

2e
3



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

"CUAUTITLAN"

**SISTEMAS DE CONTROL EN COLUMNAS
DE DESTILACION Y EN COLUMNAS
DE EXTRACCION.**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
ALFONSO BERRON HERNANDEZ

DIRECTOR DE TESIS
ING. JORGE LEON GUTIERREZ

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

Abril 1986



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

PRESENTACION

I. GENERALIDADES

1.1 DESTILACION

1.2 EXTRACCION

1.3 CONTROL

II. VARIABLES Y GRADOS DE LIBERTAD

2.1 GRADOS DE LIBERTAD

2.2 CLASIFICACION DE VARIABLES

2.3 VARIABLES PARA DESTILACION

2.4 VARIABLES PARA EXTRACCION

2.5 OTRAS VARIABLES

III. DESTILACION

3.1 SISTEMAS BASICOS DE CONTROL

3.1.1 CONTROL DEL BALANCE DIRECTO DE MATERIA

3.1.2 CONTROL DEL BALANCE INDIRECTO DE MATERIA

3.2 CONTROL DE PRESION

3.2.1 VARIACION DEL FLUJO NETO DE VAPOR

3.2.2 VARIACION DEL AREA DE CONDENSACION

3.2.3 VARIACION DEL FLUJO DE CALOR

3.2.4 OTROS METODOS

IV. EXTRACCION

4.1 TORRE DE EXTRACCION DE LIGEROS

4.2 TORRE TRATADORA CON FURFURAL

V. METODOS MODERNOS DE CONTROL

5.1 GANANCIAS RELATIVAS

5.2 CONTROL PREALIMENTADO

5.2.1 CONTROL PREALIMENTADO DE

COMPOSICION CONSTANTE

5.2.2 CONTROL PREALIMENTADO PARA

MAXIMA SEPARACION

5.3 CONTROL AVANZADO

CONCLUSIONES

APENDICE

BIBLIOGRAFIA

P R E S E N T A C I O N

Los sistemas de control que se aplican en los procesos de separación adquieren cada día mayor importancia en la industria química. Estos sistemas de control bien diseñados se traducen en incrementos de utilidad económica para la empresa y contribuyen a garantizar la calidad del producto. Ayudan a valorizar el futuro con relación al presente y a discernir cuál de las soluciones probadas produce los mejores resultados. Si se considera que los procesos de separación más utilizados son los de Destilación; y de alguna forma los de Extracción con solventes, conviene analizar los métodos viables para obtener mayor éxito.

El objetivo de este trabajo es el de exponer una recopilación de esos métodos y describir brevemente las generalidades relativas a la función y operación de la Destilación y de la Extracción, así como el manejo de ciertos sistemas de control. La idea es mostrar que la eficacia operacional está íntimamente ligada a los recursos empleados. Esto ha inducido a describir las variables que afectan los procesos de separación y la forma de clasificarlas. También se ha procurado analizar las ventajas y desventajas de

los sistemas de control y su aplicación real en columnas de Destilación y de Extracción. Se notará que hay estrategias alternas para lograr un objetivo y - para llevar a la práctica las técnicas que han evolucionado la Industria.

Al final se hace un resumen de la Simbología -- que se ha utilizado en la instrumentación de este -- trabajo. Esta Simbología se encuentra estandarizada en la norma S5.1 de la Sociedad de Instrumentistas - de América. Hay escasez bibliográfica y en general - escasez de información sobre los aspectos que enfoca este trabajo, pero se espera que a la exposición que se ha hecho se agregarán con el tiempo otras mejores ideas.

I. GENERALIDADES

En la industria de transformación, (petrolera, química o petroquímica) una de las operaciones primordiales es la de separación. Como resultado de la separación se obtienen los productos finales de una planta, con grados de pureza tales que su valor es muy superior al de la mezcla que los contenía.

La industria petrolera o de refinación es un ejemplo ilustrativo y valioso para observar estos procesos de separación, ya que su función es la obtención por separado de los diferentes compuestos que van incluidos en el petróleo crudo. De hecho, la refinación primaria consta exclusivamente de procesos de separación y no incluye sistemas reaccionantes. Se pueden mencionar etapas como la destilación atmosférica, la destilación al vacío, la extracción de lubricantes y parafinas por medio de solventes. Aun en etapas de la refinación secundaria, donde se incluyen sistemas reaccionantes, la obtención de los productos finales es en base a procesos de separación, generalmente destilaciones; por ejemplo: la planta hidrodesulfuradora de naftas y la reformadora de hidrocarburos. De este conjunto de plantas o complejos se obtienen, a partir del petróleo, compuestos como el gas natural, gasolinas, lubricantes, parafinas, combustibles, solventes y asfaltos, que son la base de muchas industrias químicas.

La trascendencia de los procesos de separación implica la importancia de que estos operen en forma estable, bajo condiciones que garanticen la obtención de los productos desea-

dos con los grados de pureza requeridos. Para lograr la estabilidad, los sistemas que controlan estas condiciones deben ser implementados de manera que se respeten los objetivos del proceso cuando existan perturbaciones que tiendan a desestabilizarlo, y que de no existir el control provocaría la obtención de productos fuera de especificación, cuyo valor sería nulo. Estas inestabilidades repercuten en forma severa en la productividad y en los costos y beneficios de una planta. Un buen sistema de control implica ahorros de tiempo y dinero en áreas como operación, producción y mantenimiento.

Para implementar un sistema de control no existen recetas pues cada proceso tiene diferentes objetivos, diferentes fuentes de perturbación, diferentes tiempos de respuesta al cambio de una variable y por consiguiente al sistema de control aplicado para corregir la perturbación. No siempre se controlan o manipulan las mismas variables; esto depende de los objetivos y de las condiciones de operación del sistema en sí.

Este trabajo pretende mostrar los sistemas de control comúnmente empleados, indicando las aplicaciones de cada uno, sus ventajas y desventajas, a fin de tener un punto de partida y de apoyo en el momento de utilizar uno u otro. No se enfoca a un tipo de industria en particular, se aplica a toda columna que esté acorde con las condiciones de cada sistema de control.

1.1 DESTILACION

La destilación es el proceso de separar una mezcla de sustancias líquidas en base a la diferencia de puntos de ebullición entre ellos. En este proceso se considera que los componentes son miscibles y parcialmente volátiles, por lo tanto estarán presentes en los productos de la separación, aunque en diferentes proporciones.

El principio de la destilación es la tendencia al "equilibrio" que se establece entre un líquido y su vapor, ambos de composición diferente, el vapor será rico en los componentes más volátiles y el líquido lo será en los menos volátiles.

En una columna de destilación el contacto entre líquido y vapor se lleva a cabo varias veces a lo largo de la misma. La mezcla de alimentación entra a la columna sea parcialmente vaporizada, o como líquido, o como vapor. El líquido fluye hacia abajo por gravedad y forma un nuevo equilibrio con el vapor que asciende del fondo de la columna. Este vapor ascendente tiene una composición diferente a la del vapor de alimentación; contiene más elementos pesados los que son arrastrados por el líquido descendente. El vapor ascendente arrastra consigo los elementos más ligeros del líquido descendente. En cada etapa de la columna estos vapores y líquidos alcanzan estados de equilibrio distintos. El vapor de alimentación fluye, por diferencia de presiones, hacia el domo de la columna y entra en contacto con el líquido que desciende del domo. Los

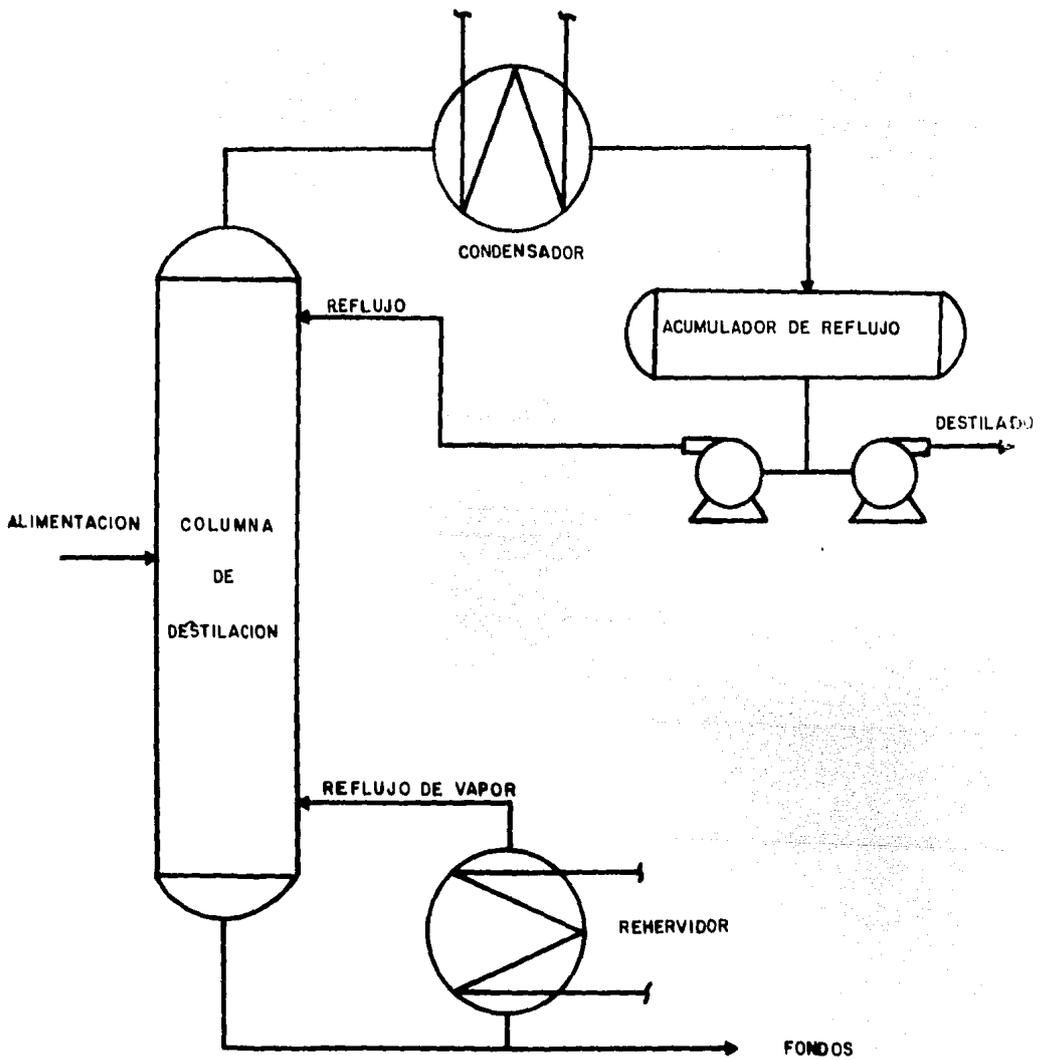


FIG. 1.1
 Distribución del equipo empleado en la Destilación.

compuestos más pesados del vapor de alimentación son arrastrados por el líquido que desciende. De este modo el líquido y el vapor pasan por varias etapas y alcanzan diferentes estados de equilibrio a lo largo de la columna. El número de etapas requeridas por una columna está en función de la composición deseada de los productos de domo y de fondo, y de las condiciones de operación; básicamente flujo, composición de la alimentación, presión y temperatura.

Para que exista líquido descendiendo desde el domo hacia la etapa de alimentación, los vapores que abandonan la columna son condensados total o parcialmente, llevados a un tanque acumulador, desde donde cierta cantidad retorna a la columna, (reflujo), y el resto sale como "producto de domo", (destilado). Similarmente, para que exista vapor ascendiendo hacia la etapa de alimentación, el líquido que abandona la columna por el fondo se divide en una corriente de "producto de fondo" y en una corriente que pasa a un intercambiador de calor, (rehervidor), donde se vaporiza y regresa a la columna. La figura 1.1 esquematiza la distribución del equipo mencionado.

Existen dos formas para establecer el contacto entre las fases líquido y vapor: la forma discontinua y la forma diferencial o continua. La finalidad de ambas consiste en poner en contacto íntimo las dos fases a fin de que exista una área de contacto entre ellas. Esta área de contacto debe ser lo más grande posible ya que es ahí donde se lleva

a cabo la operación de transferencia de masa.

La forma discontinua opera mediante platos distribuidos y distanciados uno de otro a lo largo de la columna. Estos platos pueden ser de diversas formas: perforados, que son los que más se usan, de capuchas, de válvulas o de formas especiales dependiendo de los fabricantes. Se le llama discontinua por dos razones:

- A) Los diferentes equilibrios están distanciados y se producen escalonadamente. Cada etapa o plato representa un estado de equilibrio.
- B) Al menos uno de los fluidos, el vapor, no mana de manera continua, ya que en momentos se halla disperso en el líquido.

En la columna de platos el líquido fluye transversalmente y el vapor perpendicularmente a la superficie del plato. En el caso de platos perforados, el vapor burbujea en el seno del líquido. Este burbujeo proporciona en su superficie una extensa área de contacto entre los fluidos para la transferencia de masa y la consecución del equilibrio.

Generalmente el número de platos de una columna será mayor al número de etapas de equilibrio calculadas teóricamente, ya que la eficiencia de los platos no es del cien por ciento y el equilibrio no se alcanza realmente en su totalidad.

En la forma diferencial el contacto entre líquido y vapor se obtiene mediante empaques que rellenan la columna. Estos empaques tienen formas muy diversas y son distribuidos al azar o de manera ordenada en la mayor parte de la columna. La superficie de estos empaques es la que representa el área de contacto entre las fases. A diferencia de la columna de platos, en la columna empacada, tanto el equilibrio como el flujo de ambas fases son continuos; en cada elemento diferencial de la longitud de la sección empacada se logra un estado de equilibrio diferente del anterior o del posterior. El líquido, alimentado y distribuido en la parte superior del empaque, fluye por la superficie de éste en películas muy delgadas y presenta grandes áreas de contacto con el vapor que asciende por los intersticios del empaque.

En la columna empacada no se especifica el número de etapas de equilibrio sino la altura de la unidad de transferencia de masa y el número de estas unidades, factores que en función de relaciones de equilibrio dan la altura del empaque requerida para lograr la separación deseada.

1.2 EXTRACCION

La extracción es el proceso de separar uno o más componentes de una solución hacia un líquido, generalmente llamado solvente, insoluble con dicha solución. Este procedimiento se basa en la diferencia de solubilidad de un compuesto en ambos líquidos. La selección del solvente es muy importante. Se requiere que el compuesto a extraer tenga mayor solubilidad en el solvente. El grado de separación depende de la concentración del compuesto en la solución y de su equilibrio en ambas fases.

La columna de extracción se alimenta con la solución del compuesto o soluto que se desea extraer. La separación se logra al poner en contacto la solución con un solvente libre de soluto, o bien con concentraciones muy bajas de éste. Al final de la operación el solvente se ha enriquecido con el soluto y forma uno de los productos, el extracto. La solución, ya libre del soluto, forma el otro producto de la columna, el refinado.

El equipo comúnmente empleado para la extracción son las columnas empacadas. La columna de platos puede emplearse pero tiene mayores dificultades en cuanto a operación y mantenimiento. Es poco probable diseñarla para esta función.

En la extracción la columna se encuentra inundada por los dos flúidos líquidos; no existe vapor fluyendo por ella,

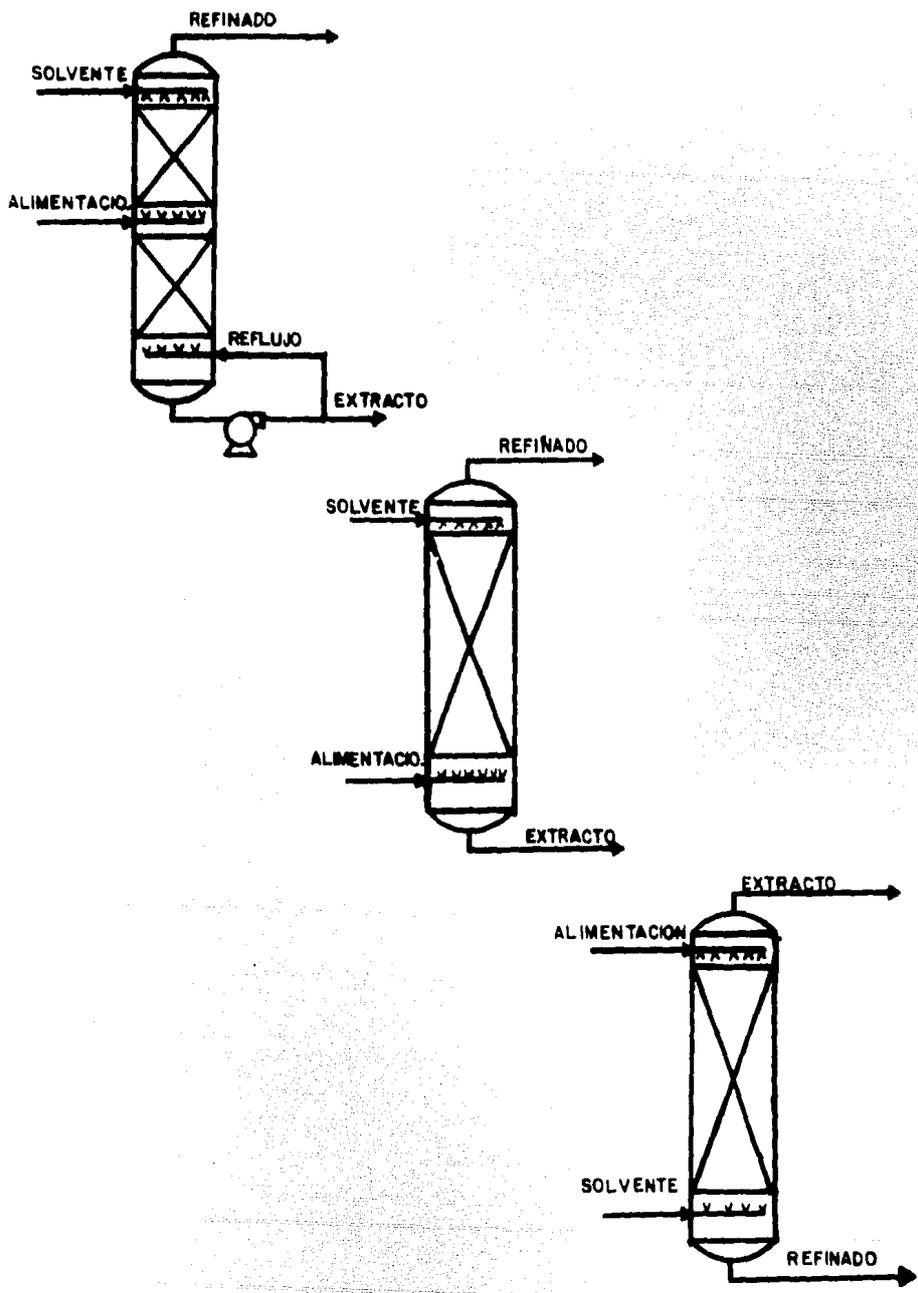


FIG. 1.2

Posibles arreglos de las corrientes en la Extracción.

por lo que no se requiere de un rehervidor. El extracto más rico posible en la operación a contracorriente estará en equilibrio con la corriente de alimentación, pero el uso de reflujo puede proporcionar un extracto más rico, al igual que en la destilación.

El solvente puede ser más ligero o más pesado que la solución alimentada. Si es más ligero, la alimentación se hará por el fondo de la columna y la solución de extracto se alimentará por la parte superior. La diferencia de densidad hace que la solución fluya hacia el fondo y el solvente hacia el domo, produciéndose el contacto a contracorriente entre los dos flúidos en la superficie del empaque. Si el solvente es más pesado que la solución, las alimentaciones de ambos líquidos se invierte.

En caso de que exista reflujo, la alimentación de la solución se hará por abajo de la entrada de reflujo (o por arriba) y el solvente se vertirá por el extremo contrario al reflujo. Véase la figura 1.2.

El solvente entra a la columna libre del soluto que se va a extraer, se va enriqueciendo con éste conforme sube o baja. Al abandonar la columna adquiere su máxima concentración. Por el contrario, la solución entra a la columna con su máxima concentración y al bajar o subir se empobrece. Al salir de la columna registra la mínima concentración.

1.3 CONTROL

Los costos de operación y de mantenimiento en una planta industrial dependen en gran parte de la estabilidad del proceso. La estabilidad del proceso ayuda a una más eficiente productividad y a mejorar la calidad del producto. La estabilidad del proceso es una función de los sistemas de control, -- que bien aplicados logran que las variables se mantengan siempre dentro de los límites preestablecidos durante el diseño del mismo. De este modo se obtiene la calidad en la producción y las pérdidas son menores, pues al no haber fluctuación de las variables se mantiene la estabilidad del proceso.

Al ser las columnas de destilación o de extracción una etapa indispensable para la separación de los productos finales, es importante la eficiente operación de las unidades, lo que implica el control efectivo de la calidad del producto. El producto de la mayoría de las columnas es más valioso que el producto de cualquier otra etapa del proceso cuando ha alcanzado su etapa final de refinamiento.

Lo deseable de una columna es que opere de manera que se obtenga la máxima utilidad de ella; esto es posible mediante sistemas de control que logren una operación con las siguientes características: mínimo consumo de servicios auxiliares, estabilidad de la columna, y en su caso máximo rendimiento.

a) **Mínimo consumo de servicios auxiliares.**

La actual crisis energética, como las políticas de conservación y uso al máximo de las fuentes de energía, exigen, (en una columna), la minimización del uso de vapor de calentamiento para el rehervidor y el precalentador de carga y del agua de enfriamiento para el condensador de domo.

b) **Estabilidad de la columna.**

Una columna inestable implica mayores costos de operación, mayor cantidad de productos fuera de especificación y mayor periodicidad en paros de operación para mantenimiento. Los factores más importantes que entran a la columna y causan inestabilidad son:

1. Cambios en el flujo de alimentación.
2. Cambios en la composición de alimentación.
3. Cambios en el medio ambiente.

c) **Máximo rendimiento.**

En términos económicos es deseable que la columna opere a su máximo rendimiento mediante un buen sistema de control. No es aconsejable tener que construir posteriormente una unidad adicional para manejar capacidades adicionales.

II V A R I A B L E S Y G R A D O S
D E L I B E R T A D

2.1 GRADOS DE LIBERTAD

Se implementan circuitos de control en un proceso con el fin de que sus condiciones de operación no cambien y se preserven las especificaciones de los productos obtenidos en caso de que se presenten alteraciones o perturbaciones en el sistema. Esto se logra cuando los grados de libertad del sistema se reduzcan al mínimo. Un proceso ciento por ciento automatizado es aquél cuyos grados de libertad son cero. Esto último, aunque posible, no es recomendable, pues la inversión en la instrumentación necesaria para lograrlo superarían en mucho al coste del proceso en sí, y económicamente el proyecto sería muy costoso. En la realidad se permite que ciertos valores de las variables del proceso fluctúen libremente sin control, es decir, que exista cierto número de grados de libertad.

Los grados de libertad de un sistema son iguales al número de variables independientes del mismo.

El arreglo más eficiente de los circuitos de control no se puede determinar sin tener una buena apreciación de las necesidades del proceso, en el sentido de saber si se debe controlar la composición del destilado o de los fondos o de ambos, hay que saber ¿Qué variables se deben controlar? ¿Cuáles manipular? Se trata de situaciones a resolver antes de diseñar los sistemas de control en una columna. Cada caso conlleva

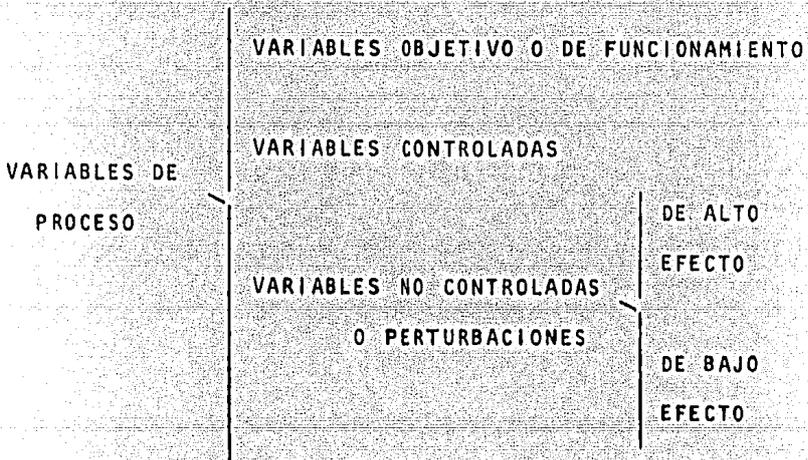
va sus propias particularidades, las cuales tendrán efecto importante en la decisión del sistema de control a aplicar. En forma general se puede decir que para cada variable a controlar debe existir al menos una variable manipulada. Se puede proceder de la siguiente manera:

a) Si el número de variables que se desean controlar exceden el número de variables disponibles para manipular, éstas deben compartirse racionalmente con aquéllas. Por ejemplo: -- control en cascada o control selectivo.

b) Si el número de variables manipuladas excede a las que se quiere controlar, el exceso debe ajustarse. Por ejemplo: -- control en rango dividido.

2.2 CLASIFICACION DE VARIABLES

Las variables de importancia en cuanto a control se refieren son las variables de proceso u operación. Las variables de diseño, tales como diámetro, altura, número de platos, etc. dejan de serlo en cuanto la columna se construye y se instala. Las variables de proceso pueden clasificarse según el siguiente cuadro:



VARIABLES DE PROCESO

Se puede decir que las variables de proceso son todas las que intervienen en el sistema: flujo, presión, temperatura, nivel, composición, densidad, etc..

VARIABLES OBJETIVO O DE FUNCIONAMIENTO

Son aquellas variables dependientes que indican directa o indirectamente que el producto obtenido es el que se espera; es decir, que sus especificaciones son las mismas que se usaron como base de diseño de la columna. Los sistemas de control deberán manipular las demás variables del sistema de manera que, cuando existan perturbaciones, se ajusten a ciertos valores para que las variables de funcionamiento se alteren lo menos posible.

VARIABLES CONTROLADAS

Como variables controladas se escogen los parámetros dependientes que puedan mantener con más facilidad los valores de las variables de funcionamiento; es decir, son las que mejor representan el estado de operación de la columna.

VARIABLES NO CONTROLADAS O PERTURBACIONES

Son aquellos parámetros del sistema a las que se permite que fluctúen libremente. No hay sistema de control que las ajuste. Son de alto o bajo efecto dependiendo del grado en que afecten a las demás variables al existir alguna variación en su valor.

VARIABLES MANIPULADAS

Estas variables están muy relacionadas con las variables controladas; juntas forman parte de los circuitos de control; de ellas depende que las variables controladas permanezcan en

los valores preestablecidos. Como se mencionó anteriormente, - para cada variable controlada debe existir al menos una variable manipulada. La selección de una variable manipulada para una variable controlada se hace de acuerdo con la velocidad de respuesta de ésta cuando aquélla varía. Mientras menos tiempo pase entre estímulo y respuesta, el control será más preciso.

Otro factor para realizar esta selección es el efecto que tiene la variable manipulada sobre la controlada. Un efecto pequeño sobre la variable controlada no permitiría que el control fuera rápido. Un efecto muy grande tampoco es bueno ya -- que una pequeña variación en la variable manipulada haría variar mucho a la variable controlada y cambios muy bruscos podrían desestabilizar al proceso.

Las variables que han de encontrarse bajo cada uno de los rubros anteriores varía según sea el caso, los objetivos, las condiciones de operación y las restricciones del sistema.

Los casos, y por lo tanto la combinación de las variables, pueden ser del orden de los cientos. Una columna de destilación o de extracción es un sistema multivariable, interactuante y no lineal, en el cual el número de configuraciones diferentes del sistema de control es igual al factorial del número de variables a controlar. Si se controlaran 4 variables, el número posible de configuraciones sería de 24; pero si fueran 5 las variables a controlar, el número posible de configuraciones sería de 120. Por este motivo, una sistematización en

la selección de los sistemas de control ahorrará tiempo y costos. El resultado será un sistema de control óptimo tanto económica como funcionalmente.

2.3 VARIABLES PARA DESTILACION

Se verá cuáles son las variables que asociadas a los equipos y a las corrientes intervienen en el proceso de la destilación.

Columna. Las principales variables que se relacionan con la columna son la presión y la temperatura a diferentes niveles de la misma, el nivel del líquido en el fondo y la composición en puntos determinados.

De la presión y la temperatura depende la composición al equilibrio que se obtenga en las diferentes etapas. Una menor presión o una mayor temperatura provocarán un aumento en la concentración de los componentes pesados en la fase vapor de la columna, y por ende, en el destilado.

El nivel del líquido en el fondo sirve de inventario para el funcionamiento correcto del rehervidor; a falta de este nivel el rehervidor podría llegar a operar sin fluido de proceso y si se conserva el flujo del medio de calentamiento se dañará internamente; además no existiría la generación de vapor necesaria para la operación de la columna. Inversamente: un aumento no controlado del nivel del fondo podría inundar los platos inferiores de la columna, disminuyendo la capacidad de intercambio de materia y provocando la obtención de productos fuera de especificación.

En ocasiones la composición, en algún plato en particular,

es indicativa de la composición que se obtendrá en el producto. El control de la composición mediante el control de la temperatura resulta más práctico y económico. Se realiza en una determinada etapa de la columna; donde el cambio en la temperatura tenga el mayor efecto en la composición del producto.

Acumulador de reflujo. Es fundamental la aplicación del control de nivel de este equipo. Sin embargo, es más común que la presión sea controlada indirectamente desde el acumulador, es decir, se fija la presión en el acumulador y ésta sirve de contrapresión de la columna. Todo depende del sistema de control de presión seleccionado. La función de este equipo consiste en mantener un inventario de líquido para que el reflujo no falte.

Condensador de domos. Aquí el flujo y la temperatura del medio de enfriamiento son las variables importantes. La combinación de estas dos variables especifica la carga térmica que se va a absorber de los vapores que salen de la columna. Cualquier exceso o defecto en estas variables variará las condiciones en que se obtengan tanto el reflujo como el destilado. De hecho, si el condensador es parcial es considerado como una etapa más de equilibrio y por la misma razón la carga térmica debe ser justamente la requerida y constante. Si el condensador es total y la carga térmica no es la requerida el líquido puede obtenerse subenfriado o parcialmente vaporizado cuando esto no es deseable.

Rehervidor de fondos. Las variables importantes para el rehervidor de fondos son las que especifican la carga térmica que absorberá el fluido de proceso, o bien los fondos. En este caso estas variables dependen del tipo de rehervidor que se utilice: de tubos y coraza, tipo kettle o un calentador a fuego directo. En el primer caso las variables de importancia son la temperatura, la presión y el flujo del medio de calentamiento. En el segundo, la temperatura, la presión y el flujo del medio de calentamiento así como la presión interna del equipo. En el calentador a fuego directo muchas son las variables a controlar. La mayoría están implicadas en el funcionamiento del calentador. Las variables directamente relacionadas con la generación del vapor de la columna son el flujo, la presión y la capacidad calorífica del combustible empleado, lo que determina en buena medida la carga térmica que se transfiere al fluido de proceso.

Corriente de alimentación. Las variables de importancia de la corriente de alimentación de la columna son el flujo, la presión, la temperatura y la composición. Generalmente esta corriente proviene de etapas previas en las que algunas de estas variables ya han sido controladas, en cuyo caso no podrán ser incluidas en los sistemas de control de la columna. Por ejemplo: si la carga proviene de un tanque separador y su flujo está regulado por el control de nivel de éste, las variaciones

que pueda tener esta corriente en cuanto al flujo no podrán -- ser corregidas dentro del sistema de control de la columna mediante un controlador de flujo en la corriente de carga; entonces se buscará la forma de ajustar todas las demás corrientes de acuerdo al nuevo flujo de la carga.

Corriente de reflujo. De esta corriente la variable más importante es su flujo, ya que es requerido un mínimo de él para que exista un flujo interno en la sección de enriquecimiento de la columna.

Corriente de destilado. Uno de los objetivos del proceso de destilación son el flujo, la presión, la temperatura y la composición de esta corriente. De estas cuatro variables, la composición es la más importante ya que define la calidad del producto obtenido. El flujo, la presión y la temperatura son susceptibles de sacrificarse para conservar la composición en el valor deseado.

Corriente de fondos. Esta corriente es otro de los objetivos de la columna. Son importantes el flujo, la presión, la temperatura y la composición de esta corriente. Pero también son sacrificables el flujo, la presión y la temperatura en favor de la composición.

Corriente de reflujo de vapor. De esta corriente son importantes su flujo, su presión y su temperatura. El flujo de esta corriente no se controla debido a que se ajusta conforme al balance de materia de la columna. Si las corrientes de destilado y de fondos juntas igualan la corriente de carga, entonces el flujo de reflujo de vapor debe igualar al flujo de reflujo. La presión se encuentra bajo control al estar controlada la de la columna. La temperatura es una variable que se controla mediante las variables del rehervidor.

No todas las variables mencionadas en esta sección son controladas o manipuladas a la vez. Por ejemplo: se menciona la composición en algún punto en particular de la columna como variable de importancia, si el sistema utiliza este punto para controlar la composición, entonces no se emplea la composición de la corriente de destilado o de la de fondos porque al controlar la composición en la columna, se establece un valor relacionado con el punto de control de la corriente de producto. Así también es recomendable para sistemas de control convencionales no emplear el control de la composición de ambos productos, destilado y fondos, ya que cualquier cambio en la composición de la alimentación no podría ser manejado por ambos controladores y la columna terminaría desestabilizándose.

Se deberá controlar la composición del producto más valioso o el de mayor interés para el proceso y dejar fluctuar libremente la composición del otro producto.

Las variables que generalmente definen el sistema de destilación están incluidas en los párrafos anteriores, y se enlistan a continuación.

- 1.- Presión de la columna.
- 2.- Temperatura de la columna.
- 3.- Nivel del fondo de la columna.
- 4.- Nivel del acumulador.
- 5.- Flujo del medio de enfriamiento del condensador.
- 6.- Temperatura del medio de enfriamiento del condensador.
- 7.- Presión del medio de enfriamiento del condensador.
- 8.- Flujo del medio de calentamiento del rehervidor.
- 9.- Temperatura del medio de calentamiento del rehervidor.
- 10.- Presión del medio de calentamiento del rehervidor.
- 11.- Composición de la alimentación.
- 12.- Flujo de la alimentación.

- 13.- Temperatura de la alimentación.
- 14.- Presión de la alimentación.
- 15.- Flujo de reflujo.
- 16.- Presión de reflujo.
- 17.- Flujo de reflujo de vapor.
- 18.- Temperatura de reflujo de vapor.
- 19.- Presión de reflujo de vapor.
- 20.- Composición del destilado.
- 21.- Flujo del destilado.
- 22.- Temperatura del destilado.
- 23.- Presión del destilado.
- 24.- Composición de los fondos.
- 25.- Flujo de los fondos.
- 26.- Temperatura de los fondos.
- 27.- Presión de los fondos.

2.4 VARIABLES PARA EXTRACCION

Para la extracción habrá las siguientes variables por equipos y por corrientes.

Columna. La presión interna y la temperatura son las variables más importantes en la columna. Por cuanto en la extracción se manejan flúidos incompresibles que inundan completamente la columna, el control de la presión debe ser muy preciso; un ligero aumento en el flujo de cualquiera de los flúidos de entrada a la columna sin el debido ajuste en los de salida provocará un rápido aumento en la presión de la columna, y si este aumento de presión no es aliviado inmediatamente, - habrá un daño irreversible en el equipo.

La temperatura debe mantenerse dentro de los límites de diseño para que no se vea afectada la transferencia de masa, ya que la solubilidad es dependiente de la temperatura.

Otra variable, no tan crítica, pero que a veces es importante conocer y controlar, es el nivel de la interfase dentro de la columna. La interfase como tal no existe, pero se puede aplicar el término para el siguiente fenómeno: Suponiendo que en la columna se maneja un solvente más ligero que la solución, entonces el solvente se alimenta por la parte inferior y la solución por la parte superior de la columna. Al entrar el solvente a la columna se dispersa inmediatamente en el flú

ido que desciende por ella, básicamente refinado, más pesado aún que la solución alimentada. La solución alimentada entra a la columna y se dispersa en una corriente ascendente de extracto. Existe un punto dentro de la columna donde el solvente al ascender pasa de ser el líquido disperso a ser el líquido continuo, y a su vez la solución al descender pasa de ser la fase dispersa a ser la fase continua. En este punto hay un cambio fuerte de densidad en la mezcla, y es aquí donde se puede hablar de cierta "interfase". De no existir el empaque ni el flujo a contracorriente habría entonces una interfase verdadera. Es importante conocer el lugar donde ocurre esta interfase y controlar que no rebase límites definidos, ya que un ascenso o descenso excesivo de ella podría provocar que, ya sea el refinado o el extracto, comiencen a salir de la columna contaminados por el extracto o el refinado respectivamente.

Acumulador de reflujo. Este equipo se emplea en ciertos casos cuando existe reflujo, no siempre. Cuando es así, sus variables de control son el nivel del tanque y la presión del mismo. El uso del tanque acumulador puede eliminarse en los casos en que exista reflujo derivando una corriente a partir de la corriente de extracto que entre directamente a la columna sin pasar por un tanque.

Corriente de alimentación de la solución. Sus variables de interés son la composición, el flujo, la presión y la temperatura. La composición y el flujo de la solución determinan la cantidad de solvente necesaria para efectuar la extracción. La presión influye en el comportamiento hidrodinámico de la columna y la temperatura estará en función de la solubilidad de la solución en el solvente y de la solubilidad del soluto en ambos flúidos.

Corriente de alimentación del solvente. Aquí son importantes su flujo y su temperatura. Comúnmente el solvente se alimenta puro en el arranque de la planta, y es económicamente rentable que el soluto y el solvente en el extracto sean separados en una sección de la planta denominada de recuperación de solvente; entonces el solvente recuperado llega a alimentarse nuevamente a la columna con una cantidad mínima del soluto. También hay cierta cantidad de solvente que se pierde en la sección de recuperación al salir en la corriente de soluto y también en la corriente de refinado; este solvente perdido debe reponerse con solvente puro proveniente de un tanque de almacenamiento. Es importante que la concentración del soluto en el solvente que se alimenta en la columna se mantenga en un valor mínimo dado por el proceso de recuperación, ya que si aumenta mucho la concentración, la extracción se verá notablemente disminuída en cuanto que el refinado contendrá -

concentraciones más altas de soluto y éste se perderá en la corriente.

Corriente de extracto. El objetivo de la extracción es la concentración de soluto en esta corriente, y debido a su posterior procesamiento para la separación del soluto y del solvente son importantes su temperatura, su presión y su flujo.

Corriente de refinado. El flujo, la presión y la temperatura de esta corriente son las variables más importantes.

Cuando esta corriente forma parte de algún proceso de separación posterior, la composición también puede ser importante.

Las variables que definen un sistema de extracción son las siguientes:

- 1.- Presión de la columna.
- 2.- Temperatura de la columna.
- 3.- Nivel de la interfase.
- 4.- Composición de la alimentación.
- 5.- Flujo de la alimentación.
- 6.- Presión de la alimentación.
- 7.- Temperatura de la alimentación.
- 8.- Flujo del solvente.
- 9.- Presión del solvente.
- 10.- Temperatura del solvente.

- 11.- Composición del extracto.
- 12.- Flujo del extracto.
- 13.- Presión del extracto.
- 14.- Temperatura del extracto.
- 15.- Composición del refinado.
- 16.- Flujo del refinado.
- 17.- Presión del refinado.
- 18.- Temperatura del refinado.
- 19.- Presión del tanque de reflujo. (en su caso)
- 20.- Nivel del tanque de reflujo. (en su caso)

2.5 OTRAS VARIABLES

Existen otras variables que aunque no son del proceso en sí lo son del medio que lo rodea, tales como las condiciones del medio ambiente, que no están involucradas directamente -- con el proceso pero que al tener fuertes variaciones pueden -- provocar alteraciones en las variables que ya hemos descrito o bien en las condiciones de operación de los equipos. Las -- más importantes de estas variables son la temperatura y la -- presión del medio ambiente.

Si la temperatura ambiente alcanzara valores muy bajos con respecto a la que se utilizó en el diseño, provocará cambios en el sistema térmico de la columna. En el condensador -- de domos, cuando el condensado se genera en la coraza, se ten -- drá un exceso del mismo generado normalmente por el medio de enfriamiento que circula por los tubos del equipo, además se -- añadirá cierta cantidad generada en las paredes de la cora -- za, que ha sido enfriada por el medio ambiente, lluvia, nieve o bajas temperaturas. Pero si el vapor de domos circula por -- los tubos y el medio de enfriamiento por la coraza del conden -- sador, aquél efecto disminuye en su mayor parte. En los reher -- vidores tipo kettle y en los de tubos y coraza, donde la vapo -- rización de los fondos toma lugar en la coraza, el efecto de condensación en las paredes del equipo también se presenta ba -- jo condiciones de baja temperatura ambiente, lluvia o nieve.

III DESTILACION

Hace algunos años las columnas de destilación operaban con sistemas de control convencionales que han dado buenos resultados en cuanto a estabilización se refiere, pero la versatilidad de estos sistemas es relativamente pobre debido a que los cambios requeridos para que estos sistemas operen en condiciones cambiantes, según los requerimientos del proceso, obliga a invertir cierto tiempo para el ajuste del nuevo sistema. Los equipos de control modernos, basados en microprocesadores, acortan este tiempo de ajuste y establecen más rápidamente la estabilización del nuevo sistema. Sin embargo, los sistemas y criterios de control son los mismos; varían en cuanto a flexibilidad y aplicación de modelos matemáticos complejos que se pueden manejar con el uso de microprocesadores o computadores.

Dentro de estos sistemas convencionales o sistemas básicos de control se han seleccionado las variables a controlar y las variables a manipular con base en la facilidad de medición, transmisión y manejo matemático, y son representativas del estado de operación de la columna. Algunas de las variables que se pueden manipular cuando se controla una columna son las siguientes:

Presión de la columna

Flujo de alimentación

Composición de la alimentación

Temperatura de la alimentación
Calor agregado (rehervidor)
Flujo del producto de fondo
Calor removido (reflujo)
Flujo del producto de domo.

Unicamente seis de estas variables pueden ser independientes a la vez, las demás tendrán, necesariamente, valores que dependan de sus relaciones con aquéllas.

En este capítulo se considerará que tres de estas variables independientes ya se encuentran fijadas por las etapas anteriores a la columna de destilación; éstas son el flujo, la temperatura y la composición de la corriente de alimentación.

Quedan para libre elección tres variables más. En los sistemas básicos se manejan: la presión de la columna, una de las corrientes de producto y uno de los sistemas de intercambio de calor.

3.1 SISTEMAS BASICOS DE CONTROL

3.1.1 CONTROL DEL BALANCE DIRECTO DE MATERIA

En un sistema de balance de materia siempre se manipula el flujo de una corriente de producto para controlar la composición. Comúnmente, pero no siempre, la composición controlada y el flujo manipulado pertenecen al mismo producto. Cuando el control de la composición se lleva a cabo en el destilado, entonces, el control del nivel del acumulador debe manipularse mediante el reflujo o con la vaporización del rehervidor. La figura 3.1 muestra el sistema de control de balance de materia y el control de la composición del destilado.

No existe razón para suponer que el hecho de que el reflujo sea dependiente del nivel creará inestabilidad, ya que el reflujo está controlado en cascada y de hecho esto da una ventaja al sistema. Siguiendo el ajuste en el flujo del destilado, el nivel del acumulador empezará a cambiar, lo que a través del controlador de nivel dará un nuevo punto de ajuste al controlador de flujo y en respuesta el flujo del reflujo se ajustará hasta que se alcance un nuevo estado donde el cambio neto del reflujo igualará al cambio neto en el destilado. La ventaja de este sistema es que sirve para prevenir disturbios en el calor agregado al rehervidor. Por ejemplo: si se incrementa el calor agregado, se incrementará la generación de vapor y por consiguiente el nivel del acumulador, lo que

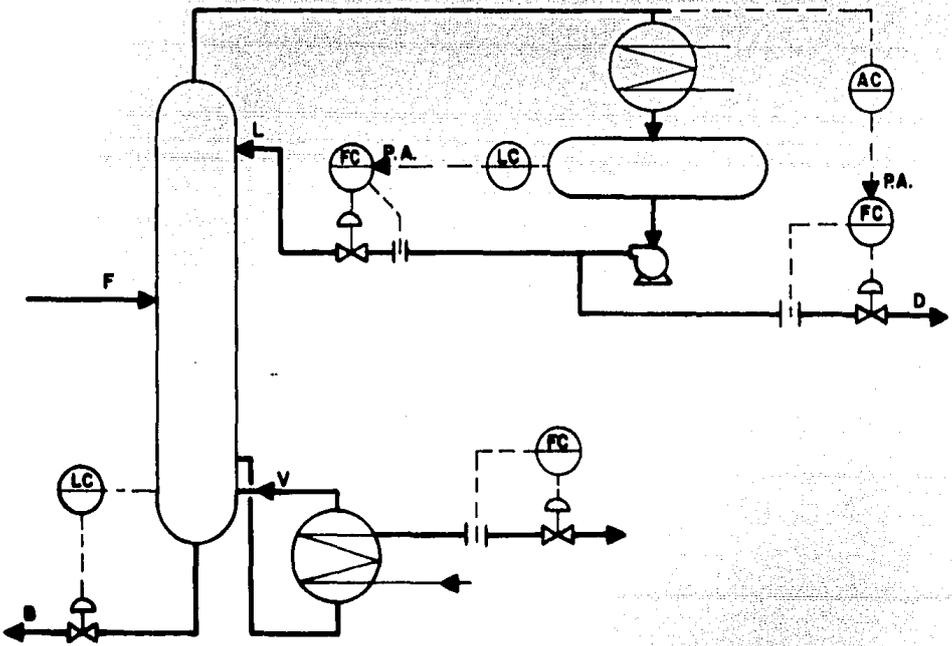


FIG. 3.1
 Control de la composición del destilado
 por balance de materia.

obligará al reflujo a aumentar en una cantidad igual a la del aumento de vapor. El efecto neto en la composición será mucho menor que si el reflujo estuviera únicamente a control de flujo. El incremento de vapor lo absorbe el flujo de destilado - bajo el control de nivel del acumulador.

Otro sistema básico de control de balance de materia regula la composición del producto de fondo con el flujo del mismo. El nivel del fondo de la columna se controla manipulando el calor agregado al rehervidor. Véase la figura 3.2.

Este sistema se emplea cuando el flujo del producto de fondos es menor que el del destilado. La precisión con la que se puede manejar el balance de materia es aquella con la que se maneja el flujo del producto controlado. Naturalmente un flujo menor puede manejarse con un menor error absoluto. El controlador de nivel fuerza al otro producto a cerrar el balance y reduce su error absoluto al valor de la corriente de flujo menor. En este sistema se tiene el control del nivel manipulando el calor agregado. Los ajustes en el flujo del producto de fondo no tiene efecto directo en la calidad del producto. La respuesta del sistema es similar a la del sistema de control anterior entre el nivel del acumulador y el reflujo.

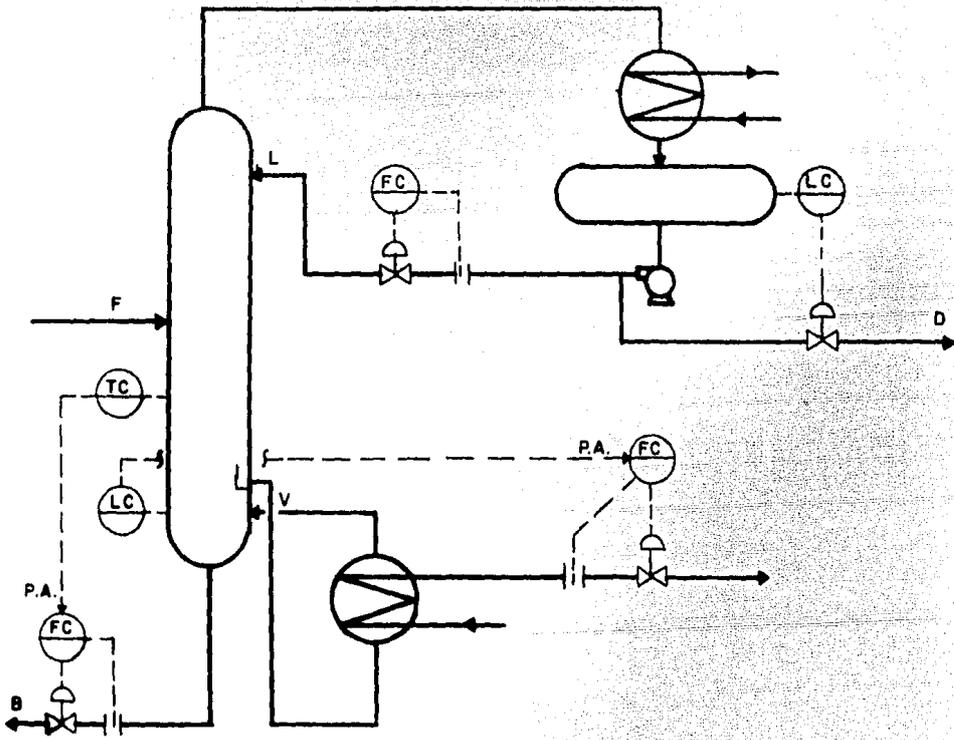


FIG. 3.2

Control de la composición de fondos
por balance de materia.

En los dos sistemas descritos se muestran diferentes alternativas para el control de la composición. El primero mediante un analizador y el segundo mediante el control de la temperatura en determinado punto de la columna. Ambos cumplen con el objetivo de mantener la composición del producto en un valor determinado. La elección depende de la diferencia de temperatura entre el domo y el fondo de la columna y de la precisión que se desee para la composición del producto. Para diferencias de temperatura de 20°C o menos es recomendable utilizar el control de la composición mediante analizadores. Para diferencias mayores, el control de composición se hace por medio del control de la temperatura a menos que la exactitud requerida sea muy alta y entonces también deben emplearse analizadores. En su caso la elección entre uno u otro sistema de control de composición puede ser de tipo económica.

Es importante hacer notar que en los sistemas de balance de materia, cuando se controla el flujo de uno de los productos, se deja el otro producto sin control para que se cumpla el balance.

Ya se mencionó que en ocasiones la composición controlada y el flujo manipulado no son de la misma corriente de producto. En el siguiente sistema se muestra este caso, donde la composición del producto de fondo se manipula mediante un control en cascada con el flujo del destilado. La figura 3.3 lo

muestra. Este sistema se aplica cuando se requiere controlar la composición del producto de fondo y el flujo de destilado es pequeño comparado con aquél; esto último implica la manipulación del flujo de destilado para obtener una menor sensibilidad. La respuesta de la composición del destilado en el flujo del mismo es esencialmente la misma que cuando el reflujo controla el nivel del acumulador. El sistema es muy efectivo en el control de la composición del producto de fondo ya que un cambio en la vaporización se siente en toda la columna en cuestión de segundos, mientras que para otros sistemas un cambio en el reflujo tarda varios minutos en llegar al fondo.

Para el caso en que el producto de fondo sea menor en cantidad que el flujo de destilado y se requiera controlar la composición del destilado, aplican las consideraciones hechas anteriormente. El sistema se muestra en la figura 3.4.

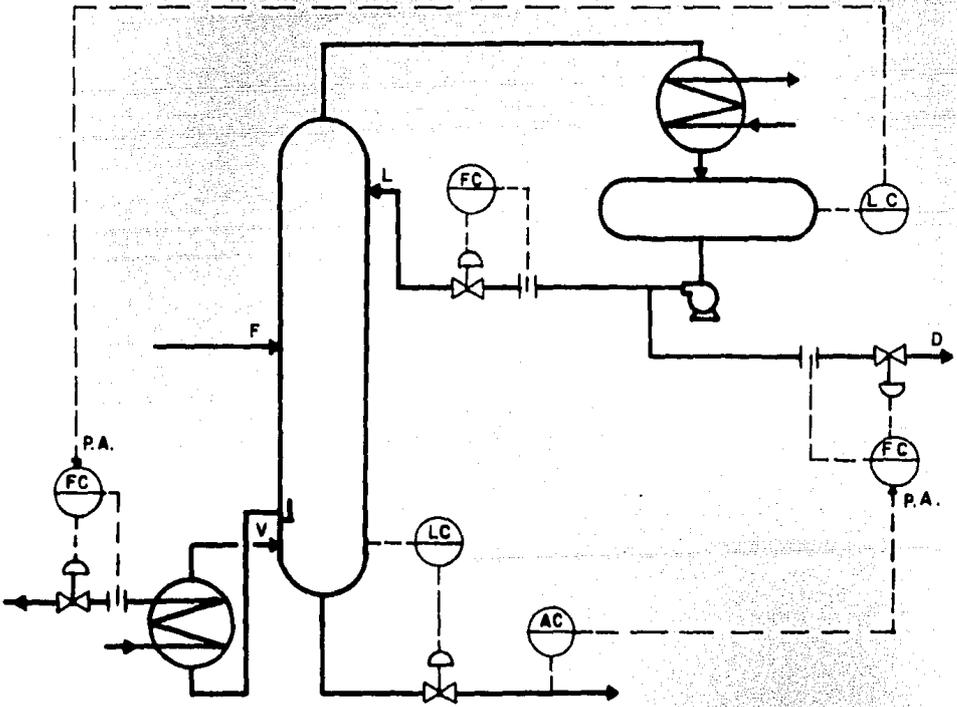


FIG. 3.3

Control de composición de fondos manipulando el flujo del destilado.

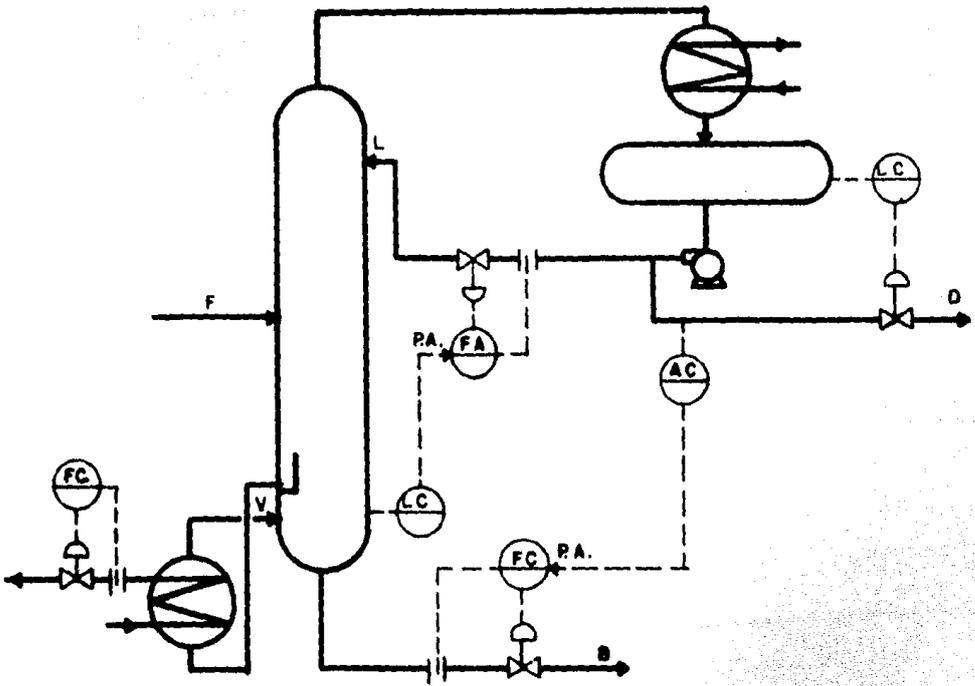


FIG. 3.4

Control de la composición del destilado manipulando el flujo de fondos.

3.1.2 CONTROL DEL BALANCE INDIRECTO DE MATERIA

Este sistema también es llamado control del balance de energía. A diferencia de los sistemas de balance de materia, en el sistema de balance de energía se manipula una corriente de energía para controlar la composición del producto. Las corrientes manipuladas pueden ser: el flujo del medio de calentamiento al rehervidor (calor agregado) o el flujo de reflujo a la columna (calor removido).

En la figura 3.5 se muestra un sistema de control de balance de energía con control de la composición del destilado, con manipulación del flujo de reflujo. Cambiar la temperatura en cierta etapa de la columna implica cambios en la composición del destilado; se ajusta el flujo de reflujo para absorber esta variación y mantener la composición constante. El producto destilado abandona el sistema a control de nivel del acumulador; el producto de fondo también abandona el sistema a control de nivel del fondo de la columna. El flujo del medio de calentamiento al rehervidor se mantiene constante a control de flujo.

Otro ejemplo del sistema de control de balance de energía es aquél en el que la composición del producto de fondos es controlada mediante la manipulación del flujo del medio de calentamiento al rehervidor y que se muestra en la figura 3.6.

En este sistema un aumento en la temperatura del punto -

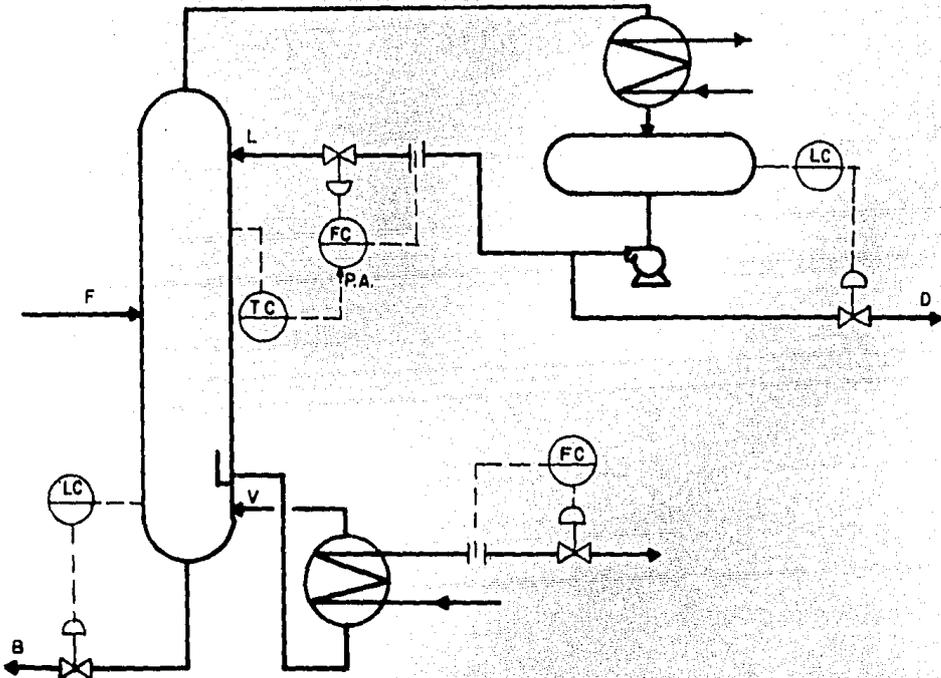


FIG. 3.5

Control de la composición del destilado por balance de energía.

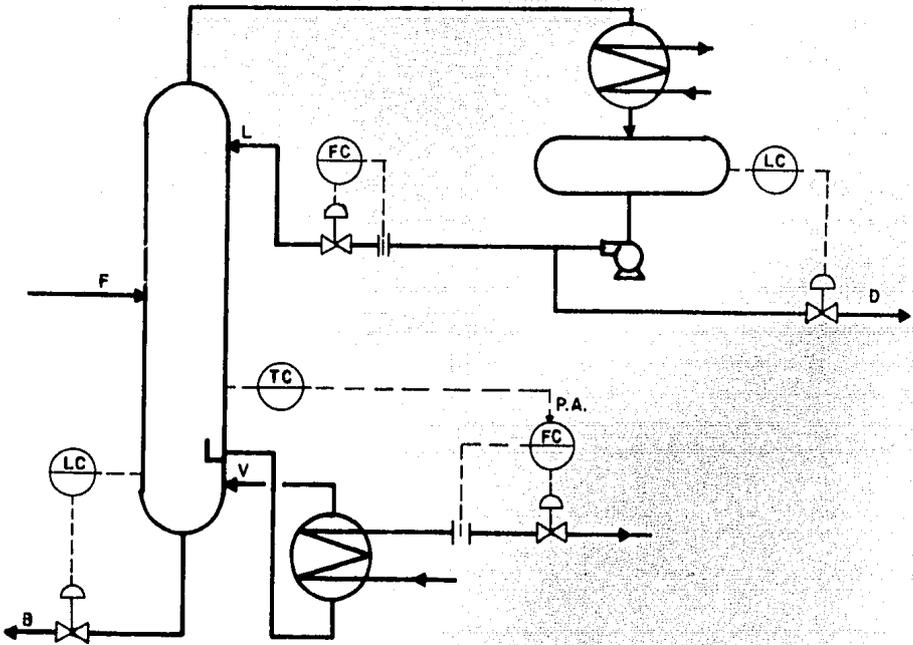


FIG. 3.6

Control de la composición de fondos
por balance de energía.

seleccionado de la columna hará disminuir el flujo del medio de calentamiento al rehervidor absorbiendo así el cambio en la temperatura y manteniendo la composición del producto constante. El flujo de reflujo se mantiene constante por control de flujo, y los productos de destilación, destilado y fondos, salen a control de nivel del acumulador y de la columna respectivamente.

3.2 CONTROL DE PRESION

Los sistemas de control analizados no muestran un sistema de control de presión de la columna, que como se mencionó es una de las variables a controlar.

La mayoría de los sistemas de control en destilación están basados en que la presión de la columna se mantenga en -- cierto valor constante. Cualquier variación en la presión alterará el equilibrio que se efectúa en cada etapa de la columna. La presión debe cumplir con dos requisitos: primero, debe ser lo suficientemente alta para causar la condensación de -- los vapores del domo en el condensador, y segundo, debe ser -- lo suficientemente baja para permitir la vaporización del líquido del fondo en el rehervidor. Generalmente es más económico seleccionar la presión más baja que permita la condensación satisfactoria del destilado con temperaturas normales -- del medio de enfriamiento.

Para algunos autores "la presión de la columna puede ser una de las variables más difíciles de controlar" y " el sistema de control del domo de la columna es generalmente más complicado que el sistema de la alimentación o el del fondo.

Es posible controlar la presión de cualquier sistema que contenga vapor variando la temperatura, el volumen o la masa. En una columna de destilación no se puede controlar la presión mediante el volumen o la temperatura ya que son parte de

las variables que regulan el funcionamiento de la columna. Este hecho deja la posibilidad de manipular la masa de vapor para controlar la presión.

Los sistemas de control de presión se dividen en cuatro grupos:

Variación del flujo neto de vapor.

Variación del área de condensación.

Variación del flujo de calor.

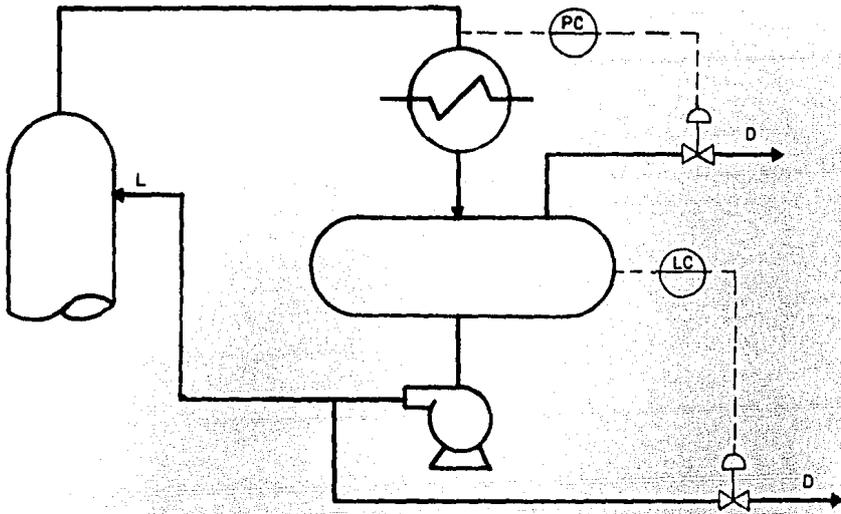
Otros métodos.

3.2.1 VARIACION DEL FLUJO NETO DE VAPOR

Válvula en la línea de vapor destilado. Para la aplicación de este método es necesario que el producto destilado de la columna sea, aunque parcialmente, obtenido en fase vapor; puede o no existir producto líquido.

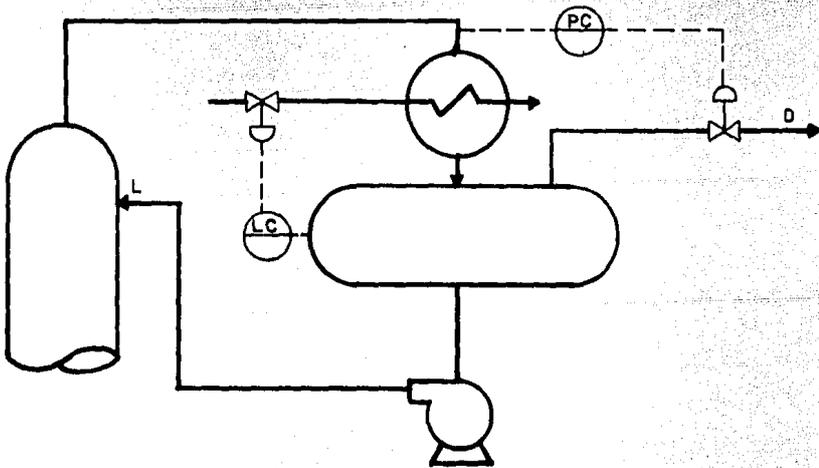
El controlador de presión afecta directamente la cantidad de vapor que sale del acumulador y obliga a mantener constante la presión. La figura 3.7 muestra dos casos de aplicación de éste método;

- a) cuando existe tanto flujo de vapor como de líquido destilado
- b) cuando el destilado se obtiene únicamente como vapor, en cuyo caso el nivel se regula con el flujo del medio de enfriamiento.



(a)

Destilado como líquido y como vapor.



(b)

Destilado solo como vapor.

FIG. 3.7

Control de presión con la válvula en la línea de vapor destilado.

Válvula en la línea de recirculación del compresor. Este sistema se emplea en columnas que operan a presión atmosférica o bien en columnas que envían el producto como vapor hacia equipos que operan a presiones superiores a las de la columna. El controlador manipula la válvula en la línea de recirculación del compresor para controlar la presión. En el caso de que el compresor se encuentre fuera de servicio, el controlador manipula una válvula en la línea de desfogue de la succión del compresor permitiendo que la columna siga operando a falta del compresor; en este último caso el sistema es idéntico al del método anterior. En la figura 3.8 se muestra este sistema.

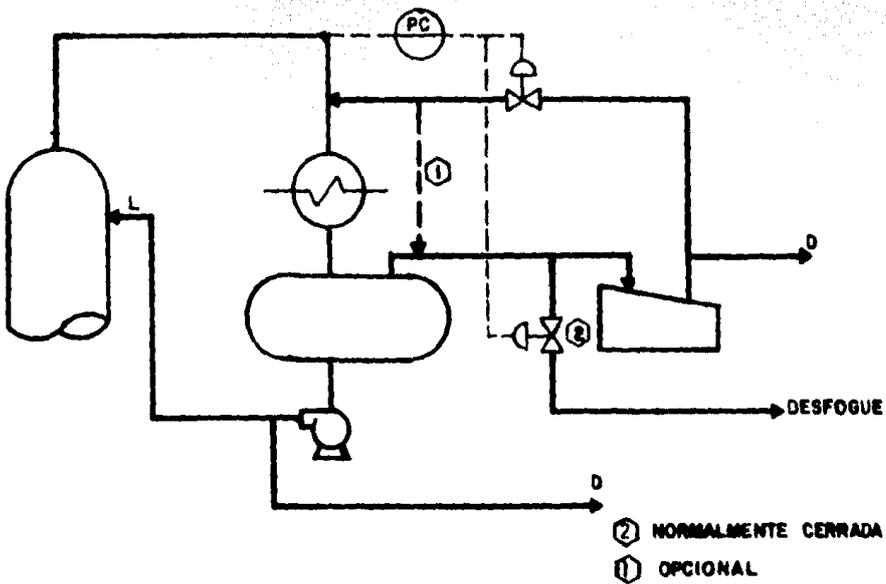


FIG. 3.8

Control de presión con la válvula en la línea de recirculación del compresor.

Válvula en la recirculación del eyector. En columnas de destilación al vacío donde los eyectores son el equipo comúnmente empleado, la presión de la columna es controlada manipulando la recirculación de estos equipos. Al variar el flujo de la recirculación se varía el flujo neto de vapor que sale de la columna manteniendo así una presión constante. La succión del eyector no debe manipularse ya que provocaría inestabilidad en el equipo. Este sistema es análogo al anterior, pero aquí no se manipula una corriente alternativa para cuando el eyector no está en servicio; en este caso la columna de vacío también estará fuera de operación. La figura 3.9 esquematiza este sistema.

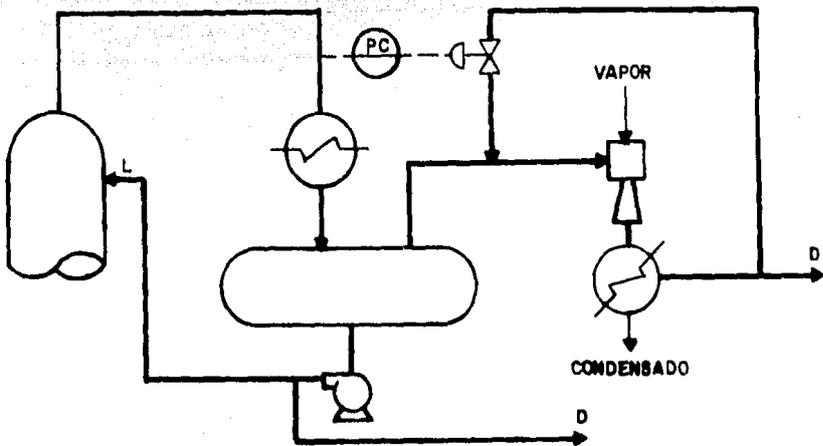


FIG. 3.9
Control de presión con la válvula en la recirculación del eyector.

3.2.2 VARIACION DEL AREA DE CONDENSACION

Los sistemas que varían el área de condensación son aplicables cuando existe producto destilado líquido únicamente o bien cuando la cantidad de incondensables en la alimentación es demasiado pequeña. El condensador empleado está siempre parcialmente inundado, lo que es una desventaja ya que existe cierto grado de sobrediseño en este equipo. El efecto que se obtiene al variar el área de condensación es el siguiente: si aumenta la presión en la columna debe incrementarse el área de condensación para que mayor cantidad de vapor sea condensada y se libere la presión; en caso contrario, al disminuir la presión se debe reducir el área de condensación para evitar un exceso de condensación de los vapores y restituir la presión.

Válvula a la entrada del condensador. En este sistema, que se muestra en la figura 3.10, cuando el controlador cierra la válvula, la presión en el condensador decrece y el nivel del líquido en el condensador aumenta, variando así el área de condensación. El condensado debe entrar al acumulador por debajo del nivel del líquido para que los cambios en la presión del condensador afecten el nivel del líquido en el mismo. La línea de igualación permite que exista la misma presión en la columna y en el acumulador.

La desventaja de este sistema es que la línea de conden-

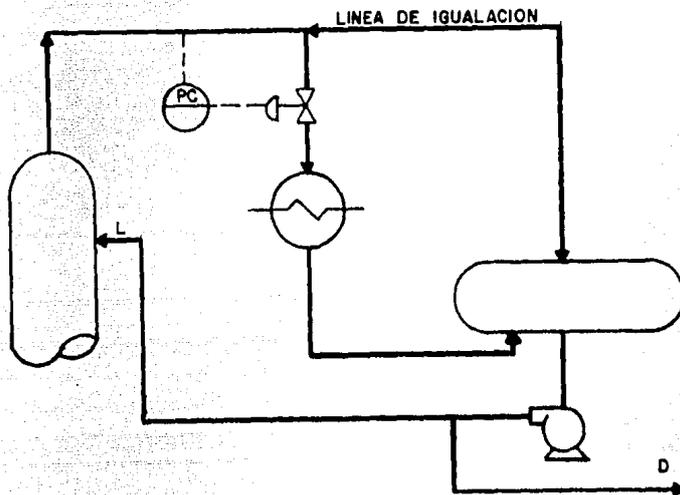


FIG. 3.10

sado debe diseñarse para flujo por gravedad, lo que implica una especial atención en la elevación del condensador.

Válvula en la salida del condensador. El sistema se muestra en la figura 3.11. La variación del área de condensación se logra manipulando el flujo de líquido en la salida del condensador, para obligar a que suba o baje su nivel. Así se logra que la presión sea constante. La entrada al acumulador puede ser por debajo del nivel de líquido, pero es recomendable ha-

cerlo por encima; así el nivel del acumulador no afectará el nivel del condensador. Las desventajas de este sistema son -- las mismas que para el sistema anterior, pero tiene ventajas adicionales: requiere de una válvula de control menor.

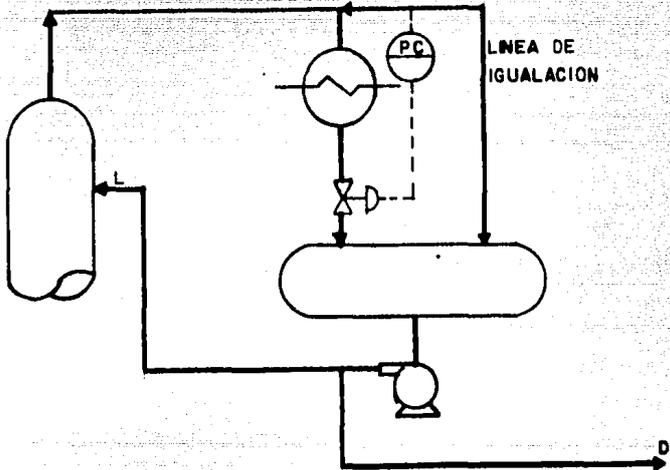


FIG. 3.11

Control de presión con la válvula en la salida del condensador.

Válvula en el "desvío". El sistema también es conocido como "desvío caliente" o "condensador a piso". En este sistema el condensador está localizado cerca del nivel de piso y está parcialmente inundado. El acumulador está colocado lo suficientemente arriba para proporcionar el cabezal de succión a la bomba. El condensado debe salir subenfriado del condensador; algo de vapor pasa por el "desvío" y entra al acumulador sobre el nivel de líquido. Cuando este vapor se condensa eleva la temperatura de la superficie del líquido.

La superficie del líquido en el acumulador está más fría que la superficie del líquido en el condensador. Esto causa suficiente diferencia en las presiones de vapor, lo que permite subir el condensado hacia el acumulador. Esta diferencial de presión es generalmente de 3 psi o menor.

Si la presión de la columna decae, el controlador de presión incrementa el flujo de vapor por el "desvío". Esto eleva la temperatura de la superficie del líquido así como la presión de vapor. Elevando el nivel de líquido en el condensador se reduce el área de condensación y se tiende a restaurar la presión de la columna.

Las ventajas de este sistema son: el condensador es accesible para su mantenimiento, el soporte estructural es mucho más barato que para un condensador elevado y la válvula de control es más pequeña que en otros casos.

Este sistema es muy controvertido por varias razones. --
Primero: los méritos para localizar el condensador a nivel de piso en contraposición con uno elevado son difíciles de cuantificar, pues el condensador tiene alto grado de sobrediseño. Segundo: en algunas ocasiones funciona en otras no.

El sistema de "desvío caliente" se muestra en la figura 3.12.

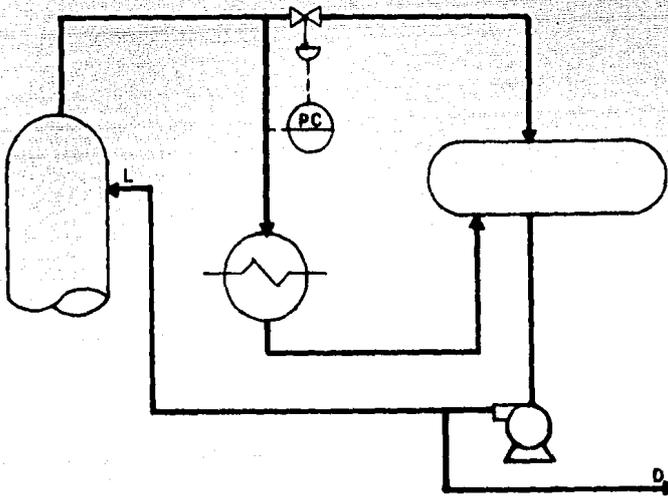


FIG. 3.12

Control de presión con la válvula en
el "desvío caliente".

Dos circuitos de control de presión. Este sistema es una variación del que lleva la válvula en la salida del condensador. La presión del acumulador es controlada a un valor menor que la columna de destilación. El control de presión de la columna actúa igual que en el otro sistema, pero varía el flujo del condensado.

En ocasiones el método con un sólo circuito de control no se puede emplear porque no se puede dar la elevación necesaria al condensador sobre el acumulador, para asegurar el flujo del condensado por gravedad. Es entonces cuando este método de dos circuitos de control debe aplicarse pues al existir menor presión en el acumulador que en la línea de vapor, el condensado fluye por la diferencia de presiones sin necesidad de una pierna hidrostática.

El sistema se muestra en la figura 3.13.

Es de práctica común en todos los sistemas de control de presión que se basan en la variación del área de condensación y que llevan a cabo la condensación en los tubos del condensador, que éste se encuentre con una ligera pendiente negativa en el sentido del flujo del condensado dentro de los tubos.

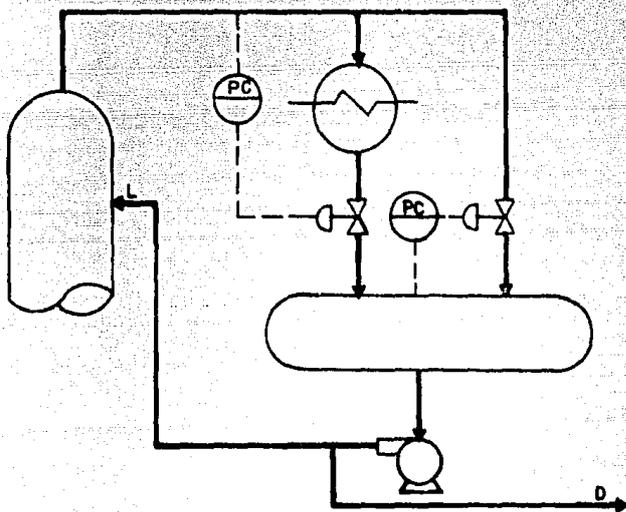


FIG. 3.13

Control de presión por medio de dos circuitos de control.

3.2.3 VARIACION DEL FLUJO DE CALOR

Válvula en la línea del medio de enfriamiento.

En este sistema el controlador incrementa el flujo del medio de enfriamiento para aumentar la velocidad de condensación y así reducir la presión o bien reduce el flujo del medio de enfriamiento para disminuir la velocidad de condensación y lograr una elevación en la presión.

Si el medio de enfriamiento usado es agua hay que tener precauciones y probablemente escoger alguna otra alternativa. El sistema de condensación puede fallar a velocidades del agua de enfriamiento menores a 4 1/2 pies por segundo; la temperatura del agua a la salida puede aumentar inconvenientemente al reducir su velocidad y aumentar su tiempo de residencia en el condensador. No es recomendable este sistema si la temperatura de salida del agua llega a ser mayor a 50°C. El sistema de control se muestra en la figura 3.14.

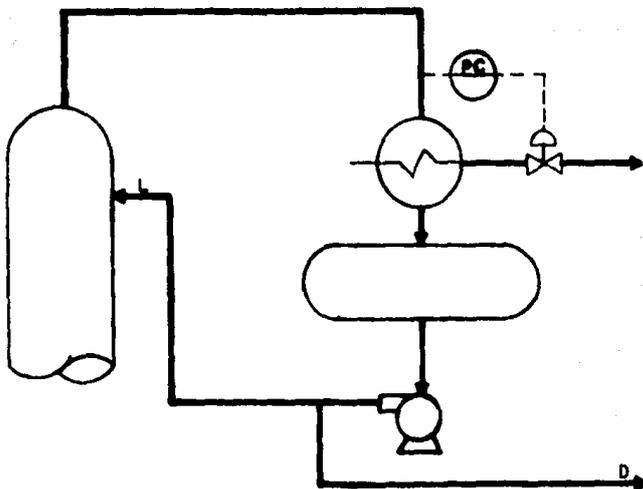


FIG. 3.14
Control de presión con la válvula en la línea del
medio de enfriamiento.

Válvula en la línea de vapor de domos. Venteo abierto. En este sistema el controlador simplemente manipula el flujo de vapor que sale de la columna para mantener la presión constante. El condensador condensa la totalidad del vapor que entra a él. Cuando decrece el flujo de vapor al condensador, el coeficiente de transferencia de calor decrece porque la concentración de incondensables en el condensador se incrementa. -- Los incondensables entran y salen del condensador vía el venteo del acumulador que permanece abierto hacia la atmósfera -- (o hacia algún sistema de recuperación si son tóxicos o inflamables los incondensables).

Ventajas de este sistema: simplicidad, rápida respuesta, el condensador y el acumulador se diseñan para presión atmosférica. Desventajas: el condensador es mayor por la presión de operación y la bomba de reflujo genera una cabeza mayor.

El sistema se aplica cuando la línea de domo es pequeña, tanto cuando hay pequeñas cantidades de incondensables en la alimentación como cuando no los hay. La figura 3.15 muestra este sistema.

Venteo cerrado. El sistema opera igual que el anterior. El controlador que manipula el flujo de vapor que abandona la columna mantiene la presión de la columna constante. También se emplea un condensador total. Cuando el flujo de entrada de crece, la presión en el condensador y en el acumulador decre-

ce también. Esto disminuye la temperatura de condensación y - por ende la LMTD (diferencia de temperatura media logarítmica) para la transferencia de calor.

El sistema es simple y de respuesta rápida.

Desventajas: la presión en el condensador y en el acumulador es variable, lo que afecta el cabezal requerido por la bomba; puede ser necesario que el condensador y el acumulador se diseñen para operar al vacío.

Su aplicación es igual que para el caso anterior, excepto que no es aplicable cuando existen incondensables en la alimentación, debido a que el venteo está cerrado o bien no existe. La figura 3.15 muestra también esta variante.

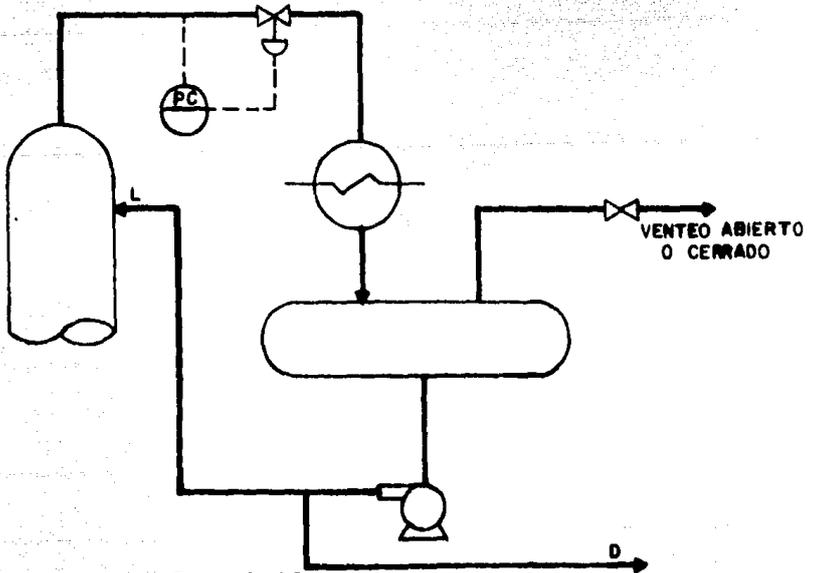


FIG. 3.15

Control de presión con la válvula en la línea de vapor.

3.2.4 OTROS METODOS

Utilización de gas inerte. Este sistema emplea un controlador de presión con dos válvulas de control en rango dividido. Si la presión decae, se abre la válvula de alimentación de gas inerte (Incondensable) para mantener la presión, mientras la válvula de la línea de salida del gas permanece cerrada. Cuando se eleva la presión, la válvula de la línea de salida del gas se abre, mientras la de alimentación de gas permanece cerrada.

El sistema de control es de respuesta rápida. Es muy recomendable cuando existe en la planta una fuente de gas inerte a una presión mayor que la de operación de la columna. Esto no es problema para las refinerías debido a la producción de gas natural o gas combustible. Aunque es mínima la disolución del gas en el líquido, en algunos casos puede ser objetable el sistema. El traslape en la operación de las válvulas debe ser nulo e inclusive puede ser deseable un pequeño rango donde ninguna de las dos válvulas entre en operación. De otra manera existirá un flujo continuo del gas, que no es económicamente recomendable. El sistema se muestra en la figura 3.16.

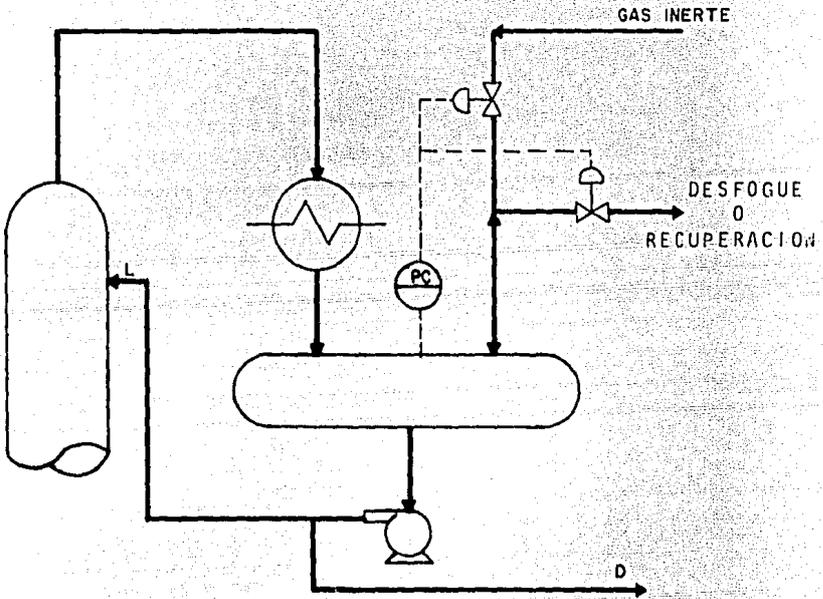


FIG. 3.16

Control de presión utilizando gas inerte.

I V E X T R A C C I O N

En el capítulo anterior se expusieron los diferentes sistemas de control explícitos en la literatura sobre sistemas de destilación. En este capítulo, enfocado a sistemas de extracción líquido-líquido, la situación es diferente debido a la escasez de bibliografía acerca de estos sistemas de control.

Tal vez la poca importancia que se ha dado a la extracción, en cuanto a control se refiere, a pesar de ser una operación de separación, se deba a que depende de una separación posterior para lograr el producto final. Generalmente esta separación posterior es llevada a cabo por medio de la destilación. Es por esto que el control aplicado a las columnas de extracción no es tan estricto y elaborado como en la destilación.

A falta de información bibliográfica sobre sistemas de control de extracción, tipificadas en la generalidad de los casos para ser aplicados según ciertas condiciones y requerimientos, se verán en su lugar dos sistemas de control que se utilizan en plantas de refinación para este tipo de separación. Estos sistemas se encuentran en la etapa de diseño para las plantas en las que van a aplicarse; pero se cuenta con experiencia previa en otras plantas similares.

4.1 TORRE DE EXTRACCION DE LIGEROS

La torre de extracción de ligeros pertenece a la planta desasfaltadora de lubricantes de la refinería Miguel Hidalgo en Tula, Hidalgo. El propósito de la planta es el de separar los componentes de naturaleza asfáltica de las fracciones ligeras constituidas por aceites lubricantes contenidos en los residuos de las plantas de destilación al vacío y de la planta redestiladora. Los productos finales de la planta son aceites lubricantes y, como subproductos, combustible y asfalto diluido.

El proceso de extracción líquido-líquido, utiliza como solvente una mezcla de propano-butano. Los aceites son retenidos por el solvente, mientras el asfalto y otras resinas se separan por precipitación.

La carga en la torre de extracción es una mezcla de residuo y solvente que pasa previamente por un intercambiador de calor que debe mantener la temperatura a 93°C y es introducida a la columna por la parte superior del empaque mediante distribuidores que aseguran una buena distribución del aceite en toda el área de la columna.

El solvente requerido para la extracción es introducido en la sección inferior de la columna previo enfriamiento hasta 74°C en un intercambiador de calor.

Conforme el solvente asciende a contracorriente con el

residuo, se va enriqueciendo de aceite hasta lograr la máxima extracción en la parte superior del empaque; la corriente de solvente-aceite pasa a través de un calentador de domos, que consiste en una serie de serpentines dentro de la parte superior de la columna, cuya función es elevar la temperatura de dicha corriente hasta 93°C para eliminar de la solución los compuestos relativamente insolubles; dichos compuestos forman una fase secundaria que contiene resinas de propiedades intermedias entre las del asfalto y las del aceite, que al precipitar y descender encuentran la corriente ascendente de solvente-aceite y se disuelven progresivamente en ella; la repetición de estos procesos de disolución y precipitación originan un reflujo en la parte superior de la columna. La solución de aceite desasfaltado y solvente sale a control de presión del domo de la columna y pasa a la sección de recuperación de solvente.

El producto de fondos abandona la columna a control de flujo para pasar a la sección de extracción de pesados que funciona de manera similar a la que hemos descrito para la extracción de ligeros.

Ya que la extracción se debe realizar en fase líquida, el control de la presión es importante y se fijó un valor superior a la presión de vapor del propano, que es el componente más volátil, medida a la temperatura más alta de la -

columna con el objeto de evitar cualquier posible vaporización. Este control se obtiene mediante la válvula de control en la línea de salida de domos.

Para lograr un perfil de temperatura uniforme a través de la columna de extracción, primero se mantiene la carga a una temperatura entre 92 y 94°C por medio del calentamiento con vapor en un intercambiador de calor con control de la temperatura manipulando el flujo de vapor. En segundo lugar, la temperatura del solvente alimentado se ajusta a 74°C en un intercambiador de calor con control de temperatura en rango dividido que acciona una válvula en la línea de desvío y otra en la línea de salida del equipo. Y por último, la temperatura del domo de la torre se mantiene a 93°C mediante los serpentines de calentamiento regulados mediante la válvula de control de la línea de vapor.

Las alimentaciones a la torre de extracción se mantienen fijas mediante las válvulas de control de flujo localizadas en las líneas de carga y suministro de solvente.

La interfase de la columna de extracción se controla por medio de la válvula de control de flujo de la corriente de fondos. En este caso el control es indirecto, en circuito abierto, es decir, en caso de presentarse problemas con el nivel de la interfase es necesario que el operador modifique el punto de ajuste del controlador de flujo del fondo

de la columna. Esta acción la debe tomar el operador al accionar las alarmas de nivel.

El sistema de control empleado en esta columna se muestra en la figura 4.1.

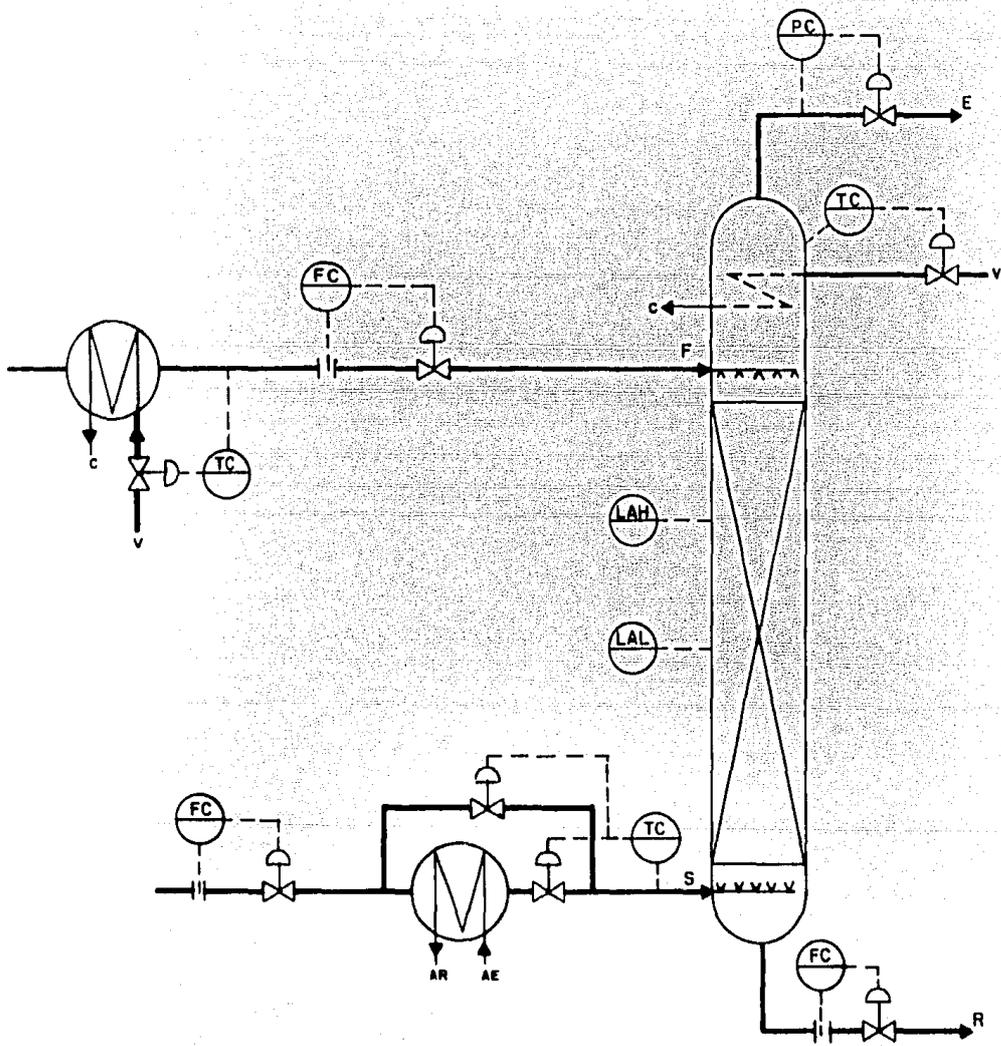


FIG.4.1

Sistema de control aplicado en la Torre de Extracción de Líquidos.

4.2 TORRE TRATADORA CON FURFURAL

Esta columna pertenece a la planta de extracción con furfural de la refinería Miguel Hidalgo en Tula, Hidalgo. La planta tiene como función refinar aceites básicos parafínicos mediante una extracción selectiva de los componentes indeseables de la carga que utiliza como solvente furfural. Los aceites a refinar provienen de la planta desasfaltadora y de la planta redestiladora.

Los componentes indeseables que conforman el extracto están constituidos por hidrocarburos aromáticos, compuestos resinosos y compuestos que contienen metales, los cuales -- presentan características inadecuadas para un aceite: bajo índice de viscosidad, tendencia a la oxidación, tendencia a formar residuos de carbón y a dar coloración al producto.

Por otra parte, el refinado está compuesto por hidrocarburos tipo parafínico que se caracterizan por su baja velocidad de cambio de viscosidad con respecto a la temperatura (alto índice de viscosidad), buena resistencia a la oxidación, baja tendencia a formar residuos de carbón y buen color, propiedades necesarias para satisfacer los requerimientos que se exigen a los lubricantes para su utilización en motores y máquinas.

El aceite de carga a la planta es desaereado, se ajusta su temperatura en un calentador y se alimenta a control

de flujo a la columna tratadora con furfural. Una vez que entra, el aceite tiende a desplazarse por diferencia de densidad hacia la sección superior de la columna; entra en contacto a contracorriente con la corriente descendente de furfural que se alimenta a control de flujo, previo ajuste de su temperatura en un enfriador con control de temperatura, en la parte superior de la columna. El furfural fluye hacia la parte inferior llevando disueltos consigo los componentes indeseables del aceite de carga.

El producto refinado abandona la parte superior de la columna a control de presión. El flujo de esta corriente -- constituye la entrada a un controlador de flujo que recibe su punto de ajuste del controlador de nivel de interfase de la parte superior o de la parte inferior de la columna. La salida de este controlador de flujo es el punto de ajuste -- del controlador de flujo de la corriente de extracto que sale por el fondo de la columna.

Para proporcionar el gradiente térmico en la columna, requerido para el tratamiento, se extrae una corriente lateral de la sección inferior de la columna, que es rica en -- furfural, la cual reduce su temperatura en un intercambiador de calor. Luego la corriente se introduce nuevamente en la parte inferior de la columna. La temperatura deseada de la recirculación se logra mediante un control en cascada --

temperatura- flujo manipulando el flujo de la misma corriente.

El sistema de control empleado en esta columna se muestra en la figura 4.2.

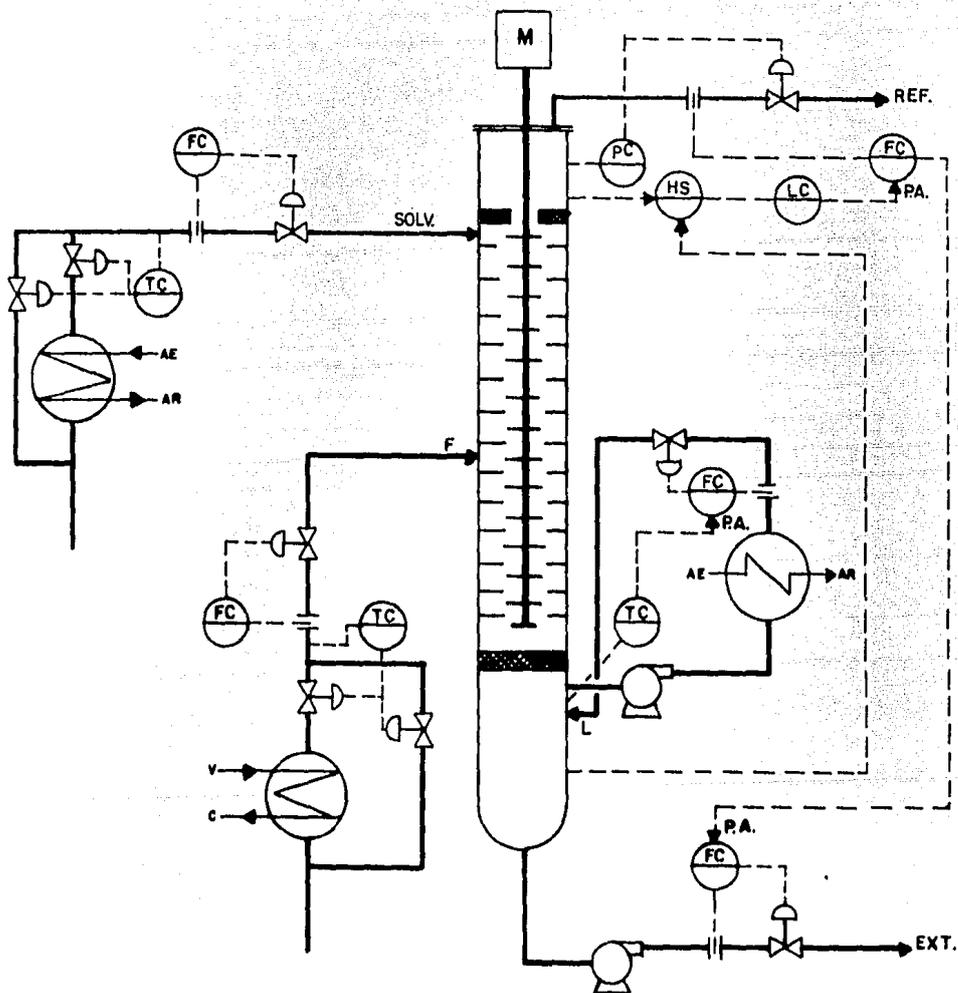


FIG. 4.2

Sistema de control aplicado en la Torre de Extracción con Furfural.

V METODOS MODERNOS
DE CONTROL

5.1 GANANCIAS RELATIVAS

En el capítulo II se mencionó la importancia de la selección de las variables a controlar y a manipular y del gran compromiso que representa el apareamiento de estas variables. Saber cuál variable manipular para controlar otra es una cuestión vital a fin de lograr un efectivo control del proceso. En algunas ocasiones este apareamiento es obvio pero en sistemas multivariables, como es la destilación, no es tan sencillo, pues existe interacción entre las variables.

El método de ganancias relativas del proceso es aplicable en este último caso para seleccionar de manera óptima el apareamiento de las variables. El objetivo es controlar una variable dada mediante la manipulación de la variable que tenga la mayor influencia sobre ella. Si esto no se logra, otra variable tendrá mayor preponderancia sobre dicha variable y el control será difícil. Para tener la posibilidad de un efectivo control, se debe determinar la ganancia de todas las variables controladas con respecto a todas las variables manipuladas, es muy necesario que las ganancias estén normalizadas para manejarlas en la misma base.

Para un par de variables, controlada y manipulada, c_i y m_j respectivamente, se pueden obtener dos tipos de ganancias. La ganancia dc_i/dm_j con todos los demás circuitos de

control abiertos, es decir, con las variables manipuladas -- constantes, puede diferir de aquella ganancia con los demás circuitos de control cerrados, es decir, con las variables controladas constantes. Se ha determinado que una medida -- conveniente de las ganancias relativas es la relación entre cada una de las condiciones anteriores. Designando el término \bar{G} como el cambio adimensional de c_i con respecto a un -- cambio en m_j tenemos que:

$$\bar{G}_{ij} = \frac{\partial c_i / \partial m_j}{\partial c_i / \partial m_j} \frac{m}{c}$$

Es conveniente elaborar una tabla de todas estas ganancias en forma de matriz, de la siguiente manera:

	m_1	m_2	m_3	\dots	m_j
c_a	\bar{G}_{a1}	\bar{G}_{a2}	\bar{G}_{a3}	\dots	\bar{G}_{aj}
c_b	\bar{G}_{b1}	\bar{G}_{b2}	\bar{G}_{b3}	\dots	\bar{G}_{bj}
c_c	\bar{G}_{c1}	\bar{G}_{c2}	\bar{G}_{c3}	\dots	\bar{G}_{cj}
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
c_i	\bar{G}_{i1}	\bar{G}_{i2}	\bar{G}_{i3}	\dots	\bar{G}_{ij}

Esta tabla facilita la comparación de las diferentes combinaciones. Las combinaciones con el número positivo mayor deben seleccionarse para los circuitos cerrados de control.

No existe límite para el número de variables que pueden relacionarse en la matriz, aunque se pueden encontrar dificultades al hacer las diferenciaciones.

Es necesario tener el modelo matemático del comportamiento de las variables para hacer este análisis de ganancias relativas, cuando se trata de un estudio o un proyecto en desarrollo.

En el caso de una planta que lleva cierto tiempo en operación, y que se desee hacer un análisis del sistema de control aplicando el método de ganancias relativas, la deducción de la matriz es más sencilla ya que se pueden obtener experimentalmente los datos del cambio dc_a/dm_j con los circuitos de control abiertos, variables manipuladas constantes. Afortunadamente no es necesario hacer pruebas para obtener los datos del cambio con los circuitos de control cerrados ya que se tienen suficientes datos del período en el que ha estado operando la planta.

El significado de los números de ganancia relativa puede demostrarse fácilmente. Si una ganancia es igual con o sin los demás circuitos en estado automático, entonces los

demás circuitos no tienen efecto en ella por lo que no hay interacción. En este caso $\bar{G}=1$. Mientras \bar{G} se aleje de 1.0 - en cualquier dirección se indica una mayor interacción.

En un extremo tenemos a $\bar{G}=0$. Una ganancia relativa igual a cero se obtiene sólo cuando el numerador de la ecuación para \bar{G} es cero. Esto indica que c_i no es afectada por m_j sin la presencia de los otros circuitos y de esta manera no puede ser controlada manipulando m_j .

En el otro extremo está $\bar{G}=\infty$. Esto indica que el denominador en la ecuación de \bar{G} es cero. Entonces el par seleccionado de variables es controlable sólo en la ausencia de los demás circuitos cerrados.

La matriz de ganancias relativas también puede obtenerse al usar las ganancias con los demás circuitos abiertos o sólo las ganancias con los demás circuitos cerrados. Considerando las ganancias con todos los demás circuitos abiertos, arregladas en una matriz designada M, donde a_{ij} representa $(\partial c_i / \partial m_j)_m$:

$$M = \begin{array}{c} c_1 \\ c_2 \end{array} \begin{array}{|cc} m_1 & m_2 \\ \hline a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{array}$$

Si la matriz M se invierte y se transpone, sus elementos serán el inverso de la ganancia con todos los demás circuitos cerrados; esto es, $(\partial m_j / \partial c_i)_c$. Entonces las ganancias relativas, \bar{g} , pueden encontrarse multiplicando cada elemento de la matriz original M por el elemento correspondiente de su transpuesta inversa:

$$\bar{g}_{ij} = \frac{\partial c_i}{\partial m_j} \bigg|_m \frac{\partial m_j}{\partial c_i} \bigg|_c$$

Simplificando para la matriz M de dos por dos se tiene:

$$\bar{g}_{ij} = \frac{a_{11} a_{22}}{a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}}$$

Lo mismo hay que realizar si se parte de las ganancias con los demás circuitos cerrados.

5.2 CONTROL PREALIMENTADO

Existen dos conceptos en los que se basan los diferentes sistemas de control empleados: control retroalimentado y control prealimentado. El control retroalimentado es la técnica más empleada actualmente. Los sistemas de control mostrados hasta ahora son todos del tipo retroalimentado. El control retroalimentado es una estrategia diseñada para obtener y mantener una condición de proceso deseada mediante la medición de esta condición, comparándola con la condición deseada e iniciando la acción correctiva basada en la diferencia entre la condición medida y la deseada, es decir, el error.

Una gran ventaja del control retroalimentado es que no hay que conocer mucho acerca del funcionamiento interno del proceso. El error tiene lugar debido a factores desconocidos o no medidos; la corrección se hace externamente al proceso. Por esta razón, el control retroalimentado tiene amplia aplicación en la industria química, donde la dinámica del proceso no es conocida frecuentemente y el resultado final es alcanzado económicamente, sin equipo sofisticado.

La mayor desventaja del control retroalimentado es la necesidad de que ocurra una desviación del punto de control antes de que se tome una acción de control. En los procesos donde el tiempo de respuesta o de retraso es muy grande, la

corrección se hace mucho tiempo después, cuando el efecto en la variable es detectado por el elemento primario, los requerimientos de control pueden ser diferentes. En la figura 5.1 se muestra el diagrama básico de un circuito de control retroalimentado.

El control prealimentado es otra técnica empleada para compensar por perturbaciones no controladas que entran al sistema. La acción de control se basa en el estado de la perturbación que entra al sistema sin tener referencia de la condición actual del sistema. El control prealimentado ejerce una corrección mucho más rápida que el control retroalimentado y en el caso ideal, la compensación se aplica de tal manera que el efecto de la perturbación no se siente nunca en la salida del proceso.

El concepto de control prealimentado es muy poderoso, pero desafortunadamente es difícil de aplicar en forma pura en la mayoría de los sistemas de control de procesos. En muchos casos las perturbaciones no pueden ser medidas con precisión y entonces no se puede aplicar control prealimentado. Aún en aplicaciones donde todas las entradas pueden ser medidas o bien controladas, la acción "apropiada" que se debe tomar para compensar una perturbación en particular no es siempre obvia. En muchas aplicaciones, el control prealimentado se usa en conjunto con el control retroalimentado para poder

manejar esas contingencias desconocidas que de otra manera -
perturbarían el sistema de control prealimentado puro. Se --
puede mencionar que en este último caso el circuito de con-
trol retroalimentado hace un "ajuste fino" sobre el control
prealimentado. En la figura 5.2 se muestran los diagramas bá-
sicos de a) control prealimentado y b) control prealimentado
ajustado por el control retroalimentado.

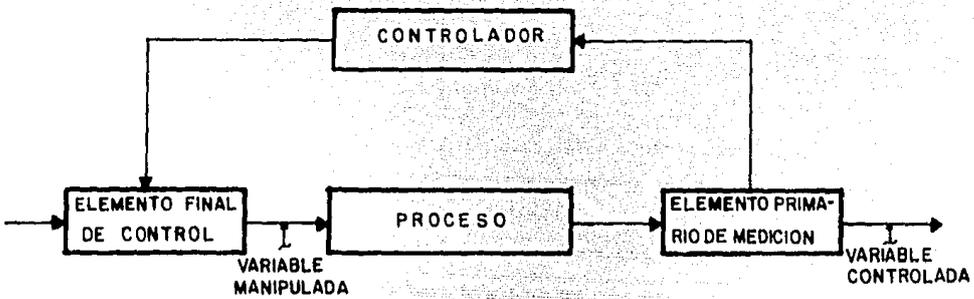
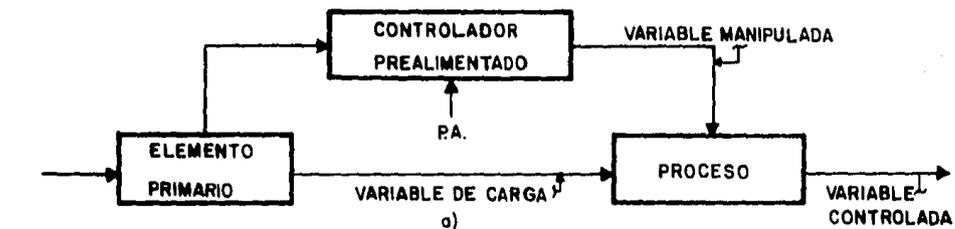
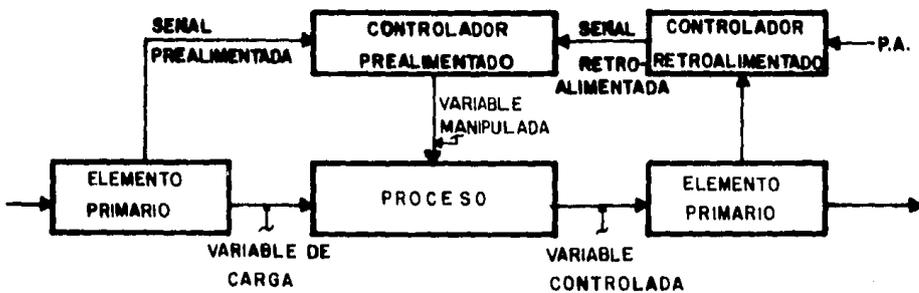


FIG. 5.1

Circuito de control retroalimentado.



a)



b)

FIG. 5.2

a) Circuito de control prealimentado.

b) Circuito de control prealimentado con ajuste de un circuito de control retroalimentado.

5.2.1 CONTROL PREALIMENTADO DE COMPOSICION CONSTANTE

La base para el control prealimentado de cualquier operación de transferencia de masa es el balance de materia. El principal factor que afecta la composición de cualquier corriente de producto es la relación entre el destilado y la alimentación. El modelo de control prealimentado no es otra cosa más que una solución del balance de materia:

$$D = F \cdot \frac{z - x}{y - x}$$

Donde el flujo de destilado D , es la variable manipulada; el flujo de alimentación F y la composición de la alimentación z son las variables medidas; cualquiera de las composiciones, del destilado y , o de los fondos x , es el punto de ajuste, mientras el otro depende de la separación.

El factor más significativo es que el flujo de destilado es proporcional al flujo de la alimentación. Si la separación es constante, entonces " y " y " x " pueden ser controladas.

La medición directa de " y " y de " x " no se puede usar en el control prealimentado porque constituiría un control retroalimentado. Los valores de " y " y de " x " que se van a emplear son puntos de ajuste y los distinguiremos con un apóstrofo. Así, la ecuación de prealimentación para separación -

constante es:

$$D = F \cdot \frac{z - x^*}{y^* - x^*}$$

Usualmente se simplifica el cálculo prealimentado a la siguiente relación:

$$D = m F z$$

donde m representa el factor de recuperación:

$$m = \frac{D}{Fz} = \frac{(z - x^*) / (y^* - x^*)}{z}$$

En este caso, el control retroalimentado se aplica para ajustar variaciones en el flujo de alimentación o en su composición y el valor de m puede darse manualmente o bien por un controlador de composición de uno de los productos. Es necesario aplicar otro circuito prealimentado para ajustar la carga térmica al rehervidor en función del flujo de alimentación. En la figura 5.3 se muestra el sistema de control prealimentado para composición constante. Las señales del circuito prealimentado que ajustan los flujos de destilado y de vapor al rehervidor requieren de una función de adelanto-retraso en función del tiempo ya que la acción a tomar en la corriente de destilado y en la de vapor debe esperarse a que

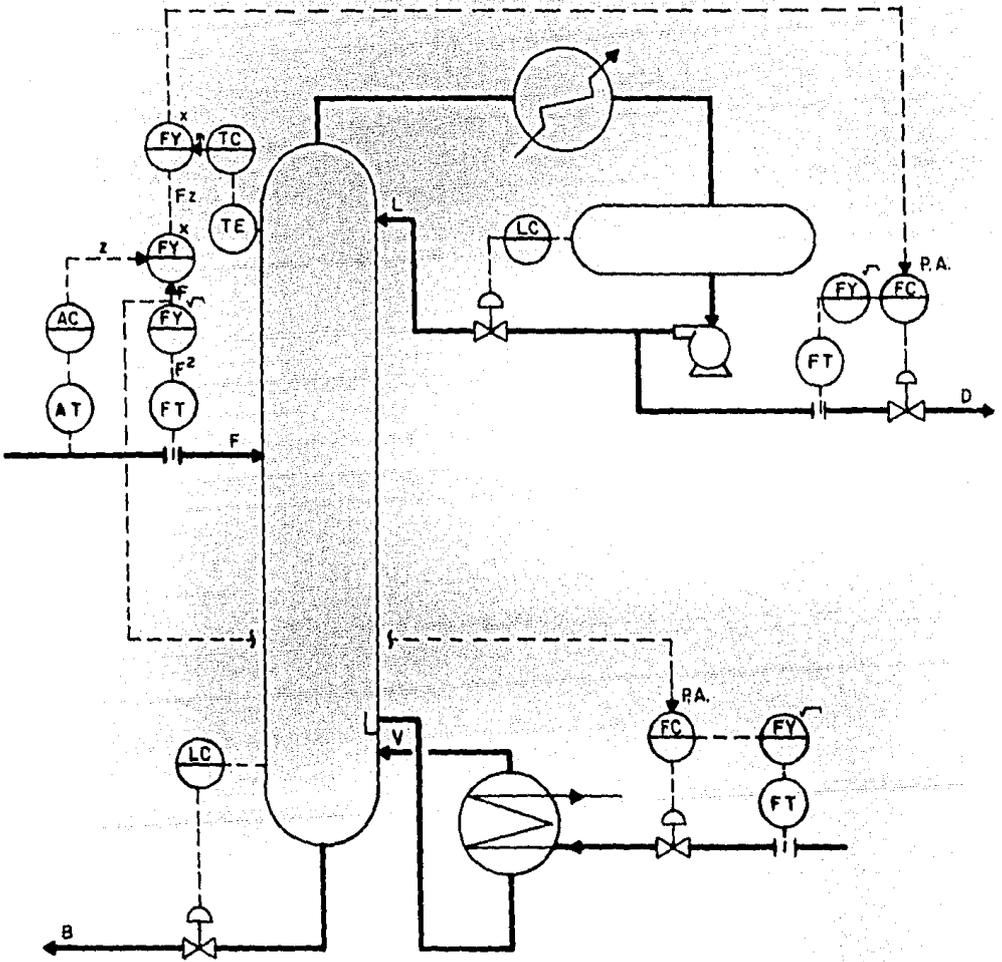


FIG. 53

Sistema de control prealimentado para composición constante, con control de la composición de la alimentación.

el cambio detectado en la alimentación llegue a ellas.

Otra simplificación que puede efectuarse para este sistema es la de eliminar el controlador de composición de la alimentación. En muchos casos puede realizarse si la composición de la alimentación se considera sin variaciones o bien si la variación de la composición es menor que la variación del flujo de la alimentación. De esta simplificación se llega a la siguiente ecuación para el cálculo del control prealimentado:

$$D = m F ; \text{ donde } m = \frac{z - x^*}{y^* - x^*}$$

En la figura 5.4 se muestra el sistema de control prealimentado prescindiendo del control de composición de la alimentación.

Una simplificación más que se puede efectuar en estos sistemas es la de eliminar de los circuitos los elementos de extracción de raíz cuadrada, cuando se emplean elementos de medición de flujo que miden la caída de presión en el elemento primario de medición. Esto se justifica porque la precisión de los medidores de flujo con el 50% de flujo es superior sin la linealización. La ecuación a resolver para este caso es:

$$D^2 = m F^2$$

5.2.2 CONTROL PREALIMENTADO PARA MÁXIMA SEPARACIÓN

Una columna que opera a su máxima separación, es requerida cuando ciertos productos son mucho más valiosos que la energía necesaria para purificarlos a la máxima recuperación posible. Esto se obtiene manteniendo el flujo interno de vapor o el reflujo, en los límites de capacidad de la columna. Este procedimiento puede utilizarse para controlar la calidad de uno de los productos mientras se maximiza la calidad del otro.

En la figura 5.5 se muestra una gráfica de la variación de flujo de destilado respecto al flujo de la alimentación - para el caso de máxima separación en línea continua y para composición constante en línea punteada; también se muestra el comportamiento de la composición de los fondos para una composición del destilado "y" y de la alimentación "z" fijas. En esta gráfica se puede observar que el comportamiento del destilado con respecto a la alimentación no es lineal, y aunque la relación es compleja, la curva se puede representar satisfactoriamente mediante la ecuación de una parábola:

$$D = z (a F - b F^2) \quad \text{con } a \text{ y } b \text{ constantes.}$$

En este caso la composición a controlar es la del destilado y la composición del fondo varía conforme varía la ali-

mentación. Si la composición del fondo es la que se va a controlar, entonces la curva D vs. F es cóncava hacia arriba y la ecuación es:

$$D = z (a F + b F^2)$$

Para el control de la composición del destilado, el flujo de vapor interno debe ser el máximo posible dentro de las limitaciones de la columna; esto evita el control sobre el flujo del medio de calentamiento en forma prealimentada. La figura 5.6 muestra el modelo de control prealimentado para un proceso de máxima separación.

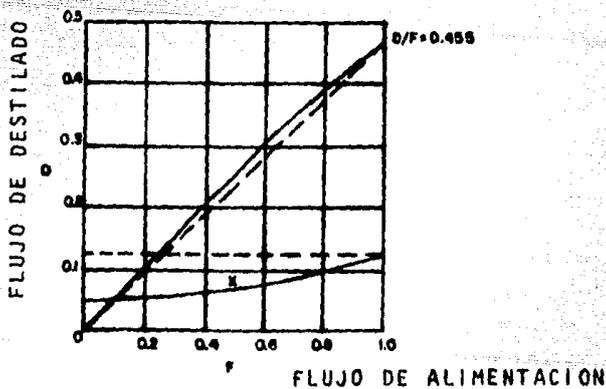


FIG. 5.5

- Máxima separación.
- - - Composición constante

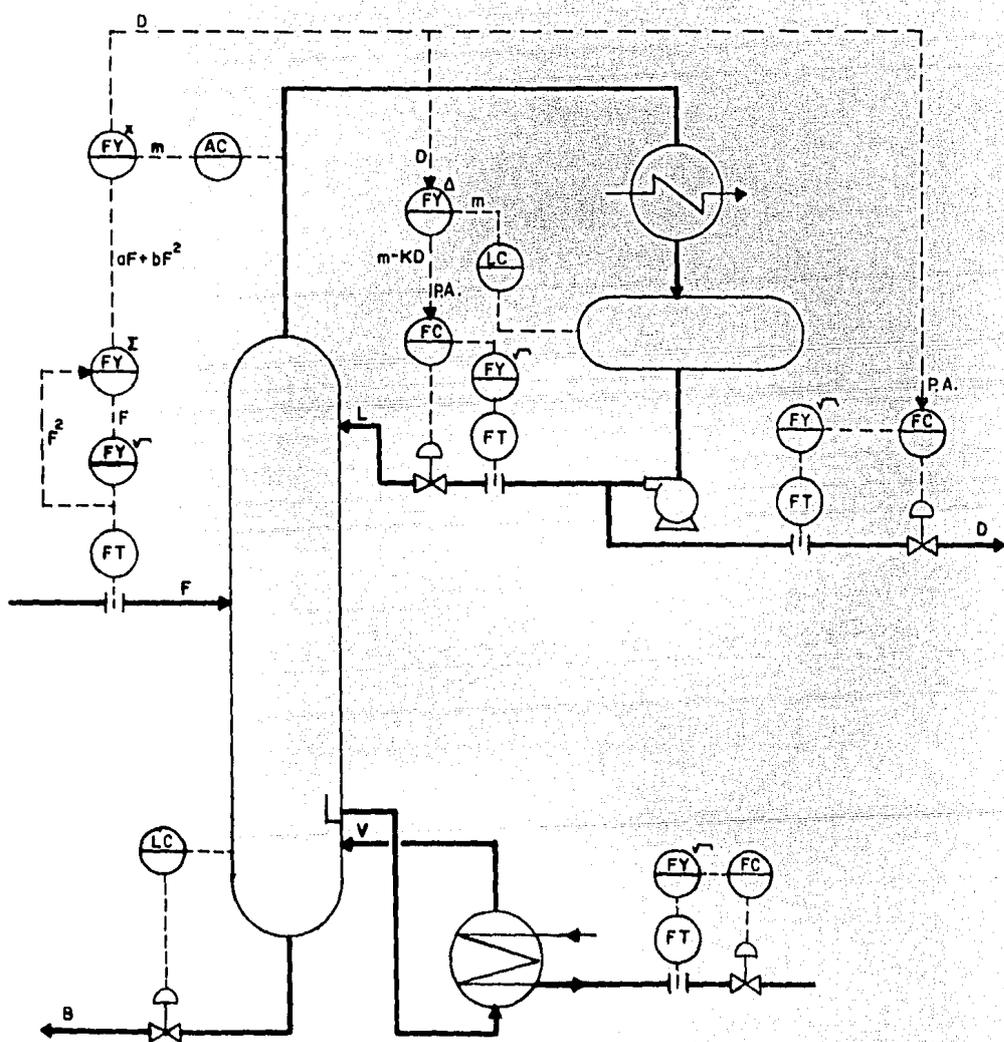


FIG. 5.6

Sistema de control prealimentado para
máxima separación.

5.3 CONTROL AVANZADO

La tendencia actual en el uso de sistemas de control es hacia la aplicación del control avanzado. El control avanzado implica tanto el uso de estrategias modernas de control como de la tecnología más avanzada, es decir, el microprocesador digital. La aplicación del control avanzado se ha ido generalizando en las plantas nuevas, sobre todo en aquellas que requieren para su estabilidad y eficiencia alta optimización y uso eficiente de energía. El control avanzado ha sido también utilizado en plantas ya existentes con otro tipo de instrumentación. En estas plantas el cambio de una tecnología a otra es altamente recuperable a corto plazo debido a que las metas de operación son logradas eficientemente con el control avanzado.

Una ventaja del uso de la tecnología digital es que no solo aplica para técnicas modernas de control, sino también para técnicas convencionales, como el control de circuito sencillo o el control de dos circuitos en cascada.

En los sistemas de control avanzado, el controlador propiamente dicho no existe físicamente, sino que su función se encuentra programada en el microprocesador, es decir, el controlador no es mecatrónica (hardware) sino que es logitrónica (software). Esto le da una una ventaja más a este tipo de sistemas de control ya que el modelo de control es completamente configurable y adaptable a las necesidades del usuario, cuan-

tas veces sea necesario.

Un porcentaje muy pequeño de la instrumentación existente en una planta necesitaría cambiarse para adaptar un sistema de control avanzado. Los elementos primarios, los transmisores, los convertidores y casi toda la demás instrumentación de campo permanecerían invariables en el cambio. Sólo la instrumentación del cuarto de control, los controladores, los indicadores, los registradores, etc., sería sustituida por la nueva tecnología, tarjetas electrónicas de control, microprocesadores, tubos de rayos catódicos, impresoras, unidades de almacenamiento masivo, etc..

Los sistemas de control avanzado pueden ser desarrollados por el usuario o bien comprarse como paquetes a ciertos proveedores. Como ejemplo a continuación se presenta el esquema de un sistema de control avanzado para una torre fraccionadora, ofrecido por la empresa ESIA, Francia, llamado "paquete de control de destilación". La figura 5.7 muestra este sistema.

Este paquete incluye los siguientes seis módulos:

- a) SIDERA. Controla los flujos de las corrientes laterales de salida con ajustes prealimentados de los cambios en el flujo de la alimentación; ahorra vapor por medio del control de la relación de flujo de vapor de arrastre a flujo de la corriente lateral de salida; automáticamente compensa interacciones entre corrientes laterales adyacentes; acorta per-

- ríodos transientes en los cambios de crudo alimentado; define las condiciones de operación de la columna mediante la aproximación al punto de corte y toma en cuenta las características del crudo mediante su curva de destilación de punto de ebullición verdadero.
- b) SPEDAC. Controla las características de calidad de las corrientes laterales mediante el ajuste de la temperatura del punto de corte; mantiene las características de calidad en su valor del punto de ajuste para cada corriente lateral; toma en cuenta retrasos en el proceso y en el sistema de muestreo. Es usado en cascada con SIDERA y puede operarse la unidad a niveles bajos con solo SIDERA a falta de analizadores.
- c) OPTIAD. Es una guía computarizada del operador que da condiciones óptimas de operación de una unidad de destilación de crudo. Calcula la temperatura de transferencia del horno minimizando costos de operación; incrementa la separación; ayuda al operador a elegir las estrategias apropiadas; toma en cuenta las características del crudo y sigue la evolución del proceso mediante autoadaptación de parámetros. OPTIAD ofrece dos criterios de optimización: mínimo consumo de energía o bien máxima separación.
- d) COMREF. Controla la relación de reflujo interno en el domo de la columna y el balance de la remoción de calor entre re

circulaciones; realiza ajustes prealimentados de la remoción de calor en función de los cambios en los flujos de alimentación.

e) COMTREC. Maximiza la recuperación de calor en el tren de intercambiadores de precalentamiento de crudo, obteniendo la máxima temperatura de crudo a la salida del tren; maximiza la conservación de energía de la unidad.

f) COMPASS. Controla la temperatura y flujo de todas las corrientes de salida mediante la prealimentación de los cambios en el flujo de alimentación; monitorea las diferencias de temperaturas entre la salida del horno y cada corriente de salida y monitorea las cargas térmicas de las salidas así como los factores de fricción para el coquizado de las líneas.

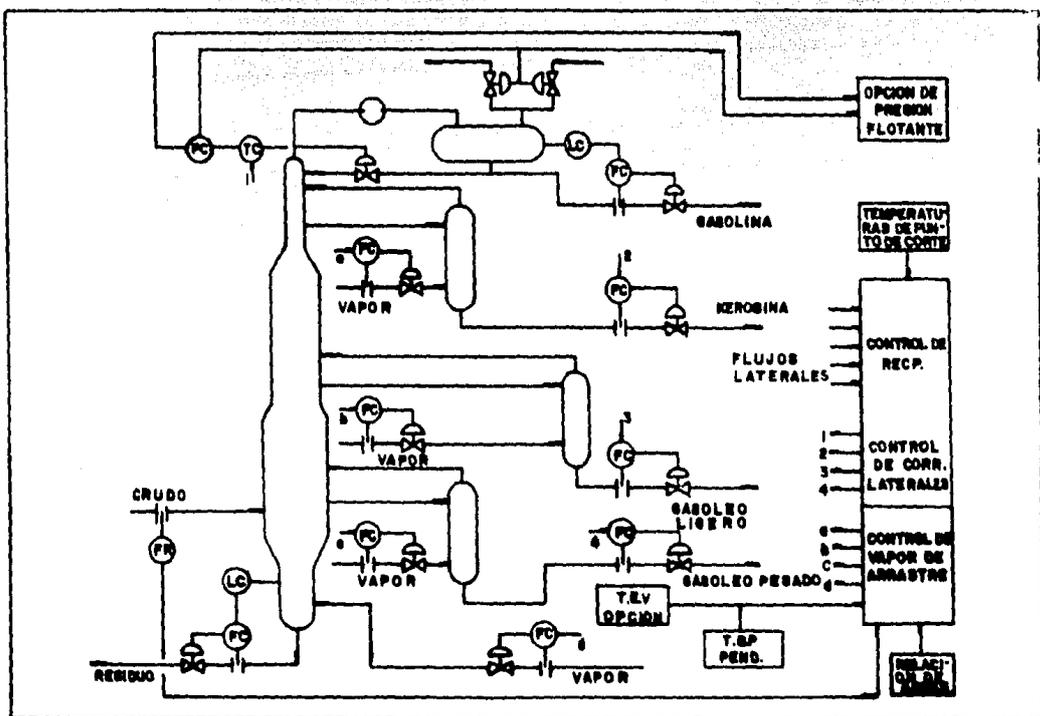


FIG. 5.7 Paquete de control avanzado para destilación.

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

Una vez determinados los objetivos del proceso y sus filosofías de operación, el análisis de variables es el paso a seguir enfocándose hacia la selección de un sistema de control que logre la estabilidad del proceso en las condiciones establecidas previamente en la etapa de diseño.

El análisis de variables es de gran importancia ya que a partir de sus resultados se logra el sistema de control óptimo para el proceso. La selección de variables puede llevarse a cabo mediante un procedimiento "lógico" basado en la experiencia del diseñador, es decir, apareando variable de control con variable manipulada de acuerdo a los conocimientos adquiridos previamente al tener contacto con sistemas de control que ya estén operando en plantas industriales.

Otro método para llevar a cabo este análisis de variables es el de ganancias relativas; el cual es un método avanzado en el que se requiere tener el modelo matemático del comportamiento del proceso, o bien, tener datos experimentales fiables de este comportamiento. Como resultado de este análisis de ganancias relativas se obtendrá el apareamiento óptimo de variable controlada-variable manipulada.

Generalmente se podrá aplicar alguno de los sistemas de control convencionales expuestos aquí; balance de materia o balance de energía. Y si se cuenta con la instrumentación a-

propiada o con sistemas digitales de control basados en micro procesador se pueden aplicar los sistemas prealimentados de control, e inclusive diseños o algoritmos especiales de control, así como sistemas avanzados de control.

Es de vital importancia que se cuente con un sistema de control adecuado para cada tipo de proceso, para lograr en la operación de éstos condiciones de estabilidad y seguridad que obliguen a obtener una producción óptima tanto cuantitativamente como cualitativamente.

A P E N D I C E

En esta sección se presenta un resumen de la simbología empleada en este trabajo. La simbología empleada en el área de instrumentación y control de procesos industriales se encuentra estandarizada por la Instrument Society of America en la norma S5.1 y en ella se basan todos los diagramas y documentos que representan o especifican la instrumentación de una planta industrial. Debido a la extensión de la norma y a que no toda es aplicable en este trabajo, se presentan ciertos aspectos que se consideran importantes para el mismo.

1.0 GENERALIDADES

- 1.1 La Norma ISA S5.1 tiene como propósito establecer un sistema uniforme para representar los instrumentos y sistemas que se usan para medición y control. A fin de lograr esto, se ha elaborado un método de representación que incluye símbolos y un código de identificación.
- 1.2 No obstante la variedad de instrumentos que se han desarrollado, se pueden clasificar bajo categorías funcionales comunes. Esta norma puede usarse en industrias de petróleo, de generación de electricidad, acondicionamiento de aire, refinación de materiales y muchas otras.
- 1.3 La norma es apropiada para usarse siempre que se necesite una referencia para un instrumento. Principalmente tales referencias pueden requerirse para los siguientes usos:
- Diagramas de flujo
 - Diagramas de proceso
 - Diagramas mecánicos
 - Diagramas de sistemas de instrumentación
 - Especificaciones
 - Requisiciones de cotización
 - Ordenes de compra
 - Dibujos de construcción
 - Instructivos de instalación, operación y mantenimiento.

2.0 DEFINICIONES

2.1 Alarma (Alarm)

Dispositivo que indica la existencia de una condición anormal por medio de un cambio discreto en una señal audible o visible.

2.2 Atrás del tablero (Behind the board)

Término aplicado a un lugar que está dentro de un área que contiene el tablero de instrumentos, está dentro o atrás del tablero, o no es accesible al operador para su uso normal, y no se designa como local.

2.3 Círculo (Balloon)

Símbolo utilizado para representar un instrumento o su identificación.

2.4 Circuito (Loop)

Combinación de uno o más instrumentos interconectados para medir y controlar una variable de proceso.

2.5 Controlador (Controller)

Dispositivo con una señal de salida que se puede modificar para mantener la variable controlada en un valor determinado o dentro de límites específicos, o que puede alterar la variable de forma particular. Un controlador automático cambia su salida automáticamente en respuesta a una entrada directa o indirecta de una variable de proceso. Un controlador manual es una estación de carga

manual y su salida no depende de la variable de proceso medida, sino que se puede modificar a voluntad del operador.

2.6 Convertidor (Converter)

Dispositivo que recibe información en forma de señal de instrumento, altera la forma y envía una señal de salida resultante. Un convertidor es un tipo especial de relevador. Ver Tabla 2.

2.7 Elemento final de control (Final control element)

Es el dispositivo que cambia directamente el valor de la variable manipulada de un circuito de control

2.8 Elemento primario (Primary element)

Es la parte de un circuito o de un instrumento que primero detecta el valor de una variable de proceso y cuya salida asume un estado predeterminado e inteligible que corresponde al valor de la detección.

2.9 Estación de carga manual (Manual loading station)

Instrumento que tiene una salida ajustable manualmente que se utiliza para actuar uno o más dispositivos remotos.

2.17 Local (Local)

Es la ubicación de un instrumento que no está ni al frente ni atrás del tablero.

2.20 Montado en tablero (Board mounted)

Término aplicado a un instrumento que se encuentra instalado en un tablero y que es accesible al operador para su uso normal.

2.21 Proceso (Process)

Cualquier operación o secuencia de operaciones que involucra un cambio de energía, composición, dimensiones o de cualquier otra propiedad que se pueda definir con respecto a una referencia.

2.23 Relevador (Relay)

Dispositivo que recibe información en forma de señal de uno o más instrumentos, modifica la información o su forma si se requiere y emite una o más señales de salida resultantes. Ver Tabla 2.

2.24 Relevador computador (Computing relay)

Es un relevador que realiza uno o más cálculos o funciones lógicas y emite una o más señales de salida resultantes. Ver Tabla 2.

2.25 Tablero (Board)

Estructura que tiene un grupo de instrumentos montados en ella, y una identificación individual.

2.26 Tablero local (Local board)

Estos tableros comúnmente se localizan cerca de subsistemas o subáreas de la planta.

2.29 Transmisor (Transmitter)

Dispositivo que detecta una variable de proceso por medio de un elemento primario y que tiene una salida cuyo valor en el estado estable cambia únicamente en función de la variable de proceso, en forma predeterminada. El elemento primario puede o no estar integrado al transmisor.

2.30 Válvula de control (Control valve)

Dispositivo diferente a la válvula común de dos posiciones operada manualmente, que manipula en forma directa el flujo de una o más corrientes del fluido de proceso.

2.31 Variable de proceso (Process variable)

Es cualquier propiedad variable de un proceso.

3.0 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE IDENTIFICACION

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Cada Instrumento se deberá identificar primero por un sistema de letras que se usa para clasificarlo en base a su función. A fin de establecer una identidad de circuito para el instrumento, deberá agregarse un número a las letras.

3.1.2 Cuando se requiera, la identificación del instrumento podrá incluir un código adicional, tal como la designación por área o por planta. En seguida se muestra un ejemplo típico de identificación para un registrador con trolador de temperatura.

T R C - 2 . A			
PRIMERA LETRA	LETRAS SIGUIENTES	NUMERO DE CIRCUITO	SUFIXO (OPCIONAL)
IDENTIFICACION FUNCIONAL		IDENTIFICACION POR CIRCUITO	
CLAVE DE IDENTIFICACION DEL INSTRUMENTO			

3.2 IDENTIFICACION FUNCIONAL

- 3.2.1 La identificación funcional de un instrumento deberá formarse con las letras de la tabla 1, e incluir una "primera letra", que representará la variable medida o inicial, y una o más "letras siguientes" que cubrirán las funciones de cada instrumento.
- 3.2.2 La identificación funcional de un instrumento deberá hacerse de acuerdo a su función y no a su construcción.
- 3.2.3 En un circuito de instrumentación, la "primera letra" de la identificación funcional se debe seleccionar de acuerdo con la variable medida y no con la variable manipulada.
- 3.2.4 Las "letras siguientes" de la identificación funcional designan una o más funciones pasivas o las funciones de salida.
- 3.2.5 La secuencia de las letras de identificación deberá empezar con una "primera letra". Las letras para funciones pasivas tendrán cualquier secuencia, y después de éstas vendrán las de función de salida, también en cualquier secuencia.
- 3.2.6 La identificación de un instrumento en un diagrama de flujo, se podrá representar con tantos círculos de identificación como variables medidas o salidas tenga.
- 3.2.7 El número de letras funcionales agrupadas para identificar un instrumento no deberá exceder de cuatro.

3.2.8 Todas las letras de la identificación funcional deberán ser mayúsculas.

3.3 IDENTIFICACION DE CIRCUITO

3.3.1 La identificación por circuito de un instrumento, generalmente deberá hacerse utilizando el número asignado al circuito al cual el instrumento pertenece. Cada circuito deberá tener únicamente un número. Para un instrumento común a dos o más circuitos puede asignarse un número diferente al de los circuitos, si así conviene.

3.3.2 Para todos los circuitos de instrumentos de un proyecto o secciones de un proyecto deberá emplearse numeración paralela. Así en la numeración de circuitos para cada "primera letra" se empieza una nueva secuencia de números.

3.3.3 Si un circuito determinado tiene más de un instrumento con la misma identificación funcional, de preferencia deberá agregarse un sufijo (ya sea letra o número) al número del circuito.

TABLA I
SIGNIFICADO DE LAS LETRAS DE IDENTIFICACION

	PRIMERA LETRA		LETRAS SIGUIENTES		
	VARIABLE MEDIDA O INICIAL	MODIFICANTE	FUNCION PASIVA	FUNCION DE SALIDA	MODIFICANTE
A	Análisis		Alarma		
B	Flama quemador		Usuario	Usuario	Usuario
C	Conductividad			Controlar	
D	Densidad	Diferencial			
E	Voltaje		Elemento primario		
F	Flujo	Relación			
G	Calibre		Mirilla		
H	Manual				Alto
I	Corriente		Indicar		
J	Potencia				
K	Tiempo			Estación de control	
L	Nivel		Luz piloto		Bajo
M	Humedad				Medio
N	Usuario				
O	Usuario		Orificio		
P	Presión		Punto		
Q	Cantidad	Integrar			
R	Radioactividad		Registrar		
S	Velocidad	Seguridad		Interrup.	
T	Temperatura			Transmit.	
U	Multivariable				
V	Viscosidad			Válvula	
W	Peso o fuerza		Termopozo		
X	No clasificada				
Y	Usuario			Computar	
Z	Posición			Actuar	

Tabla 2

DESIGNACIONES DE FUNCIONES PARA RELEVADORES

SIMBOLO	FUNCION
1-0 o ON-OFF o AB-CERR	Automáticamente conecta, desconecta o transfiere uno o -- más circuitos.
o ADD o SUM	Sumar o totalizar #
o DIF o REST	Restar #
+ o + o -	Polarización (bias)
AVG o PMDIO	Promedio
% o 1:3	Ganancia (entrada:salida)
X	Multiplicar #
--	Dividir #
o SQ. RT. o RC	Extraer raíz cuadrada
x^n o $x^{1/n}$	Elevar a potencia
f(x)	Función
1:1	Reforzador (booster)
o HIGHEST o MAX	Selección alta #
o LOWER o MIN	Selección baja #
REV o INV	Acción inversa
	Integrar (tiempo)
D o d/dt	Derivada
1/D	Derivada inversa
A/B	Conversión: Para secuencias de entrada/salida de lo siguiente:
(A o B) E Voltaje; H Hidráulico; I Corriente; O Electromagnético o sónico; P Neumático; R Resistencia; A Analógico; D Digital	

Se usa para relevador con dos o más entradas.

I INSTRUMENTOS EN GENERAL

SIMBOLO

DESCRIPCION



INSTRUMENTO LOCALIZADO EN CAMPO

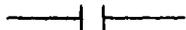


INSTRUMENTO MONTADO EN EL TABLERO PRINCIPAL



INSTRUMENTO MONTADO EN LA PARTE POSTERIOR DEL
TABLERO PRINCIPAL

II ELEMENTOS PRIMARIOS PARA MEDICION DE FLUJO



PLACA DE ORIFICIO

III LINEAS



LINEA DE PROCESO



SEÑAL ELECTRICA

IV VALVULAS



VALVULA DE 2 VIAS



VALVULA DE CONTROL CON ACTUADOR DE DIAFRAGMA

V INSTRUMENTOS CON UNA FUNCION DETERMINADA



SUMADOR



DIFERENCIADOR



MULTIPLICADOR



EXTRACTOR DE RAIZ CUADRADA

B I B L I O G R A F I A

INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK

BELA G. LIPTAK

CHILTON BOOK CO., PENN

REVISED EDITION, 1982

CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK

ROBERT H. PERRY AND CECIL H. CHILTON

5a. EDITION, 1973.

Mc. GRAW-HILL, KOGAKUSHA, JAPAN,

DISTILLATION CONTROL

F.G. SHINSKEY

1977

Mc. GRAW-HILL CO., NEW YORK.

OPERACIONES DE TRANSFERENCIA DE MASA

ROBERT E. TREYBAL

2a. EDICION, 1980.

Mc. GRAW-HILL, MEXICO.

PROCESS CONTROL

P. HARRIOT

Mc. GRAW-HILL, KOGAKUSHA, JAPAN,

PROCESS CONTROL SYSTEMS

F.G. SHINSKEY

1967

Mc. GRAW-HILL, U.S.A.

HYDROCARBON PROCESSING, OCTOBER, 1979

GUIDE TO DISTILLATION PRESURE CONTROL METHODS, pp 145-153

CHEMICAL ENGINEERING, NOVEMBER, 1965
CONTROL SYSTEMS FOR DISTILLATION, pp 213-218

CHEMICAL ENGINEERING, OCTOBER, 1965
FEEDBACK AND FEEDFORWARD CONTROL, pp 203-208

CURSO DE INSTRUMENTACION Y CONTROL INDUSTRIAL
1985
I.S.A., MEXICO

STANDARDS AND PRACTICES FOR INSTRUMENTATION
NORMA ISA-S5.1 "INSTRUMENTATION SYMBOLS AND IDENTIFICATION"
6a. EDITION, 1980.

INSTRUMENT SOCIETY OF AMERICA.