parte del costo de ésta, debido a lo cual se debe buscar el funcionamiento óptimo de éste equipo. En cuanto a la instrumentación es la parte relativamente más pequeña en comparación con el tamaño de algún otro equipo en la planta. De cualquier manera, la instrumentación y los costos de control forman una porción significativa de la inversión de la planta.

El rango de los costos directos de instrumentación van desde un 7% del total de los costos directos (equipo y costos de material más los costos de instalación), para proyectos con un costo relativamente pequeño, a un 5.5% para proyectos con un costo mediano y para proyectos grandes es alrededor del 5.0%. Como se podrá apreciar en la figura 5.1.1.

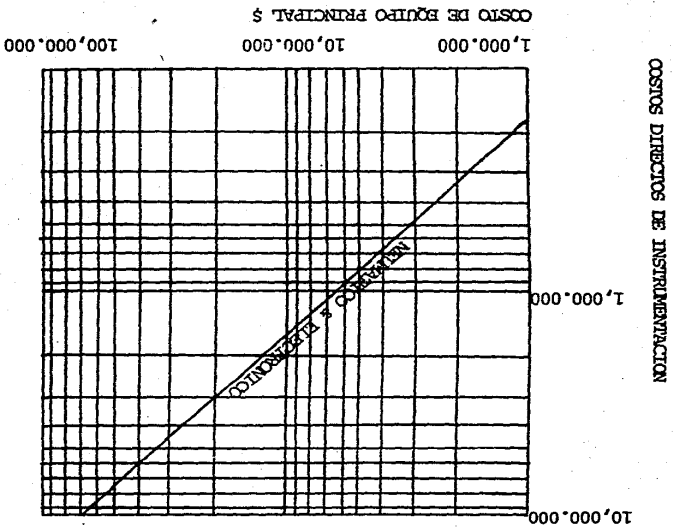
En la figura 5.1.2 se muestra la relación entre el costo total directo de la instrumentación y el costo total del equipo principal (bombas, tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor, calderas, etc.) para ambas instrumentaciones: Neumatica y electronica, no obstante la grafica no incluye tubería electrica y alambrado de instrumentos. Si éste material se incluyera y además la mano de obra de instalación de la instrumentación electrónica se incrementaría de un 8 al 15 % más que la instrumentación neumatica.

Fig. 5.1.1



COSTO TOTAL INSTRUMENTOS ( MANO DE OBRA Y MATERIAL)  
COMO % TOTAL DE LOS COSTOS DIRECTOS.

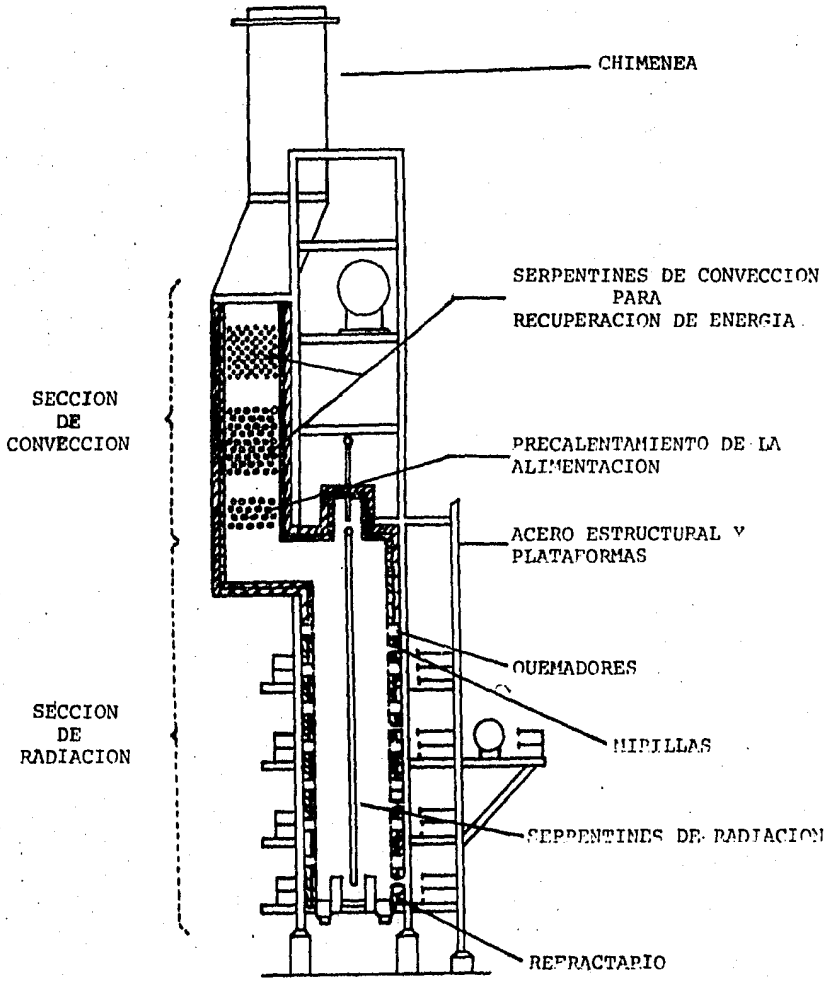
Fig. 5.1.2



En la tabla 5.3 se muestran los porcentajes típicos de las partes del horno que se muestran en la figura 5.1.3 , tomados en base al costo total del horno .

PARTES DEL HORNO	PORCENTAJE DE COSTO
ACERO ESTRUCTURAL INCLUYENDO PLATAFORMAS	28.0
SERPENTINES DE RADIACION Y SU SOPORTERIA	27.0
SERPENTINES DE CONVECCION Y SU SOPORTERIA	21.0
INTERCONEXIONES	7.0
REFRACTARIO	12.0
QUEMADORES	5.0
TOTAL	100.0

Tabla 5.3



CALENTADORES DE CPACKING

Fig. 5.1.3

- Acero estructural y plâtaformas .-

El acero estructural esta comprendido por las placas del cascarn del horno ,las columnas de soporte y la chimenea, las plataformas son para tener acceso a cualquier punto del horno que tenga conexiones de instrumentos ,equipo auxiliar puertas de acceso y de observaci3n .

-Serpentines de radiaci3n y su soporteria.-

El serperntin de radiaci3n es el material mäs caro en el horno ya que debe aguantar las temperaturas altas que se requieren para una conversi3n alta de etileno .Debido a que poco material de los soportes de los serpentines esta expuesto a temperaturas altas,puede ser de una buena aleaci3n sin incrementar los costos del horno.

-Serpentines de convecci3n y su soporteria.-

Esta es el ärea mäs importante del horno ya que de esta depende la eficiencia total del horno. Aunque un aumento en la eficiencia del horno proporcione menor consumo de combustible,se tiene una mayor inversi3n en los equipos de recuperaci3n de calor,por lo que en la practica se ha tomado que para obtener un costo 3ptimo este equipo adicional se pague con el costo del combustible que se ahorre durante dos aros .

- Refractario.-

Los costos del refractario dependeran de la clase de refractario que se utilice y esto a su vez dependera de la temperatura de diseño permisible .

-Quemadores.-

Las variables que influncian en el costo y selección de los quemadores son:

- a) Capacidad del quemador
- b) Localización del quemador
- c) Consumo de combustible

Pudiendose colocar los quemadores en el piso, en las paredes y/o en el techo para mantener uniformidad en la temperatura.



6.

C O N C L U S I O N E S

A través de lo expuesto durante el desarrollo del tema se ha pretendido resaltar la importancia que tiene un sistema de control correctamente aplicado al proceso de producción del etileno .

Un factor importante en la operación de la industria actual, lo constituyen el uso de una gran variedad de instrumentos que garanticen una operación más segura, con mayor productividad , menor costo y mínimo esfuerzo humano satisfaciendo las necesidades de exactitud en los complejos procesos modernos.

El etileno esta considerado como uno de los productos más importantes del mundo y cualquier problema con la operación de la planta involucra una gran pérdida económica . Razón por la cual se hace una fuerte inversión al seleccionar un adecuado constructor y diseñador para las plantas de etileno - que pongan especial cuidado en los hornos de etileno.

Para que un buen diseño y construcción de una planta se mantenga dentro de los parametros de eficiencia que se le proyectaron se requiere de una adecuada instrumentación mínima. Los sistemas en cascada : Temperatura- Presión, Temperatura-Flujo y Temperatura-Temperatura proporcionan un buen control al horno con las pequeñas desventajas que tiene cada uno de ellos . Los sistemas prealimentados , tanto el estático como el dinámico perfeccionan el control del horno al reaccionar

las variaciones que se pueden presentar en la alimentación al horno con el suministro de combustible evitando así la detección de un error hasta la salida del horno. De todos estos sistemas el más costoso es el prealimentado dinámico. Para el sistema propuesto se ha tomado como base el sistema prealimentado estático, con control en la alimentación de etano y proporcionado corrección a las corrientes de suministro de vapor de dilución y al combustible, dando así al proceso un control bastante aceptable.

El sistema de instrumentación que se propone contiene los dispositivos mínimos que deben adoptarse para el mejor funcionamiento de éste tipo de hornos. En el caso que se contemple la posibilidad de optimizar aun más este sistema sería por medio de los sistemas de control por computación que proporcionan gran flexibilidad, cosa siempre deseable, involucrando los estudios previos del proceso en forma profunda. Y siendo estos sistemas de control los más costosos.

BIBLIOGRAFIA

- Desing Ethylene Furnaces: Prt. I  
Hidrocarbon Processing Jan.,1974
- Desing Ethylene: Part. III  
Hidrocarbon Processing Aug.,1974
- The Economics and Tecnology of large Ethylene Projects  
Chemical Engineering March 18,1974
- Space Requirements and Layout for Process Furnaces  
Chemical Engineering Feb.,27,1978
- Generalized Method Predicts Fired Heater Performance  
Chemical Engineering May.,22,1978
- Decoke Furnace Tubes Faster  
Hydrocarbon Processing April,1974
- Estimate Ethylene Furnace Tube Life  
Hydrocarbon Processing Aug.,1976
- Ethylene from Crude Oil  
Chemical Engineering Progress Vol.,71,Nov.,1975
- Ethylene Plant Size Limitations  
Chem. Eng. Progress Vol.,71,No.11 Nov.,1975
- Advanced Computer Control of Ethylene Plants  
Chem. Engineering Nov.,8,1976
- Ethylene Plant Optimization  
Chem. Engineering Vol.,66 No.6 ,June,1970
- Petroleum and Its Products: Petrochemicals  
Riegels Handbook of Industriäl Chemistry  
No. 14
- Finding the Basic Desing for your Application  
Chem. Engineering June,19,1978
- Instrumentation Cost in de HPI  
Hidrocarbon Processing Sept.,1975
- Diseño Termico de C.A.F.D.  
Ing. Jose Rauda R. Julio,1980 IMP
- Los Sistemas de Control Automatico del Tipo Industrial  
Ing. Luis Barragan Pita

- Process Control: Trends for the furnace  
Chemical Engineering June 21, 1976.
- Precise Combustion - Controlsaves fuel and power  
Chemical Engineering June, 21, 1976
- Pneumatic versus electronic instrumentation  
Chemical Engineering June, 21, 1976
- Using microprocesors for process control  
Chemical Engineering June, 21, 1976
- Transmitters  
Hidrocarbón Processing & Petroleum Refiner  
August 1961 Vol. 40, No. 8
- Receivers & Controllers  
Hidrocarbon Processing & Petroleum Refiner  
August 1961 Vol. 40, No. 8
- Fired Heaters-I  
Chemical Engineering June, 19, 1978
- Fired Heaters II  
Chemical Engineering, July, 31, 1978
- Fired Heaters III  
Chemical Engineering, August, 14, 1978
- Fired Heaters IV  
Chemical Engineering Sept., 1978
- Curso Instrumentacion de Plantas Industriales  
IMI/ISA
- Instrumentation Symbols and Identification  
ISA (INSTRUMENT SOCIETY of AMERICA) Rev. 1973
- A workable furnace noise control program  
Chemical Eng. Progressive Vol. 69, No. 10 Oct., 1973
- Simple solutions to control-problem  
Chemical Engineering, May., 22, 1978
- Instrumenting a plant to run smoothly  
Chemical Engineering Sept., 12, 1977

- Procesos de Transferencia de Calor  
Kern Donald Q. SECSA 1971
- Instrumentos de Control Tomos I,2 y #  
Curso IMP
- Instrument Engineering Handbook  
Liptak Bela G. Vols. I,II
- Elementos finales de Control  
Ing. Pedro Salazar Villa Bufete Industrial .