



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Cursos Especiales de Tecnólogos

Proceso de Destilación Atmosférica
Aplicaciones y Consideraciones en
la Planta de Refinería Esmeraldas

Monografía previa a la obtención
del Título de Tecnólogo en:

Refinación de Petróleos y Gases

**GONZALO FREIRE ROMO
JOSE RAMIREZ RAMIREZ**

GUAYAQUIL - ECUADOR

1. 9 8 4



SECRETARIA
GENERAL

DIRECTOR DE MONOGRAFIA.

Ing.

FRANCISCO TORRES.

REVISADO POR:

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL


ING. FRANCISCO JOSÉ DE LOS ANJELÉS ANDRADE
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE QUÍMICA

INDICE

	Págs
I. Destilación, Teoría y Conceptos.....	1
1.1. Equilibrio líquido-vapor.....	3
1.1.1 Cambios de estado.....	3
1.1.2. Punto de burbuja y rocío.....	3
1.1.3 Determinación de equilibrios....	5
1.1.4 Conceptos básicos de destilacion	6
1.1.5 Sistemas binarios.....	8
1.1.6 Sistemas de multicomponentes....	10
1.2. Presión.....	11
1.3. Gravedad Específica.....	12
1.4. Miscibilidad.....	13
1.5. Calor latente y sensible.....	13
1.6. Presión de vapor.....	14
1.7. Punto de ebullición.....	17
1.8. Punto de rocío.....	18
1.9. Enriquecimiento y agotamiento.....	18
1.10. Volatilidad.....	18
2. Destilación.....	20
2.1. Destilación de una etapa.....	21
2.2. Destilación intermitente.....	22
2.3. Destilación continua.....	23
2.4. Alambiques.....	24
2.4.1. Alambique de evaporares múltiples.....	24
2.4.2. Torres de platos con cachuchas de burbujeo.....	26
2.4.3. Torres empacadas.....	30

2.5. Fraccionamiento.....	32
2.6. Mecanismo Básico de funcionamiento de una torre.....	39
2.7 Tipos de reflujo.....	40
2.7.1. Reflujo interno.....	40
2.7.2. Reflujo de domo.....	40
2.7.2.1. Reflujo caliente.....	41
2.7.2.2. Reflujo frio.....	41
2.7.3. Reflujo Circulante.....	41
2.8. Las principales variables de operación	43
2.8.1. Temperatura.....	44
2.8.2. Presión.....	45
2.8.3. Flujo.....	47
2.9. Control de la Torre.....	48
2.10 Operaciones Anormales en una Torre....	51
2.10.1 Arrastre.....	54
2.10.2 Formacion de caminos preferenciales.....	54
2.10.3 Pulsación.....	54
2.10.4 Platos Innundados.....	55
2.10.5 Platos Secos.....	58
2.10.6 Niveles Altos.....	60
2.10.7 Platos Alterados.....	61
2.10.8 Pérdida o falla de agua de enfriamiento.....	62
2.10.9 Cambios rápidos e innecesarios.	63
2.11 Paradas y Reparaciones.....	65
2.11.1Depositos extraños y trampas de líquidos.....	65

2.11.2 Mezclas explosivas.....	66
2.11.3 Paradas.....	67
2.11.4 Preparación para entrar a revisar.....	68
2.11.5 Prueba y revisión	70
2.12 Pruebas de Calidad.....	73
2.12.1 Punto inicial y final de ebullición.....	74
2.12.2 Punto de inflamación.....	74
2.12.3 Peso específico.....	75
2.12.4 Presión de vapor Reid.....	76
2.12.5 Color.....	76
3. Secciones de una Columna equipos y accesorios.....	77
3.1. Sección de rectificación.....	77
3.2. Sección de agotamiento.....	77
3.3. Número de platos, altura y diámetro de una torre.....	79
3.4. Torres de fraccionamiento.....	81
3.5. Cachuchas de burbujeo.....	83
3.6. Elevadores o chimeneas.....	85
3.7. Bajantes.....	86
3.8. Vertederos.....	87
3.9. Pozos de extracción.....	90
3.10 Distribuidores de reflujo.....	90
3.11 Eliminadores de niebla.....	91
3.12 Válvulas de seguridad o relevo.....	92
3.13 Tolerancia ala corrosión.....	93
3.14 Diseño de aislamiento térmico.....	95
3.14.1 Materiales Aislantes.....	95

a) Asbestos.....	95
b) Tierra de Diatomaceas.....	96
c) Aislamiento a base del 85%de magnesia.....	97
d) Lana mineral.....	98
e) Corcho vegetal.....	98
f) Poliestireno Expandido.....	99
g) Aislamiento de vidrio.....	99
3.14.2. Selección de Aislamiento.....	100
3.14.3. Instalación de Aislamiento....	101
3.14.4. Pérdidas de calor a través de superficies aisladas.....	104
3.14.5 Espesor Óptimo de aislamiento..	108
Eficiencia.....	109
3.15 Intercambiadores de calor.....	110
a) Transferencia de calor.....	110
b) Mecanismo de Transferencia de calor	111
Conducción	112
Convección	113
Radiación	114
c) Procesos de Transferencia de calor	114
d) Equipos de Transferencia de calor	115
e) Valores que sirven para calcular	117
4. Evaluación de un crudo	119
4.1. Características del crudo.....	119
4.2. Determinación de las condiciones de operación.....	120
4.3. Vapor de Agotamiento.....	122

4.4. Balance de materia^yde calor .

V. LA UNIDAD DE DESTILACION ATMOSFERICA EN LA
REFINERIA ESMERALDAS.

5.1. Capacidad nominal de la unidad.

5.2. Bases del proyecto.

5.2.1. Características de la carga.

5.2.2. Especificaciones de los productos.

5.2.2.1. Nafta pesada.

5.2.2.2. Kerosene .

5.2.2.3. Diesel.

5.2.2.4. Residuo de la atmosférica.

5.2.3. Balance de material.

5.2.4. Condiciones de la carga y productos .

5.2.4.1. Carga .

5.2.4.2. Productos.

5.2.5. Características del producto.

5.2.5.1. Tren de precalentamiento.

5.2.5.2. Horno.

5.2.5.3. Fraccionamiento.

5.2.5.4. Desaladora de crudo.

5.2.5.5. Inyección de químicos

5.2.5.6. Bombas.

5.3. DESCRIPCION de la unidad.

5.3.1. Descripción del flujo.

INTRODUCCION

Con el propósito de adquirir conocimientos y destrezas para interpretar las condiciones de operación de una unidad de destilación, y efectuar los correspondientes ajustes a ciertas condiciones establecidas y deseadas capaz de que nos sirvan en el desenvolvimiento de nuestras tareas diarias en la refinería, y aprovechando la oportunidad que se nos brinda para realizar una Monografía previa a la obtención del Título de Tecnólogo en Refinación de petróleo y gas, hemos decidido realizar un análisis y recopilación de datos y teorías sobre los procesos de destilación y el uso que se los da en refinerías, a más de esto se ha realizado un estudio sobre aparatos y accesorios que utilizan los procesos de destilación, también nos referimos sobre problemas operacionales y variables de proceso, sobre procesos adicionales que son de mucha utilidad en los cálculos.

Deseamos que nuestro trabajo sea de beneficio para quienes deseen revisarlo. Agradecemos la colaboración y guía de los profesionales de Refinería Esmeraldas, como también a los profesores de la Politécnica del Litoral que con sus conocimientos nos han ayudado a concluir en nuestras metas y propósitos.

I.- PROCESOS DE DESTILACION.

1.- TEORIA Y CONCEPTOS GENERALES.

La destilación permite la separación o el fraccionamiento de los componentes de una mezcla gracias a la diferencia de sus respectivas volatilidades. Como mínimo deben existir una fase líquida y una fase vapor y se obtiene sucesivamente diferencias de concentración. Estas diferencias de concentraciones de los componentes alcanza un máximo cuando se llega al equilibrio físico. Por lo tanto llegar a la condición de equilibrio es una situación límite que hay que desear suponiendo que quieran hacerse los cálculos para un diseño cuantitativo.

La sencillez del procedimiento y su precio relativamente barato han hecho de la Destilación una operación básica de los procesos de elaboración de productos químicos y petrolíferos por lo cual en las Refinerías y la Industria Petroquímica abundan torres y aparatos de destilación, y se utilizan como para preparar carga previa a las reacciones como también en el fraccionamiento del producto despues de las mismas.

La meta final de la destilación consiste en obtener determinados productos que cumplan con ciertas especificaciones. La especificación de pureza de un componente puede variar desde la concentración de la mezcla en su fase de ebullición hasta la de un producto puro cu

yas impurezas sean del orden de partes por millón. - Aunque sea posible obtener productos específicos con una destilación diferencial o una destilación flash simple, es imposible alcanzar un máximo grado de recuperación de productos por estos métodos. El problema-económico de la recuperación máxima estimuló el desarrollo de destilación fraccionada que no es más que un proceso que se realiza en un número múltiple de etapas. Puede considerarse como una serie de etapas de vaporización flash dispuestas de forma tal que el vapor y el líquido que sale de una etapa se alimenta en las siguientes. En esta disposición aumenta la concentración del componente más volátil en la dirección del flujo de vapor, y la del componente menos volátil en dirección del flujo del líquido. Cada etapa recibe una fase vapor procedente de la etapa inmediata inferior, y una fase líquida procedente de la inmediatamente superior. Debido a una diferencia de concentración entre estas dos fases, que no están en equilibrio, sus temperaturas experimentan un gradiente, y la temperatura del vapor es más elevada que la del líquido. Ambas se mezclan en la etapa que las recibe, y se fija un equilibrio físico a una temperatura intermedia dada por un balance de entalpías. En otras palabras la entalpía total de las fases que llegan a la etapa debe ser igual a la entalpía total de las que la abandonan.

De lo dicho se desprende que se necesitaran las convenientes correlaciones de equilibrio y de entalpia para realizar los cálculos de la destilación fraccionada.

1.1 .- EQUILIBRIO LIQUIDO VAPOR. - Para hablar sobre equilibrio líquido vapor que son conceptos que se deben determinar para entender lo que se refiere a torres de destilación o torres de fraccionamiento, deberemos también hacer un estudio sobre lo que se relaciona con cambios de estado.

1.1.1 .- Cambios de Estado .- Los cuerpos puros sometidos a determinadas condiciones de presión, se vaporizan a temperaturas constantes, mientras que las mezclas de productos pasan del estado líquido al vapor a temperaturas progresivas y crecientes, y la composición de las dos fases supuestas en equilibrio, van evolucionando constantemente a través de la transformación

1.1.2.- Punto de Burbuja y Punto de Rocío .- Cuando hablamos sobre equilibrio líquido vapor, también debemos hacer alusión al tema de punto de burbuja y punto de rocío, para lo cual consideramos un sistema de vaporización teórico ideal, es decir que tenga lugar en un sistema cerrado sin pérdidas ni limitaciones de tipo cinético y al cual le mantenemos la presión estable (por medio de una válvula o de un pistón) y le introducimos gasolina líquida, a este sistema le calentamos, si pudieramos observar se vería que comienza a aparecer una fase vapor la cual irá desarrollandose paulatinamente hasta llegar a la desaparición total de la fa

se líquida.

Cuando se inicia la evaporación se puede notar la aparición de burbujas de vapor las mismas que se van a alojar en la parte baja del émbolo la temperatura del líquido en este momento es la que se conoce como el de " TEMPERATURA DE BURBUJA " o " PUNTO DE BURBUJA " de la gasolina, se sigue aumentando la energía calorífica hasta cuando la totalidad del líquido se ha evaporado, a la temperatura a la cual desaparece la última gota de líquido se le denomina " PUNTO O TEMPERATURA DE ROCÍO ".

El equilibrio líquido vapor es único a una determinada temperatura y presión, siempre que la temperatura se encuentre entre la de burbuja y la temperatura de rocío.

Nosotros podríamos retirar una parte de cualquiera de las fases sin que esto cambie o modifique las temperaturas y las composiciones iniciales, siempre que se mantenga la misma presión. Por lo tanto se puede sacar como conclusión que la composición es función de la presión y de la temperatura siempre que se haga la consideración en el equilibrio.

Se puede hacer también otra consideración si la variación de la temperatura de equilibrio es infinitamente pequeña tendremos que o bien el líquido emitirá una burbuja de vapor, o condensará una gota de vapor, en-

tonces se puede afirmar que la temperatura de equilibrio es también una temperatura de ebullición de la fase líquida y de la de Rocio de la fase vapor.

1.13 Determinación Experimental de los Equilibrios .-

Cuando se hace un estudio de el equilibrio liquido vapor siempre se ha de conducir de acuerdo a los siguientes pasos:

- Obtención de las dos fases: ya sea por vaporización parcial de una mezcla líquida, o ya sea por condensación parcial de una mezcla gaseosa.

- Contacto de las dos fases: Es necesario que durante el ensayo la superficie y la duración del contacto sean lo suficientemente grandes para que la difusión entre las dos fases permita alcanzar el equilibrio.

Cuando la temperatura y la composición de las fases se estabilizan podemos considerar que el sistema se encuentra en equilibrio.

- Separación de las dos fases en equilibrio está es la más delicada operación por cuanto hay que evitar cualquier clase de arrastre evitando el perturbar las condiciones de equilibrio.

- Hay varios métodos o modos de determinar experimentalmente el equilibrio líquido vapor para lo cual contamos con medios o aparatos que deberan cumplir con determinados parametros como son:

Suministrar los siguientes datos.

- Temperatura y presión.

- Cantidades de las dos fases, con lo que se pueden obtener el porcentaje volumétrico vaporizados.
- Composición y densidad de las fases.

1.14 Conceptos básicos .- Como ya se ha indicado anteriormente, una columna de destilación es una serie de etapas adyacentes, que reciben y devuelven líquidos y vapores saturados . La figura nos presenta un sencillo ejemplo.

Naturalmente pueden estar implicadas soluciones más complejas, más de una alimentación, un destilado y un producto de fondo con distintas concentraciones, etc. También puede proporcionarse calor de más de un hervidor colocado entre dos platos cualesquiera intermedios, y el calor también puede extraerse por más de un condensador situado en diferentes niveles de la sección superior de absorción.

La razón de que se haya hecho esta ulterior disposición es para conseguir una más elevada eficacia termodinámica de la columna debido la estrecha aproximación de la condición limite reversible. Se presenta una excelente discusión de este problema en el trabajo de BENEDICT. HOUGEN, WATSON y RAGATAZ presentan una discusión similar en su libro de termodinámica. En la industria se adopta solamente esta solución cuando existen diferencias de temperatura muy grandes entre el fondo y la alimentación, o bien entre

la sección de cabeza y la alimentación.

La capacidad de una columna para separar componentes depende del número de platos, de la capacidad de acercarse al equilibrio entre las fases líquido y vapor - y de la relativa cantidad de líquido y de vapor que pasa a través de los platos.

La relación L/V se conoce como relación de reflujo. - El balance de entalpías de plato a plato determina la variación de la relación de reflujo a lo largo de la columna. Para un sistema determinado, esta relación permanece constante y los cálculos se hacen mucho - más fácilmente ya que se basan únicamente en el vapor. Consideraciones de equilibrio líquido y balances de materia. En el caso más general deben tenerse en cuenta también el equilibrio líquido vapor, y los balances de materia y de entalpía. Para ayudar a visualizar el problema nos referimos a sistemas binarios - cuya explicación es inmediata a partir de los gráficos. Consideramos casos de reflujo constantes y no - constantes, suponiendo condiciones de equilibrio para cada etapa. Para sistemas multicomponentes el principio es prácticamente el mismo. Cuando se define la - distribución para dos componentes claves, queda automáticamente definida la de los otros mediante las relativas relaciones de sus volatilidades. Pero las técnicas más avanzadas de diseño son mucho más complicadas -

ya que necesitamos conocer la distribución de todos los componentes antes de empezar los cálculos. Se han propuestos algunas técnicas.

La presión a que trabaja la columna puede fijarse a partir del nivel de temperatura del medio de refrigeración o del medio de calefacción del hervidor. Debemos tener siempre presente desde el punto de vista de facilidad de separación, que una temperatura de fondo demasiado próxima a la temperatura crítica de la mezcla puede resultar por una presión de operación dada con la consiguiente inestabilidad de vaporización.

Por otra parte para la elección de una presión de operación se debe tomar en cuenta el factor de equipo económico. A una presión elevada, la volatilidad relativa es baja y la separación requiere más reflujo y más etapas de equilibrio. La densidad de vapor es más alta y el diámetro de la columna podrá ser más pequeño. Las altas presiones determinan altas temperaturas, a las cuales podrán descomponerse algunos componentes, polimerizar o interaccionarse. A presiones bajas la densidad de vapor es más baja y se necesitarán por lo tanto diámetros de columna más elevados.

1.1.5 .- Sistemas Binarios.- Para una relación de reflujo constante se utiliza la gráfica de McCabe - Thiele. La curva es el lugar geométrico de equilibrio y relaciona las composiciones de equilibrio x e y en

ejes coordenados.

Las líneas de operación para la sección superior e inferior relacionan el balance de materia sobre dos secciones de la columna.

Sus pendientes L/V dan la relación de reflujo en las dos partes de la columna. Son líneas rectas, debido a que la relación de reflujo se ha fijado como constante. En el espacio comprendido entre las líneas de operación y la curva de equilibrio se pueden dibujar los platos teóricos desde una composición de destilado hasta la de fondo de la columna.

Para composiciones constantes de alimentación, el número de platos teóricos y su distribución entre las secciones superior e inferior viene influenciada por las condiciones entálpicas de la alimentación, esto nos representa que el espacio disponible para la colocación del plato es distinta según los distintos valores de la recta q . También la relación mínima de reflujo viene influenciada por estas condiciones entálpicas de la alimentación, como indica la figura de reflujo mínimo la línea de operación superior presenta la mínima pendiente correspondiente a una relación de reflujo mínima, e intercepta a la curva de equilibrio en un punto que es el mismo de intersección de la línea " q ". Evidentemente se necesitarían un número infinito de platos para pasar por este punto y entrar a la parte in-

ferior de la columna. El punto de intersección depende de la pendiente de la línea q que a su vez determina la pendiente mínima de la línea de operación. Por lo anterior se desprende que la relación mínima de reflujo representa un límite de operabilidad de la columna. Por tanto no podrá comprobarse a partir de trabajos e experimentales por que se necesitan un número infinito de platos. En la práctica la columna operará entre este límite y el otro que se trata de reflujo total.

1.1.6. Sistemas de más de dos componentes.- Tal como se ha dicho rige el mismo principio para sistemas multicomponentes que para sistemas binarios . Pero se tendrá en cuenta que casos particulares se puede tener como es el caso de que sea uno solo el producto de alimentación , uno solo el producto de cabeza, y uno solo el fondo . para entrar en ese problema se dan una lista de variables y un número de ecuaciones independientes que relacionen estas variables. Las diferencias numéricas entre ellas determinan los grados de libertad o el número de variables que se deben fijar antes de realizar los cálculos. Normalmente las variables fijadas seran : la relación de alimentación , la composición de la alimentación, la entalpia de la alimentación, distribución de los dos componentes claves en la cabeza y en el fondo, temperatura de reflujo o su entalpia, presión de la columna, radio de reflujo.

Cuando se habla de mezclas binarias nosotros conocemos la composición de la mezcla, pero cuando se habla de multicomponentes no podemos conocer a ciencia cierta por cuanto tienen un gran número de componentes, pero sin embargo se puede definir un número finito de componentes gracias a la ayuda de las curvas de destilación ASTM o TBP un compuesto equivalente a la mezcla que se está tratando. Para esto se descompone la curva TBP en fracciones elementales y suondremos las temperaturas correspondientes al 50% destilado de cada una de ellas son los puntos de ebullición de los componentes puros que constituyen la mezcla equivalente ficticia.

Con este método aunque laborioso nos permite trabajar más facimente con las ecuaciones aún tratandose de mezclas complejas.

También se puede hacer una suposición de la composición de los productos deseados con las volatilidades del componente en cuestión ~~comm~~ la volatilidad del componente clave. Se hacen para cada plato pruebas y puntos de ebullición y los cálculos terminan cuando los componentes clave y no se encuentran en el plato(4).

1.2. PRESION.- La presión es una propiedad de la materia y se define como el peso o la fuerza que se ejerce sobre la unidad de superficie.

Un manómetro instalado en una torre, nos indica-

rá la presión manométrica interior de la torre, pero - para determinar la presión real que está ejerciendo - sobre la torre se habrá que conocer la presión de la - atmósfera en ese lugar y sumar ambos valores.

1.3. GRAVEDAD ESPECIFICA.- Otra propiedad de las sus- tancias es la concerniente al peso específico, - comunmente llamado "Gravedad Específica" y se refiere a la pesantez de la substancia. Se define como el pe - so de la unidad de volumen.

Si en un recipiente se coloca aceite y agua; el - aceite flotará sobre la superficie del agua y se dice que el agua pesa más que el aceite; en consecuencia - la gravedad específica del aceite será menor que la - del agua. La gravedad específica relaciona el peso de una substancia con el peso de la otra. Los líquidos - generalmente estan relacionados con el agua; los ga - ses usualmente se relacionan con el aire.

En la industria petrolera la pesantez de los acei - tes o de las fracciones líquidas del petróleo se acos - tumbra a medir en términos de gravedad A.P.I.

La gravedad A.p.I. es una escala arbitraria en - la cual 10 grados A.P.I. es igual a la pesantez del - agua $1 \text{ Kg} / 1$, La gravedad A.P.I. varía en sentido opuesto a la gravedad específica. Cuanto más ligero es un aceite o una fracción del petróleo, la gravedad A.P.I. será mayor. La kerosina tiene aproximadamente 42 grados A.P.I.; la gasolina 60 grados A.P.I.

1.4. MISCIBILIDAD.- Cuando dos líquidos se mezclan - sin separarse, se dice que son "MISCIBLES". Cuando dos líquidos no se mezclan y el líquido más ligero flota encima del líquido más pesado, se dice que son "INMISCIBLES"; el agua y el aceite son inmiscibles - entre sí, es decir no se mezclan. En cambio la gasolina y el gasóleo son miscibles en todas las proporciones, esto es, pueden mezclarse y una vez mezclados no se advierte superficie de separación entre ambos.

Un líquido puede no ser miscible con otro y sin embargo puede mezclarse con un tercero. Por Ej. el agua no se mezcla con el aceite y no obstante con el alcohol se mezcla en cualquier proporción.

1.5. CALOR LATENTE Y CALOR SENSIBLE.- El calor es una forma de energía. Específicamente el calor es energía térmica. Agregar calor a una sustancia significa que le estamos agregando energía térmica.

La cantidad de energía térmica de un material cualquiera, depende de su temperatura. A alta temperatura las sustancias tienen una gran cantidad de calor A bajas temperaturas tienen una pequeña cantidad de energía térmica.

Cuando se agrega calor a una sustancia para aumentar su temperatura, este calor se llama calor sensible, porque es posible sentir este cambio.

CALOR SENSIBLE es el calor agregado para aumentar la temperatura de una sustancia.

Algunas veces el calor puede ser agregado a un material sin cambiar la temperatura del mismo. Por Ej; cuando se agrega agua y a ésta calor estando este líquido a una temperatura de 100° C en un recipiente abierto; el agua hierve y se transforma en vapor y la temperatura no aumenta arriba de 100° C. Este calor se denomina calor latente.

CALOR LATENTE.-Es el calor que se aplica para vaporizar una sustancia.

Para calentar agua se debe aplicar calor sensible. Cuando el agua alcanza su temperatura de ebullición, para transformarla en vapor, habrá que agregar calor latente. A fin de condensar un vapor se deberá quitar calor latente, quedando el condensado a la misma temperatura que el vapor. Para enfriar ese condensado hay que quitar calor sensible.

En consecuencia: Si el calor sensible de una sustancia es removido, la temperatura desciende y la sustancia se enfría.

Si el calor latente de una sustancia es removido la temperatura permanece constante, pero la sustancia cambiará de estado físico, es decir, pasará de vapor a líquido o de líquido a sólido.

1.6. PRESION DE VAPOR.- Un vapor contiene mucha energía térmica. Esta energía provoca un movimiento violento, desordenando las moléculas que lo forman. Este movimiento ocasiona repetidos choques de moléculas

entre sí y a la vez las moléculas chocaran contra las paredes del recipiente que contiene el vapor. Lo mismo podemos decir para los gases.

Cuando muchas moléculas de gas o vapor chocan contra las paredes del recipiente, estas colisiones ejercen presión sobre dichas paredes. Por Ej; la presión que hace que una llanta permanezca inflada, es ocasionada por los choques de las moléculas del aire sobre las paredes de la misma.

Si la temperatura de un gas o un vapor es aumentada, sus moléculas se moverán más rápidamente. La mayor rapidez en el movimiento dará por resultado choques más violentos de las moléculas entre sí, y a la vez golpearán con más fuerza sobre las paredes del recipiente, si éste se encuentra cerrado. La presión de un vapor contenido en un recipiente abierto, no puede ser aumentada, ya que parte de las moléculas escaparán del recipiente, para equilibrar la presión con las del medio ambiente.

A diferencia de los gases y vapores, las moléculas de los líquidos están unidas por atracción natural entre sí, es decir, en un líquido la atracción entre las moléculas tiende a que cada una de ellas sea confinada a guardar un pequeño espacio. Dentro de este pequeño espacio, una molécula habitualmente esta en movimiento. El movimiento de las moléculas que se en-

cuentran en la superficie del líquido, origina que algunas de ellas se escapen de la superficie.

Por otra parte, las moléculas de vapor que chocan contra la superficie de un líquido, tienden a pegarse al líquido. Así, las moléculas pueden estar escapando del líquido y al mismo tiempo regresando al vapor. Si un recipiente vacío es parcialmente llenado con líquido, algunas de las moléculas escaparán de la superficie, formando un espacio de vapor en el espacio superior. Cuando el recipiente contenga líquido y vapor, habrá moléculas que constantemente estarán llenando del vapor al líquido y del líquido al vapor.

Cuando el número de moléculas que salen del líquido iguala al número de moléculas que entra al líquido, se dice que el vapor y el líquido están en equilibrio.

Cuando la cantidad de moléculas que escapa del líquido es mayor que la que regresa, se dice que el líquido se está evaporando.

La presión de un vapor contenido arriba de la superficie de un líquido, en un recipiente cerrado, no necesariamente es igual a la presión de vapor del líquido, es condición indispensable de que el líquido y el vapor esten en equilibrio.

Cuando aumenta la temperatura de un líquido contenido en un recipiente cerrado, la presión del vapor

aumenta también, hasta que el vapor y el líquido este en equilibrio. Así pues, si la temperatura de un líquido aumenta, su presión de vapor también aumenta.

Cuando un líquido en un recipiente abierto es calentado, hasta que la presión de vapor iguale a la presión de la atmósfera, la evaporación se hace rápida y el líquido hierve. Así pues, un líquido hierve cuando su presión de vapor iguala a la del medio ambiente.

Si la presión sobre un líquido que esta hirviendo es aumentada, también aumentará la temperatura de ebullición del líquido. Consecuentemente, si la presión de un líquido es disminuida cuando esta hirviendo, la temperatura de ebullición disminuye.

Por lo tanto, el punto de ebullición de un líquido puede ser aumentado, incrementando la presión sobre el líquido. También el punto de ebullición de un líquido puede ser abatido disminuyendo la presión.

Las presiones de vapor para diferentes líquidos, encontrándose éstos a la misma temperatura, no son iguales, esto es; el agua y la gasolina tendran diferentes presiones de vapor a 50° C por ejemplo.

1.7. PUNTO DE EBULLICION.- Si se agrega calor a un líquido, la temperatura del mismo no se eleva indefinidamente, sino que llega un momento en que por intenso que sea el calor agregado, la temperatura permanece constante, y toda la energía térmica adicionada, se

invierte en transformar el líquido en vapor, a esta temperatura se le llama punto de ebullición.

1.8. PUNTO DE ROCIO.- En una mezcla vaporizada es la temperatura a una determinada presión a la que se condensa la primer gota de líquido.

1.9. ENRIQUECIMIENTO Y AGOTAMIENTO.- Cuando dos o más líquidos puros se mezclan a los líquidos originales puros de los denomina componentes de la mezcla.

Se llama enriquecimiento al proceso en el cual se hace más concentrada o más rica en uno de sus componentes. Si un recipiente cerrado está parcialmente lleno de una mezcla de dos líquidos, parte de las moléculas de ambos líquidos escapan formando el espacio de vapor. Al mismo tiempo, algunas moléculas del vapor regresan al seno del líquido.

Si uno de los dos líquidos es más ligero que el otro, las moléculas de éste escaparán más rápidamente del líquido que las moléculas pesadas. Así pues, cuando hay equilibrio habrá mayor número de moléculas ligeras escapando y regresando al líquido.

El término AGOTAMIENTO se refiere a remover los componentes ligeros de una mezcla, dejando un producto líquido relativamente puro en componentes pesados.

1.10. VOLATILIDAD, LÍQUIDOS LIGEROS Y PESADOS.- El término volatilidad, es usado para referirse a la facilidad de vaporización. Cuando un líquido tiende a va-

porizarse con facilidad, se dice que tiene alta volatilidad. Cuando no tiende a vaporizarse fácilmente, tiene baja volatilidad.

Un líquido con alta temperatura de ebullición tiene baja volatilidad.

Un líquido con alta presión de vapor tiene alta volatilidad. La gasolina, el alcohol, el éter son líquidos que tienen alta volatilidad.

Los aceites, el mercurio, son líquidos que tienen baja volatilidad

LÍQUIDOS LIGEROS.- Se dice que un líquido es ligero, cuando está compuesto de moléculas pequeñas y tiende a vaporizarse fácilmente, es decir tiene alta volatilidad, tiene alta presión de vapor y baja temperatura de ebullición.

LÍQUIDOS PESADOS/.- Un líquido pesado está compuesto de moléculas grandes, no se vaporiza con facilidad, es decir tiene baja volatilidad, tiene baja presión de vapor y alta temperatura de ebullición.

Desde este punto de vista, cuando se habla de líquidos ligeros y pesados, no se refiere a el peso específico o a la densidad del líquido, sino a la VOLATILIDAD o facilidad de vaporización. Por ejemplo; el agua tiene el peso específico mayor que el aceite crudo; sin embargo el aceite es más pesado que el agua.

2. DESTILACION.-

Cuando se vaporiza parcialmente una mezcla líquida de dos o más componentes, y éstos tienen diferentes volatilidades; dicha diferencia puede ser la base para separar uno o varios componentes en la mezcla. Este método recibe el nombre de destilación cuando los componentes vaporizados se recuperan por condensación.

Es condición esencial para que haya destilación que los componentes de la mezcla tengan diferentes temperaturas de ebullición y consecuentemente presiones de vapor diferentes.

La destilación es el método más usual para separar y purificar mezclas de líquidos. Tiene numerosas aplicaciones, y se efectúa tanto en escala industrial para grandes volúmenes de carga, como para pequeñas muestras analíticas en el laboratorio. Es difícil decir cual es su aplicación más importante, pero la destilación es lo primero en que se piensa cuando se presenta la necesidad de separar los componentes de una mezcla líquida.

Existen diferentes métodos de destilación y consecuentemente se utilizan equipos diferentes. Los más usuales en la industria del petróleo son las llamadas torres o columnas de destilación, aún cuando no todas las destilaciones industriales se efectúan en torres, ya que también pueden usarse equipos más primitivos como los llamados "alambiques", cuyo funcionamiento es más

sencillo, aunque su rendimiento y eficiencia son menores que una torre.

Aunque que el uso de los alambiques es muy reducido, es conveniente conocer su funcionamiento puesto que éstos al evolucionar, dieron origen a las modernas torres fraccionadoras de funcionamiento automático con las que habitualmente se emplean en la industria petrolera. Así pues, el conocimiento de los primeros nos facilitará entender los fenómenos que ocurren en el interior de la torre de destilación.

2.1. DESTILACION DE UNA ETAPA O POR EXPANSION BRUSCA.

Es también denominada destilación de equilibrio, se realiza en una etapa en la cual una mezcla líquida se vaporiza parcialmente con el vapor entrando en equilibrio con el líquido residual, Las fases líquidas y vapor son entonces separadas del equipo, siendo evidente que el vapor será siempre más rico en la sustancia más volátil que la carga o líquido residual.

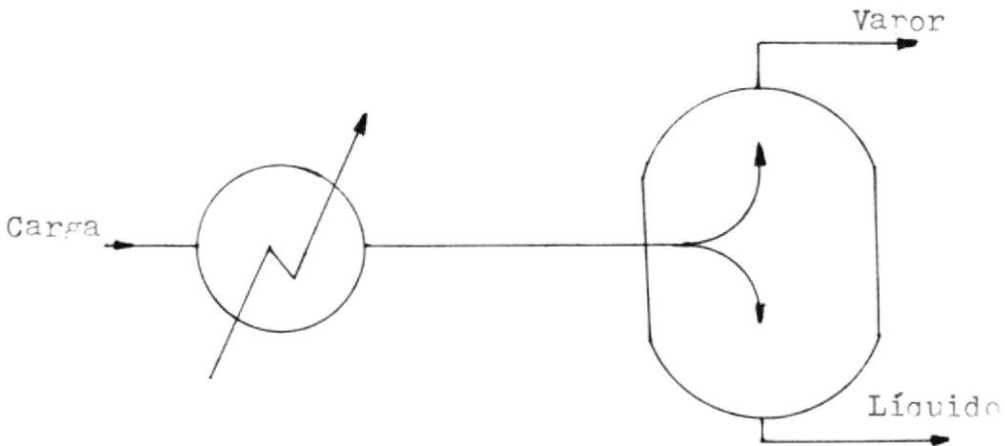


Fig. 2-1. Destilación de una etapa.

2p2. DESTILACION INTERMITENTE.

Se llama Destilación Intermitente, al proceso de colocar en un evaporador un lote de mezcla (carga), vaporizar parte de ésta y drenar el líquido remanente (residuo). Como en toda destilación, los vapores formados se recuperan por condensación. Ver Fig. 2.2.

Este método también recibe el nombre de destilación por lotes.

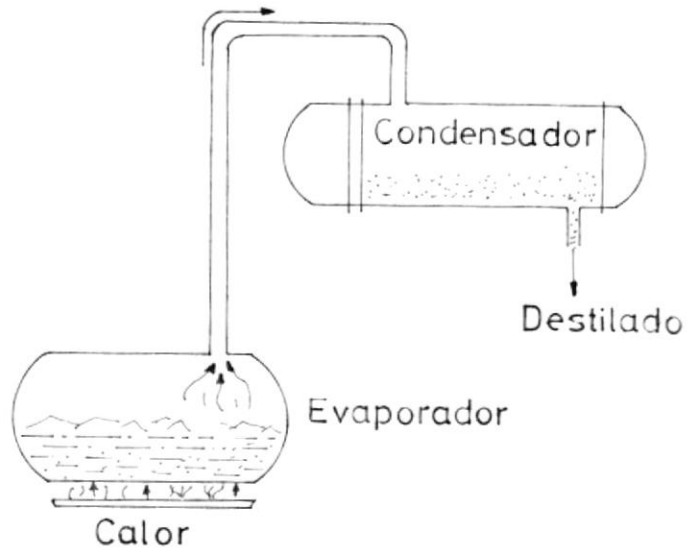


Fig. 2.2.- Alambique Intermitente.

La separación en este tipo de Destiladores es muy deficiente, ya que el calentamiento originará que los componentes ligeros se evaporen rápidamente, pero en medida que esto sucede la temperatura de ebullición irá en aumento, lo que dará lugar a mayor evaporación de componentes pesados, que irán a contaminar el destilado. Así mismo, puede suceder que la vaporización

no sea suficiente, y en este caso quedarán demasiosos componentes ligeros en el residuo.

En una destilación de este tipo es difícil predecir los resultados, siendo casi imposible obtener productos con alto grado de pureza, ya que a medida que se desarrolla el proceso la composición del líquido dentro del evaporador cambiará constantemente.

2.3. DESTILACION CONTINUA.-

La eficiencia en la operación se mejora notablemente, cuando el equipo de Destilación Intermitente es reemplazado por equipo de Destilación Continua, fig.2-3. Se tiene que esencialmente uno y otro alambiques son muy similares, la principal diferencia estriba en que en este caso la carga es introducida continuamente al evaporador y en igual forma son extraídos tanto el destilado como el residuo, dando lugar a que la composición de ambos sea constante para una temperatura de operación determinada

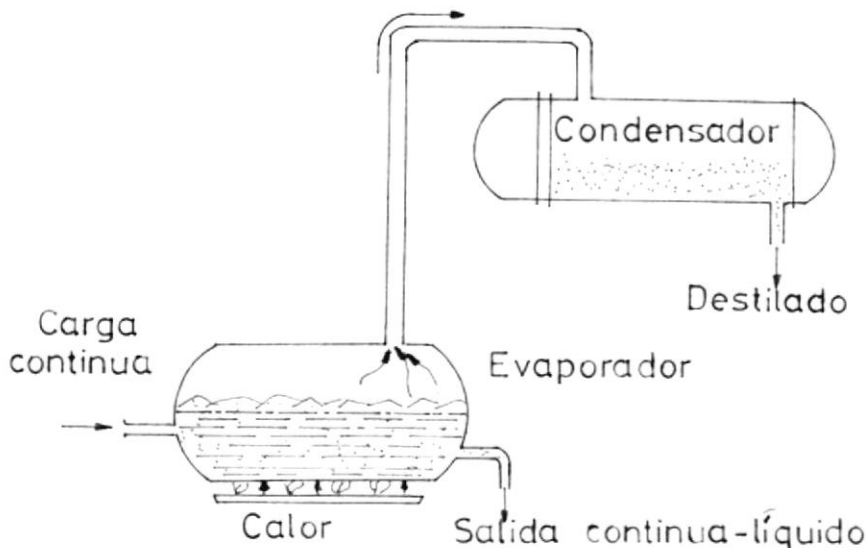


Fig. 2-3 Alambique continuo.

Aun cuando la separación de los componentes de la carga destilada es algo más efectiva en este caso; en el residuo aún quedan cantidades considerables de componentes que deberían aparecer en el destilado y viceversa, por lo cual, en muchas ocasiones, ni uno ni otro producto son lo suficientemente puros para ser útiles.

2.4. ALAMBIQUE DE EVAPORADORES MULTIPLE.

Si se requiere separar mezcla de dos componentes, obteniendo éstos con un grado de pureza más aceptable, pueden utilizarse varios evaporadores continuos conectados tal como se muestra, fig. 2-4.

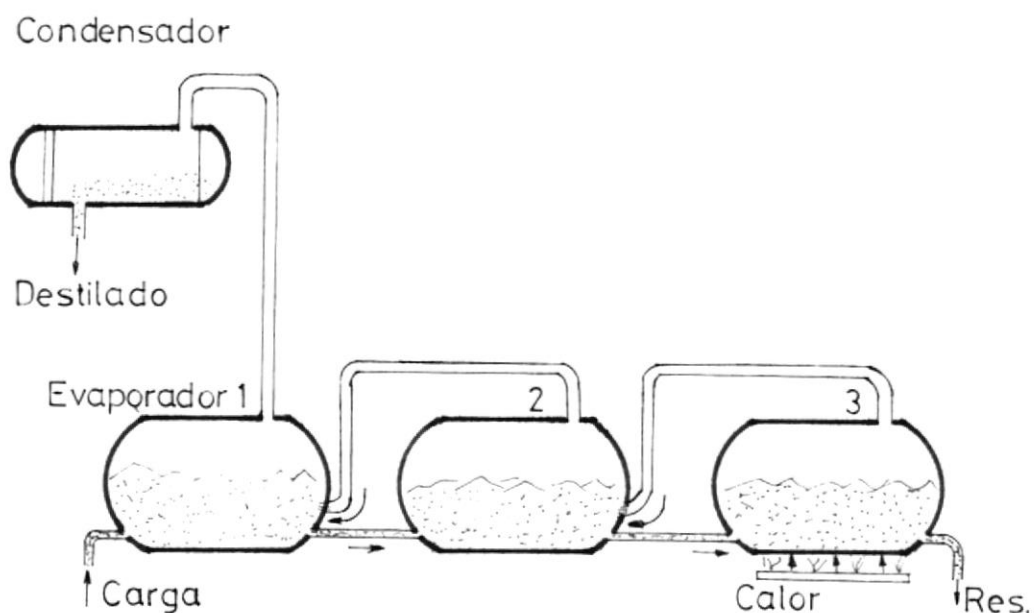


Fig. 2-4.- Alambique de evaporadores múltiple.

En este caso la carga se introduce al primer evaporador, pero únicamente se le suministra calor al último de ellos. Los vapores producidos circulan en sentido opuesto al de la carga y solamente hay un

condensador, instalado en la salida de vapores del primer evaporador.

En virtud de que ~~los~~ se les permite circular libremente en contracorriente con respecto al líquido, a medida que éstos pasan por los evaporadores, este residuo se va enriqueciendo en componentes pesados, en tanto que los vapores aumentarán su concentración en componentes ligeros.

Cuando se opera una serie de evaporadores de esta manera, se dice que se efectúa un agotamiento del componente menos volátil o más pesado.

Puesto que solamente se agrega calor al evaporador número 3, el calor requerido para vaporizar el líquido en los evaporadores 1 y 2 es suministrado por la recirculación de los vapores calientes y consecuentemente la temperatura de ebullición será mayor en el evaporador número 3, e irá disminuyendo conforme el líquido pasa de un evaporador a otro.

La evaporación de una serie de evaporadores como los mostrados en la figura 2-4, producirán dos corrientes de productos de relativa pureza. La corriente líquida (residuo) puede hacerse más pura agregando evaporadores a la serie; sin embargo, la corriente de vapores no se obtendrá con mayor pureza, puesto que se esta efectuando un agotamiento.

2.4.2. TORRES DE PLATOS CON CACHUCHAS DE BURBUJEO.

El agotamiento puede ser llevado a cabo más eficientemente en una torre de destilación.

La sección de una torre como la mostrada en la fig. 2.5, ejecuta en una sola unidad la misma operación de agotamiento que requiere 3 o más agotadores y evaporadores. Cada división o paso de separación de la torre, consiste en un entrepaño metálico llamado "Plato o Charola"; equivale o hace la misma función de un evaporador.

Una charola o plato con sus accesorios consiste en un plato propiamente dicho; los conductos verticales que se proyectan hacia arriba, llamados "Chimeneas o Elevadores" y que están cubiertos por las cachuchas de burbujeo; Los vertederos, que mantienen el nivel de líquido en el plato, y las bajantes, que permiten que el líquido fluya de un plato al inmediato inferior.

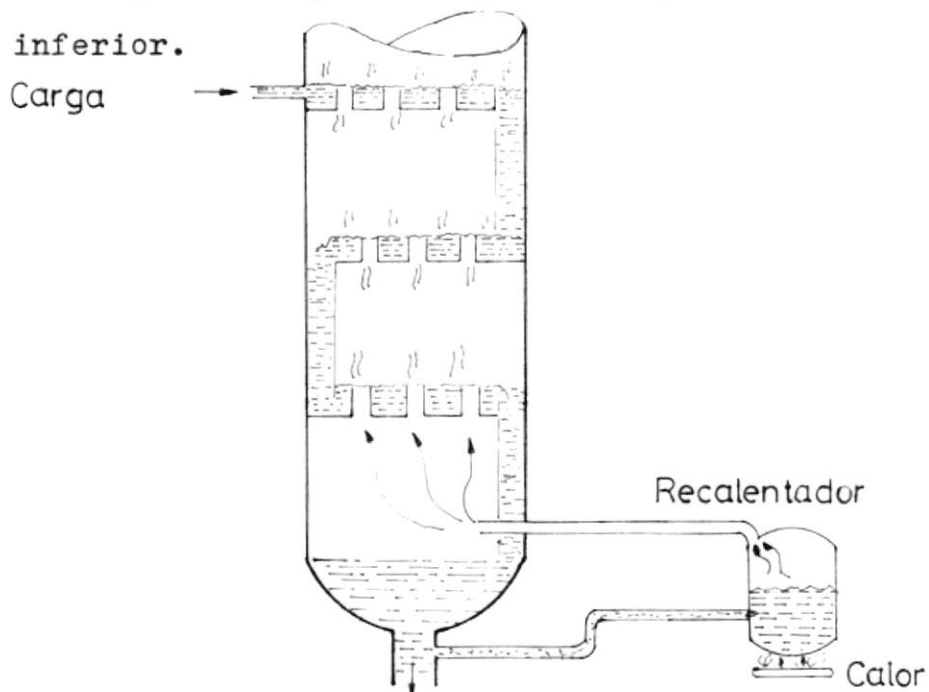


Fig. 2-5. Sección de agotamiento de una torre.

La función decada elevador o chimenea, es permitir que los vapores asciendan de un plato a otro. La función de las cachuchas consiste en permitir que los vapores calientes de un plato, burbujeen en el líquido en ebullición contenido en el plato inmediato superior.

La "Carga o alimentación", entra a la torre por la parte superior de la sección de agotamiento y por las bajantes desciende de plato en plato y finalmente entra al recalentador, donde se aplica calor a la mezcla.

El calor aplicado vaporiza el líquido y los vapores son regresados a la torre entrando a la altura de la charola más baja, (plato N° 1) por medio de los elevadores y burbujea a través de las cachuchas, haciendo que hierva y se vaporice parte del líquido contenido en este plato. Del mismo modo, los vapores producidos en este plato suben al segundo plato, y los que salen de éste, ascienden al inmediato superior; provocando una vaporización parcial del líquido en cada plato.

Conforme los vapores ceden calor al líquido, algunos de los vapores más pesados se condensan y pasan a formar parte del líquido; de tal manera que a medida que ascienden, los vapores se irán desprendiendo de los componentes pesados y así, el líquido extraído

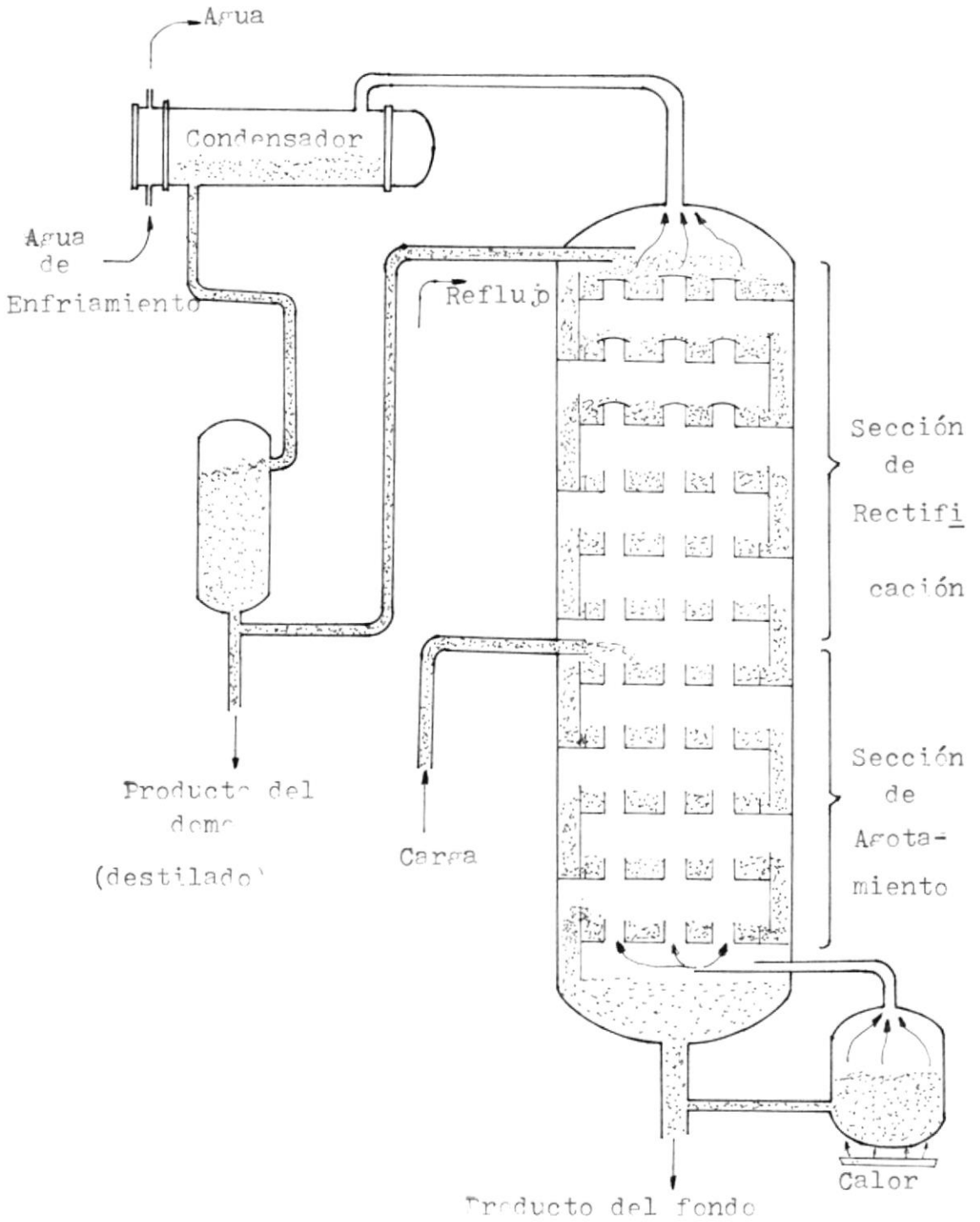


Fig. 2-6. Torre de destilación

por el fondo de la columna, estará altamente concentrado en componentes pesados. Este producto podrá hacerse más puro, agregando platos a la sección de agotamiento de la torre.

La corriente de vapores que sale de la sección de agotamiento de la torre, es tan pura en componentes ligeros como el producto del fondo lo es en componentes pesados. Para hacer la operación óptima, los productos obtenidos en cada corriente deberán ser relativamente puros. Esto se puede conseguir modificando la torre de destilación, a la cual se le agrega otra sección colocada arriba de la sección de agotamiento. Ver fig. 2-6

Las secciones de la torre arriba y abajo del plato de la alimentación, tienen diferentes funciones. La sección de agotamiento producirá en el fondo de la torre, un producto con alta concentración de componentes pesados. La sección de rectificación elaborará un producto destilado con alta concentración de componentes ligeros. El grado de pureza de éste, se puede aumentar agregando platos a la sección rectificadora.

Los vapores que salen por el domo de la torre son condensados; parte de este condensado es extraído como producto destilado y la otra parte es regresada a la torre como reflujo; introduciéndose por el plato del domo. Puesto que el reflujo es regresado frío, además de controlar la temperatura del domo, permite mantener un nivel líquido en los platos superiores.

Si no hay nada que distribuya el reflujo uniformemente a lo largo del plato, todo el reflujo será derramado en un solo lugar, ocasionando que el contacto entre el líquido y el vapor sea pobre, lo cual disminuye considerablemente la eficiencia del plato. Para evitar esto, la mayoría de las torres de destilación cuentan con un accesorio que permite distribuir uniformemente el reflujo en toda la superficie del plato del domo.

2.4.3. TORRES EMPACADAS.-

La mayoría de las torres usadas en la industria son torres de platos. Sin embargo, en algunas torres en lugar de platos se usa un material llamado empaque para provocar el contacto entre los vapores y el líquido. Este material de empaque puede ser cerámica, aleaciones de metales resistentes a la corrosión, u otras sustancias que no puedan ser atacadas por la mezcla que se esta procesando.

Los tipos más comunes de empaque son los "Anillos Rasching" y las "Silletas Berl". El anillo Rasching es un cilindro hueco cuyo diámetro es igual a su altura.

Existen varios tipos de anillos, siendo muy comunes los tipos mostrados en la fig. Nº 2-7

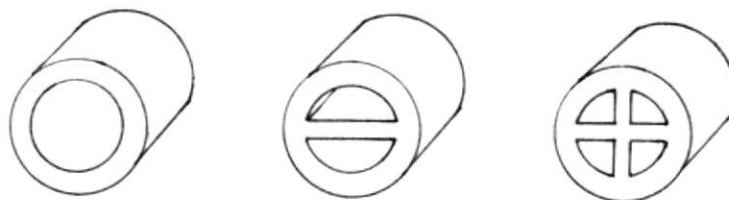


Fig. 2-7. Anillos Rasching.

La silleta Berl, se hace generalmente con metales de aleación resistente a la corrosión; se llama así porque asemeja una silla de montar. Fig. 2-8.



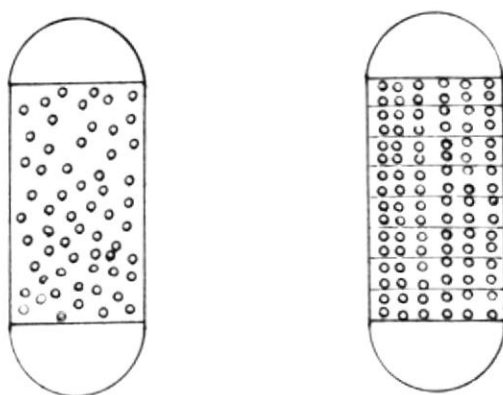
Fig. Nº. 2-8.- Silleta Berl.

Tanto los anillos Rasching como la silleta Berl, se empaican sin ningún orden en el interior de la torre; o bien pueden empackarse utilizando materiales como hojas de mallas o rejillas para acomodar el empaque en capas.

Para prevenir que las silletas o los anillos se rompan durante las maniobras de empackado, lo más conveniente es dejarlos caer dentro de la torre llena de agua. Las torres empackadas proporcionan grandes áreas por donde los líquidos que descienden pueden hacer contacto con los vapores que suben. Las torres de este tipo son eficientes cuando los vapores y el líquido hacen un contacto efectivo en toda el área de la torre. La eficiencia disminuye cuando el líquido y los vapores circulan por canales o áreas abiertas sin hacer contacto entre sí. Entonces se dice que la torre está "Canalizada". La canalización proporciona un contacto pobre del líquido-vapor en el interior de una torre.

Si la carga contiene impurezas sólidas, éstas se depositan formando obstrucciones o incrustaciones en el empaque que también contribuye a disminuir la eficiencia de la torre.

Las torres empacadas no son apropiadas para procesar grandes volúmenes de carga, razón por la cual su uso es muy restringido. Ver fig. 2-9.-



Empacadas sin orden

Empacada en copa

Fig. 2-9.- Torres empacadas.

2.5. FRACCIONAMIENTO.-

La mayoría de las mezclas que son separadas en la industria del petróleo, son mezclas de muchos componentes, y necesitan ser divididas en más de dos corrientes. Los componentes de estas mezclas se llaman "FRACCIONES", y el proceso por medio del cual son separadas se llama "FRACCIONAMIENTO".

Para separar una mezcla de muchas fracciones la torre de destilación como la mostrada en la fig.2-6 deberá ser modificada, ya que este tipo de torre permite separar únicamente dos fracciones.

Unpetróleo crudo típico contiene varias fracciones.

Gas y Gasolina (lo más ligero)

Nafta.

Kerosene.

Diesel.

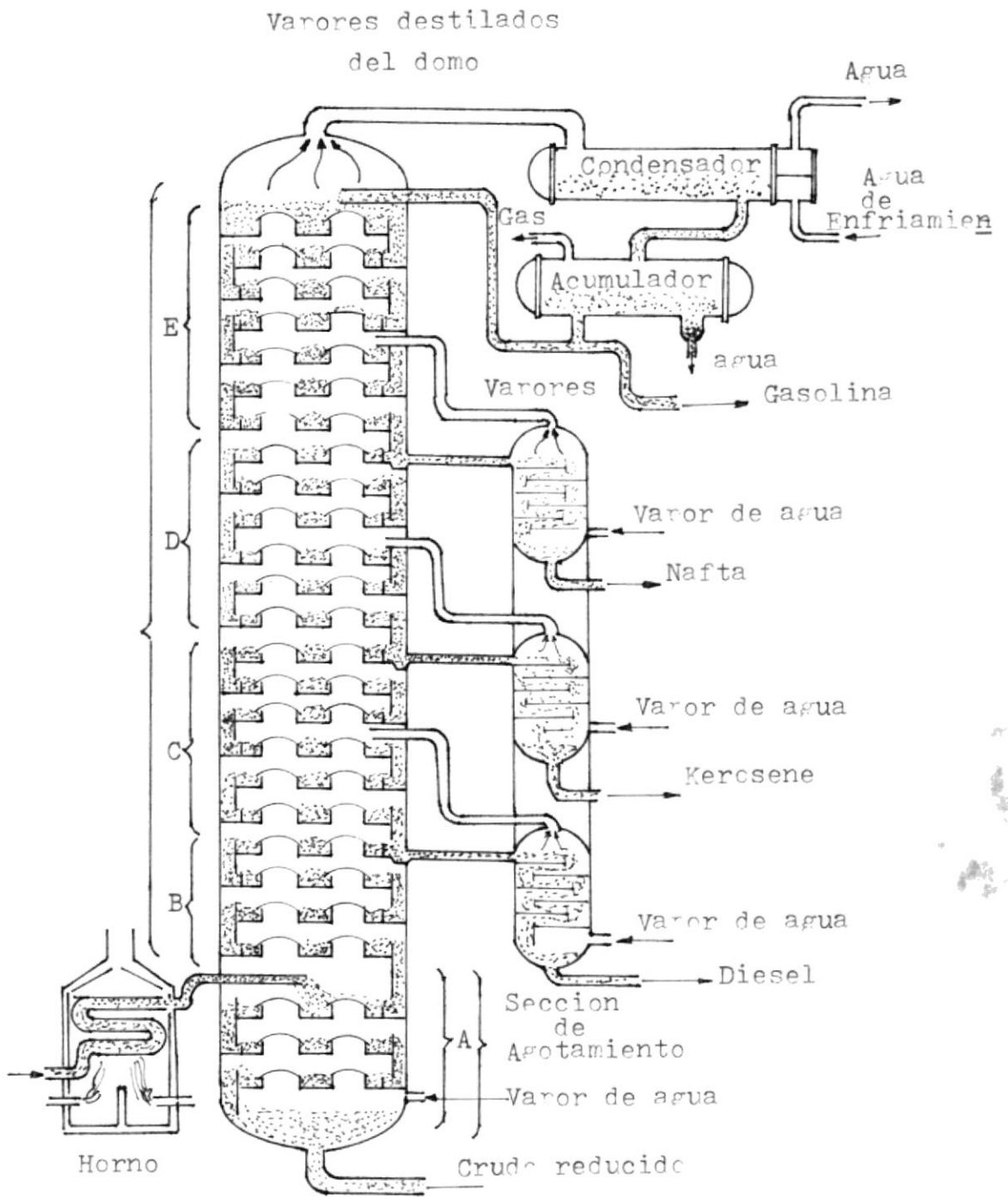
Crudo Reducido. (Lo más pesado).

Para destilar este crudo la torre de la figura 2-6, deberá ser modificáda para separar cinco Fracciones.

Si una mezcla de múltiples componentes es parcialmente vaporizada, las fracciones ligeras tenderán a concentrarse en el vapor; en tanto que las fracciones pesadas tenderán a concentrarse en el líquido.

Si el petróleo que se indica anteriormente es fraccionado, el producto del fondo será un crudo reducido; los productos del domo serán gas y gasolina. Todas las fracciones intermedias, es decir las comprendidas entre la más ligera y la más pesada, son extraídas de la torre fraccionadora a otras torres llamadas agotadores. Cada una de estas columnas agotará las fracciones ligeras del líquido y éste será extraído del agotador como producto. Los vapores procedentes del agotador son regresados a la torre fraccionadora.

Ver Fig. 2-10.



El calor necesario para cada agotamiento puede ser proporcionado por un recalentador para cada fracción, o bien usando vapor de agua como medio de arrastre de las fracciones ligeras. El vapor de agua es separado posteriormente en forma de condensado del producto del domo, por diferencia de densidades.

Las enormes cantidades de calor necesario para vaporizar parcialmente la carga generalmente son proporcionadas por un calentador de fuego directo, colocado fuera de la unidad fraccionadora. Sin embargo para provocar un agotamiento eficaz del producto del fondo, se inyecta vapor de agua debajo del plato N° 1, que servirá como medio de arrastre de las fracciones ligeras que pueda contener el residuo

En esencia la operación que se lleva a cabo en unatorre de destilación o fraccionamiento es un proceso de dos pasos: Una corriente de vapor que asciende y una corriente de líquido que fluye hacia abajo.

En cada plato de la torre se mantiene un nivel de líquido que hierve a una temperatura específica, el líquido, al hervir mantiene la temperatura del plato.

Si observamos la figura 2-10, vemos que los vapores de la carga ascienden y burbujan en el líquido que hierve en el primer plato de la sección "B"; ocasionando un desprendimiento de vapores en estacharola, al mismo tiempo del segundo plato desciende una porción del líquido que da lugar a que se condensen los hidrocarburos pesados.

Los vapores formados en el primer plato subirán a través de las chimeneas y se pondrán en contacto con el líquido que se encuentra en la segunda charola de la sección "B". EL LÍQUIDO de esta charola está también hirviendo a una temperatura específica ligeramente menor que la temperatura del primer plato. Cuando los vapores burbujan a través del líquido que hierve en la segunda charola, los hidrocarburos más pesados, contenidos en el vapor tenderán a condensarse mezclándose con el líquido de este plato. El líquido fluirá hacia abajo, al plato inferior en tanto que los vapores que no fueron condensados subirán a la tercer charola.

Esta operación se repite sucesivamente en cada plato, de tal manera que el líquido y los vapores que llegan al plato superior de la sección "B" se encuentran esencialmente libres de la fracción más pesada o sea crudo reducido.

Parte del líquido contenido en el plato superior de la sección "B" ES PASADO A UN agotador. En este agotador son separados los vapores ligeros contenidos en el líquido. Estos vapores son regresados a la torre fraccionadora, reinyectándose a un punto más alto que aquél donde fué hecha la extracción; entanto que por el fondo del agotador se extraerá diesel como producto.

Los vapores procedentes del plato superior de la sección "B" suben al primer plato de la sección "C" - En cada uno de los platos de esta sección tendrá lugar un proceso similar al descrito para los platos de la sección "B" y así, del plato superior de la sección "C", una porción del líquido es extraída a otro agotador, donde los vapores más ligeros son separados del líquido, obteniéndose por el fondo del agotador kerosene como producto.

Los vapores continúan subiendo, en tanto que el líquido continúa bajando. En la sección "D", otro agotador separara parte del líquido y suministra nafta como producto. Los vapores de este agotador son reinyectados a la torre combinándose con los vapores de la sección "E" y suben de la torre, donde el gas y la gasolina son extraídos como producto del domo.

El gas y los vapores de gasolina pasan a un condensador. Una parte del condensado obtenido es regresado a la torre como reflujo, reinyectándose a la altura del plato del domo. Este líquido condensado y frío, quita calor a los vapores que ascienden, ocasionando la condensación de las fracciones pesadas que haya llegado hasta la sección superior de la torre, de modo que éstas fluirán hacia abajo.

El condensado que fluye hacia abajo y el vapor que sube en cada plato.

A la temperatura de cada plato, parte del vapor condensará y tenderá a descender; en tanto que parte del líquido se vaporizará e irá a mezclarse con los vapores que ascienden. Así pues, el trabajo de una torre fraccionadora depende de un proceso constante de vaporización y condensación. Estas vaporizaciones y condensaciones necesariamente mantienen constantemente a lo largo de la torre por las diferencias de temperatura entre el líquido que baja y los vapores que ascienden. Por lo tanto; un control preciso de la temperatura de cada plato, mantiene las condiciones para que haya una buena separación de los componentes o fracciones de la mezcla procesada.

2.6. MECANISMO BASICO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA TORRE

El vapor de la mezcla que se desprende del plato N° 1 al atravesar el líquido del plato N°2 condensa sus componentes menos volátiles.

El calor liberado por la condensación de estos componentes vaporiza los compuestos más volátiles del líquido del plato N° 2. Las válvulas promueven una transferencia de calor de los componentes pesados del vapor que se condensa a los componentes ligeros del líquido que se vaporiza. Por lo tanto el vapor que abandona un determinado plato es más volátil que el vapor que penetra en este plato. El líquido que entra en un plato recibe los compuestos menos volátiles del vapor y pierde y pierde sus componentes más volátiles por vaporización, por tanto el líquido que sale de un plato es más pesado que el que llega al mismo.

CONCLUSION.- A medida que suben los vapores en la torre los vapores se hacen cada vez más volátiles.

A medida que bajan en la torre los líquidos se hacen cada vez más pesados.

Podemos concluir también que cuanto mayor el número de platos en la torre tanto mejor para la separación de los productos.

El fraccionamiento exige un número de platos cada vez más alto a medida que los productos a separarse tengan volatilidades próximas.

Sin embargo si estuviéramos interesados en mante-

ner un gradiente de concentración en cada plato y consecuentemente un gradiente de temperatura, es suficiente introducir líquido al domo lo cual permitirá controlar la temperatura de los platos del domo. Usualmente eso ocurre en una refinería siendo utilizado como líquido enfriador del domo parte del condensado de los vapores del domo como se representa en la fig.2-11.

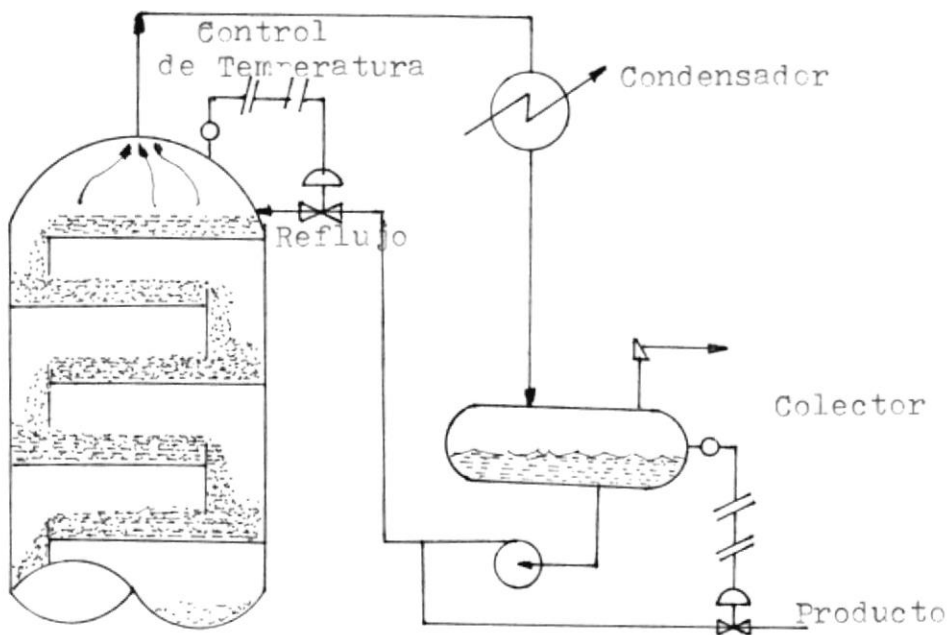


FIG. 2-11.- reflujo del domo.

2.7. TIPOS DE REFLUJO.- Se pueden distinguir tres tipos de reflujo en una columna.

2.7.1.REFLUJO INTERNO.- Es aquel que desciende plato a plato en el interior de una torre o columna.

2.7.2.REFLUJO DEL DOMO.- Es de dos clases:

2.7.2.1. REFLUJO CALIENTE.- Es aquel admitido en la torre en su punto de burbuja. Al entrar al sistema no será calentado sino solamente vaporizado para salir por el domo. Es obvio que el reflujo interno o el rebosamiento de un plato a otro es esencialmente un reflujo de tipo caliente ya que se encuentra en su temperatura de ebullición y retirán únicamente el calor latente ya que la operación no envuelve ninguna diferencia de temperatura.

2.7.2.2. REFLUJO FRIO.- Es aquel que es inyectado al sistema a una temperatura menor del punto de burbuja. Este reflujo remueve la cantidad de calor igual a la suma del calor sensible mas el calor latente necesario para elevar su temperatura desde la del acumulador de reflujo hasta la temperatura del domo de la columna. Cuanto más baja fuera la temperatura del reflujo frío mayor será el volumen de reflujo interno producido.

2.7.3. REFLUJO CIRCULANTE.- remueve la cantidad de calor sensible representado por la diferenciaa de temperaturas en la circulación. Ese reflujo es retirado de la torre como líquido a alta temperatura y retorna al sistema después de haber sido enfriado. Puede ser convenientemente utilizado para retirar calor en puntos situados abajo del domo de la columna (reflujos intermedios) y ofrece las dos ventajas siguientes:

2.7.3.1. Tiene un nivel alto de temperatura cuando se lo retira de la torre y puede ser utilizado para precalentamiento del petróleo; dar calor a los rehervidores en unidades de fraccionamiento, etc.

2.7.3.2. Reduce el reflujo del domo y consecuentemente la carga de vapores que suben por la torre. Esto permite que la torre procese mayor cantidad de carga; sin embargo esto empobrece el grado de fraccionamiento como consecuencia de la disminución del volumen del reflujo del domo. Ver fig. 2-12-

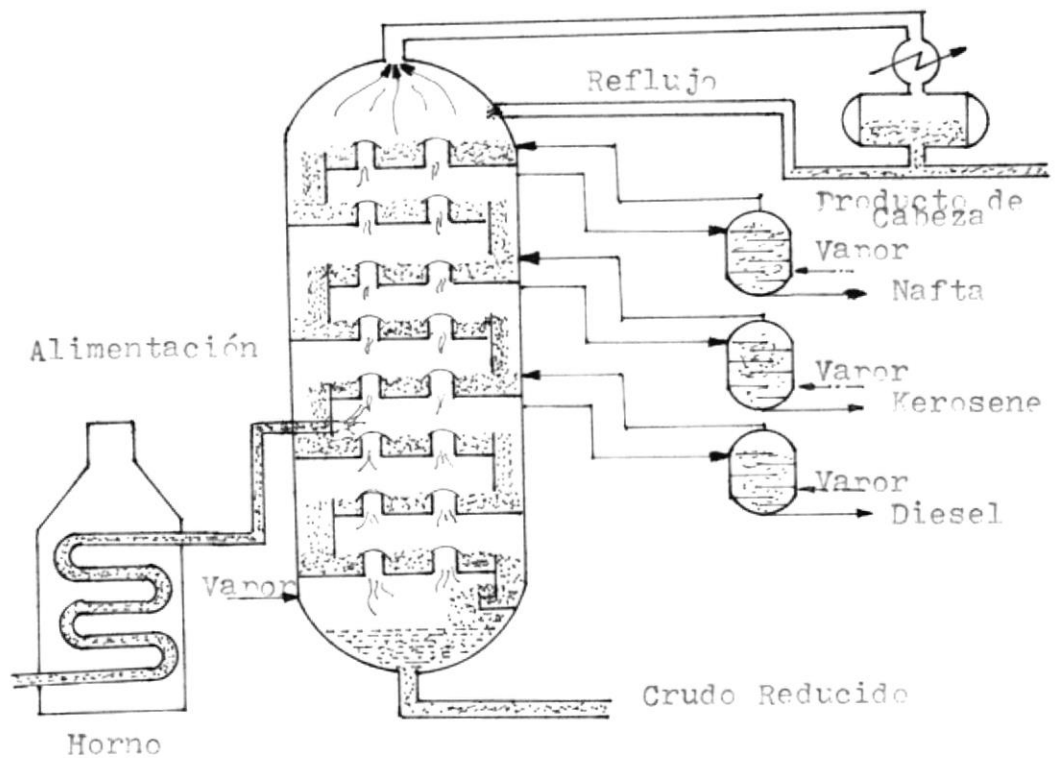


Fig. 2-12.- Torre de fraccionamiento. Reflujos.

2.8. LAS PRINCIPALES VARIABLES DE OPERACION Y SUS RELACIONES ENTRE SI.-

El éxito de la operación del equipo de destilación, depende del conocimiento que se tenga acerca de lo que sucede en el interior de la torre.

La destilación o fraccionamiento es un proceso complicado que exige razonamiento. La presión, la temperatura y las cantidades de flujo (Carga y reflujo) afectan al proceso. Para trabajar eficientemente estas variables, se necesita un razonamiento correcto.

El razonamiento lógico es un proceso de "paso por paso", que permite al operador cambiar o ajustar las condiciones para una operación más eficiente.

Cualquier cambio en el producto que requiera que el operador corrija la operación, presenta variables que debe tener en cuenta. Puesto que son muchos los factores que afectan la operación, será conveniente considerar los principales en orden de importancia. Cuando se sabe lo que está sucediendo y se han considerado las diferentes formas de corregirlo, el operador puede actuar y corregir o cambiar la operación.

La habilidad de un buen operador, se desarrolla en parte por el hábito de pensar ordenadamente.

Lo primero que hay que hacer es reunir información. Cuando se tenga la información, considerar el problema.

Cuando se tenga resuelto el problema, corregir la operación y finalmente comparar los resultados.

La temperatura, la presión y las cantidades de flujo (Carga y Reflujo), son factores primordiales en la operación. Así pues, para llevar a cabo cualquier destilación o fraccionamiento, se proporcionará al operador las especificaciones de los productos, la temperatura deseada, presión y cantidad de flujo.

El trabajo del operador será ver que los productos tengan y conserven las especificaciones deseadas, para lo cual la unidad está operando. El operador ajustará o cambiará una o varias variables.

2.8.1.- TEMPERATURA.- La composición de un producto determina su temperatura de ebullición. La composición de un producto también determina la cantidad que de éste puede obtenerse de una carga determinada.

Con temperaturas altas se obtienen productos pesados; y a temperaturas bajas se obtienen productos ligeros.

Si la temperatura del domo es muy alta el producto del mismo será muy pesado y se obtendrá en mayor cantidad. Si por el contrario la temperatura de la cima o domo es muy baja el producto del mismo es muy ligero y se obtendrá en menor cantidad.

Así mismo, si la temperatura del fondo es muy alta el producto será muy pesado y se obtendrá menor cantidad de él.

Si la temperatura de un plato donde esta siendo extraído un corte lateral, es muy alta, el producto lateral será muy pesado. Si por el contrario, la temperatura de este plato es muy baja, el producto lateral será muy ligero.

Generalmente temperaturas altas, producen rendimientos altos en el domo y bajos en el fondo. Así, una temperatura alta en la carga, envía componentes pesados a la sección de rectificación de la torre. Si por el contrario la temperatura de la carga es muy baja, se vaporizará menos material en el plato de alimentación y este material no vaporizado, descenderá a la sección de agotamiento.

En una torre con recalentador, el calor que produce o proporciona éste, también afecta la composición de los productos. Si la temperatura del recalentador es muy alta, los componentes se vaporizan si suben a la torre. Pero si la temperatura del recalentador es muy baja, muchos componentes ligeros se condensarán, pasando a formar parte del fondo.

La cantidad de reflujo que se inyecta en el domo de la torre, también determina la temperatura de la misma. Al aumentar el reflujo, la torre tiende a enfriarse y si éste disminuye la torre se calienta.

2.8.2. PRESION.- Uno de los usos de la presión en una torre destiladora, escambiar el punto de

ebullición de un líquido. Si la presión se reduce, los líquidos hierven a temperaturas más bajas. Por Ejem.; los aceites pesados necesitan temperaturas altas para separarse de las fracciones más pesadas. A la presión atmosférica y a esas temperaturas puede haber desintegración. Sin embargo si la presión se reduce a menos de la atmosférica (vacío), las fracciones más pesadas hierven a temperaturas más bajas.

La presión también puede alterar el volumen de material que maneja la torre. Puesto que el vapor puede ser comprimido, un aumento de la presión disminuye el volumen que el vapor ocupa, pero en este caso la torre debe estar hecha para resistir presiones relativamente altas, dado a que los platos generalmente son ligeros y no están hechos para resistir cambios bruscos de presión. Estos cambios pueden dar lugar a que el plato se dañe y en algunos casos quede inservible. Sin embargo la presión es una variable que el operador rara vez necesita cambiar. Las torres generalmente están equipadas con válvulas de control para regular automáticamente la presión.

Puesto que cambios bruscos en la presión pueden dañar los platos, además de alterar los puntos de ebullición, dando lugar a que se vea afectada la calidad de los productos. Es conveniente vigilar cuidadosamente la presión de trabajo de la torre, pero normalmente

el operador no la ajustará o cambiará en caso de falla en el control automático, el operador efectuará las maniobras necesarias para controlar normalmente la presión de la torre.

2.8.3. VARIABLE DE FLUJO.- Generalalmente si se aumenta o disminuye la carga, este cambio afectará la composición de los productos y la temperatura de la torre; ya que la alimentación es una fuente de calor, así como una fuente de material.

Así mismo, al variar el reflujo del domo, cambiará la temperatura del domo cuando la torre esta funcionando normalmente, todo el material que entra, sale de la torre. Así, pues, todo el material que entra como alimentación saldra como producto: Del domo, laterales y del fondo.

Por otra parte, la energía suministrada a la torre, será igual al calor que sale de la misma.

Cuando se agrega calor para subir la temperatura de un líquido se llama calor sensible. Una vez que el líquido ha alcanzado su punto de ebullición, al agregar más calor no aumenta su temperatura; Sino que el líquido se vaporiza este se llama calor latente..

Así, el proceso donde se agrega calor latente se llama vaporización.

El proceso donde se quita calor se llama condensación.

Puesto que el calentador vaporiza el material li-

gero y regresan los vapores a la torre, el recalentador suministra la mayor cantidad de calor latente.

El calor sale de la torre con los productos, y el agua de enfriamiento del condensador lo retira del sistema. Así pues, la cantidad de calor latente depende de la cantidad de vapores condensados en el condensador. La cantidad de calor sensible retirada de la torre, depende de la cantidad y de la temperatura de los productos que sale.

2.9. CONTROL DE LA TORRE PARA UNA OPERACION NORMAL.

La revisión periódica de los instrumentos le dirán cómo están las temperaturas, la presión, la cantidad de carga y de reflujo.

La prueba de calidad de los productos le indicarán si éstos llenan las especificaciones requeridas.

Si una prueba demuestra que uno o varios productos están fuera de especificaciones, es necesario encontrar la causa y corregirla. Una torre que está elaborando un producto fuera de especificación, pero que está operando normalmente, es relativamente fácil de controlar. Generalmente se controla la calidad de los productos ajustando la temperatura.

Si la lectura de algún instrumento indica que alguna variable de operación ha cambiado, deberá averiguarse que repercusión ha tenido en los productos.

Para estar seguro que se ha encontrado el cambio

verdadero del problema, es necesario dedicar tiempo a obtener información y compararla contra lo encontrado, antes de hacer alguna corrección en la operación.

Cuando se tenga la seguridad de como proceder, entonces se hará el cambio o ajuste en la operación. Después habrá que dar tiempo suficiente para que el cambio en la operación produzca efecto.

Si se ha escogido la variable correcta y se ha empleado el camino correcto, el producto saldrá con las especificaciones deseadas.

Si los resultados de las pruebas concuerdan con las especificaciones, y las condiciones de operación no han variado desde la última "lectura" del instrumento, es decir que es casi seguro que la torre opera correctamente, sin embargo si algún producto esta fuera de especificación, o las variables de operación han cambiado desde la última lectura, la torre no esta operando normalmente. En este caso el operador deberá verificar la exactitud de las pruebas y los instrumentos antes de proceder a corregir la operación. También podra tomar en cuenta la posibilidad de que alguien o él mismo haya cometido un error.

Puede ser que algún instrumento este descompuesto; si es asi, debe considerar como falsa su lectura.

Por ejemplo: Al tomar la lectura de los instrumentos, la correspondiente al reflujos indica que éste

ha sido aumentado. La presión, la carga y demás temperaturas permanecen iguales. Por lo tanto la lectura de la cantidad de reflujo o la temperatura del domo están equivocadas; las experiencias del operador le ayudará a determinar cual de las dos lecturas la deberá considerar como falsa. Puesto que el cambio de cualquier variable de operación pueda afectar todas las demás, es necesario considerar todos los efectos que pueden resultar al hacer algún cambio cuando sea necesario hacerlo. El operador deberá escoger aquel cambio de operación que lo lleve a obtener las especificaciones del producto con menor efecto sobre las otras condiciones de la torre.

Dado que los cambios de temperatura son afectados directamente por la composición y la cantidad de los productos casi todos los cambios que el operador lleva a cabo afectarán a las temperaturas. Todos los cambios repentinos causan fluctuaciones rápidas en la torre. Por esta razón es conveniente que todos los cambios necesarios sean hechos gradualmente.

Algunos problemas en operación normal de una torre son causados por el agua.

Si no es cuidadosamente vigilada, el agua puede entrar en la torre con la alimentación, o bien puede ser reinyectada con el reflujo.

En este segundo caso es muy común si el conden-

sador tiene tubos rotos. A diferencia de la mayoría de los aceites, el agua dentro de la torre puede vaporizarse, repentinamente y totalmente a una sola temperatura. El agua expande 1.600 veces su volumen original cuando se vaporiza a la presión atmosférica. Si este vapor no está completamente libre al expandirse, puede ocasionar cambios bruscos en la presión.

Estos cambios pueden causar deterioro de consideración en la torre.

Haciendo pruebas de laboratorio y llevando un control (Reporte) de las lecturas de los instrumentos de la torre, se tendrá una visión amplia de las condiciones de la misma.

La constante revisión de información y el cuidador de los instrumentos, le permitirán al operador mantener un control adecuado de la cantidad de los productos.

2.10. OPERACIONES ANORMALES EN UNA TORRE DE DESTILACION

Cuando una torre de destilación está operando anormalmente, es necesario que el operador haga uso de toda habilidad y criterio para analizar el problema.

Operaciones anormales pueden causar serios daños a la torre, además que disminuye la calidad de los productos.

Un buen operador no debe confiar completamente en las pruebas de laboratorio ni en las lecturas de los instrumentos. Nunca debe aceptar por seguro que los instrumentos de su torre están trabajando adecuadamente

y que las pruebas y que la información de que dispone son verdaderas.

Una situación que parece anormal no puede serlo debido a fallas de los instrumentos o información, o a resultados de análisis equivocados.

Una situación anormal puede originarse por una o más causas; por lo tanto, antes de tratar de corregirla, deberá investigarse en las causas posibles; el tiempo es un factor importante; puesto que una situación anormal puede ser seria y tornarse en grave. En este caso, el operador dispone de menos tiempo para descubrir la causa y escoger el remedio que en el caso de una operación normal. Es necesario pues, estimar el tiempo disponible para tomar una decisión correcta.

Para tomar una decisión correcta en un tiempo limitado, el operador deberá contar con la información necesaria o saber como y de donde conseguirla de inmediato. Debe saber como es y cual es el punto crítico de la situación o por lo menos saber de que tanto tiempo se dispone antes que la situación presente se torne grave.

De una situación anormal, el operador necesita hacer una revisión rápida de los medios disponibles, de los caminos probables y de las consecuencias que origina cuando toma una decisión. Debe conocer todas las alternativas o caminos posibles para poder actuar

debe reconocer todas las anomalías en determinada situación y sus relaciones entre sí.

Después de que haya considerado todas las posibilidades de corrección, deberá escoger la más conveniente. Una decisión incorrecta o mal considerada puede ser causa de un deterioro mayor del equipo.

Demasiada demora en la acción, puede causar que la situación se vuelva más grave o peligrosa. Teniendo varias situaciones posibles, el operador debe considerar siempre la más segura, no debe arriesgar su seguridad propia ni la de sus compañeros de trabajo o la seguridad de la torre.

Si el equipo y el personal no corre peligro, se puede escoger la decisión a corregir sin precipitación.

Enfrentarse a situaciones anormales es parte del proceso de destilación.

Un operador hábil debe tener en mente varias resoluciones ante una situación anormal, y deberá pensar anticipadamente si su primera decisión falla, y que hacer si la segunda también falla, es decir siempre deberá tener en mente otra alternativa.

Un operador alerta reconoce situaciones anormales rápidamente y actúa razonablemente para identificar las causas y corregir las fallas.

Sin precipitación escoge una corrección; la ejecuta, vigila, las controla y espera el resultado.

Si tiene tiempo para esperar, espera, si tiene que obrar rápidamente lo hace al momento pero sin precipitaciones

Teniendo en cuenta siempre la seguridad del personal y del equipo, debe poner a la torre en condiciones de operación normal.

Las operaciones anormales ponen a prueba la habilidad y condiciones de conocimiento del operador. También le da oportunidad de aprender un paso más acerca de su trabajo.

Entre los fenómenos que ocurren en las columnas tenemos:

2.10.1. ARRASTRE.- Es el transporte de gotículas de líquido de un plato al inmediatamente superior por intermedio del vapor.

La cantidad arrastrada depende de la velocidad del vapor en la torre, y provocará fraccionamientos deficientes y contaminación de productos.

2.10.2. FORMACION DE CAMINOS PREFERENCIALES.- Ocurre cuando el flujo del líquido es mínimo (reflujo externo pobre) lo que provoca niveles de líquido deficientes en los platos. En este caso no hay fraccionamiento.

2.10.3. PULSACION.- Ocurre cuando el flujo del vapor es insuficiente, entonces el vapor no tiene la presión suficiente para vencer la resistencia del nivel líquido sobre las válvulas, cuando llega la presión adecuada vence a la resistencia y el paso de vapor se realiza bruscamente, la presión del vapor dis-

2.10.4. PLATOS INUNDADOS.-

Cuando una sección de la torre esta inundada , un grupo de platos está lleno de líquidos. Un plato se inunda cuando trabaja arriba de su capacidad; esto es, cuando no puede manejar la cantidad de líquido o vapores requeridos.

Si la cantidad de vapores o de líquido que entra a un plato es muy grande, el plato se inunda. Para remediar éso se debe reducir la cantidad de vapores o bien el flujo del líquido que llega al plato.

Para que el líquido o el vapor fluyan debe existir una fuerza que los impulse la cual tiene que vencer todos los obstáculos que le hagan resistencia. En el interior de la torre hay dos fuerzas contrarias; para los vapores la fuerza que los impulsa a ascender es la presión, para los líquidos, la fuerza que los mueve es su peso. La fuerza que los vapores deben vencer es contraria a la que los líquidos vencen.

Para que los vapores suban, debe haber menos presión en el domo y mayor presión en el fondo. La diferencia entre estas dos presiones se llama caída de - caída de presión de la torre.

La Fricción es una fuerza que obstaculiza el paso de los vapores; cuando éstos suben por las chimeneas y las cachuchas de burbujeo, la fricción será mayor al

aumentar la velocidad de los vapores.

Los vapores deben burbujear en el líquido contenido en cada plato. Este líquido está cubriendo - las ranuras o los dientes de las cachuchas y descansa su peso en cada una de éstas aberturas. El peso del líquido se llama " Altura hidrostática" del plato, y es otra fuerza que se opone al paso de los vapores. Así pues, la fricción y la altura hidrostática de los platos, son fuerzas que oponen resistencia al paso de los vapores y para que éstos puedan ascender, deberán vencer dicha fuerza.

Puesto que el líquido es más pesado que los vapores, tenderá a fluir hacia abajo, impulsado por su propio peso. El peso dependerá de la profundidad del líquido y hemos dicho que éste peso se llama altura hidrostática.

Para descender por la torre, el líquido debe vencer la caída de presión de los vapores. Esta caída de presión deberá ser una fuerza la misma que - ofrece resistencia al paso del líquido.

La fricción del líquido en las bajantes de los platos, también obstaculiza el descenso de éste. Cuanto más aprisa pase el líquido por las bajantes, mayor fricción habrá.

Así pues, para descender el líquido, debe vencer la caída de presión de los vapores y la fricción en las bajantes.

Hemos dicho que las cachuchas de burbujeo pro-

ducen fricción que se oponen al ascenso de los vapores, lo cual da lugar que aumente la caída de presión cuando este aumento en la caída de presión queda balanceado con la altura hidrostática de las bajantes y esta altura es mayor que la distancia entre dos platos, la sección del plato está inundada.

Normalmente la composición del material es diferente de un plato a otro y de este modo la temperatura varía de plato a plato. Por lo tanto, si varios platos están inundados, la composición del material es la misma en todos ellos y así mismo la temperatura en estos platos será casi igual.

Así todos los platos inundados actuarán como un solo plato normal. Esta situación de hecho equivale a reducir el número de platos efectivos en la torre lo que origina una disminución de la eficiencia del fraccionamiento.

El resultado de la inundación es un producto de baja calidad.

En la sección inundada los vapores producidos tienden a empujar hacia arriba contra la altura hidrostática más alta, y la caída de presión será más alta que la normal, dando origen a que haya fluctuaciones en la presión de la torre.

La inundación de una sección de una torre puede ser reconocida por estas indicaciones.

- 1.- Los productos son de baja calidad
- 2.- Hay una diferencia pequeña entre las temperaturas de los platos de la sección inundada.
- 3.- La caída de presión es mayor que la normal.
- 4.- La presión de trabajo de la torre fluctúa constantemente.

Puesto que la inundación tiene como consecuencia productos de calidad baja, el operador los pondrá dentro de especificaciones haciendo lo siguiente.

- 1.- Reduciendo el flujo de vapores. Esto se puede conseguir disminuyendo la temperatura de la carga
- 2.- O bien, reduciendo el flujo del líquido; recordando que la fuente de alimentación del líquido provienen de la carga y del reflujo.

2.10.5. PLATOS SECOS.

Un plato inundado esta lleno de líquido. Un plato seco esta vacío de líquido.

Un fraccionamiento ocurre cuando los vapores burbujan a traves del líquido contenido en los platos. En un plato seco no habrá contacto de vapores y de líquido; Por lo tanto no hay fraccionamiento en éste plato, dando lugar a que disminuya la eficiencia de la torre.

Normalmente se mantiene un nivel en cada plato por medio del líquido que desciende del plato inmedia-

to superior. Parte de los vapores procedente del plato inferior se condensan al burbujear en el líquido, lo cual también ayuda a mantener el nivel del plato.

Las extracciones intermedias o laterales afectan el nivel del líquido en los platos de extracción, la extracción excesiva puede remover todo el líquido de un plato y consecuentemente éste no proporciona líquido para el plato inmediato inferior. Así pues, los platos secos pueden existir en una sección abajo de la plato que tiene una extracción lateral excesiva. Estos platos se sobrecalentarán y al estar más caliente provocarán una mayor vaporización.

Puesto que la temperatura en una sección seca es muy alta, el producto extraído inmediatamente arriba de estas secciones será muy pesado.

Los platos secos también pueden aparecer si entra a la torre una alimentación con vapores muy calientes. Estos vapores pueden estar tan sobrecalentados que vaporicen el líquido contenido en los platos colocados en el plato arriba de la carga.

La temperatura de una serie de platos secos es esencialmente la misma, por lo tanto no habrá fraccionamiento en ellos, como ocasionando que los productos extraídos sean de baja calidad.

Puesto que en un plato seco no hay líquido, no

hay altura hidrostática y por consiguiente habrá menos resistencia a que los vapores asciendan, dando lugar a que la caída de presión sea menor que la normal.

Si los platos secos aparecen justamente abajo del lugar donde se hace una extracción lateral, esta anomalía se puede corregir disminuyendo la calidad cantidad de producto que está siendo extraído.

Para corregir los platos secos causados por sobrecalentamiento de la carga, débese reducir la temperatura de la alimentación.

2.10.6. NIVELES ALTOS.

Una torre que está operando normalmente, mantiene una cantidad constante de líquido en el fondo. La altura que tiene este líquido se conoce como "Nivel de la torre".

El nivel de la torre es controlado ajustando el flujo del producto del fondo. Para bajar el nivel se aumentará la cantidad de producto extraído del fondo, en tanto que un nivel bajo se corrige disminuyendo la extracción.

Si el nivel del líquido sube muy alto, entrará este líquido a la sección de platos de la torre y estos platos se comportarán como si estuvieran inundados. Este aumento de nivel puede ser causado por bastante líquido que entra en la torre y muy poco producto extraído del fondo.

Una torre inundado y una torre con nivel alto

se comportarán en la misma forma, excepto que la inundación puede ocurrir en cualquier punto de la torre; en tanto que el nivel alto se originará únicamente en el fondo de la torre.

2.10.7. PLATOS ALTERADOS.

Si alguno de los platos no funciona correctamente se verá notablemente disminuida la eficiencia de la torre, puesto que cualquier plato que este alterado o caído, no proporciona buen contacto entre los vapores y el líquido .

Bajo ciertas condiciones de operación anormal o incorrecta, los platos pueden aflojarse o caerse y las cachuchas de burbujeo pueden tambien aflojarse y romperse.

Los platos pueden alterarse por velocidades de vapor repentinamente altas/. Este aumento de velocidad puede alterar o levantar los platos de su posición nivelada y sacarlos de su lugar.

El agua entrampada remanente del labado de una torre, también puede alterar los platos si la torre se arranca en forma incorrecta; puesto que si dicha agua se vaporiza por un repentino aumento de temperatura, el vapor producido ocupa un volumen 1600 veces superior al del agua, provocando un aumento violento de presión. Tal variación de presión, puede levantar los platos y romper las cachuchas de burbujeo.

Los platos alterados no efectúan fraccionamiento . Si se altera una serie de platos, la sección de la torre donde ellos están, tendrá poca diferencia de temperatura.

Los platos alterados o caídos, generalmente ofrecen poca resistencia al paso de los vapores, lo que da lugar a que la caída de presión disminuya. Así pues, los platos alterados, como los platos secos, tienen una caída de presión menor a la normal.

Los platos alterados no pueden regresar a su lugar original ajustando temperaturas, presión o flujos. El único modo de arreglarlos, consiste en entrar a la torre y ajustarlos manualmente. Una reparación de este tipo es costosa, pues además del costo normal de la reparación, hay que poner fuera de operación a la torre.

2.10.8. PERDIDA O FALLA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Las descomposturas mecánicas de las bombas o las fallas de energía, pueden traer como resultado que en determinado momento no se cuente con agua de enfriamiento.

El agua de enfriamiento se usa para condensar los vapores del domo y para enfriar los productos, esto es, quita calor al sistema. Si el agua de enfriamiento llega a fallar y no se hace algo para remediar ocurrirán desperfectos en el equipo.

Los vapores del domo una vez condensados, se

dividen en dos corrientes. Una corriente se extrae como producto y la otra es regresada a la torre como reflujo.

Al fallar el agua de enfriamiento, habrá un exceso sobre calentamiento en el condensador de vapores del domo, que puede ocasionar incrustaciones en los tubos del haz. Por otra parte, los vapores del domo no se condensarán y consecuentemente no habrá líquido para reflujar a la torre, y si no hay reflujo la temperatura del plato del domo aumentará dando lugar a que el producto sea más pesado.

Si esta situación se prolonga durante demasiado tiempo, se puede tornar peligrosa para el equipo y el personal.

Para compensar la pérdida del agua de enfriamiento, el calor que es suministrado a la torre, debe ser reducido drásticamente y rápidamente bajando la temperatura a la carga, apagando parte o todos los quemadores del calentador. Sin embargo la temperatura interior de la torre debe conservarse hasta donde sea posible o bien bajarse gradualmente, pues como es conocido variaciones bruscas de temperatura pueden dañar el equipo.

2.10.9. CAMBIOS RAPIDOS E INNECESARIOS.

Cuando cualquier condición de operación necesita cambiarse, deberá ser cambiada gradualmente, para una operación eficiente en la torre.

Los cambios rápidos innecesarios al tratar de controlar la torre causan operaciones inestables, puesto que pueden desbalancear las condiciones de operación. UN cambio rápido en el reflujo, por ejemplo, causará fluctuaciones en el balance de líquido y vapores de cada plato de la sección de rectificación y en el balance que existe entre un plato y otro. Durante la operación de una torre, generalmente hay depósitos extraños dentro de la misma. Un cambio repentino en la operación puede causar que estos depósitos se muevan o suelten y bloqueen o tapen las bajantes o las cachubas de burbujas.

Cuando las temperaturas de proceso son cambiadas, la temperatura de todos los metales y de su equipo auxiliar también cambian.

Los cambios rápidos o fluctuaciones en la temperatura crean esfuerzos térmicos por calor en el equipo. Estos esfuerzos pueden traer como consecuencia fugas en las conexiones de la torre, registros y en recalentadores.

2.11. PARADAS Y REPARACIONES.

2.11.1. DEPOSITOS EXTRAÑOS Y TRAMPAS DE LIQUIDOS.

Los depósitos extraños presentan problemas especiales en la operación de una torre de destilación. Depósitos tales como: suciedad, cascarilla, carbón, etc. pueden tapar o bloquear los conductos de vapores(Chimeneas y ranuras de las cachuchas), los conductos del líquido (bajantes), o bien pueden bloquear los drenes de los platos, obstruccionando el drenado del líquido durante las paradas.

Las temperaturas de carbonización, suciedad en la alimentación y los materiales corrosivos, son las principales fuentes de depósitos extraños. La temperatura de carbonización de un hidrocarburo es la temperatura a la cual el hidrocarburo se combina en una reacción química para formar un compuesto sólido y pesado llamado carbón.

Las bajantes y los escurrideros bloqueados dan lugar a la formación de trampas de líquidos. Las trampas de líquidos se forman cuando éste es retenido en una bajante o un plato. Si el líquido atrapado es un hidrocarburo, y éste permanece despues de una parada, puede dar lugar a que se formen vapores combustibles en el interior de la torre.

Platos torcidos o desnivelados pueden dar lugar también que el líquido sea retenido en los puntos

bajos en el momento de parar la torre; por tal razón debe procurarse que todos los platos estén perfectamente nivelados.

Los depósitos de agua que permanezcan después del lavado y vaporizado de una torre, pueden repentinamente vaporizarse y producir cambios en la presión. Estos cambios pueden deformar los platos y levantar las cachuchas de burbujeo. Aumentos grandes de presión pueden destruir las torres.

2.11.2. MEZCLAS EXPLOSIVAS.

Las mezclas explosivas deben evitarse en todo equipo que se maneje.

Una mezcla explosiva es una combinación de vapores de hidrocarburos con aire, que explotará al encenderse.

Donde quiera que el aire empiece a mezclarse con un hidrocarburo, debe suponerse que la mezcla se hará explosiva.

Cuando una torre se pone fuera de servicio, los vapores de hidrocarburos deben eliminarse antes de permitir la entrada de aire en el interior. Así mismo, al reanudar la operación, el aire debe ser eliminado antes que sea permitida la entrada a los hidrocarburos.

Normalmente, al elevar la presión se aumenta el rango de explosividad de un hidrocarburo. Al bajar la presión se disminuye la posibilidad de una mezcla

explosiva; puesto que una disminución de presión reduce la cantidad de hidrocarburos presentes. La posible fuerza explosiva es entonces disminuida.

Al depresionar la mezcla explosiva no debe tenerse contacto con una fuente de ignición. La electricidad estática, calor, chispas, sulfuro de hierro, pueden ser fuentes de ignición.

8.11.3. PARADAS.

Para poner fuera de operación la torre, primero se deberá bajar gradualmente la temperatura del horno. Una vez que la torre se ha enfriado suficiente y el reflujo ha sido cortado, la corriente de alimentación a la torre debe ser suspendida. Inmediatamente que la temperatura empieza a descender los productos se saldrán de especificaciones. Estos deberán ser enviados a un lugar apropiado, donde no contaminen los productos terminados y almacenarlos ahí hasta que puedan ser nuevamente procesados.

A medida que la temperatura disminuye, la presión también disminuye. Si no se mantiene algo de presión en la torre en su interior, puede ocurrir un vacío y generalmente las torres de destilación no están diseñadas para resistir vacíos. En ocasiones para evitar el vacío, se inyecta a la torre un material inerte siendo éste un gas inerte o un hidrocarburo gaseoso o también vapor de agua.

Después de unaparada la torre deberá vaciarse y drenarse. Un drenado completo evitará la formación de trampas de líquido. Si algo queda atrapado, puede dar lugar a la formación de nuevos vapores de hidrocarburos y al abrir la torre existe la posibilidad de que se formen mezclas explosivas.

Para drenado completo, las bajantes y los agujeros de escurrimiento de los platos deben estar completamente libres. El completo drenado de la torre hará más rápido que la torre este libre para ser revisada.

2.11.4. PREPARACION PARA ENTRAR A REVISAR.

Después de que una torre ha sido parada, vaciada y drenada, deberá bloquearse, ya que existe la posibilidad de que hidrocarburos u otros materiales usados en unidades que continúen en operación, entren a la torre.

La torre puede cerrarse bloqueando todas las válvulas de entrada y salidas; sin embargo existe la posibilidad que alguna de estas válvulas tengan pase. Para mayor seguridad el bloqueo se efectúa colocando juntas ciegas en los lugares necesarios.

Una vez que la torre ha sido completamente bloqueada y aislada del resto del equipo, deberán removerse los vapores de hidrocarburos que aún contiene en su interior. Esta operación normalmente se efectúa

usando vapor de agua como medio de arrastre.

Tanto los hidrocarburos como el vapor de agua se eliminan a la atmósfera "venteando" la torre. Venteo la torre es abrirla al aire. El venteo debe realizarse por el punto más alto de la torre, para lo cual, normalmente las torres cuentan con el dispositivo para efectuar esta operación con cierta seguridad.

Cuando la torre está siendo venteada, aún es posible que se formen mezclas explosivas; por esta razón esta maniobra deberá hacerse con precaución e inyectando suficiente vapor de agua.

Si los escurrideros o drenes de un plato están bloqueados por depósitos extraños, ese plato no fue drenado, y el vapor todavía puede dejar residuos de hidrocarburos líquidos en el plato. Por tal motivo, después de vaporizar la torre, ésta debe ser lavada con agua en abundancia.

Puesto que el ~~agua~~ y los hidrocarburos líquidos y el aceite flotan sobre el agua; al hacer nivel en los platos los hidrocarburos atrapados en ellos flotarán y derramarán de un plato a otro, hasta salir por el fondo hasta salir por el fondo de la torre, que previamente debe estar abierta a un drenaje industrial. La vaporización y el lavado con agua, pueden no ser suficientes. Todavía pueden quedar en la

torre depósitos difícil de remover. Estos depósitos pueden o no contener aceite o hidrocarburos de otro tipo y favorecer la formación de una mezcla explosiva. La torre nunca deberá entregarse a reparación cuando solamente se presume que cumple los requisitos de seguridad. Hay que estar seguro.

Únicamente cuando se hayan efectuado todas las pruebas que indiquen que la torre reúne todos los requisitos de seguridad, se podrá entrar al interior, ~~para~~ inspeccionarlas. Si en la inspección se encuentra que aún hay depósitos de líquidos y de sólidos éstos deberán ser sacados de la torre. Los depósitos sólidos se desprenden por rasqueteo, principalmente cuando se sospeche que dichos depósitos contengan sulfuro de hierro; ya que este compuesto puede incendiarse espontáneamente cuando está seco.

Una vez que los depósitos que contengan sulfuro de hierro han sido sacados de la torre, deberán ser enterrados inmediatamente. Si de momento no es posible, cuando menos deberán mantenerse húmedos.

2.11.5. PRUEBA Y REVISION/

Después que la torre quedó completamente limpia, deberá comprobarse cuidadosamente que no haya corrosión y asegurarse que el equipo es lo suficientemente fuerte para su uso posterior. Una corrosión severa después de la última parada puede hacer que la torre quede insegura para operaciones subsiguientes.

La comprobación de corrosión deberá empezar por medir el espesor del metal de la torre.

Mientras que la torre está abierta para reparaciones, tanto los conductos para vapores(chimeneas), como las bajantes de líquidos, deberán ser inspeccionadas para asegurarse que están libres de obstrucciones.

Si alguna cañucha de burbujeo está obstruida , el conducto de vapores estará obstruido. Cualquier - b loqueo, aún parcial, de los conductores de vapores o de líquidos, puede causar deficiencias en la operación. El bloqueo total de cualquiera de estos conductos, hará una operación imposible.

Después de que todas las reparaciones han sido hechas, se le hará a la torre una última revisión, para estar seguros que ninguna herramienta, equipo, estopa,etc., ha sido dejada en su interior. Una prenda de vestir dejada en el interior. Una prenda de vestir d ejada en el interior de la torre, puede tapar una b ajante.

Una vez que todo ha sido comprobado y la torre c errada, la totalidad del aire contenido en la torre d ebe ser purgado para evitar la formación de una mezcla explosiva cuando se reanude la operación . El aire se elimina pasando un gas inerte o vapor de agua p or el interior de la torre. La ausencia de aire debe ser comprobada por medio de una prueba.

Después de que el aire ha sido removido, el equipo podrá conectarse para operar, retirando las juntas ciegas que se colocaron. La torre es presionada luego con un gas o vapor, para asegurarse de que no hay fugas en ella ni en el equipo conectado. Hecha la comprobación, el gas inerte o el vapor, es relevado por venteo. En caso necesario se hará una prueba hidráulica.

2.11.6. PREPARACION PARA OPERAR.- Al prepararse para operar, deberá comprobarse que todo el equipo auxiliar esté listo. La torre se arrancará junto con el resto de la unidad, de acuerdo con los procedimientos provisto para cada tipo de proceso.

Se iniciará la arrancada llenando el equipo auxiliar con material por procesar y "haciendo nivel" en la torre. Si trabaja a presión, se la presionará con un H.C. gaseoso. A continuación podrá establecerse la recirculación de la carga, y en éstas condiciones se iniciará el calentamiento hasta establecer las temperaturas de operación normal. Posteriormente, previas pruebas de laboratorio, se hará los ajustes necesarios para tener los productos dentro de las especificaciones

Para un buen arranque, los aumentos de temperatura y presión deben ser hechos gradualmente. A medida que éstos aumenten, todo el equipo será vigilado cuidadosamente. Los esfuerzos térmicos pueden causar fugas, los que en algunos casos obligarán a suspender nuevamente la operación.

2.12. PRUEBAS DE CALIDAD.

Los productos obtenidos en las torres de destilación deben estar sujetos a normas de calidad, llamadas "Especificaciones".

El control de la operación de las torres se basa en las pruebas de laboratorio, que se hacen para comprobar si los productos están dentro de las especificaciones requeridas. Con este fin se toman muestras de los productos cuantas veces se considere necesarias, y se analizan. Los resultados de los análisis, se comparan directamente con las especificaciones de los productos que estarán en poder del operador.

Si los resultados de los análisis no están de acuerdo con las especificaciones fijadas, pueden dar lugar a que el operador sospeche la existencia de una falla mecánica, o de otra naturaleza, tal como fugas en los intercambiadores de calor o en los condensadores. También puede pensarse en una posible falla de los instrumentos, orillando al operador a dudar de la exactitud de las lecturas de los mismos. O bien puede deberse a que alguna de las variables de operación, no esté dentro del rango adecuado. A continuación se describe la forma de interpretar los resultados de alguna de las pruebas de laboratorio más usuales en el fraccionamiento del petróleo crudo.

2.12.1 PUNTO INICIAL Y FINAL DE EBULLICION.

Una gran parte de la información acerca de los productos del petróleo, se puede obtener de una prueba de destilación de laboratorio, para lo cual se procede de la siguiente manera.

Se coloca la muestra en un recipiente y se calienta. Los vapores producidos se pasan a través de un condensador y se recolecta el condensado.

La temperatura a la que la primer gota se condensa y es recolectada, se le llama punto inicial de ebullición (P/ I. E.). La temperatura más alta alcanzada durante la destilación, se llama "punto final de Ebullición" (P.F.E.).

Por cada 10% de volumen recolectado en forma líquida, se anota la temperatura correspondiente. El líquido recolectado abajo de 10% se denomina "Corte Inicial". El líquido recolectado arriba del 90% se reconoce como "corte final".

Puesto que las fracciones ligeras tienen un punto de ebullición bajo, hierven primero; en consecuencia un corte lateral inicial largo indica la presencia de mucho material pesado; esto es, tendrá cortes con punto inicial y final de ebullición cortos.

2.12.2. PUNTO DE INFLAMACION.

La prueba de punto de inflamación se usa para indicar la tendencia que tienen los productos del petróleo a desprender vapores inflamables.

Esta prueba se lleva a cabo colocando una muestra de producto en una copa especial para tal objeto, y calentándola lentamente, a intervalos regulares, los vapores son expuestos a una fuente de ignición. La temperatura a la cual los vapores se inflaman o se encienden, se la llama " Punto de Inflamación ".

Los hidrocarburos ligeros tienden a encenderse más fácilmente que los hidrocarburos pesados. Así una muestra que contenga rastros de hidrocarburos ligeros se inflamará a más baja temperatura.

Por ejemplo; las especificaciones exigen un producto con punto de inflamación de 125-130°C. Si el resultado de una prueba de laboratorio, indica que tiene un punto de inflamación de 110°C, el producto contiene material ligero en exceso y consecuentemente está fuera de especificaciones.

2.12.3. PESO ESPECIFICO.

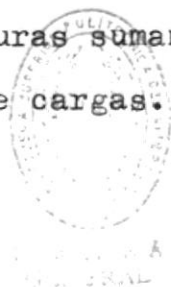
Es la relación entre el peso de una unidad de volumen de muestra y el peso de un volumen igual de agua a temperaturas standard, salvo que se establezca otra cosa, habitualmente estos datos son referidos a 15.6 °C.

Puesto que el peso específico del agua es la unidad; es decir, un litro de agua pesa un kilogramo una muestra con un peso específico de 0.828, por ejemplo; deberá interpretarse que un litro de esa muestra pesa 0.828 Kilogramos.

2.12.4. PRESION DE VAPOR REID.- Esta prueba es empleada para productos volátiles no viscosos como gasolina para motores u otros con presión de vapor más alta requiriendo un procedimiento especial para toma de muestras. La presión de vapor es una indicación de la presión que ejercerá un material dentro de un recipiente cerrado, y tiene especial importancia para los materiales cuyos puntos de ebullición son tan bajos que no pueden ser destilados a la presión atmosférica sin serias pérdidas. Este dato es importante con respecto a la seguridad en el transporte, cierres de vapor en la conducción de gasolina en los sistemas de alimentación, tipos de depósitos de almacenamiento en las características de arranque de los combustibles para motor.

2.12.5. COLOR.- El color de un producto sirve para indicarnos el grado de perfección en un proceso de fraccionamiento; en realidad, fracciones obtenidas de distinto aceite crudo, pueden tener diferente color, pero como existen otras propiedades que pueden servir de comparación; el color indica el grado de refinación alcanzado por la fracción.

El cambio de coloración puede ser producido por el empleo de temperaturas sumamente elevadas o por arrastres debido a sobrecargas.



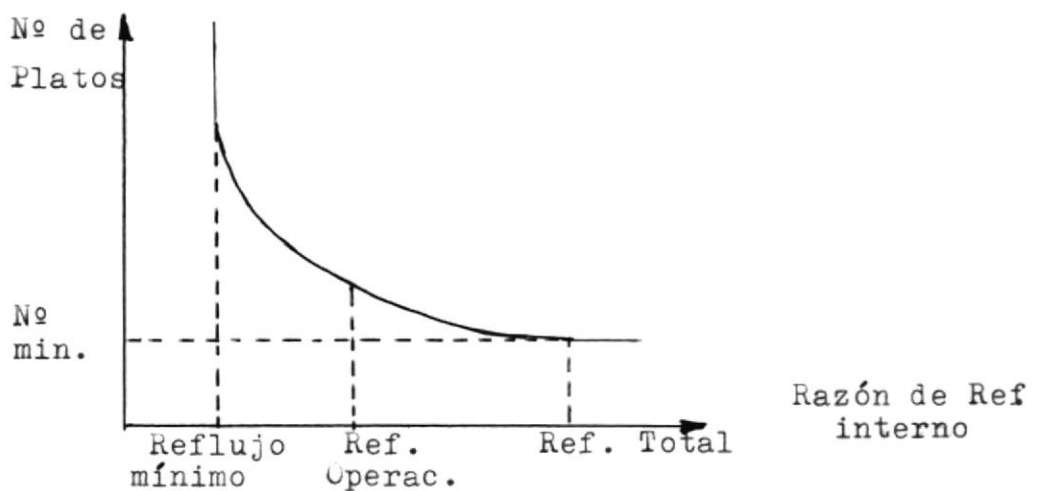
III.- SECCIONES DE UNA COLUMNA Y EQUIPOS ACCESORIOS.

3.1. SECCION DE RECTIFICACION.- Es la parte de la columna comprendida entre el plato que se introduce la carga y el domo de la torre.

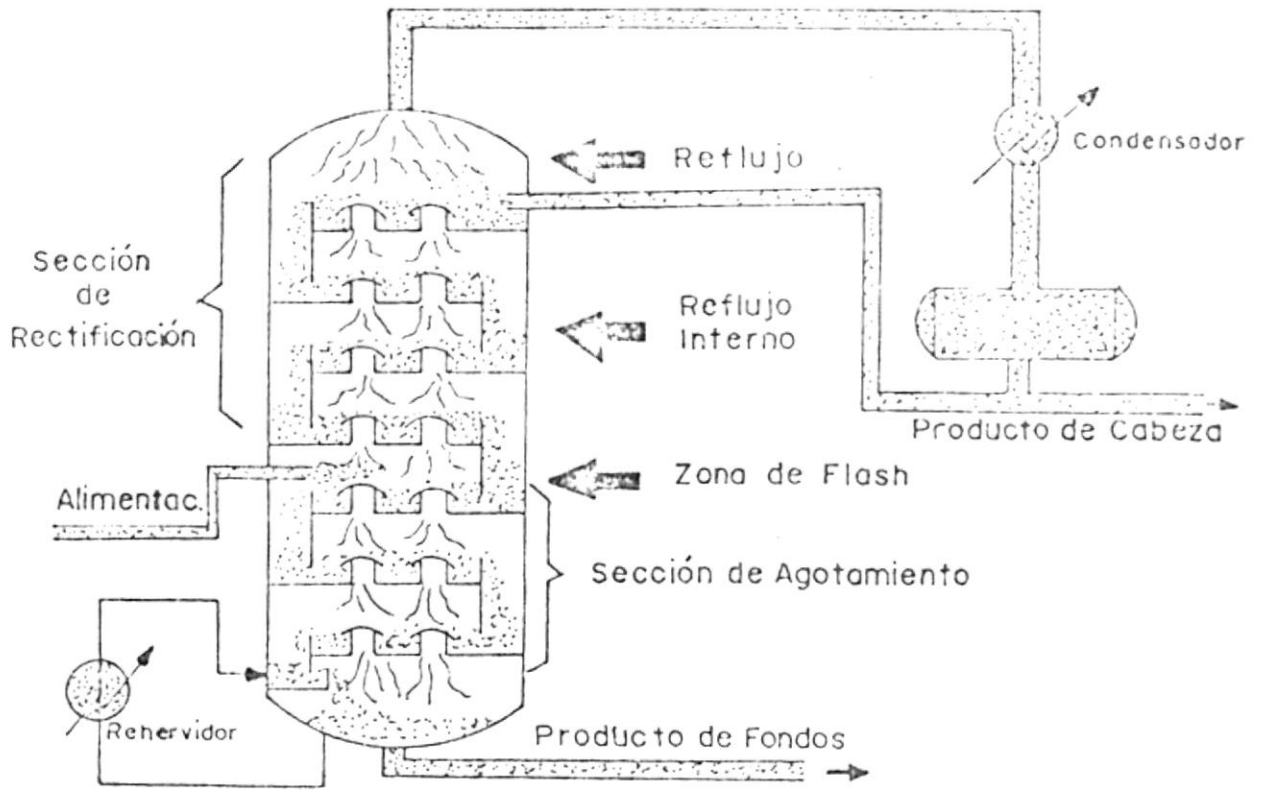
En esta sección se efectúa la concentración de los más volátiles, lo que significa que los platos situados arriba del plato de alimentación tienen un porcentaje de productos más livianos que en la carga.

3.2. SECCION DE AGOTAMIENTO.- Tiene como finalidad retener los compuestos ligeros del líquido descendente al fondo de la torre.

CONCLUSIONES.- Para una determinada columna con carga constante la razón de reflujo interno determina el grado de fraccionamiento, éste es óptimo si se trabaja con razones de reflujo interno altas. Ver fig. 3-1.



Número de Platos vs. Reflujo



3-1

FIG. 5 - 1 Secciones de una Columna

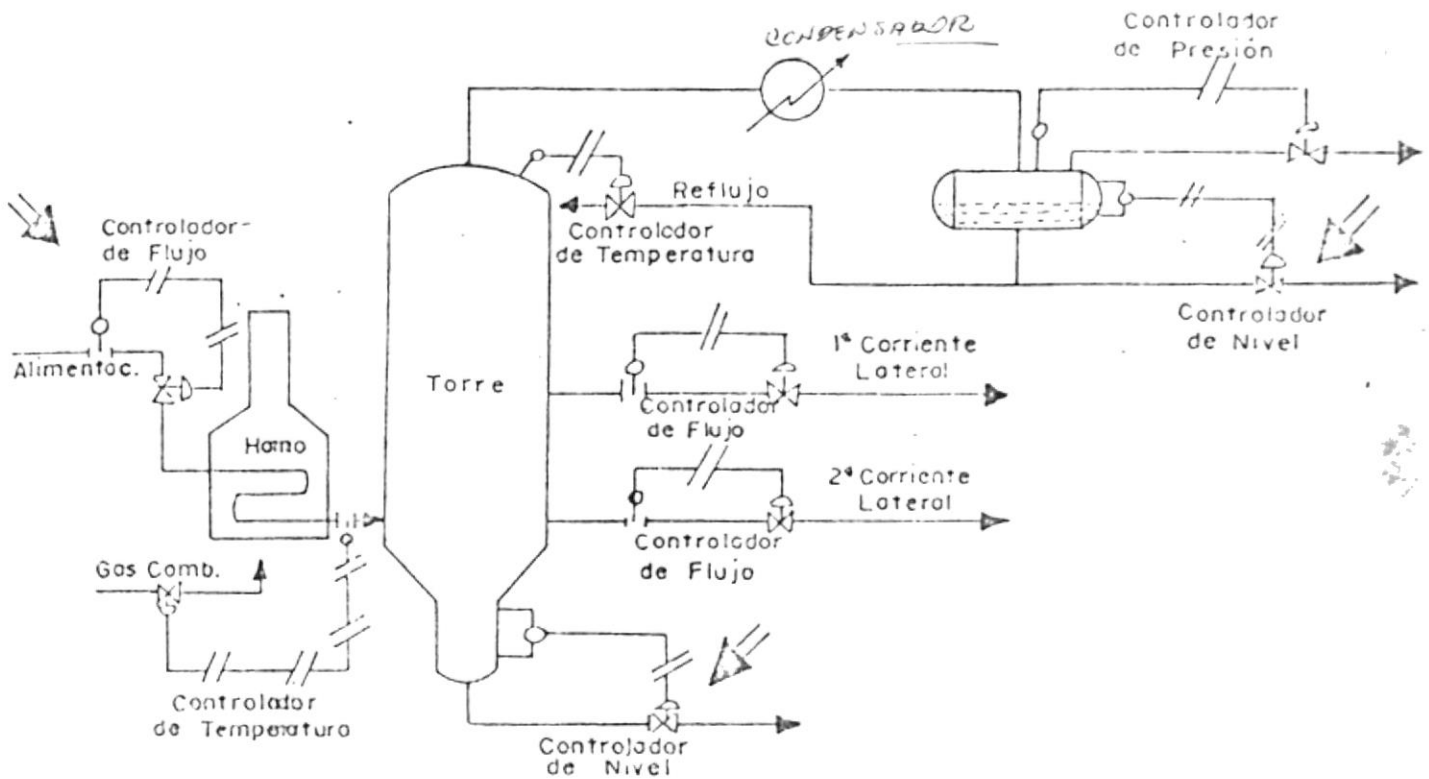


FIG. 5 - 2 Equipos Accesorios

3.3. NUMERO DE PLATOS? ALTURA Y DIAMETRO DE UNA

TORRE.- Para una destilación eficiente deberá usarse el número correcto de platos y éstos deberán estar convenientemente separados. Así la altura de una torre dependerá del número de platos, del espacio entre éstos y de la dificultad de separación de los componentes de la mezcla procesada. La pureza deseada en los productos afectará también el número de platos. Que sea fácil o difícil la separación de una mezcla con muchos componentes, depende del punto de ebullición de los componentes que vayan a ser separados. La separación de componentes con puntos de ebullición próximos será más difícil que separar componentes con puntos de ebullición lejanos. Por lo tanto ; una separación difícil requerirá del uso de más platos que una separación fácil.

En lo que se refiere al fraccionamiento cuanto menor es el número de platos de una columna tanto - peor el fraccionamiento.

Pueden ser construídas columnas con gran número de platos para operar con pequeñas razones de reflujo interno o columnas con poco número de platos para grandes flujos de reflujo interno para obtener un mismo - fraccionamiento de la carga siendo ésta la misma. Existe por lo tanto una relación entre el número de platos necesarios para un fraccionamiento requerido

y la razón de reflujo requerido, siendo éste interno en una columna.

RAZON DE REFLUJO MINIMA.- En vista de lo expuesto se concluye que existe una razón de reflujo mínima para el que la columna debería tener un número de platos infinito para conseguir el fraccionamiento.

REFLUJO TOTAL.- Necesitaría un número mínimo de platos para alcanzar un determinado fraccionamiento.

REFLUJO DE OPERACION.- La razón de reflujo interna mínima corresponde un reflujo externo mínimo. Se construye generalmente una torre considerando un reflujo externo de 1.5 a 2 veces el mínimo. Ver fig. 3-2.

Los platos deben estar lo suficientemente separados para permitir la decantación de las gotas líquidas arrastradas, para tener una altura de líquido correcta en los bajantes y evitar la inundación. El objetivo será entonces evitar el **ARRASTRE** en los vapores ascendentes. Los arrastres ocurren cuando pequeñas gotas de líquido suspendido en los vapores, son elevados al plato inmediato superior.

Frecuentemente el espacio entre los platos es determinado por la práctica, debido a la necesidad de penetrar en ellos cuando la torre se limpia y repara.

El diámetro de una torre depende del volumen de material que ella va a procesar. La separación entre plato y plato pueden estar comprendidas entre 50 a 60 centímetros.

3.4. TORRES DE FRACCIONAMIENTO.-

TIPOS.- Las torres o columnas industriales permiten en una sola operación realizar todas las operaciones de destilación y redestilación necesarias al fraccionamiento del petróleo resultando por ello en equipos económicos y de alta eficiencia.

Las torres se clasifican en dos tipos:

- A). TORRES DE FRACCIONAMIENTO
- B). TORRES DE RECTIFICACION.

Las torres de fraccionamiento pueden ser de 4 tipos.

- a).- Con bandejas dotadas de válvulas.
- b).- Con platos perforados.
- c).- Con baffles.
- d).- Empacadas.

Las torres con platos valvulados ofrece las siguientes ventajas:

- 1).- Realiza una buena separación entre las fracciones
- 2).- Puede operar con cargas variables.
- 3).- Proporciona gran contacto entre el vapor y el líquido.
- 4).- Todo el vapor que sube en dirección al domo entra en contacto con el líquido.

Ver figura. 3-3.

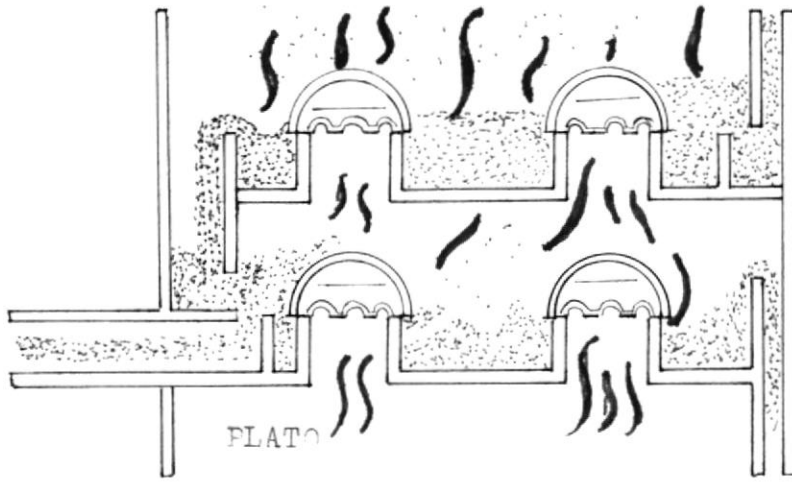


Fig. 3-3 Bandeja dotada de válvulas

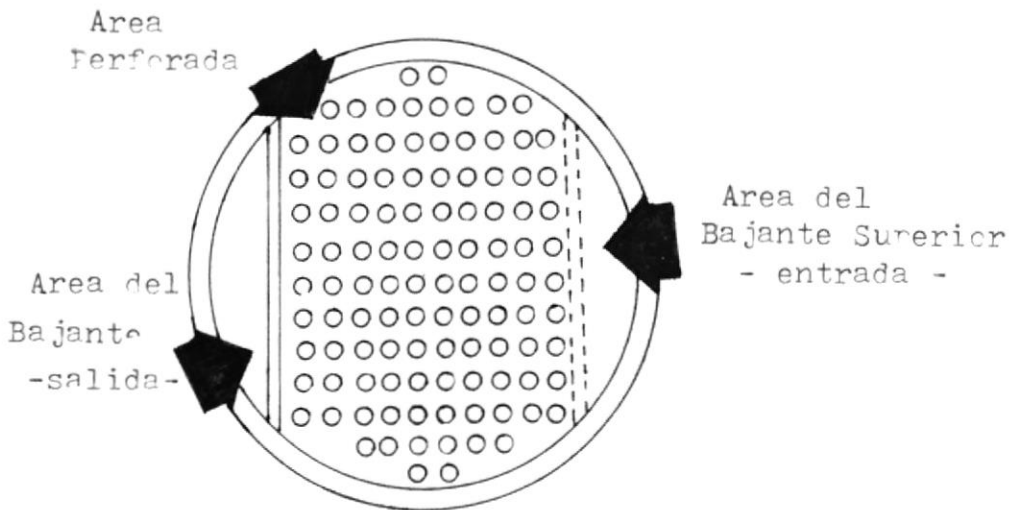


Fig. 3-4 Plato Perforado

PLATOS PERFORADOS: Difiere del anterior por el hecho que las bandejas tienen solamente agujeros, los diámetros son de la orden de 3 a 10 mm.

VENTAJAS: Ofrecen buen fraccionamiento, y son más baratos y dan pérdida de presión menor.

DESVENTAJAS.- Presentan poca flexibilidad operacional en cuanto a variación en la capacidad de las unidades.

Tienden a perder su nivel de líquido por fluctuaciones pequeñas de vapor ascendente dificultando su retorno a operación normal. Ver fig. 3-4.

PLATOS CON BAFLES.- Son usados en industrias que no necesitan separaciones eficientes o como rectificadores o en sistemas que pasan alta carga de vapor en el líquido.

TORRES EMPACADAS.- Se utilizan para cargas bajas, generalmente debe empacarse con anillos de rasching, monturas de Bert, monturas intalox, relleno Polbietniak.

DESVENTAJAS.- Es de difícil limpieza, es necesario retirar los materiales de relleno.

Puede haber formación de caminos preferenciales, siendo la separación deficiente.

3.5. CACHUCHAS DE BURBUJEO.-

La función principal de la cachucha de burbujeo del plato, es permitir que el líquido y los vapores entren en íntimo contacto. Estas cachuchas están dise-

ñadas para permitir que los vapores burbujeen a través del líquido, con máxima eficiencia de contacto.

La mayoría de las cachuchas de burbujeo son redondas y en la parte inferior tienen dientes o ranuras que permiten el paso de los vapores hacia el líquido hirviendo, contenido en el plato. Ver fig. 3-5.

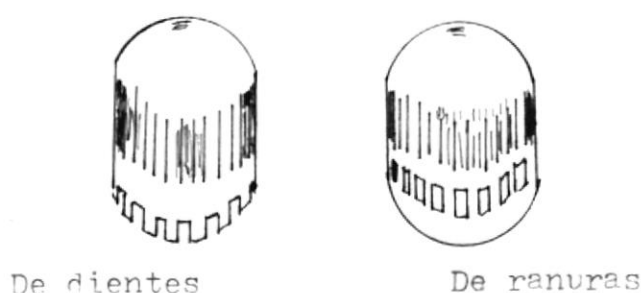


Fig. 3-5.- Cachuchas de burbujeo.

LAS ranuras o dientes de una cachucha, están diseñados para que queden colocados abajo del nivel del líquido. Estos dientes o ranuras, permiten la formación de las burbujas de vapores en el seno del líquido. Cuanto más pesadas sean las burbujas formadas, mayor será el área de contacto entre los vapores y el líquido.

La velocidad de los vapores a través de las ranuras o dientes de la cachucha será un rango establecido por el diseño de la torre. Si la velocidad de los vapores es muy baja, las burbujas formadas serán grandes y el fraccionamiento en el plato será muy pobre.

Si la velocidad de los vapores es muy alta, habrá poca formación de burbujas y los vapores pasarán a través del líquido sin contacto. Así pues, para un buen fraccionamiento, la velocidad de los vapores deberá ser moderada.

Las cachuchas de burbujeo van montadas sobre los elevadores o chimeneas.

3.6. ELEVADORES O CHIMENEAS.

Los elevadores o chimeneas son conductos verticales, generalmente cilíndricos, que permiten que los vapores de un plato asciendan hacia el plato inmediato superior. Cada elevador o chimenea se encuentra cubierto con una cachucha de burbujeo. ver fig. 3-6.



FIG/. 3-6.- Vista de una cachucha desarmada.

3.7. BAJANTES.

La bajante es un conducto a través del cual el líquido contenido en un plato, fluye hacia abajo, esto es hacia el plato inmediato inferior.

La chimenea proporciona un conducto hacia arriba para los vapores, en tanto que la bajante proporciona un conducto hacia abajo para el líquido o reflujo. Las bajantes son tanto de alimentación como de alimentación

La bajante que lleva líquido a un plato, procedente del plato de arriba, se llama bajante de "alimentación"

La bajante que permite que el líquido de un plato fluya hacia el plato de abajo, se llama bajante de "desalojamiento"/

El extremo inferior de una bajante constituye la alimentación de un plato y el extremo superior de la misma bajante, constituye el desalojamiento del plato inmediato superior.

Las bajantes de alimentación y de desalojamiento de un plato, se colocan de tal manera que el líquido es obligado a cruzar el plato antes de descender al inmediato inferior.

El área mínima del segmento que tiene y forma el bajante debe ser suficiente para que no haya inundación y que el líquido tenga tiempo de desgasificarse.

Se admite que la altura del líquido tranquilo debe ser aproximadamente la mitad de la separación entre platos y que el volumen total del bajante debe corresponder a un tiempo de residencia comprendido entre 5 y 8 segundos.

3.88 VERTEDEROS.-

Los vertederos son pequeñas paredes o mamparas apoyadas de canto sobre el plato. Al igual que las bajantes, los vertederos son tanto de alimentación como de desalojamiento.

El vertedero de desalojamiento está colocado precisamente antes de la bajante de desalojamiento y los líquidos que salen del plato deberán de derramar sobre él antes de entrar a la bajante. Este vertedero permite mantener un nivel líquido adecuado en el plato que obliga a que los dientes o ranuras de las cachuchas de burbujeo se mantengan sumergidos.

El vertedero de alimentación está colocado al lado de la bajante de alimentación. El líquido que fluye del plato de arriba por esta bajante, derrama sobre el vertedero antes de cruzar el plato; ayudando así a que el líquido se distribuya en todo el plato - Se le llama también vertedero distribuidor.

Los platos en los que se encuentran los vertederos, los mismos que son lugares naturales de bloqueo, puesto que en ellos se detienen carbón, tornillos y

otros materiales extraños que accidentalmente pudieran entrar a la torre.

Los platos tienen pequeños drenes o escurrideros consistentes en perforaciones de 1/4" a 1/2" de diámetro, distribuidos en su superficie. Cuando la torre es puesta fuera de servicio, estas perforaciones permiten que el líquido atrapado en los platos escurra, ayudando así al drenado de la torre.

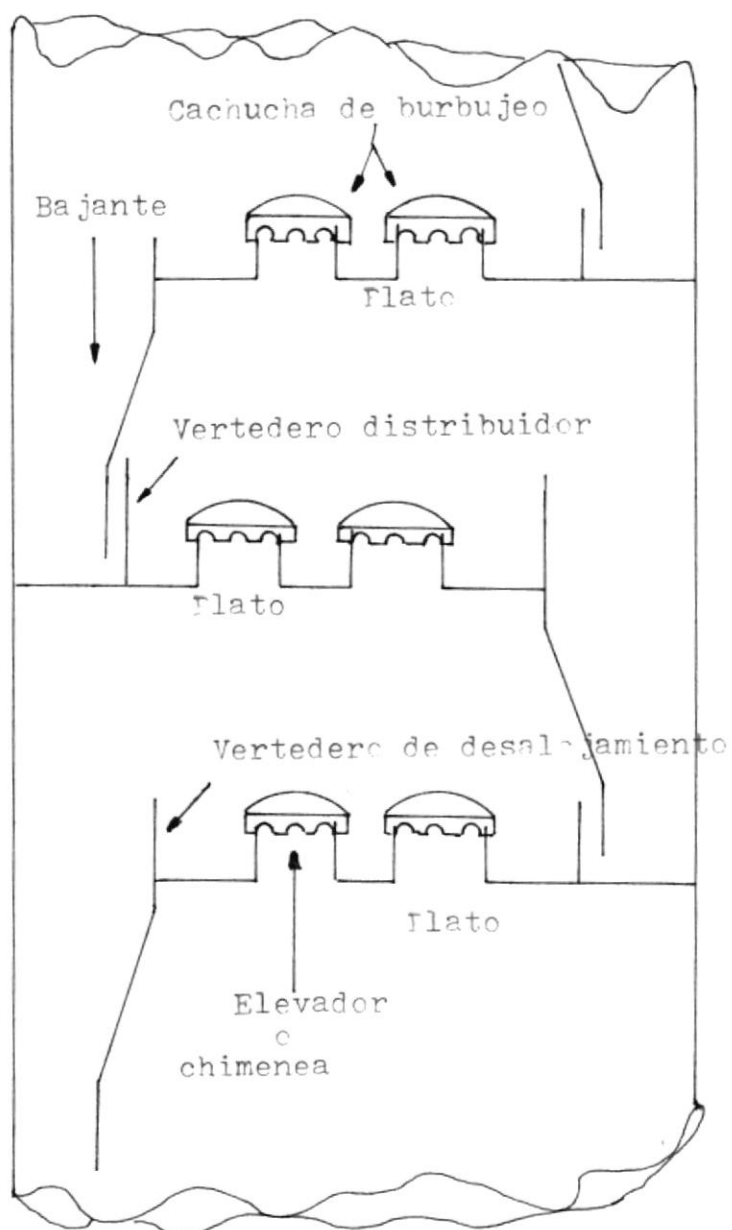
La altura del vertedero debe ser como máximo, igual a la altura de las chimeneas. Se podrá, además prever un sistema de regulación que permita ajustar la altura en función del caudal del líquido.

La altura del líquido por arriba del vertedero debe ser superior a 5mm. para asegurar un reparto correcto del líquido que fluye sobre el plato. Para caudales bajos, se deben elegir vertederos en diente de sierra con muescas que no excedan de 1 cm.

La longitud del vertedero representa de un 60 a un 75% del diámetro de la torre, para un solopaso y de un 50 a un 60% para un plato de doble paso. La anchura del vertedero central puede variar de 20 a 40 cm. La longitud del vertedero lateral no impone la sección del bajante pues, por debajo del vertedero la chapa que forma el bajante puede estar cóncava inclinada, lo que permite ganar superficie útil para colocar campanas suplementarias en el plato inferior.

Ver fig. 3-7.

FIG. Nº 3.7 .- Vertederos, Bajantes, elevador o chimenea y plato.



3.9. POZOS DE EXTRACCION.

La mayoría de los platos en la torre estan nivelados, pero los platos donde se hacen extracciones laterales, tienen un desnivel al extremo o al centro del plato, que permite efectuar la extracción sin afectar la eficiencia del fraccionamiento. Este desnivel recibe el nombre de pozo de extracción o cubeta.

En el pozo de extracción o cubeta se acumula un poco de líquido que permite hacer un corte lateral. Esta corriente de líquido posteriormente será extraído hacia un agotador. Ver fig. 3-8.

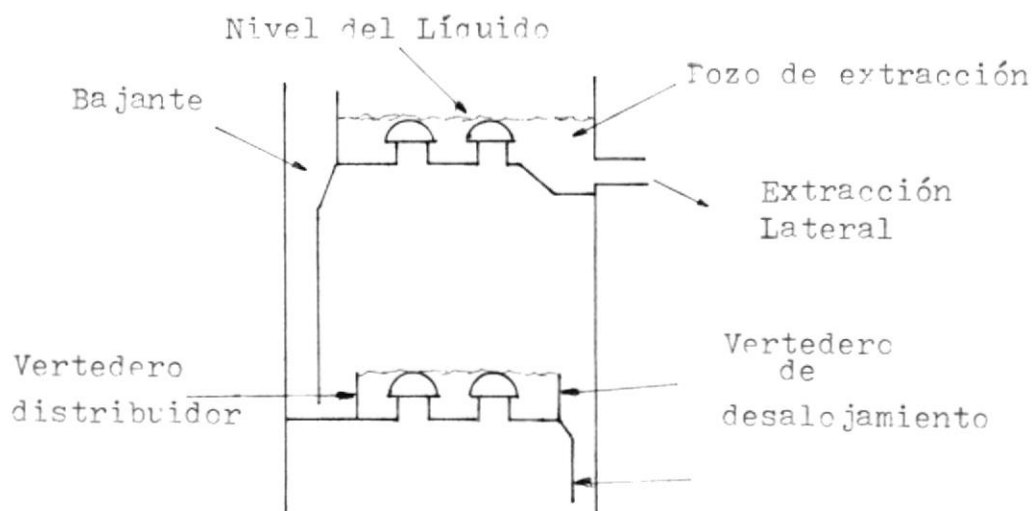


fig. 3-8.- Pozo de extracción.

3.10. DISTRIBUIDORES DE REFLUJO/.

El reflujo es retornado a la torre por el plato del domo. Si no hay nada que distribuya uniformemente el reflujo a lo largo del plato, todo el líquido será derramado dentro de la torre en un mismo lugar, originando que el contacto entre los vapores y el líquido

sea pobre. Si el contacto vapor-líquido es pobre, disminuirá sensiblemente la eficiencia del plato.

Algunas torres tienen accesorios que permiten distribuir uniformemente el reflujo sobre todo el plato del domo. Estos accesorios reciben el nombre de "Distribuidores de Reflujo". Ver Fig. 3.9.

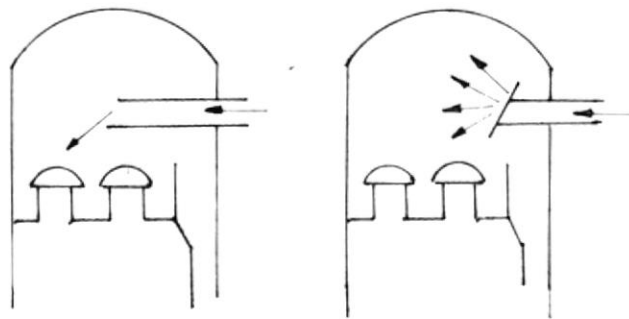


Fig. 3-9.- Distribuidores de reflujo.

3.11. ELIMINADORES DE NIEBLA/. (MALLAS).

Los arrastres ocurren cuando gotas de líquido - suspendido en los vapores, son llevados de un plato al siguiente, o al domo.

Los arrastres pueden ocasionar serios trastornos cuando el producto del domo debe ser un gas o un vapor seco. Pueden ser evitados controlando la velocidad de los vapores y con la adecuada separación entre plato y plato. También pueden suprimirse colocando mallas - donde el arrastre cause serios trastornos. Estas mallas reciben el nombre de "Eliminadores de niebla!".

Las mallas están construidas de telas tejidas de a lambre fino, de tal manera que los vapores puedan pasar fácilmente a través de la malla, pero no las gotas de líquido. Estas mallas deberán estar libres de materia extraña o suciedad, pues si se tapan impiden el paso de los vapores. Ver fig. fig. 3-10.

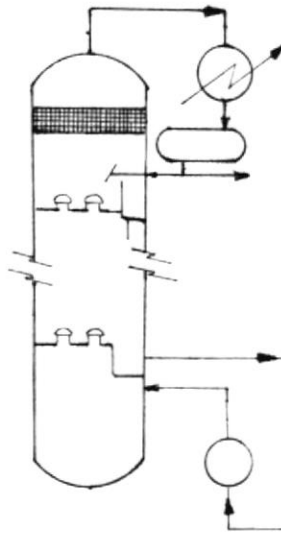


Fig. 3-10.- Eliminador de niebla (mallas).

3.12. VALVULAS DE SEGURIDAD O DE RELEVO.

Para proteger las torres si la presión sube a arriba de la presión normal, se instalan válvulas que entran en acción automáticamente al alcanzar la presión de relevo. Estas se conocen con el nombre de válvulas de seguridad o de relevo.

Se entiende por "presión normal de operación" aquella presión a la cual la torre debe operar.

"Presión de relevo" es aquella a la cual los -

dispositivos de relevo deben entrar en acción.

Las torres deberán ser operadas normalmente de tal manera que las válvulas de seguridad rara vez actúen, puesto que cada vez que éstas entran en acción, es indicio de que algo va mal.

Es peligroso que los dispositivos de seguridad se encuentren bloqueados mientras la torre está en operación. Cualquier obstrucción en la válvula de relevo pondrá en peligro la seguridad de la operación de la torre. Si la presión es excesiva y la válvula de relevo no opera puede ocurrir una ruptura en la torre.

3.13. TOLERANCIA A LA CORROSION.

Las operaciones del equipo usado en el proceso de destilación son caras. Un daño fuerte y costoso puede ser causado por "corrosión" de las superficies del metal. Se dice que hay corrosión, cuando elementos contenidos en el material procesado "desgastan" las partes de metal del equipo. Por ejemplo; compuestos de azufre y sal, contenidos en el petróleo crudo son fuente grande de corrosión.

Al diseñar una torre se calcula el espesor de las paredes, de modo que puedan soportar la presión y demás condiciones de operación. Si se pretende que la vida útil de la torre corresponda a un determinado número de años, deberá ser construido con un espesor extra, previendo el posible desgaste por corrosión.

Por ejemplo; el diseñador decide que la pared de una torre debe tener 2" de espesor para una operación segura. Así la torre estará en uso cuando menos 10 años; durante este tiempo, la pared de la torre deberá mantener un espesor mínimo de 2". Según experiencias previas el diseñador calcula que la torre se corroerá a razón de 1/10" por año. Al final de 10 años la pared perderá 1" de espesor. En consecuencia la pared deberá ser construida con espesor de 3". La pulgada extra en el espesor, se llama "Tolerancia a la corrosión".

Si la torre se construye sin el espesor extra de metal, estimado como tolerancia a la corrosión, puede no durar el tiempo para el que fué calculada.

Los daños causados por la corrosión pueden ser reducidos usando metales de aleación en la construcción de la torre; o bien utilizando inhibidores de corrosión que se inyectan al proceso en los lugares que se considere convenientes.

3-14.- DISEÑO DEL AISLAMIENTO TERMICO.

El aislamiento térmico, propiamente aplicado, aseguran una operación efectiva del equipo de proceso y conserva el calor con los beneficios económicos que ello implica.

Para una situación dada, existe siempre una amplia variedad de materiales aislantes y a cada tipo se le debe dar una consideración cuidadosa para poder hacer una decisión inteligente. No es posible referirse a cada especie de material aislante; pero se describirá varios de los tipos más frecuentemente usados para plantas de proceso.

3.14.1.- MATERIALES AISLANTES.

Los materiales aislantes pueden ser clasificados en cuatro tipos : (1) fibrosos, (2) granulares, (3) celulares, (4) reflectores. En la práctica, no obstante, dichas clasificaciones a menudo tienen un valor limitado puesto que los productos comerciales consisten en una combinación de varios de estos materiales aislantes. A continuación se da una breve descripción de los principales aislantes que se usan.

(a) ASBESTOS.- Es un material que se presenta en la naturaleza con la composición $3MgO.2SiO_2.2H_2O$, correspondiente a un silicato hidratado de magnesio. En su estado natural parece roca, pero puede ser triturado y convertido en fibras suaves y sedosas. En este estado tiene la textura de la lana y, por consiguiente, en otras

épocas confundían a la gente puesto que no sufre combustión alguna. El asbesto se usa en muchas formas para fabricar materiales aislantes bien sea por el mismo o en combinación con otras substancias. Mediante la adición de adhesivos puede ser configurado una estructura como papel, ya sea en capas planas individuales, con finos espacios de aire entre ellas, o bien como papel corrugado de asbesto, formado también en capas. Los espacios de aire relativamente vacíos sirven para disminuir la conductibilidad del aislamiento terminado. Estos aislamientos de papel de asbesto son efectivos hasta al rededor de unos 300 grados F (149 grados C) por encima de esta temperatura, el material adhesivo se descompone . Combinándolo con pequeñas partículas de algún material celular, esponjoso, el asbesto puede tomar una estructura afieltrada. Este asbesto afieltrado resiste la vibración y soporta el manejo rudo a temperaturas hasta de unos 900 grados F. (482 grados C.). Las fibras de asbesto se utilizan para fortalecer el aislamiento de alta temperatura de tierra de diatomáceas y el aislamiento a base del 85% de magnesio.

(b) TIERRA DE DIATOMACEAS.- La tierra de Diatomaceas es una forma poco usual de sílice, tiene un alto punto de fusión, 2930 grados F (1610 grados C), y propiedades extensivas. Está constituida por pequeños esqueletos silíceos de diatómeas, las cuales fueron plantas micros

cópicas que vivieron hace millones de años. Una mezcla de asbesto y tierra de diatomáceas forma un excelente aislamiento para altas temperaturas (600- 1900 grados F 315 a 1040 grados C), dicha mezcla se fabrica bajo varios nombres comerciales.

(c) AISLAMIENTO A BASE DE 85 % DE MAGNESIA .- Para temperaturas hasta de unos 600 grados F (300 grados C), el aislamiento a base de 85 % de magnesia es quizá el material aislante más popular. Está constituido por un 85 % de magnesia y un 15 % de asbesto. Las fibras de asbesto proporciona las cualidades de refuerzo necesarias para permitir el moldeo y la fabricación de secciones de tubo y otras formas. El compuesto llamado magnesia es, en realidad, un carbonato de magnesio producido a partir de piedra caliza dolomítica, por la acción del bioxido de carbono sobre pizarra dolomítica. Cuando se instala apropiadamente, el aislamiento a base de 85% de magnesia conserva durante muchos años excelentes propiedades aislantes y resulta un material económico. Tiene la desventaja de no poder soportar carga apreciable alguna.

El aislamiento a base del 85 % de magnesia a menudo se usa en combinación con aislamiento de tierra de diatomáceas. Adyacente al cuerpo caliente se coloca una capa de este último aislamiento, la cual debe tener un espesor suficiente, para producir una temperatura de

600grados F (315gradosC) en su superficie exterior. Esta capa se cubre luego por una capa de aislamiento a base de 85% de magnesia, la cual tiene un menor valor de conductividad térmica y puede ser usada en el rango de temperaturas inferiores a 600gradosF (315grados C).

El aislamiento del 85% de magnesia constituye un efectivo material aislante, porque el 90% de su volumen total es espacio de aire, cuya conductividad es baja.

(d) LANA MINERAL.- La lana mineral se fabrica soplando en forma de filamentos, minerales de sílice fundidos. Estos filamentos pueden ser convertidos en mantas aislantes o moldeados en bloques, por la adición de materiales adhesivos apropiados. Cuando se usa un adhesivo a prueba de agua, se puede producir un aislamiento efectivo de baja temperatura, el cual es altamente resistente a la humedad y a la putrefacción microbiana. Cuando está en dicha forma, el mencionado aislamiento por lo general se lo llama corcho mineral o roca mineral. La lana mineral también se lo usa para aislamiento de casas y edificios.

(e) CORCHO VEGETAL .- El corcho natural contiene muchos miles de espacios sellados, llenos de aire. Es ligero, aunque resistente; no absorbe vapores ni es adversamente afectado por el humedecimiento. Estas propiedades hacen del corcho un buen aislamiento para bajas temperaturas.

(f) POLIESTIRENO EXPANDIDO.- El estireno, polimerizado y moldeado para ocluir (cerrar un conducto) muchas burbujas de aire, constituye un aislamiento para bajas temperaturas, ligero y servicial. Ha sustituido al corcho en muchas aplicaciones.

(g) AISLAMIENTO DE VIDRIO.- La baja conductividad térmica, incombustibilidad y nula reactividad química del vidrio, son características deseables en los aislamientos. El vidrio fundido puede ser hilado en fibras similares a las de la lana mineral y fibras que pueden convertirse en mantas, cubiertas moldeadas para tubos o bloques. El aislamiento de fibra de vidrio generalmente es bueno hasta 600 grados F (315 grados C), aunque ciertos diseños especiales soportan 1000 grados F (538 grados C).

Puesto que el vidrio no puede absorber agua, las fibras de vidrio moldeadas a la forma de cartón sirven como aislamiento de baja temperatura cuando se surten con un sello apropiado de vapor para el lado caliente. El material aislante a base de vidrio celular se hace de miles de burbujas de vidrio moldeadas en estructuras rígidas, de peso en extremo ligero. Este material de vidrio celular es adecuado para temperaturas de - 35 a 800 grados F (-177 a 425 grados C). Está disponible en bloques y en formas para cubiertas de tubo.

Aunque no es un vidrio, hay otro material aislante, que se hace de materiales muy similares al vidrio.

Este material es efectivo hasta temperaturas de 1200-grados F (650 grados C) y es resistente a la humedad. Cuando se mezcla en pequeñas cantidades de fibra de - asbesto su resistencia aumenta.

3.14.2 SELECCION DEL AISLAMIENTO

De manera sorprendente, existe muy pocos procedimientos estandarizados de prueba para comparar materiales aislantes. Unicamente un método (ASTM C177-45) ha sido aceptado por la American Society for Testing Materials para determinar la conductividad térmica de los aislamientos. Para obtener resultados reproducibles este método requiere pericia en su aplicación. Debido a la falta de correlación entre las mediciones de laboratorio y las características de comportamiento en servicio, es necesario que la selección del aislamiento esté en gran parte en la experiencia previa. Dicho procedimiento tiene varias limitaciones, la más importante de las cuales es que favorece la desatención de materiales aislantes de desarrollo reciente. Para evaluar apropiadamente un material aislante, se debe investigar los siguientes factores. El efecto de la humedad y los cambios de temperatura sobre las propiedades que se anotan, debe ser cuidadosamente considerada.

(1) Propiedades físicas

- a. conductividad térmica.
- b. calor específico.

- c. coeficiente de expansión.
- d. resistencia a la compresión, a la tensión y al impacto.
- e. dureza.
- f. resistencia a la fatiga.
- g. resistencia al fuego.

(2) Propiedades químicas

- a. análisis.
- b. naturaleza corrosiva.
- c. efecto de sustancias químicas en las tuberías o los recipientes sujetos a pruebas.

(3) Características de instalación.

- a. toxicidad.
- b. acción sobre la piel (si produce rasguños)etc.
- c. manejabilidad total (facilidad para cortarse, para tomar diversas formas,etc.)

3.14.3 INSTALACION DEL AISLAMIENTO

Independientemente de la extensa variedad de tipos de aislamiento, la mayoría de ellos se fabrica en una o más de tres formas, a saber: bloques, mantas, o cubiertas moldeadas seccionales para tuberías. Los métodos de instalación de estas tres formas de aislamiento son similares, al margen de la clase de aislamiento que se este empleando. En toda instalación de aislamientos se aplican dos reglas generales. Una, es que las superficies deben limpiarse perfectamente antes de comensar la instalación. La otra, es que si el ais

lamiento se instala en varias capas, todas las juntas deben quedar cuadradas.

Esta colocación de la juntas reduce al mínimo la posibilidad de fugas caloríficas a través de ellas.

(a) AISLAMIENTO DE BLOQUE Y DE MANTA.- El aislamiento que se suete en forma de bloques se usa extensamente en recipientes, cambiadores de calor, y otros equipos similares.

Para asegurar la instalación sobre torres e intercambiadores de calor, se usan flejes galvanizados de 1/2 X 0.020 plg (13 X 0.5 mm). En las cabezas, superior e inferior, del recipiente el aislamiento se sostiene con flejes que se aseguran por medio de pernos o tuercas soldados. Para ayudar a soportar los bloques, se suelda ángulos de acero al rededor de los recipientes y espaciados a 8 o 12 pies entre centros. Estos soportes son de 1/2 plg. menos de espesor con respecto al del aislamiento. Terminando el bloque en ambos extremos del ángulo y llenando el espacio con lana mineral suelta, se adapta una junta de expansión.

La junta de expansión se cubre con una tela de hierro galvanizado o metal desplegado número 20 y con una malla metálica, y luego recibe un acabado por medio de un cemento aislante, que le hace hermética al interperismo. Después que los bloques han sido colocados con ayuda de alambre en su lugar, al rededor de todo el recipiente se estira y aprieta una malla metálica

(de 1 plg.) formando un enrejado. Sobre esta malla de alambre se aplican varias capas de plástico aislante (cemento de acabado), el cual es una combinación de gránulos de lana mineral, fibras de asbesto, arcillas y materiales inhibidores de la corrosión. Para instalaciones exteriores se forma otro enrejado con malla de 1 plg. seguido por un recubrimiento final de plástico resistente al intemperismo, a base de una emulsión asfáltica especial. Todas las grietas del aislamiento se hacen herméticas al intemperismo mediante el uso de un cemento instantáneo (por ejemplo, asfalto "fibrado rebajado").

El aislamiento de manta se instala de una manera similar, con excepción que en vez de flejes galvanizados se puede usar alambre para asegurar las mantas en su lugar. Sobre el área de la manta se aplica directamente plástico aislante, seguido por malla metálica de 1 plg, a la cual se aplica plástico a prueba de intemperismo.

(b) AISLAMIENTO DE TUBERIAS.- El aislamiento moldeado para tuberías se fija y asegura al tubo mediante amarres de alambres o flejes separados aproximadamente cada 12 plg. Este alambre debe resistir a la corrosión o las altas temperaturas que sean de esperarse en el área. Las irregularidades que producen claros en donde las juntas se empatan, se llenan con plástico aislante o plástico de acabado. Las tuberías que van al

interior llevan un acabado a base de una camisa de lona de 6 onzas, la cual se pega sobre la cubierta del-tubo. Los aislam~~ientos~~ que van al exterior se cubren con una camisa a prueba del interperismo, tal como de cartón para techos o forro de acero galvanizado o de aluminio.

Las válvulas y las conexiones se aíslan con segmentos de bloque u otro aislamiento de otro material utilizado en los tramos rectos de tubo. Estos segmentos se fijan en su lugar por medio de alambre y se terminan con un recubrimiento de plástico aislante. Las conexiones más pequeñas de 3 plg. por lo general se aíslan con - plástico seguido por un recubrimiento de asbesto cemento de acabado duro.

Por lo que se refiere a las bridas, se ha encontrado que es más económico omitir el aislamiento sobre ellas en todas las líneas, menos en las de vapor. En plantas de proceso se hace necesario con tanta frecuencia extraer secciones de líneas para inspección o reparaci~~ón~~ que resulta menos costoso omitir sencillamente el aislamiento al rededor de las bridas, y así evitar la destrucción de toda la sección de aislamiento cuando se extrae el tubo.

3.14.4. PERDIDAS DE CALOR A TRAVES DE SUPERFICIES AISLADAS.

El cálculo de pérdidas de calor a través de superficies aisladas , implica la suma de las diversas resistencias al flujo de calor. En una situación dada, las temper

peraturas de los extremos se conocen. Por ejemplo la temperatura del fluido en el interior de un tubo aislado y la temperatura se conocen, y el flujo de calor puede ser expresado de una manera análoga al flujo de electricidad.

$$\Delta q = \frac{\Delta T}{R_t}$$

en donde Δq = flujo de calor en Btu/hr

ΔT = Caída total de temperaturas desde el interior hasta el aire exterior.

R_t = suma de todas las resistencias.

El calor fluye por convección a través del fluido del interior del tubo y por conducción a través de la pared del tubo y del aislamiento.

El calor pasa luego, por una combinación de convección y radiación, al aire circundante. Cada uno de estos procesos puede ser expresado en términos de resistencias apropiadas. En general, la resistencia producida por el fluido y por la pared del tubo es despreciable en comparación con la del aislamiento y puede ser ignorada. La ecuación del flujo de calor se convierte, entonces, en:

$$\Delta q = \frac{\Delta T}{R_i + R_s}$$

en donde R_i = resistencia del aislamiento

R_s = resistencia "superficial" del aislamiento.

La resistencia de cualquier material a la conducción

de calor se expresa como

$$R = \frac{\Delta X}{kA}$$

en donde ΔX = el espesor en pies, del material en la dirección del flujo de calor.

k = es la conductividad Btu/(h-pie-°F)

A = área a través de la cual el calor está fluyendo, pie²

Para un aislamiento que rodea a un cilindro, como el aislamiento de una tubería, el área superficial varía del interior al exterior y debe determinarse alguna área. Se ha demostrado que ésta área media corresponde a la media logarítmica de las áreas superficiales del interior (A_1) y del exterior (A_2), es decir:

$$\frac{A_2 - A_1}{\ln \frac{A_2}{A_1}} \quad \circ \quad \pi L \frac{D_2 - D_1}{\ln \frac{A_2}{A_1}}$$

en donde L = longitud del aislamiento en pies.

D = diámetro en pies.

Para esferas, el área media es equivalente a la media geométrica

$$\sqrt{A_1 \cdot A_2}$$

de las áreas interior y exterior.

La resistencia superficial es, por lo general, mucho menor la del aislamiento y únicamente necesita ser estimada. Está representada como

$$R_s = \frac{1}{(hc + hr)}$$

en donde hc = es el coeficiente de convección

hr = coeficiente de radiación.

A partir de la siguiente ecuación empírica, pueden estimarse los valores del coeficiente combinado, hc ± hr, para tubos aislados horizontales,

$$hc \pm hr = \frac{564}{0.19 (d_2)^{0.75} (273 - \Delta t_i)}$$

en donde d₂ = diámetro exterior del aislamiento.

Δt_i = temperatura de la superficie del aislamiento menos la temperatura del aire, grados F.

hc ± hr = coeficientes de transmisión,
Btu/ (hr-pie²- °F)

También pueden calcularse valores para placas planas. El coeficiente de convección para el aire, hc, en placas verticales puede determinarse a partir de la ecuación

$$hc = 0.27 \Delta t^{0.25}$$

en donde Δt = es la diferencia de temperaturas entre el aire y el exterior de la placa.

El coeficiente de radiación puede ser determinado por la ecuación:

$$hr = \frac{0.173 e_l \left[\left(\frac{T_l}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]}{T_l - T_a}$$

en donde e_l = emisividad de la placa a T_l.

T_l = temperatura absoluta de la placa, °R

T_a = temperatura absoluta del aire, °R

Para determinar las conductividades y de los valores de h_c y h_r , es necesario suponer las temperaturas superficiales de las varias capas de aislamiento, puesto que tanto la conductividad como los valores de h_c y h_r son dependientes de la temperatura. Estas suposiciones pueden ser verificadas después de calcular el flujo de calor, puesto que dicho flujo debe ser el mismo a través de cada resistencia.

3.14.5 ESPESOR OPTIMO DEL AISLAMIENTO

Teóricamente, la determinación del espesor óptimo de aislamiento es un procedimiento directo. A medida que el espesor de aislamiento aumenta, los costos de las pérdidas de calor disminuyen, en tanto que los costos de aislamiento incrementan. El punto en el cual se alcanza un costo mínimo total, puede ser descrito como un valor óptimo.

Se ha desarrollado una solución analítica para este punto óptimo particular, igualando a cero la ecuación de la primera derivada del costo total.

Para superficies planas

$$X = \sqrt{\frac{ak'}{b}} - R_{sk}$$

en donde X = espesor óptimo del aislamiento, plg.

a = $y(t-t_a)M/1000000$

y = horas de operación al año

M = valor del calor en dólares por millón de Btu.

b = costo del aislamiento por pie², por plg de espesor, por año.

R_s = resistencia superficial, (hr-pie²-° F)/Btu

K' = conductividad, Btu/(hr-pie²/plg-° F)

t = temperatura del lado caliente del aislamiento, °F.

t_a = temperatura del aire, °F.

Para superficies cilíndricas (un material aislante)

$$\left(r_2 \ln \frac{r_2}{r_1} + R_s k' \right) \sqrt{\frac{2 \cdot r_2 - r_1}{r_2 - R_s k'}} = \sqrt{\frac{a k'}{b}}$$

en donde r_2 = radio exterior del aislamiento, plg.

r_1 = radio interior del aislamiento, plg.

EFICIENCIA DE AISLAMIENTO

Eficiencia de aislamiento es un término que se define como la diferencia entre la pérdida de calor a través del accesorio desnudo y la que se tiene en el mismo accesorio aislado, dividida entre la pérdida de calor a través del accesorio sin aislar. Los fabricantes reportan tablas de estas eficiencias para varios tamaños y espesores de los aislamientos.

Sin embargo, los valores son engañosos para el usuario casual, ya que son altos, y lo que parece ser una diferencia pequeña en eficiencia, de únicamente 2% (96 y 94), puede representar un aumento en pérdidas de calor, de $(96 - 94 / 100 - 96) (100) = 50\%$. Las tablas de pérdidas de calor son mucho más útiles para comparar diversos espesores y clases de aislamientos.

3.15. INTERCAMBIADORES DE CALOR.

a) Transferencia de Calor.- La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de flujo o intercambio de calor entre los cuerpos calientes y fríos llamados "fuente" y "receptor" respectivamente, basándose exclusivamente en las leyes físicas que rigen la teoría del calor.

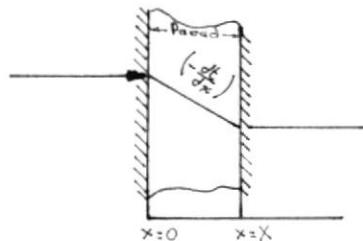
Con gran frecuencia se presenta el flujo de calor de un compuesto o cuerpo caliente a otro frío, dependiendo del tipo de calor que se está transmitiendo que puede ser con cambio de fases (calor latente) o en el caso de que no se realice cambio de fases (calor sensible). Si hablamos de fases podemos hacer mención sobre algunas propiedades de las fases de una sustancia simple, que puede ser sólida, líquida o gaseosa, y están ligadas a la cantidad de energía que poseen sus moléculas o átomos, también tienen relación sobre la forma de estar estos en cada uno de los estados, y en la fase líquida existe suficiente cantidad de energía térmica capaz de poder extender la distancia de las moléculas adyacentes por tanto se pierde la rigidez que tiene la fase sólida en la cual están muy cerca - en la fase gaseosa la presencia de energía térmica es aún mayor y da como resultado una separación mayor y completa de los átomos y moléculas de manera que puedan permanecer en un espacio cerrado. Y se establece que cuando y donde suceda un cambio de fase fuera de

la región crítica, se involucra una gran cantidad de energía.

Para cada fase en una misma substancia sus variadas propiedades térmicas tienen diferentes orden de magnitud. Por ejemplo el calor específico por unidad de masa es bajo para los sólidos, alto para los líquidos e intermedio para los gases, con estas consideraciones se hace más facil el estudio de tipos de transferencia de calor .

b) Mecanismo de transferencia de calor.- Son - tres las formas principales de transferencia de calor aún cuando en la práctica se pueden usar combinaciones de dos o tres tipos, estas son : Conducción, Convección y Radiación.

1.- Conducción.- La conducción es la forma de transferencia de calor a través de un material fijo tal como la pared estacionaria de la figura



La dirección del flujo de calor será en ángulos rectos con respecto a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo homogéneo e isotrópico.

Suponiendo que una fuente de calor existe a la izquierda de la pared y que existe un cuerpo receptor de ca

lor en la superficie derecha. Se conoce por derivación que el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared (A) si t es la temperatura en cualquier punto de la pared y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ está dada por :

$$dQ = kA \left(-\frac{dt}{dx} \right) \quad \text{Btu/hr}$$

El término $-dt/dx$ se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = X$, en otras palabras, la cantidad de transferencia instantánea de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor dx . La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por "conductividad térmica"

Esta conductividad se evalúa experimentalmente y está básicamente definida por la ecuación anterior.

La conductividad térmica de los sólidos tiene un amplio rango de valores numéricos dependiendo de si el sólido es relativamente un buen conductor del calor, tal como un metal, o un mal conductor como el asbesto. Estos últimos sirven como aislantes, aún cuando la conducción de calor se asocia usualmente con la transferencia de calor a través de los sólidos, también es

aplicable a gases y líquidos, con sus limitaciones.

2.- Convección.- La convección es la transferencia de calor entre las partes relativamente calientes y frías de un fluido por medio de mezcla. El líquido que se encuentra en el fondo del recipiente se calienta y se vuelve menos denso que antes, debido a su expansión térmica. El líquido adyacente al fondo también es menos denso que la porción superior fría y asciende a través de ella, transmitiendo su calor por medio de mezcla conforme asciende.

La transferencia de calor del líquido caliente del fondo del recipiente al resto, es convección natural o convección libre. Si se produce cualquiera otra agitación, tal como la provocada por un agitador, el proceso es de convección forzada. Este tipo de transferencia de calor puede ser descrito en una ecuación que imita la forma de la ecuación de conducción y es dada por

$$dQ = hAdt$$

La constante de proporcionalidad h es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación, y debe ser evaluado experimentalmente. Se llama coeficiente de transferencia de calor.- Cuando la ecuación anterior se escribe en su forma integrada, $Q = hA \Delta t$, se le conoce como la ley del enfriamiento de Newton.

3.- Radiación.- La radiación involucra la transferencia de energía radiante desde una fuente a un receptor. Cuando la radiación se emite desde una fuente a un receptor, y parte es reflejada por él. Basándose en la segunda ley de la termodinámica, Boltzmann estableció que la velocidad a la cual una fuente da calor es

$$dQ = \sigma \epsilon A T^4$$

Esto se conoce como la ley de la cuarta potencia, T es la temperatura absoluta. σ es una constante dimensional pero ϵ es un factor peculiar a la radiación y se llama emisividad. La emisividad, igual que la conductividad térmica k o el coeficiente de transferencia de calor h, debe también determinarse experimentalmente.

c.- Procesos de Transferencia de calor.- Se dice que la transferencia de calor es un estudio que relaciona las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuente y receptor tratados usualmente de manera independiente. Este proceso se relaciona con las razones de intercambio térmico dependiendo siempre de una diferencia de temperatura que es la razón fundamental de estos procesos que involucran cantidad de calor que debe ser transferido, razón de transferencia, debido a la naturaleza de los fluidos, la diferencia de potencial, arreglo y extensión de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la

cantidad de energía mecánica que debe disiparse para realizar el intercambio de calor.

por esto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema que la pérdida de calor del un cuerpo debe ser igual al calor recibido o absorbido por el otro dentro del mismo sistema.

d) . Equipos de transferencia de calor.- Estos se definen por las funciones o trabajos que realizan.

Los Intercambiadores.- Se usan para recuperar calor entre dos componentes en un proceso.

Los Calentadores.- Se usan para calentar fluidos en un proceso, generalmente se usa vapor, aún que en refinerías de petróleo se utiliza aceite caliente recirculado para este fin.

Los Enfriadores.- Se emplean para enfriar fluidos en un proceso, el agua es el medio principal de enfriamiento.

Los Condensadores.- Son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible.

Los Hervidores.- Tienen el propósito de suplir el requerimiento de calor en los procesos de destilación como son los de calor latente.

Los Evaporadores.- Se emplean para concentración de soluciones por evaporación del agua si además del agua se vaporizan otros fluidos, se llama

Vaporizadores.

Cuando hablamos de transferencia de calor entre fluidos, nos hacemos a la idea de que no deben estar los fluidos en contacto íntimo de sus masas, luego pensamos en un aparato de tubos concéntricos por donde circula por cada uno fluidos de diferentes tipos o diferentes temperaturas, en la industria se puede encontrar aplicación de este principio en diferentes maneras.

Intercambiadores de doble tubo o tubos concéntricos

Intercambiadores de tubo y carcaza.

Por lo general en la industria del petróleo se utiliza más frecuentemente el tipo de intercambiador de tubo y carcaza, por que además de ocupar espacios reducidos, dan una gran posibilidad de usar una mayor superficie de transferencia de calor.

Un intercambiador de tubo y carcaza está constituido por:

Carcaza

Tubos.

Deflectores.

Y cabezas o cabezales,

Los intercambiadores de tubo y carcaza se encuentran de varios tipos, por su número de pasos, por ejemplo 1-2 ; 2 - 4 ; 3 - 6 , (pasos en tubo- coraza)

O también por su construcción en las cabezas. de cabe

zal fijo; de cabezal fijo con carretes integrales, con cabezas flotantes; con tubos en "U" y cabeza flotante. La disposición de los tubos en el haz tubular puede ser de acuerdo a su uso o necesidades, : en cuadro, en triángulo, o cuadro cruzado.

e) Valores que se deben encontrar para cálculos.-

Coefficiente de película Lado Carcaza este se basa en el regimen que debe tener el flujo del fluido al pasar por entre el haz de tubos y esta en relación con el Re número de Reynolds.

$$\frac{No. De}{k} = 0.36 \left(\frac{De Gs}{\mu} \right)^{0.55} \left(\frac{C\mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_m} \right)^{0.14}$$

(para Re 2000- 1000000)

Masa velocidad lado Carcaza.

B espacio entre deflectores.

C' espacio entre los tubos.

$$as = \frac{DI \times C'B}{Pt \times 144} \quad \text{pies}^2$$

la velocidad es $Gs = \frac{W}{as} \quad \text{lb/ (h)(pie}^2)$

Diámetro equivalente lado coraza:

$$De = \frac{4 \times \text{área libre}}{\text{perímetro húmedo}} \quad \text{pies}$$

El MTDL o media logarítmica de temperatura se da por los acercamientos de las temperaturas en los extremos correspondientes al intercambiador y se puede utilizar las diferencias .

$$\frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)}$$

Pero esta media logarítmica hay que corregir su valor para esto se pueden utilizar las tablas de valores correspondientes a cada uno de los intercambiadores que se están calculando (fig 9 -11 de la II Unidad de Operaciones Unitarias II)

El balance total de calor, siendo t la diferencia verdadera de temperatura es:

$$Q = U A \Delta t .$$

IV. EVALUACION DE UN CRUDO Y BALANCES.

La determinación de los rendimientos que se pueden obtener del crudo, depende de las características del mismo, de las propiedades de los productos que se quieren obtener, tales como rango de destilación, temperatura de congelación, etc., y de las características de la planta donde se efectúa la destilación del crudo.

4.1.- CARACTERISTICAS DEL CRUDO.-

Generalmente se tienen la destilación Hempel del crudo y ASTM. de los productos. En la determinación de los rendimientos del crudo, se emplean las curvas de destilación TBP, graficando la curva de destilación del crudo y los productos, considerando que no hay traslapes en dos cortes adyacentes, ya que los volúmenes es traslapados del producto ligero al pesado y viceversa son iguales.

La destilación Hempel es equivalente a la TBP, y la conversión de las curvas ASTM a TBP se hace mediante las gráficas 12.4 y 12.5.

Otras características de los productos y del crudo que son necesarias para el cálculo que se presentará adelante, son la densidad, el peso molecular y el factor de caracterización. El peso molecular se calcula con las gráficas 6 y 7. El factor de caracterización mediante la gráfica Nº 16.

El empleo de estas gráficas las ilustraremos luego con la evaluación del crudo oriente que procesamos en la refinería de Esmeraldas. En esta evaluación se parte de la destilación Hempel del crudo y de las destilaciones ASTM. de gasolinas, kerosene y diesel, así como las densidades API. del crudo y los productos.

Con los datos anteriores es posible determinar las condiciones de operación de una torre de operación de destilación. Esas condiciones son principalmente - temperaturas para obtener los productos necesarios, reflujo interno en los platos de extracción y calidad del fraccionamiento esperado.

4.2. DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DE UNA TORRE DE DESTILACION PRIMARIA.

En la determinación de las temperaturas de operación de la torre de destilación, tanto en la zona de vaporización, en las extracciones y el domo, se emplean las curvas EFV. y los diagramas de fases del crudo y de los productos. Las curvas EFV se preparan con las curvas TBP y las gráficas 12.6 y 12.7 para el crudo y con las curvas ASTM y las gráficas 12.8 y 12.9 para los productos. Los diagramas de fases indican la influencia de la presión en las temperaturas de vaporización y su elaboración se muestra en la figura 12.14.

La temperatura en la zona de vaporización es la necesaria para vaporizar todos los destilados, las tem-

peraturas de las extracciones son a la que los destilados están en fase líquida(0% de vaporización) y la temperatura del domo es a la que toda la gasolina se encuentra como vapor. (100% de vaporización).

Las temperaturas anteriores, se determinan a la presión parcial de los hidrocarburos en cada parte de la torre, ésta se determina mediante las siguientes fórmulas:

1.- ZONA DE VAPORIZACION.

$$P = P_t \times \frac{\text{Moles/hr de destilados.}}{\text{Moles/hr de destilados+ Moles/hr de vapor de H}_2\text{O}}$$

2.- EXTRACCION DE DIESEL.

$$P_{die} = P_t \times \frac{\text{Moles/hr de reflujo interno.}}{\text{Moles/hr de reflujo interno+ Moles/hr de(kerosene y gasolina)+Moles/hr de Vapor de agua.}}$$

3.- EXTRACCION DE KEROSENE.

$$P_{ker} = P_t \times \frac{\text{Moles/hr de reflujo interno.}}{\text{Moles/hr de reflujo interno+moles/hr de gasolina+moles/hr de vapor de agua.}}$$

4.- DOMO DE LA FRACCIONADORA.

$$P_{gasolina} = P_t \times \frac{\text{Moles/hr de (gasolina+reflujo principal)}}{\text{Moles/hr de (gasolina+reflujo principal)+ Moles/hr de vapor de agua.}}$$

El reflujo interno en cada sección de la torre, se calcula mediante un balance de calor y de materia en cada plato de extracción, empezando por la primera extracción (Diesel) y de allí a las secciones superiores de la torre.

4.3. VAPOR DE AGOTAMIENTO.

El vapor de agotamiento, aunque se ajusta para garantizar la temperatura de inflamación, se puede fijar un a cantidad de 10 lb/bl para los cálculos que siguen, o bien incluir los datos reales de operación. 10 lb/bl producen la siguiente vaporización:

1% de residuo.

5% de destilados.

4% de kerosene.

3% de naftas.

4.4. BALANCES DE MATERIA Y DE CALOR.

La primera determinación es la de la temperatura de la zona de vaporización para vaporizar los destilados que tiene el crudo. Esta temperatura se determina mediante los diagramas de fases a la presión parcial de los hidrocarburos en la zona de vaporización.

Las cantidades de calor que entran en la fraccionadora son las de la carga y del vapor de agotamiento al fondo de la torre y a los agotadores.

Las sumas de esas cantidades de calor sale con el residuo, siesel, kerosene, con los reflujo laterales y con la gasolina, eliminándose una parte del calor alimentado en los condensadores. El balance de calor es simplemente que el calor que entra es igual al calor que sale.

El balance de calor en la fraccionadora es el siguiente

CALOR QUE ENTRA

CALOR QUE SALE.

QC= Calor de la carga

QC= Gasolina x HvTvap+ Kerosenex
HvTvap + Diesel x HvTvap +
Residuo x HlTvap.

QR=Calor que sale con el residuo
QR=Residuo x HlTvapor-30°F.

Qv1= Vapor de agotamiento al fondo.

Qv1= Vapor x HvTvapor de agua

Qdiesel=Calor que sale con diesel

Qv2=Vapor de agotamiento al diesel.Qdiesel= Diesel x HlTd-30°F.

Qv2=Vapor x HvTvapor de agua

Qv3=Vapor de agotamiento Kerosene

Qker= Calor que sale con kerosene

Qv3=vapor x HvTvap de agua.

Qker= Kerosene x HlTk-30°F.

La s H de gasolina, kerosene, diesel

son de los vapores a la temperatu-

ra d e la zona de vaporización.

Qgasolina= Calor que sale con la
gasolina a tanques.

La H del residuo es del líquido

a la temperatura de la zona de

QG= Gasolina por HlT.Acumulador.

vaporiz a ción.

Calor que entra= Qc + Qv1 + Qv2 + Qv3

Calor queeSale=

QCondensadores:= Calor que ceden los condensadores
para condensar la gasolina, el vapor
de agua y el reflujo al domo.

QCond.= (Gasolina + reflujo)x AH + Vapor de aguaxAH.

QReflujos= Calor que se elimina en los reflujos.

QRf = Reflujos laterales x AH.

Si del balance general del calor en la fraccionadora, tomamos la parte correspondiente a la zona de vaporización tenemos lo siguiente.:

CALOR QUE ENTRA A LA TORRE

CALOR QUE SALE DE LA TORRE.

QC:

QR:

Gasolina x Hv T_{vap}.

Residuo x Hl T_{vap} - 30°F

Kerosene x Hv T_{vap}.

Diesel x Hv T_{vap}.

Hv= Entalpia de vapores.

Residuo x Hl T_{vap}.

Hl= Entalpia de líquidos.

QV.

Vapor x Hv T_{vapor} de agua al fondo.

La diferencia es la cantidad de calor que entra al primer plato de extracción y denominaremos Q_{Ext}.

Con esta cantidad de calor, se efectúa un balance de calor en el primer plato de extracción. Este balance permite calcular el reflujo interno y la temperatura del plato. Para lo anterior se supone una temperatura de extracción, con esta temperatura se calcula las cantidades de calor que salen del plato, tanto en fase líquida como como producto, como en fase vapor los otros destilados y el vapor de agua. Las dos cantidades de vapor: La que entra al plato Q_{EXT} y la que sale del plato son diferentes, la diferencia es el calor del reflujo interno Q_{Ri}

Tabulando lo anterior se tiene lo siguiente.

CALOR QUE ENTRA AL PLATO	CALOR QUE SALE DEL PLATO.
$Q_{Ext} = Q_C + Q_{v+} - Q_r.$	Gasolina x $H_V T_{diesel}.$
	Kerosene x $H_V T_{diesel}.$
	Vapor de agua x $H_V T_{diesel}.$
	Diesel x $H_L T_{diesel}.$

Las H_V de gasolina, kerosene y vapor de agua son en fase vapor a la temperatura del plato y la del diesel en fase líquida a esa temperatura.

La diferencia entre las dos cantidades de calor es el Q_{RI} . La cantidad de reflujo interno se calcula dividiendo Q_{RI} entre la diferencia de entalpia del diesel líquido a una temperatura de $T_{diesel} - 7^{\circ}F$ y el diesel vapor a la temperatura del plato. Esta cantidad sirve para calcular la presión parcial de los hidrocarburos y con ésta la temperatura a 0% de vaporización en el diagrama de fases del diesel.

Cuando las dos temperaturas coinciden se termina el cálculo del plato. Generalmente se obtiene el vapor correcto en la 2da aproximación.

Hasta esta sección de la torre, se tiene el siguiente balance de calor.

CALOR QUE ENTRA A LA TORRE.	CALOR QUE SALE DE LA TORRE.
Q_C	$Q_R.$
Gasolina x $H_{T_{vap}}.$	Residuo x $H_T - 30$
Kerosene x $H_{T_{vap}}$	$Q_{diesel}.$
Residuo x $H_{T_{vap}}$	Diesel x $H_{LT_{diesel}}.$
Q_{QV}	
Vapor x H_{vapor} de agua al fondo.	

La diferencia de las dos cantidades es la cantidad de calor que asciende en la torre, a partir de la primera extracción.

Si no hay reflujo lateral entre la primera y la segunda extracción, entonces la diferencia anterior es la cantidad de calor que entra en el plato de la 2da. extracción $Q_{Ext}(2)$. Si hay un reflujo lateral, entonces el calor que entra al plato de la 2da. extracción es la diferencia anterior menos el calor que elimina el reflujo lateral. En forma de tabla:

CALOR QUE ENTRA A LA TORRE/ QC	CALOR QUE SALE DE LA TORRE. QR
Gasolina x H T _{vap}	
Kerosene x H T _{vap} .	QR= Residuo x HT - 30
Diesel x H T _{vap} .	Q diesel.
Residuo x H T _{vap}	Diesel x H LT _{diesel}
Q _v	Q _{RL} = Reflujo lateral x AH.
Vapor x H _{vapor} de agua al fondo.	

La diferencia es $Q(Ext2)$, calor que entra en el plato de la 2da extracción. En este plato se hace un balance de calor que nos permitirá calcular la temperatura y el reflujo interno. Se procede igual que en el caso de la primer extracción, es decir se supone una temperatura de extracción, con esto se hace el balance de calor, se calcula el reflujo interno y con este se determina la presión parcial y la temperatura del plato. El cálculo se termina cuando coinciden las temperaturas supuestas y calculadas.

La diferencia es el calor del reflujo interno QR_{i3} .
Con el que se calcula la cantidad del reflujo interno.
El reflujo interno se calcula dividiendo QR_{i3} entre AH .
Hasta esta sección de la torre se tiene este balance.

CALOR QUE ENTRA EN LA TORRE	CALOR QUE SALE DE LA TORRE
QC	QR
QV_1	Q_{Diesel} .
QV_2	$Q_{Kerosene}$.

La diferencia es la cantidad que asciende a la parte superior de la torre Q_{Domo} .

Con esta cantidad de calor, se hace un balance del plato superior con el que se obtiene el reflujo al domo, la temperatura del domo y el tamaño (Duty) de los condensadores.

El balance del plato se hace como sigue:

CALOR QUE ENTRA AL PLATO	CALOR QUE SALE DEL PLATO.
Q_{Domo} .	Gasolina $\times H_v T_{Domo}$.
	Vapor de agua $\times H T_{Domo}$.

La diferencia es Q reflujo superior.

La cantidad de reflujo superior se calcula dividiendo esta cantidad de calor entre la AH de la gasolina vapor a T_{Domo} y la gasolina líquida a la temperatura del acumulador de gasolina. Con esta cantidad de reflujo se calcula la presión parcial de gasolina en el diagrama de fases se comprueba si la temperatura supuesta coincide con la leída en la gráfica a la presión parcial

En forma tabulada el balance de calor es el siguiente.

CALOR QUE ENTRA AL PLATO	CALOR QUE SALE DEL PLATO.
Q (ext 2)	Gasolina x Hv Tdiesel.
	Kerosene x Hr T diesel.
	Vapor de agua x HTdiesel
	Diesel x HLTdiesel.

La diferencia es el calor del reflujo interno QR_{i2} , el reflujo se calcula dividiendo el QR_{i2} entre la diferencia de entalpia del diesel líquido a una temperatura de $T_{diesel} - 7^{\circ}F$ y el diesel vapor a la temperatura T_{diesel} . Esta cantidad, permite calcular la presión parcial del diesel en el plato y con esta la temperatura a 0% de vaporización en el diagrama de fases del diesel.

Hasta esta sección de la torre se tiene el sig. Balance.

CALOR QUE ENTRA A LA TORRE	CALOR QUE SALE DE LA TORRE.
QC	QR
Qv1	Q Diesel
Q v2.	

La diferencia es la cantidad de calor que asciende por la torre hacia la 3era extracción $Q(Ext)3$. Con esta cantidad de calor, se sigue idéntico procedimiento para determinar la temperatura del plato y el reflujo interno. BALANCE DE CALOR DEL PLATO.

CALOR QUE ENTRA AL PLATO	CALOR QUE SALE DEL PLATO.
Q (Ext)	Gasolina x Hv Tkerosene.
	Vapor de agua x HTkerosene
	Kerosene x Hl Tkerosene.

o obtenida para 100% de vaporización. Si no coincide, se hace un nuevo cálculo.

TAMAÑO DE LOS CONDENSADORES.

El tamaño de los condensadores, se calcula de la siguiente manera.

$$Q \text{ Condensadores} = \text{Gasolina} \times \text{AH} - \text{Reflujo} \times \text{AH} + \text{Vap de H}_2\text{O} \times \text{AH}.$$

La AH de la gasolina y el reflujo es la $A \text{ Hv T}_{\text{Domo}}$ menos la $H \text{ T}_{\text{acumulador}}$.

SEPARACION Y TRASLAPES.

El fraccionamiento (o los traslapes) entre dos cortes laterales, o entre el producto del domo y la extracción más próxima, se expresa como la diferencia entre las temperaturas de destilación del 5% del producto más pesado menos el 95% del producto más ligero.

La separación posible, se calcula mediante el uso de las gráficas N^o 2.6 y 2.7 con la diferencia entre las temperaturas del 50% de los productos pesado y ligero, el reflujo que cae del plato de extracción del producto más ligero y el número de platos en la sección que se analiza.

Esta estimación se hace después de haberse determinado los productos de crudo y los reflujo internos de la torre. Cuando en una sección analizada hay un reflujo lateral, en los cálculos se debe considerar que tres platos en esa sección se comportan como uno de fraccionamiento, por ejemplo si hay 8 platos en el cálculo se

toman 6 platos.

Se ve igualmente que la separación es más fácil cuando las diferencias de temperatura del 50 % son mayores.

CONCLUSIONES.-

Los cálculos anteriores, permiten interpretar el efecto de las diversas variables en la operación de las torres primarias y la manera como éstas variables deben manipularse para obtener los rendimientos requeridos del crudo.

1.- Para ejemplificar lo anterior, y procediendo en el mismo orden, empezando por la temperatura en la zona de vaporización, se ve que conociendo las características del crudo, se pueden determinar los rendimientos que se toman a diferentes temperaturas. Para facilitar esto, es conveniente hacerle una evaluación de cada tipo de crudo y calcular las características de las mezclas de los diversos crudos que se procesan en las refinarias. Una vez hecho lo anterior, se pueden correlacionar las propiedades del crudo con el peso específico de la muestra o mezcla. Con esto se debe determinar la temperatura óptima de operación.

2.- La temperatura de la zona de vaporización, determina también el reflujo interno en la parte inferior de la torre. Esta aumenta al aumentar la diferencia de temperaturas entre la zona de vaporización y la extracción

d e diesel. En algunas ocasiones, el diesel se mancha por falta de reflujo interno, sin que se determine exactamente la causa. Cuando se mancha el diesel es necesario ver en los diagramas de fases del crudo si la temperatura a que se opera permite la cantidad adecuada de reflujo interno.

3 .- Las temperaturas de los platos de extracción dependen tanto de las temperatura inicial y final de los productos que se extraigan, como de la cantidad de reflujo interno ya que esta determina la presión parcial.

4.- Los reflujo laterales, disminuyen el reflujo interno en las secciones superiores de la torre, y permiten variar la temperatura de la zona de vaporización, sin que varíe la cantidad de calor que asciende en la torre. Por ejemplo. si se quiere mantener condiciones constantes en el plato de extracción de kerosene, y se quiere aumentar el agotamiento del crudo, se puede aumentar la temperatura de la zona de vaporización y aumentar el reflujo lateral de manera que éste compense la mayor temperatura en la zona de vaporización.

5 .- El vapor de agua representa una cantidad importante en el rendimiento de los condensadores, por lo que se debe utilizar al mínimo necesario, especialmente cuando se tienen limitaciones de condensación.

V. LA UNIDAD DE DESTILACION ATMOSTERICA EN LA
REFINERIA ESTATAL DE ESMERALDAS.

5.1. CAPACIDAD NOMINAL DE LA UNIDAD.

La unidad de destilación atmosférica de la Refinería Estatal de Esmeraldas fué proyectada para procesar 368.4 m³/hr, de crudo extraído de la región Oriental del país y es transportada a través del oleoducto trans-ecuatoriano hasta la Refinería.

La carga después de procesada producirá los siguientes derivados.

PRODUCTO.	PUNTO DE CORTE DEL CRUDO	
	DESDE °C	HASTA °C.
GASES DEL DOMO.	-	180
KEROSENE	180	254
DIESEL	254	380
CRUDO REDUCIDO	Sobre 380.	

Está prevista una operación satisfactoria de la Unidad con un 60% de carga del proyecto.

5.2 BASES DEL PROYECTO.

5.2.1. CARACTERISTICAS DE LA CARGA.-

La carga a procesarse en la Unidad de Crudo de la Refinería Estatal de Esmeraldas, es el petróleo extraído de la región Oriental, se lo conoce como crudo oriente, y tiene las siguientes características:

Carga total.	55.615 Bls/dia.
	368.4 m ³ /Hr.

Gravedad API	27.9- 30.2
Agua y sedimentos%	0.6
Sal tomado como CLNA lb/1000 Bls	
de diseño	15.0
esperado	5.6
Azufre, %	0.93.

5.2.2. ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS.

5.2.2.1. Nafta Pesada. (Carga a Hidrobón - Platforming)

PVR	9 psi
Destilación	10% 70 máx. °C
	50% 140°C/ Máx.
	95% 195°C máx.
Residuo	menos que 1%
Azufre.	1% máx.
Gravedad API	56.8

5.2.2.2 Kerosene

Color	18 min.
Destilación	vol. 200°C 20%
	P/F/E. 270 máx.
Residuo	1.2 % Máx.
	Punto de inflamación 43°C
Azufre.	0.2 %
Prueba de corrosión Nº 1	máx.
Gravedad API	42.2

5.2.2.3. DIESEL.

Color	igual o inferior a 3
Punto de Inflamación	66°C
Azufre	0.8 % (peso) máx.
Destilación	90% 360°C
Gravedad API	30.8

5.2.2.4 RESIDUO DE LA ATMOSFERICA.

Gravedad API	15.3
Azufre, %	1.5
Viscosidad, 122°F SSU	180 - 200

5.2.3. BALANCE DE MATERIAL.

El balance de material simplificado de la Unidad de crudo, para un proceso de 368.4 M³/Hr, esta indicado a continuación.

PRODUCTO	CORTE °C	Bls/día	Kg/hr	%vol	API.
Gas a combustible	-	439	1527	0.47	-
Líquido del C-V7	-	387	1399	0.43	-
Líquido del C-V9	- 105	2035	9052	2.78	78.8
Fondos del C-V8	105 - 168	6237	30960	9.50	56.8
Kerosene	168 - 262	7400	39890	12.24	42.2
Diesel	262 - 365	10600	61162	18.77	30.8
Crudo reducido	sobre 365	28517	181838	55.81	15.3
		55615	325818	100.	

5.2.4. CONDICIONES DE LA CARGA Y PRODUCTOS.

5.2.4.1. Carga.

	Presión Kg/cm ²	Temperatura °C
Crudo de oriente	30.23	32.2

5.2.4.2 PRODUCTOS	PRESION Kg/cm2	TEMPERATURA °C
Gas a combustible	3.75	43.3
Líquido del C-V7	17.22	43 .3
Líquido del C-V9	5.27	48.8
Fondos del C-V8	5.97	43.3
Kerosene	7.03	43.3
Diesel	12.65	43.3
Crudo reducido	17.60	148.9

El crudo reducido sale fuera del límite de batería a almacenamiento, sólo cuando la Unidad de Vacío no esta en funcionamiento.

5.2.5. CARACTERISTICAS DEL PROYECTO.-

5.2.5.1 TREN DE PRE+CALENTAMIENTO.- El calentamiento inicial del crudo antes de la entrada al horno (C+HL) se realiza con las corrientes laterales de la torre atmosférica, GOP de vacío y fondos de la torre de Vacío, es decir la Unidad de Crudo es combinada con la Unidad de Vacío.

Cuando la Unidad de destilación al vacío no esta funcionando, las corrientes de fondo de vacío y GOP de vacío son reemplazadas por la corriente de crudo reducido de la torre de la unidad atmosférica.

5.2.5.2 HORNO.- Después del pre-calentamiento se hace un aumento de temperatura final en el horno, el que tiene dos zonas de radiación, y una sola zona de convección. Consta además de 4 pasos a la entrada y 4 pasos a la salida. Los quemadores instalados sirven para quemar aceite y gas.

combustible, quema también gas amargo proveniente de la unidad de gas amargo proveniente de la unidad de aguas residuales.

5.2.5.3 FRACCIONAMIENTO.- Con la finalidad de tener la separación deseada de los productos y de las cargas a entregarse a las otras unidades de la Refinería, se cuenta con una Debutanizadora de 30 platos, una Deisohexanizadora con 24 platos, un agotador de kerosene con 5 platos, y un agotador de diesel con 5 platos.

5.2.5.4 DESALADORA DE CRUDO.- Es necesario hacer el desalado del crudo para evitar que la sal corra los equipos y tuberías. La remoción de la sal se hace por medio del método electrostático.

El agua para disolver las sales del crudo, se inyecta a la descarga de las bombas C-Pl A/B y antes de la válvula de mezcla en la desaladora. Esta agua proviene de la unidad de aguas ácidas y de los condensadores de los eyectores que hacen el vacío en la unidad de vacío, pero en la actualidad no se realiza la inyección de agua de los condensados de los eyectores por mal diseño en la bomba de carga del agua.

Se inyecta además un demulsificante antes de la succión de las bombas de carga (C-Pl A/B), para ayudar a una buena separación de aceite-agua en la desaladora.

5.2.5.5 INYECCION DE QUIMICOS.- Con el fin de minimizar la corrosión de equipos y tuberías se utilizan las siguientes precauciones.

- a). Inyección de amoníaco en la línea de gases del domo de la atmosférica, con la finalidad de controlar el pH del condensado acuoso en el acumulador del domo.
- b) Inyección de Unicor a la salida de gases del domo de la torre atmosférica y de la Debutanizadora

5.2.5.6 BOMBAS.-

- a) Todas las bombas tienen un accionador tipo eléctrico.
- b) A excepción de la bomba de kerosene a almacenamiento (C-P9) y de la bomba de reflujo al domo de la columna de crudo (C-P6), todas las bombas tienen su relevo.

5.3. DESCRIPCION DE LA UNIDAD.

5.3.1. DESCRIPCION del FLUJO.-

Se inicia el proceso bombeando el crudo desde los tanques de almacenamiento 8001-2-3-4 con las C-PlA/B localizadas fuera del límite de batería de la unidad.

La corriente de crudo es calentada intercambiando calor sucesivamente, en el C-E1 con reflujo circulante de Nafta, en el C-E2 con kerosene y en el C-E3 con diesel.

Después de precalentarse en los intercambiadores entra a la desaladora 6-V10 bajo control de presión.

Antes de la entrada de crudo a la desaladora, y en la descarga de las bombas C-P1A/B se inyecta agua proveniente de Z-V2 y de los condensados de los eyectores de la unidad de vacío, para ayudar al desalado.

El flujo de crudo desalado pasa por un nuevo tren de precalentamiento, en el C-E4 con diesel circulante, en el C-E5 con GOPV y en el C-E6 con fondos de Vacío.

Después de pasar por todo el tren de precalentamiento y el proceso de desalado, el flujo de crudo controlado por el FRCAL 7 A1/A2/B1/B2, entra al horno C-H1 en donde la carga de crudo es parcialmente vaporizada y la temperatura de la salida del horno está controlada por el TRC 10 A/B, que es el que regula el flujo de combustible al horno. Entra en seguida a la torre de crudo C-V1 a la altura del plato N° 36 en la zona de expansión.

Los gases de la torre en su domo son condensados en los enfriadores C-E11, y luego enviados al acumulador C-V4, en donde se separan el agua, la nafta ligera, y algunos gases ligeros. Estos gases son luego comprimidos por los compresores C+C1A/B de estos gases, parte son enviados de retorno al acumulador controlados por el PRC-107A y parte se enfría en el C-E10, luego son separados en el C-V5 de donde el gas se envía al sistema de combustible y el líquido retorna al acumulador C-V4 bajo control de nivel LICAH-125.

La nafta ligera del acumulador C-V4 se divide en dos corrientes, una que es bombeada por la C-P6 y es

y es enviada como reflujo a la torre ~~atmosférica~~ atmosférica bajo control de temperatura TRC-29 en cascada con el control de reflujo FRC-113, la otra corriente va como carga a la debutanizadora en la sección de fraccionamiento bajo control de nivel LIAHL 109

Un primer corte lateral a la altura del plato N°4 es bombeada por la C-P5 A/B y enfriada en el C-E1 con crudo, y luego retorna como reflujo a la torre atmosférica bajo control de nivel LIC-36 en cascada con el control de flujo FRCAL-89.

Un segundo corte lateral que toma el nombre de kerosene, es extraído de la torre atmosférica a la altura del plato N° 15, luego se divide en dos corrientes, la una retorna como reflujo a la torre atmosférica bombeada por la C-P4 y bajo control de nivel LIC-39 en cascada con el FRCAL-62, la otra corriente va al despojador de kerosene C-V2 bajo control de nivel LIC-63, en donde por inyección de vapor de 150 psig se separarán los compuestos que no están dentro del rango del kerosene. El producto agotado de kerosene es bombeado por la C-P9 y C-P8 B/ a almacenamiento siendo previamente enfriado en el C-E2 y luego en el C-E13..

Un tercer corte lateral que toma el nombre de diesel es extraído de la torre atmosférica a la altura del plato N°29, luego es dividida en dos corrientes, la una va como reflujo a la torre atmosférica luego de intercambiar

calor y la otra va al despojador de diesel C-V3.

La corriente que va como reflujo a la torre atmosférica, es bombeada por la C-p3 A/B y se divide en dos nuevas corrientes, la una que intercambia calor con el C-E4 con crudo y la otra corriente que cambia calor con los rehervidores de los fondos de la debutanizadora y la dehisohexanizadora C-E8 y C-E9.

La corriente que va al despojador de diesel C-V3, fluye bajo control de nivel LIC-64, aquí por inyección de vapor de 150 psig, se separa los compuestos que no están dentro del rango del diesel. El producto agotado del diesel es bombeado por la C-P8A/B a almacenamiento, a la unidad de vacío y a la unidad de visbreaking, siendo previamente enfriado en el C-E3 y el C-12 con aire.

Los fondos de la torre atmosférica son bombeados por la C-P2A/B al horno de vacío V-H1 bajo control de nivel LRCALH- 47 en cascada con el control de nivel V-LRC32, cuando la unidad de vacío no está funcionando los fondos de la torre atmosférica va a almacenamiento de visbreaking y a proceso en visbreaking luego de intercambiar calor en los C-E6 y C-E5 con crudo y enfriarse en el VE2

La corrida de nafta que va como carga a la debutanizadora es bombeada por la C-P7 A/B bajo control de nivel LIAHL-109. Esta corriente antes de entrar a la torre debutanizadora C-V6 cambia calor en el C-E7 con producto de fondo de la debutanizadora.

Los vapores del domo de la debutanizadora son condensados en las C-E15 y luego va al acumulador del domo de la debutanizadora C-V7.

El producto de cabeza enfriado del acumulador C-V7 es bombeado por la C-P10A/B. Una parte es enviado a la torre debutanizadora como reflujo bajo control automático de temperatura TRC-142 en cascada con control de flujo FRC-152. La debutanizadora posee un regervidor de fondos C-E8 que sirve como medio de calentamiento o reflujo circulante intermedio.

Los fondos de la debutanizadora cambian calor con la carga en el C-E7 y van como alimentación a la deisohexanizadora C-V8 bajo control automático de nivel LIC-145.

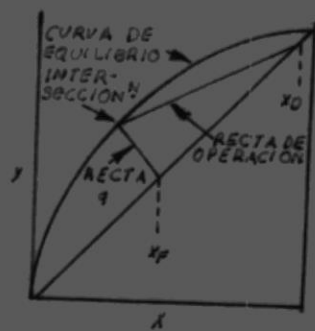
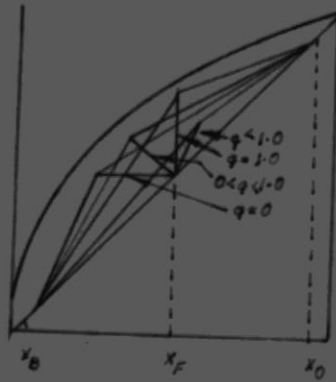
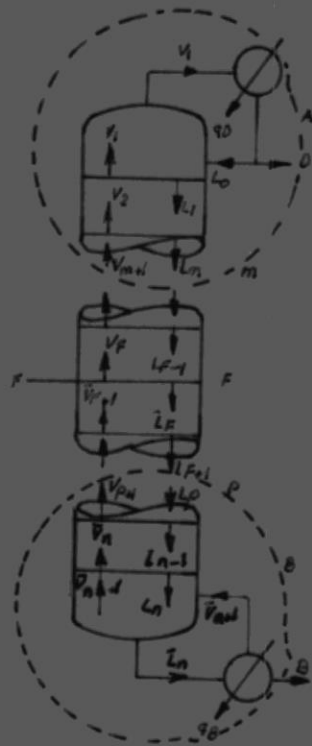
Los vapores del domo de la deisohexanizadora son condensados en el C-E16 y luego van al acumulador del domo de la deisohexanizadora C-V9.

El producto de cabeza enfriado del acumulador C-V9 es bombeado por la C-P11A/B. Una parte es enviada como reflujo a la torre deisohexanizadora bajo control automático de temperatura TRC-165 en cascada con el control de flujo FRC-175. La parte restante es enviada a tanque de almacenamiento de nafta ligera bajo control automático de nivel LIC-177 en cascada con control de flujo FRC-172. Los gases del acumulador son enviados a tea bajo control automático de presión del domo de la deisohexanizadora FRC-176B.

El producto de fondo de la desohezanizadora, es enfriado en el C-E17 y es enviado como carga a la unidad de Hidrobón-Platforming bajo control automático de nivel LIAL-168.

La torre desohezanizadora posee un rehervidor de fondos C-E9 que sirve como medio de calentamiento o de reflujo intermedio circulante.

La inyección de amoníaco y unícor en las líneas de salida de los gases del domo de la torre atmosférica, se hace con el fin de controlar el pH del agua ácida removida de los acumuladores del domo y controlar la corrosión de las líneas.



PHASE DIAGRAM CONSTRUCTION CHART

STOCK GRAVITY	ASTM	DIFF. °F	L°F	ASTM VAPOR SLOPE
CRUO	29.2			
0	82.4		245	
10	239*	156.6	83	
30	550.4*	311.7	196	
50	653*	92.6	58	
70	757*	104	62	
90	1033*	276	184	
100			828	

$\Sigma = 3234.8 = 646.48$
 ASTM 30% - 10% TEMP = 311.7
 ASTM 10% TO 90% SLOPE = 9.925 °F/%
 ASTM VAPOR SLOPE = (640.8) = 24.72
 (23.925)

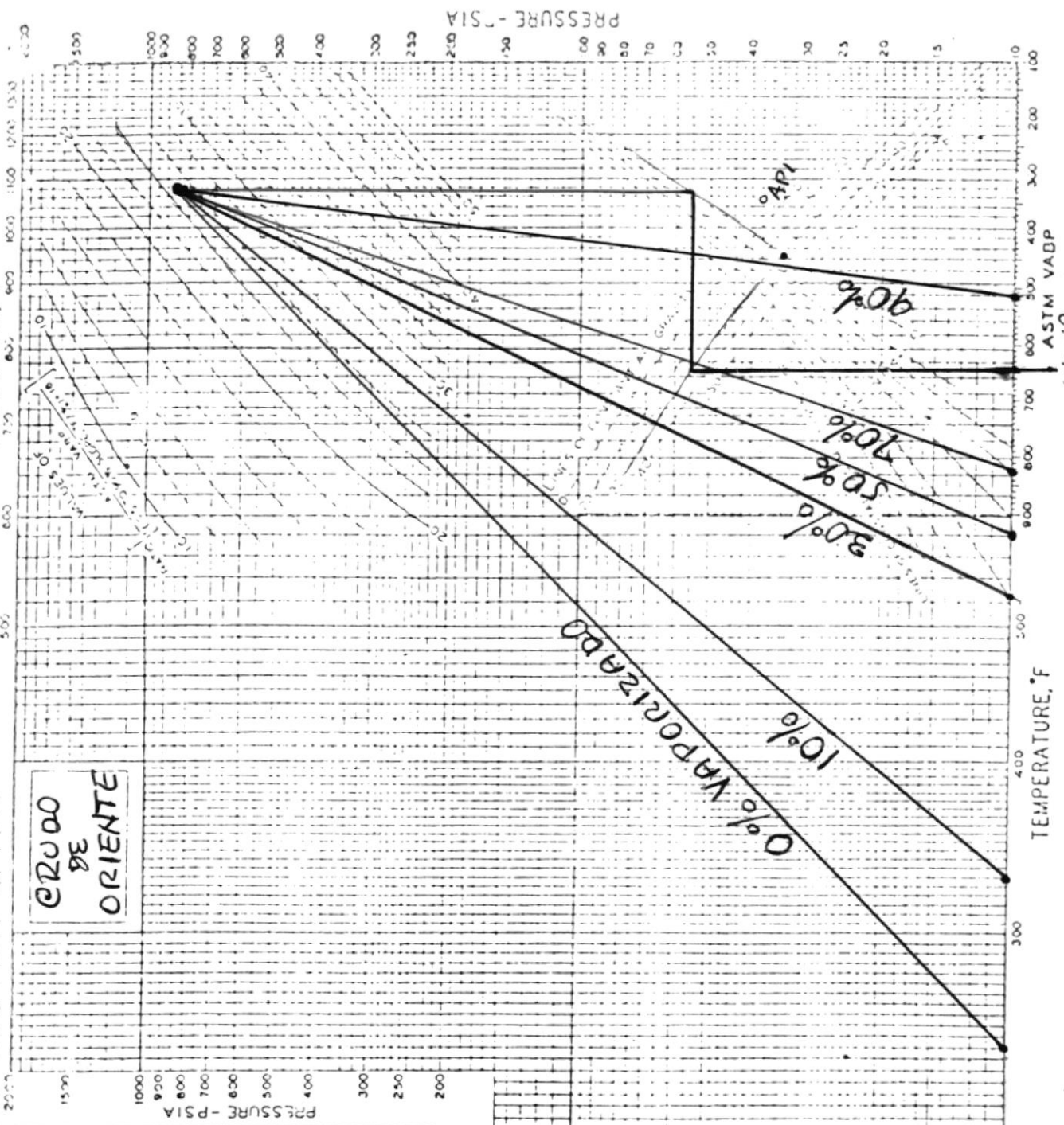
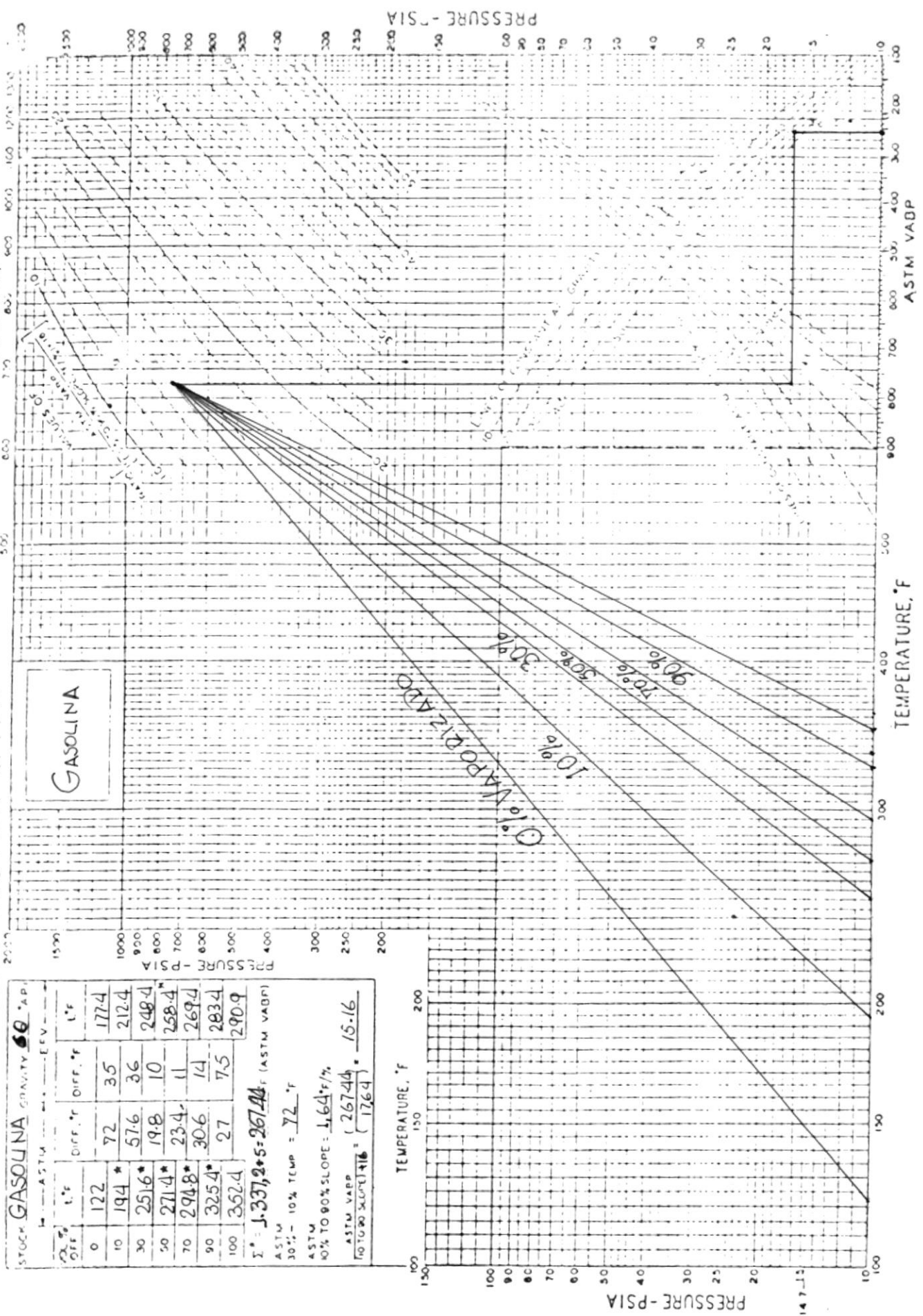


FIGURE 12.14—Phase diagram construction chart.

646.48

PHASE DIAGRAM CONSTRUCTION CHART



ASTM VADP	ASTM VADP	ASTM VADP	ASTM VADP
0	122	72	1774
10	194	35	2124
30	2516	576	2484
50	2714	198	2584
70	2948	234	2694
90	3254	306	2834
100	3524	27	2909

$\Sigma = 1.337, 2.5 = 267.4$
 ASTM 30% - 10% TEMP = 72 °F
 ASTM 10% TO 90% SLOPE = 1.64 °/1%
 ASTM VADP TO 100% SLOPE = $\left(\frac{267.4}{17.64} \right) = 15.16$

FIGURE 12.14—Phase diagram construction chart.

STOCK DIESEL		GRAVITY 32.86 AP	
ASTM		EEV	
ASTM	L°F	DIFF. °F	L°F
0	471.2	46.8	555.4
10	518.*	28.8	575.4
30	546.8*	30.6	591.4
50	577.4*	43.2	607.4
70	620.6*	73.8	627.4
90	694.4*	36	667.4
100	730.4		680.4

$T^* = 2957.2 - 5 = 591.4 F$ (ASTM VADP)
 ASTM 30% - 10% T(CP) = $46.8 F$
 ASTM 40% TO 90% SLOPE = $2.20 F/\%$
 $\frac{\text{ASTM VADP}}{100 - 90 \text{ SLOPE}} + 18 = \frac{591.4}{18.2} = 32.49$

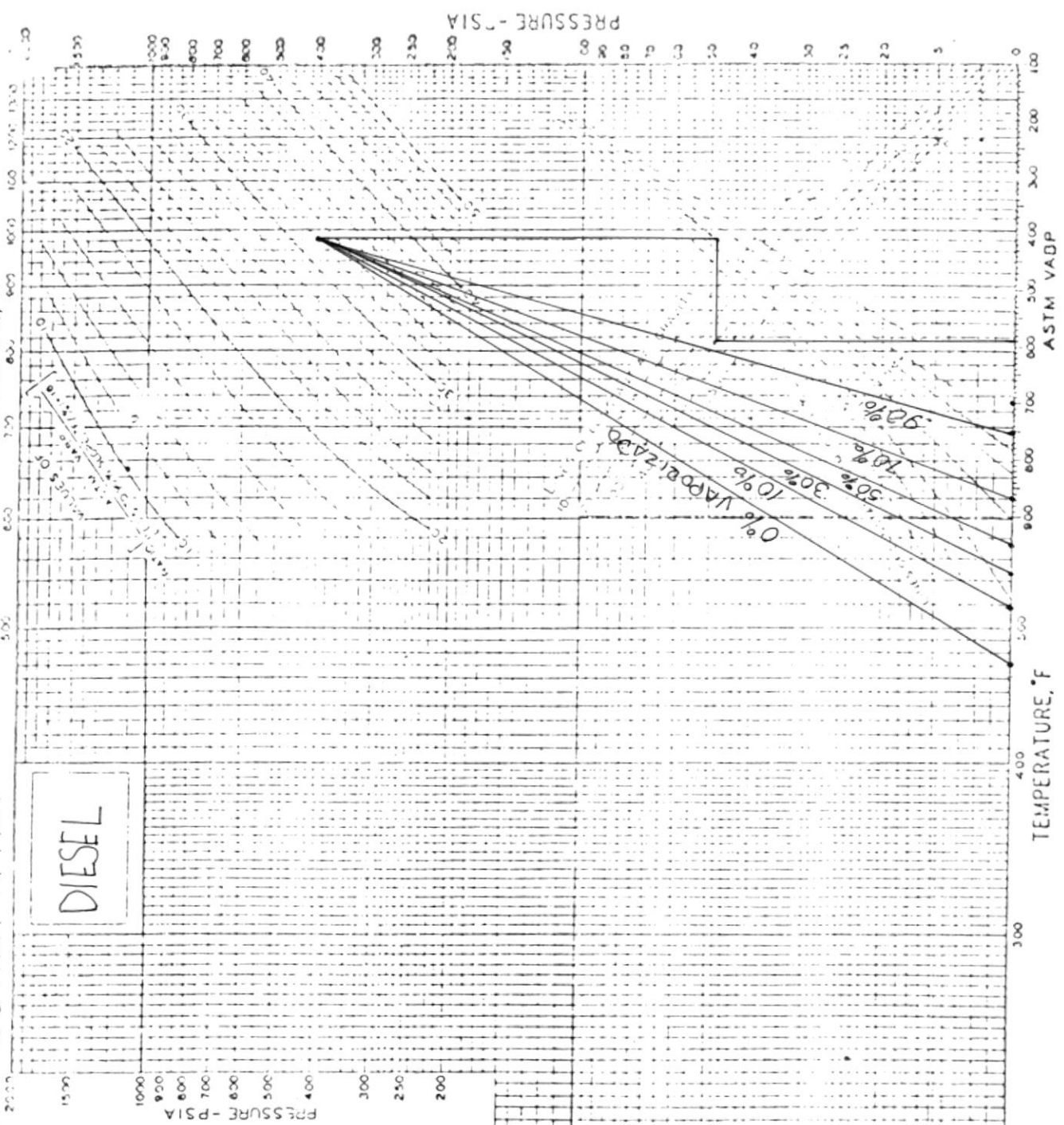
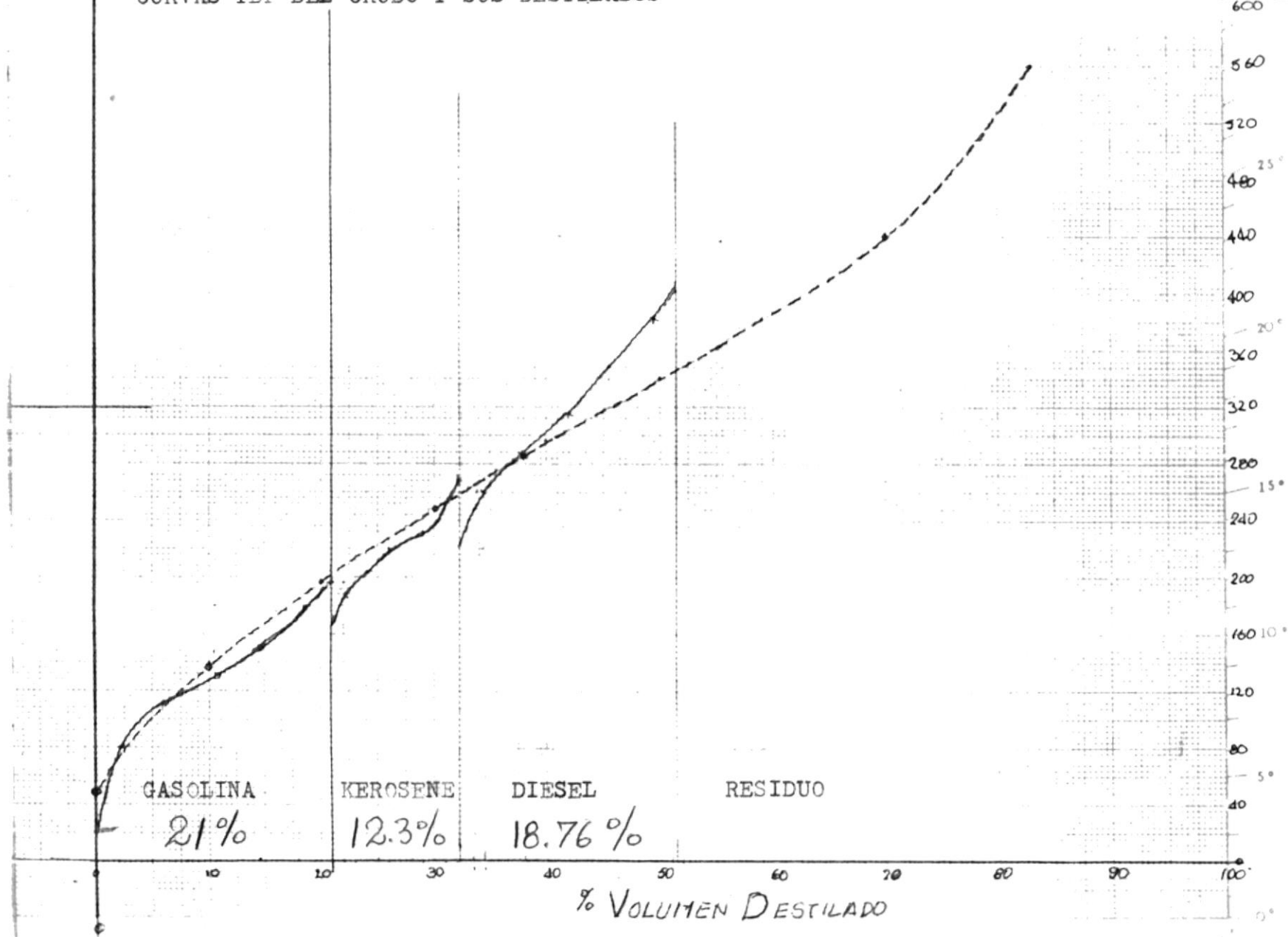


FIGURE 12.14—Phase diagram construction chart.

CURVAS TBP DEL CRUDO Y SUS DESTILADOS



CRUDO ORIENTE.

CÁLCULO DE LA CURVA TBP A PARTIR DE LA CURVA ASTM.

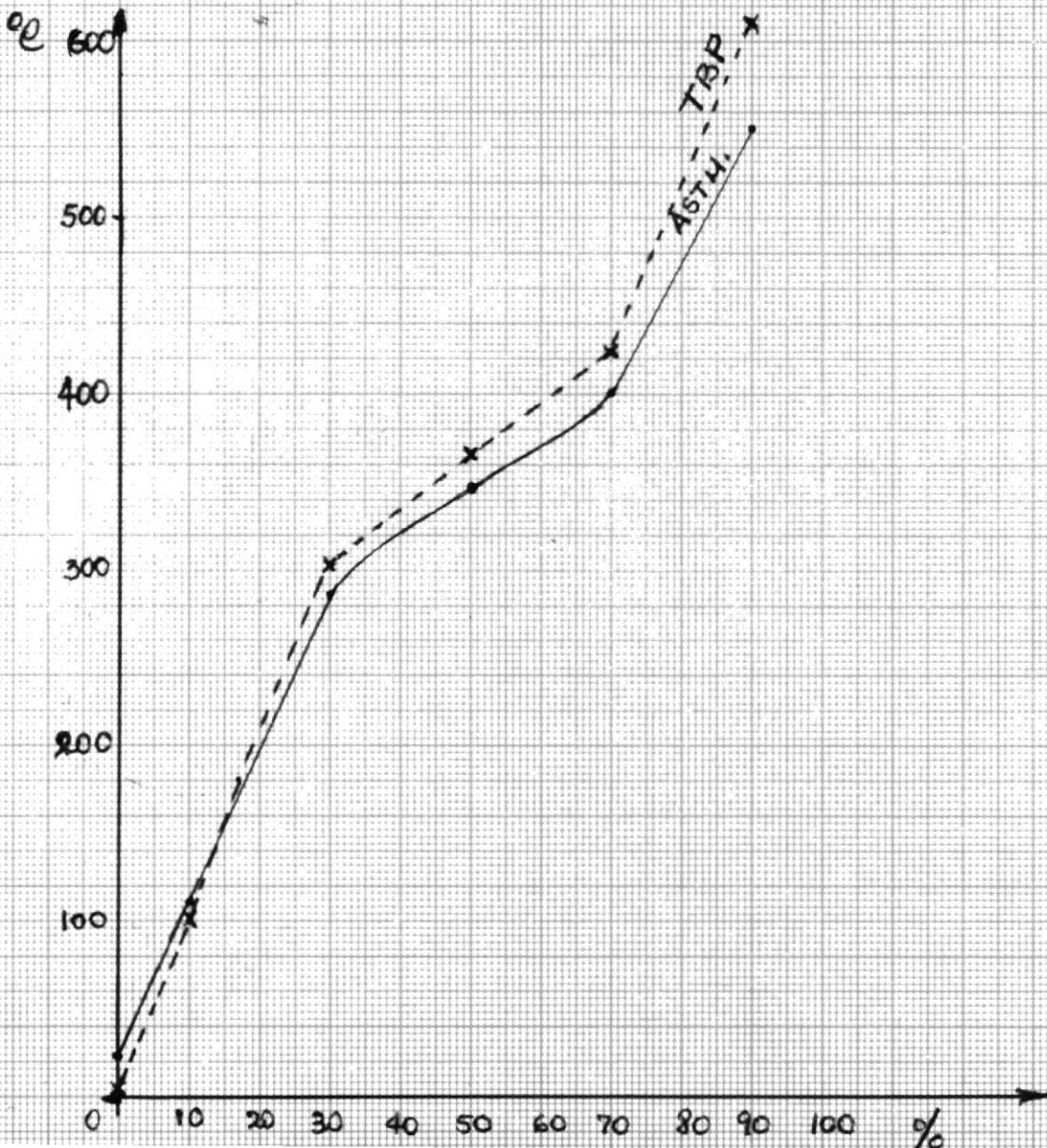
DESTILACION. ASTM

DESTILACION TBP.

TI	°C	°F	DIF	DIF	°F	°C
TIE:-	28	82.4			34	1.1
10%	115	239	156.6	198	232	101.1
30%	288	550.4	311.4	368	590	320.0
50%	345	653	92.6	108	692	366.6
70%	402	757	104	108	800	426.6
90%	556	1033	276	342	1142	616.6

Fig 12.5

Fig 12.4



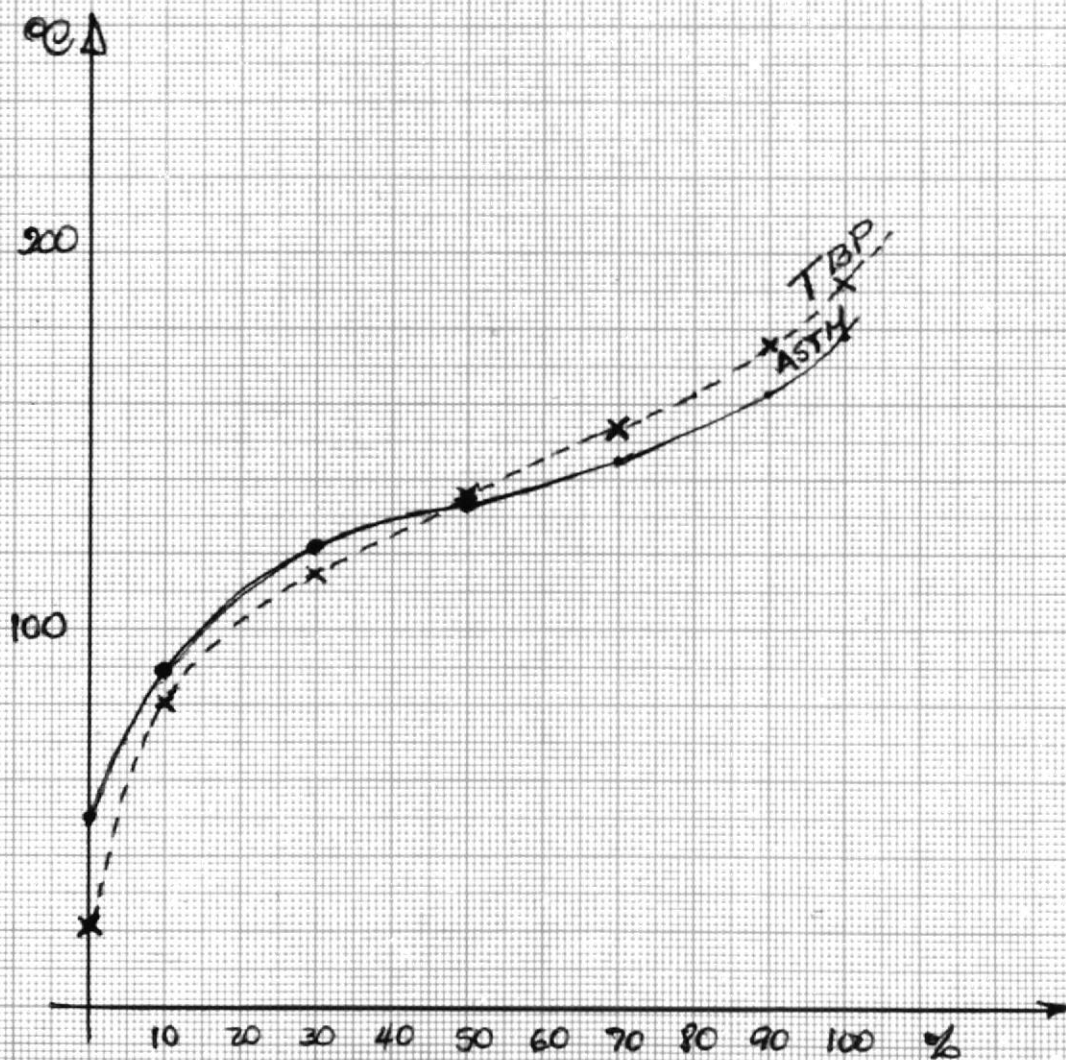
GASOLINA-

RENDIMIENTO:

DESTILACION ASTM.

DESTILACION TBP

	°C	°F	DIF	DIF	°F	°C
TIE	50	122			72.4	22.4
10%	90	194	72.00	106	178.4	81.33
30%	122	251.6	57.6	88	240.4	115.8
50%	133	271.4	19.8	34	274.4	134.7
70%	146	294.8	23.4	35	309.4	154.8
90%	163	325.4	30.6	40	349.4	176.3
100%	178	352.4	27	30	389.4	193



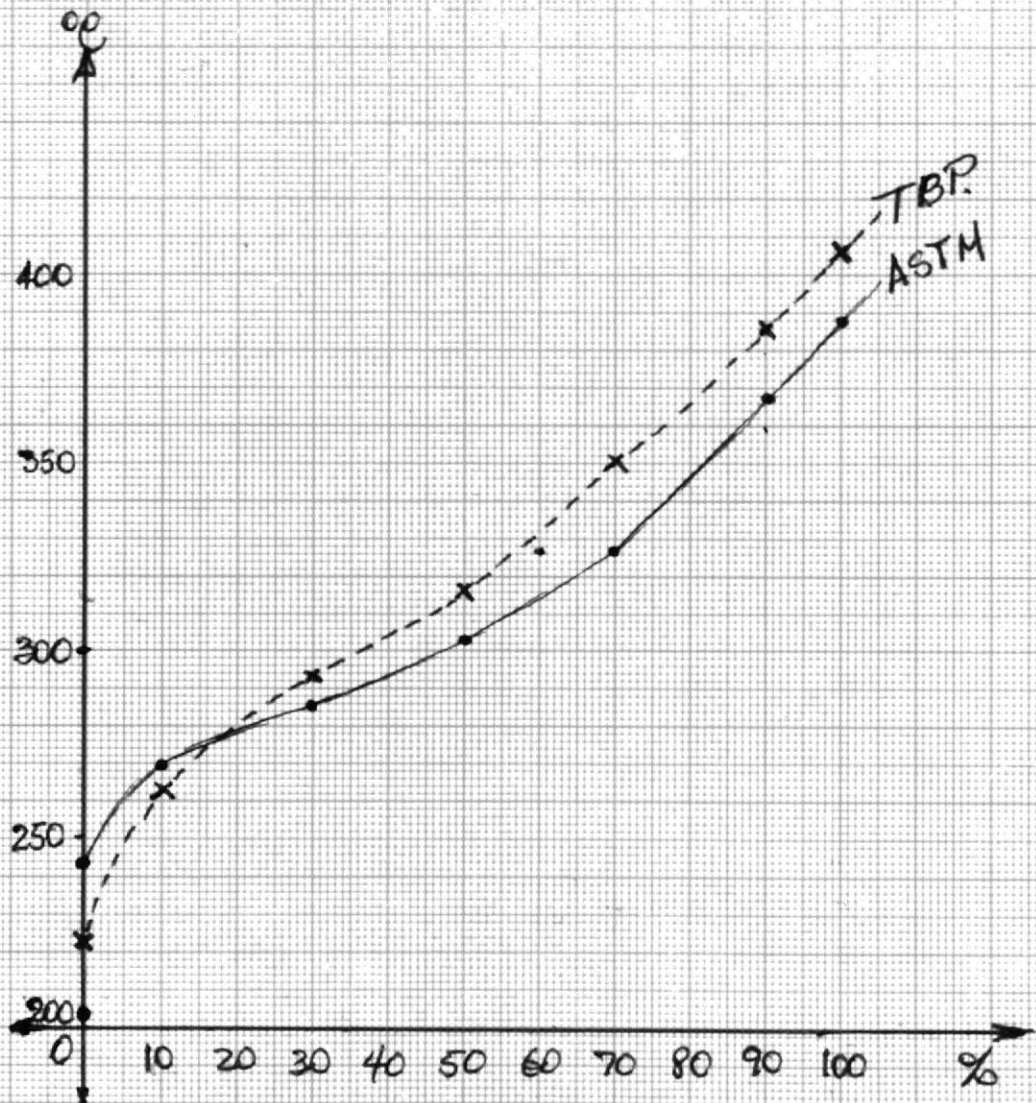
DIESEL

Rendimiento:

DESTILACION ASTM.

DESTILACION TBP.

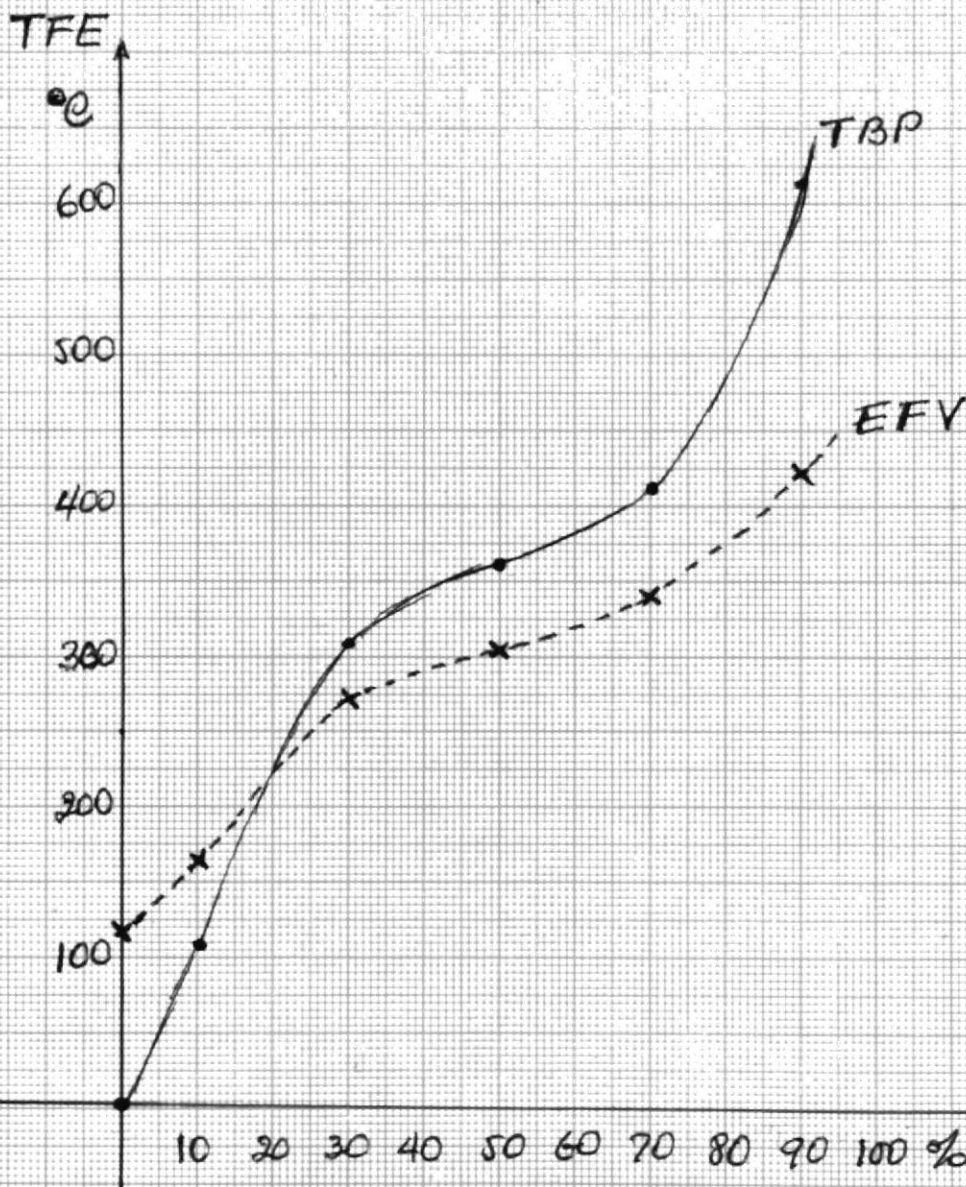
	°C	°F	DIF	DIF	°F	°C
TIE	244	471.2	46.8	92	433.4	223
10%	270	518	28.8	54	505.4	263
30%	286	546.8	30.6	46	559.4	293
50%	303	577.4	43.2	58	605.4	318.6
70%	327	620.6	73.8	63	663.4	350.8
90%	368	694.4	36	39	726.4	385.8
TFE=100%	388	730.4			765.4	407.4



CRUDO ORIENTE

cálculo de la curva EFV a partir de la curva TBP.

	DESTILACION TBP			DESTILACION EFV.		
	°e	°F	DIF	DIF	°F	°e
TIE	1.1	84	198	83	245	118.3
10%	111.1	232	358	196	328	164
30%	320	590	108	58	524	273.3
50%	366.6	692	108	62	582	305.6
70%	426.6	800	342	184	644	340
90%	616.6	1142			828	422



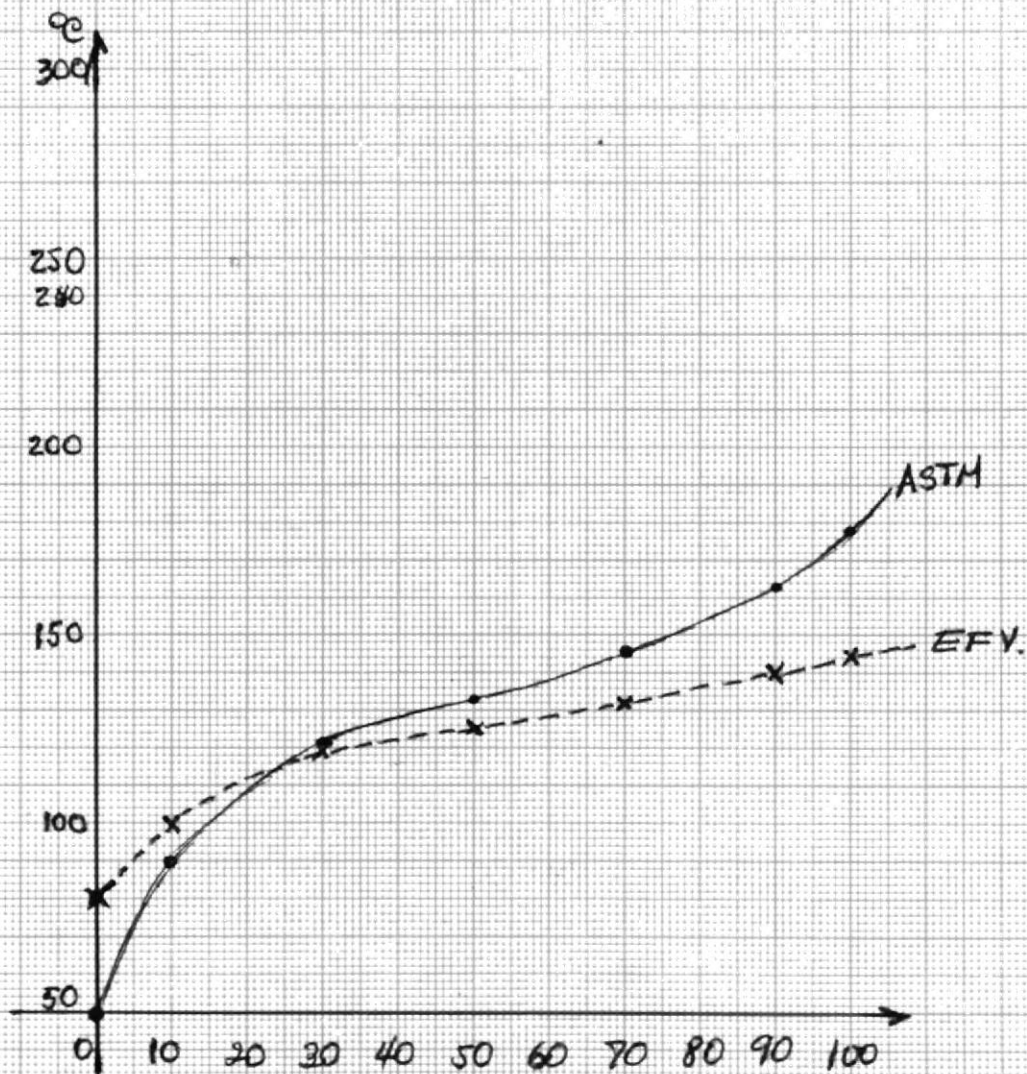
GASOLINA-

Rendimiento:

DESTILACION ASTM

DESTILACION EFV.

	°e	°F	DIF.	DIF	°F	°e
TIE	50	122			177.4	80.8
10%	90	194	72	35	212.4	100.2
30%	122	251.6	57.6	36	248.4	120.2
50%	138	271.4	19.8	10	258.4	125.8
70%	146	294.8	23.4	11	269.4	131.9
90%	163	325.4	30.6	14	283.4	139.7
TFE	178	352.4	27	7.5	290.9	143.8



KEROSENE.-

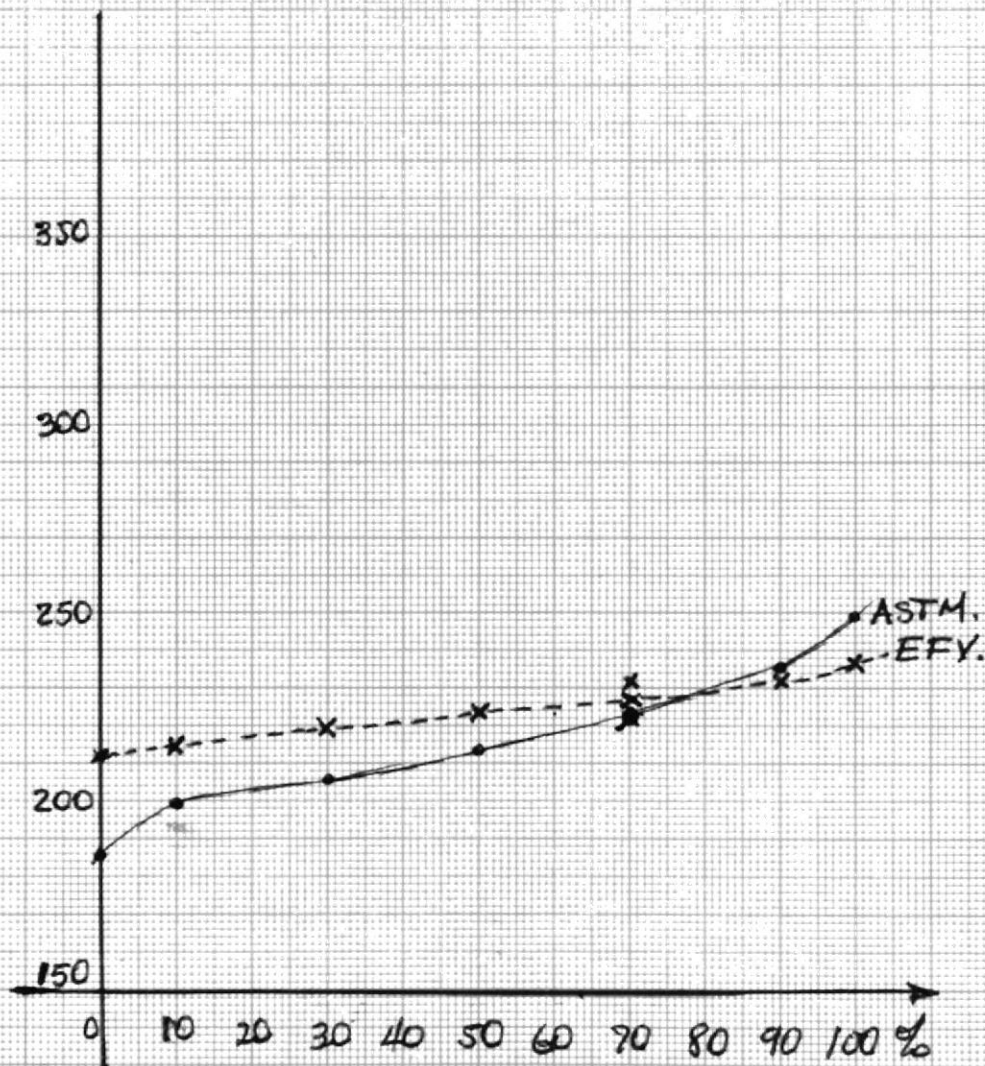
Rendimiento:

DESTILACION ASTM

DESTILACION E.F.V.

	°C	°F	DIF	DIF	°F	°C
TIE	186	366.8			414.4	212.4
10%	199	390.2	23.4	6.0	420.4	215.8
30%	206	402.8	12.6	6.8	427.2	219.6
50%	214	417.2	14.4	7.0	434.2	223.4
70%	223	433.4	16.2	8.0	442.2	227.9
90%	236	456.8	23.4	8.4	450.6	232.6
TFE.	249	480.7	23.4	9.0	459.6	237.6

Cálculo de la curva E.F.V. A partir de la ASTM.



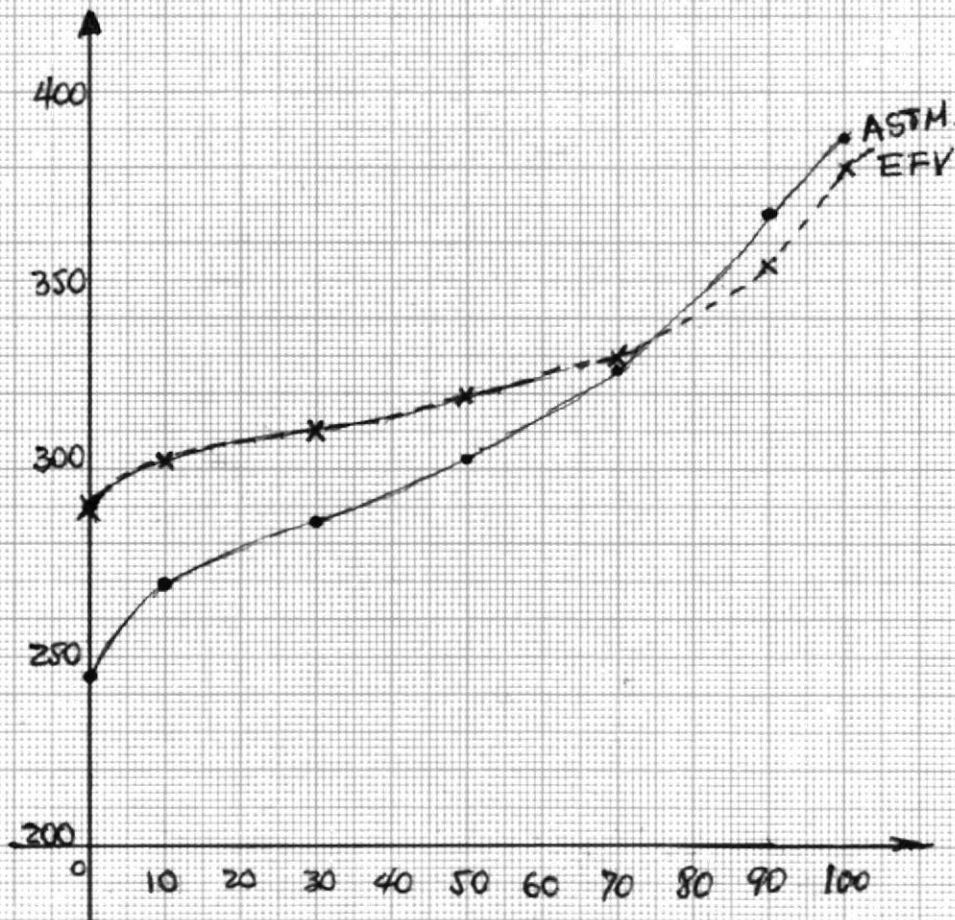
DIESEL

Rendimiento:

DESTILACION ASTM.

DESTILACION EFV

	°C	°F	DIF	DIF	°F	°C
TIE	244	471.2	46.8	20	555.4	290.8
10%	270	518	28.8	16	575.4	302
30%	286	546.8	30.6	16	591.4	310.8
50%	303	577.4	43.2	20	607.4	319.7
70%	327	620.6	73.8	42	627.4	330.8
90%	368	694.4	36	11	669.4	354.1
TFE	388	730.4			680.4	360.2



Applied Hydrocarbon Thermodynamics

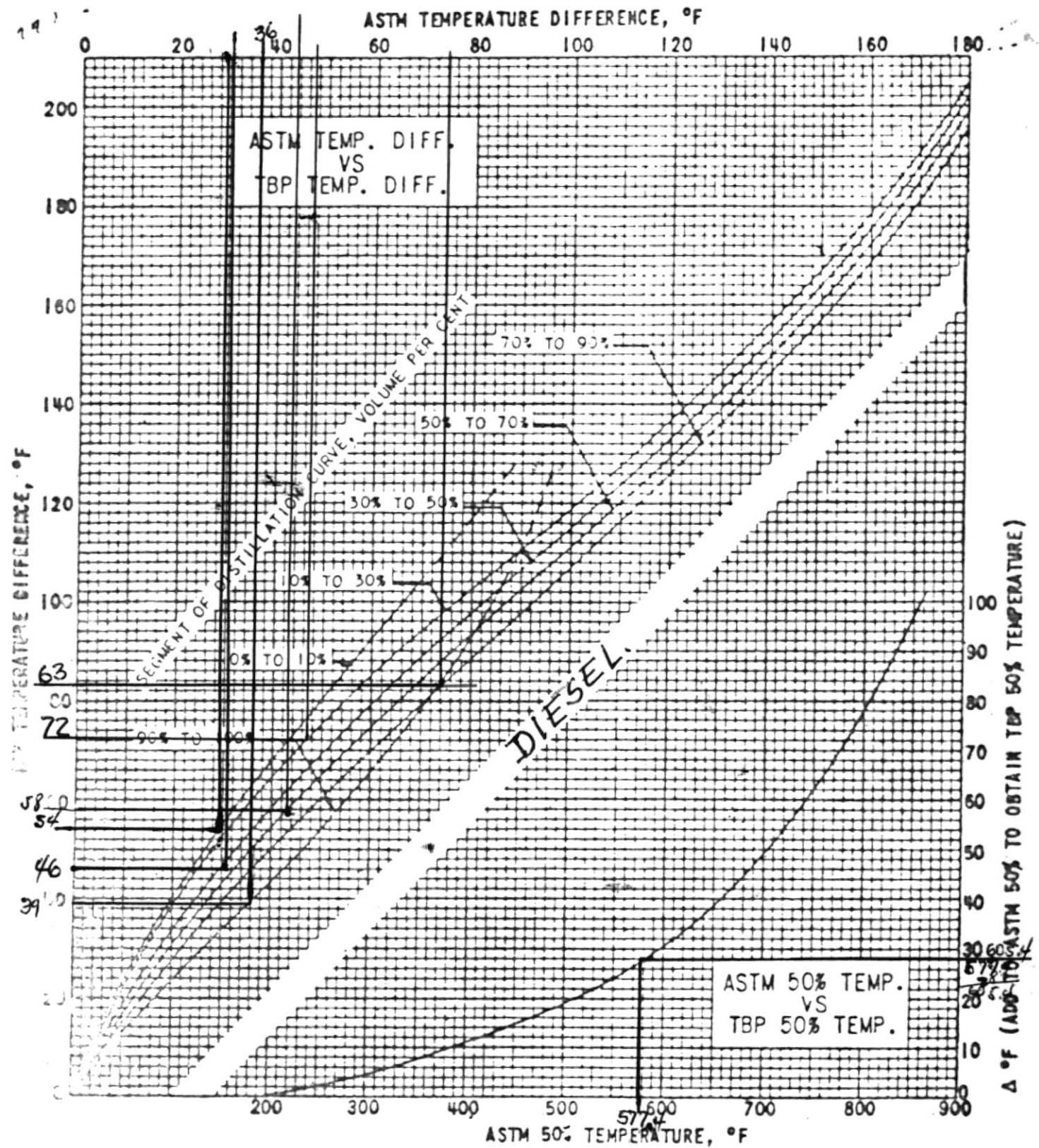


FIGURE 12.4—(lower right) ASTM 50 percent temperature versus TBP 50 percent temperature.

FIGURE 12.5—(top left) ASTM temperature difference versus TBP 50 percent temperature difference.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics

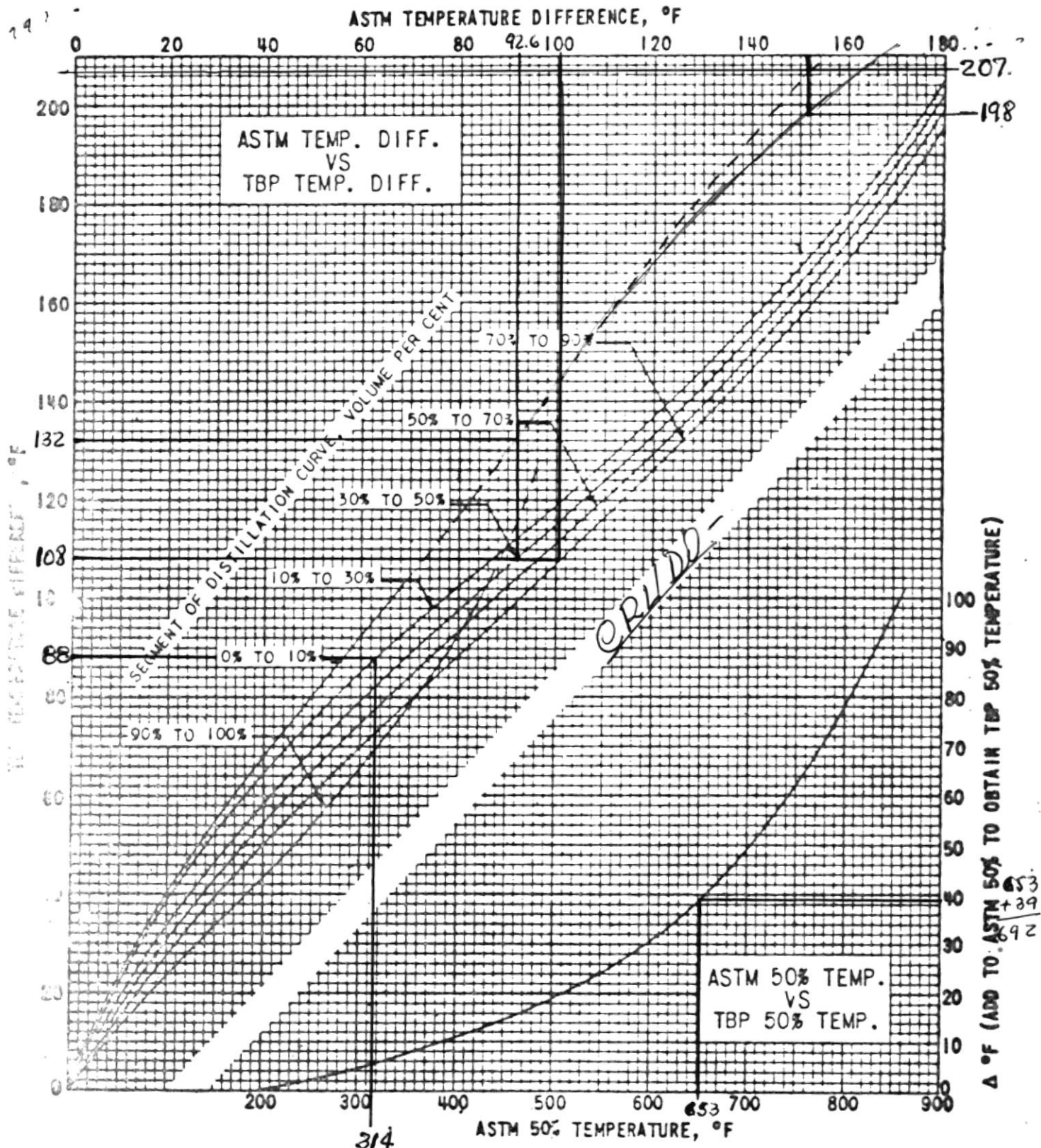


FIGURE 12.4—(lower right) ASTM 50 percent temperature versus TBP 50 percent temperature.

JRE 12.5—(top left) ASTM temperature difference versus TBP 50 percent temperature difference.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics

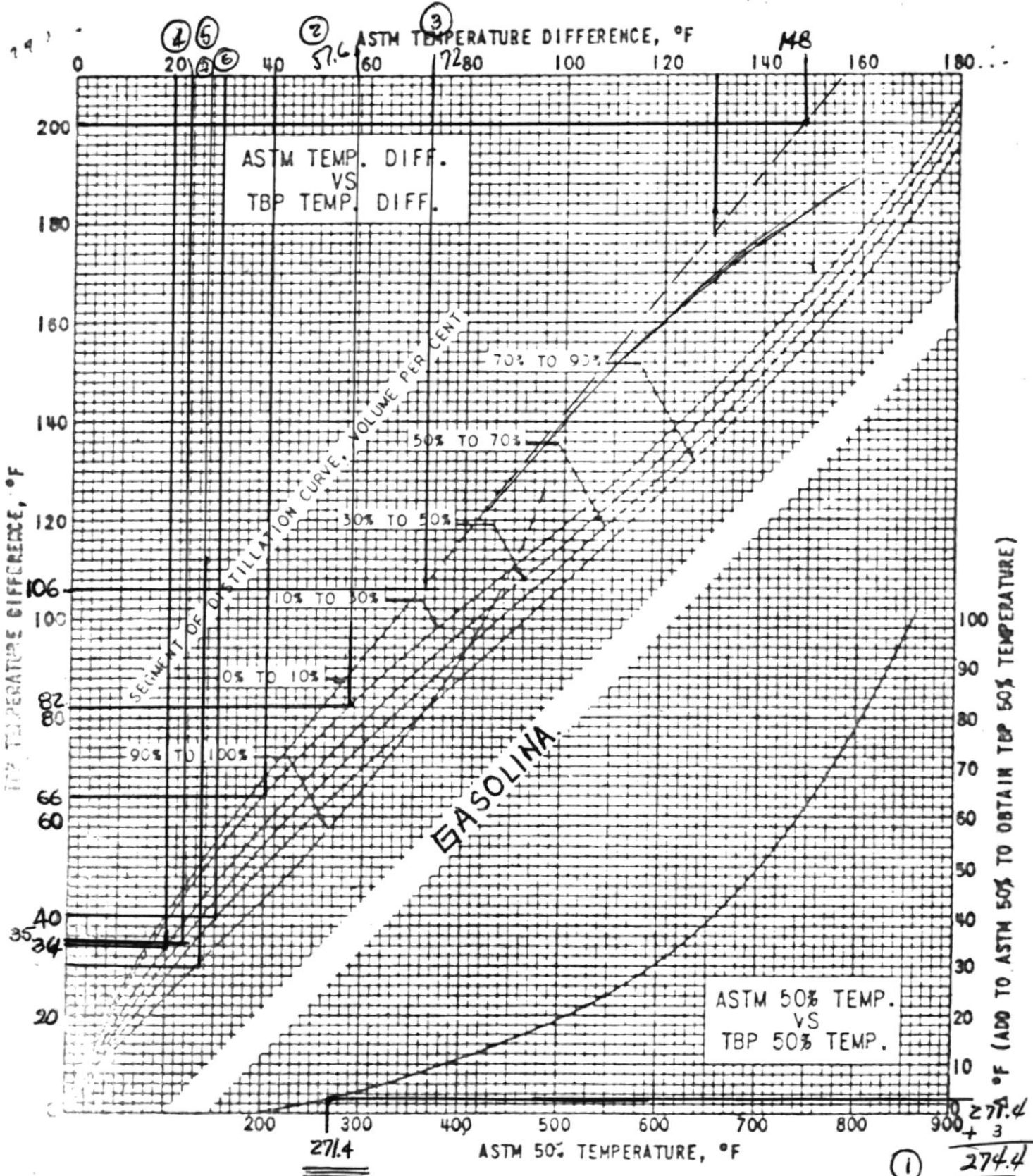
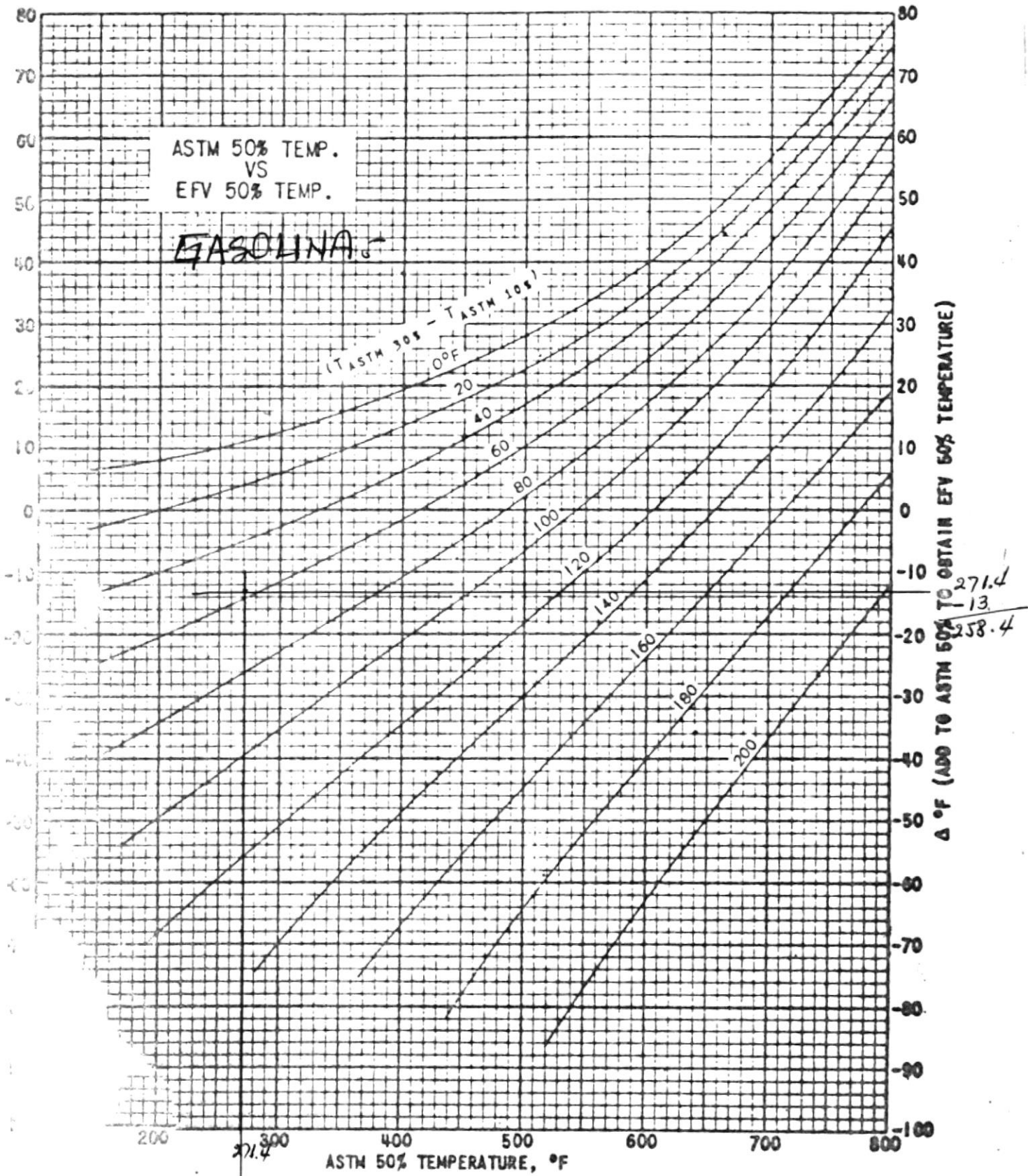


FIGURE 12.4—(lower right) ASTM 50 percent temperature versus TBP 50 percent temperature.

FIGURE 12.5—(top left) ASTM temperature difference versus TBP 50 percent temperature difference.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics



12.8—ASTM 50 percent temperature vs. EFV 50 percent temperature.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics

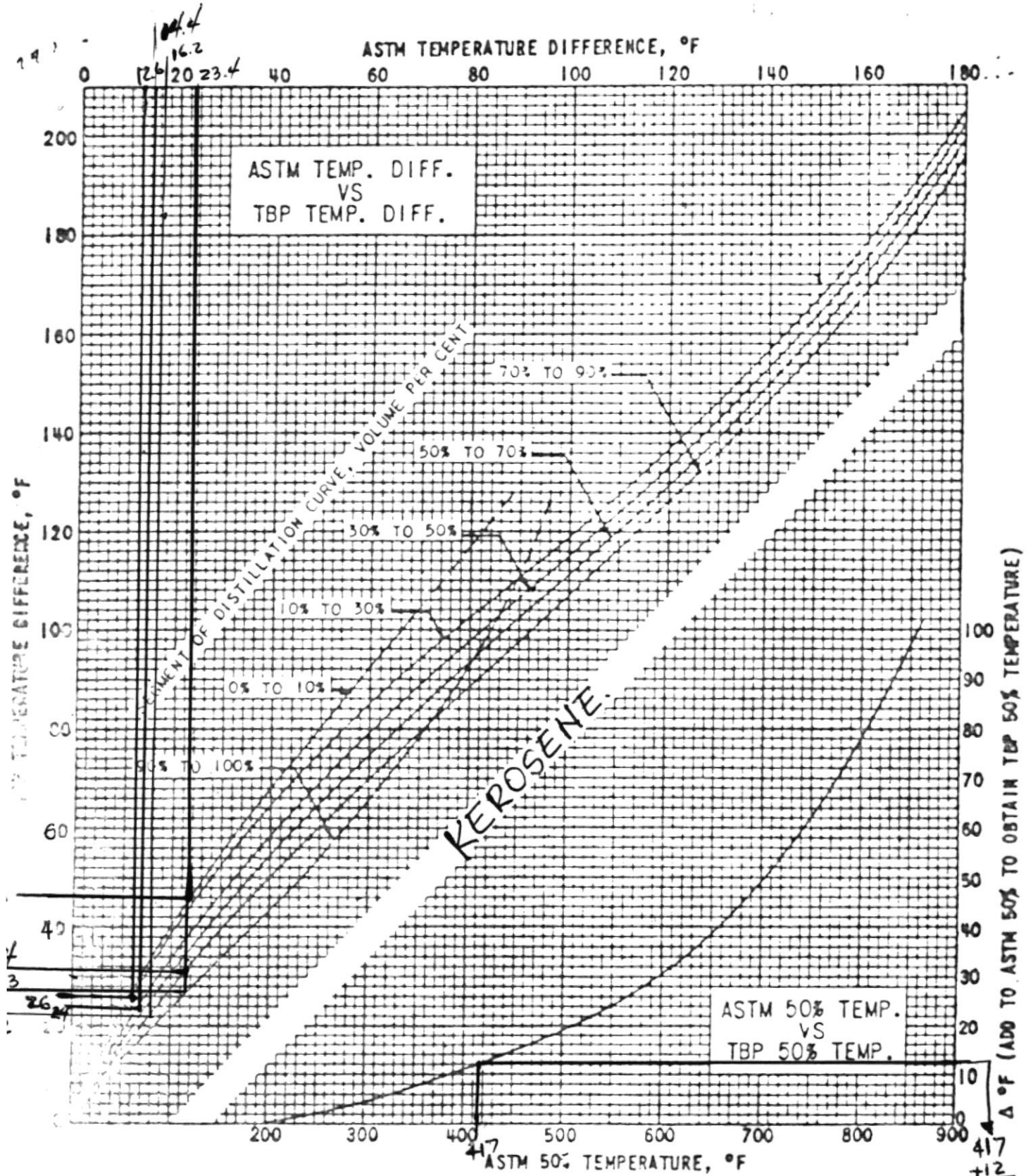


FIGURE 12.4—(lower right) ASTM 50 percent temperature versus TBP 50 percent temperature.

FIGURE 12.5—(top left) ASTM temperature difference versus TBP 50 percent temperature difference.

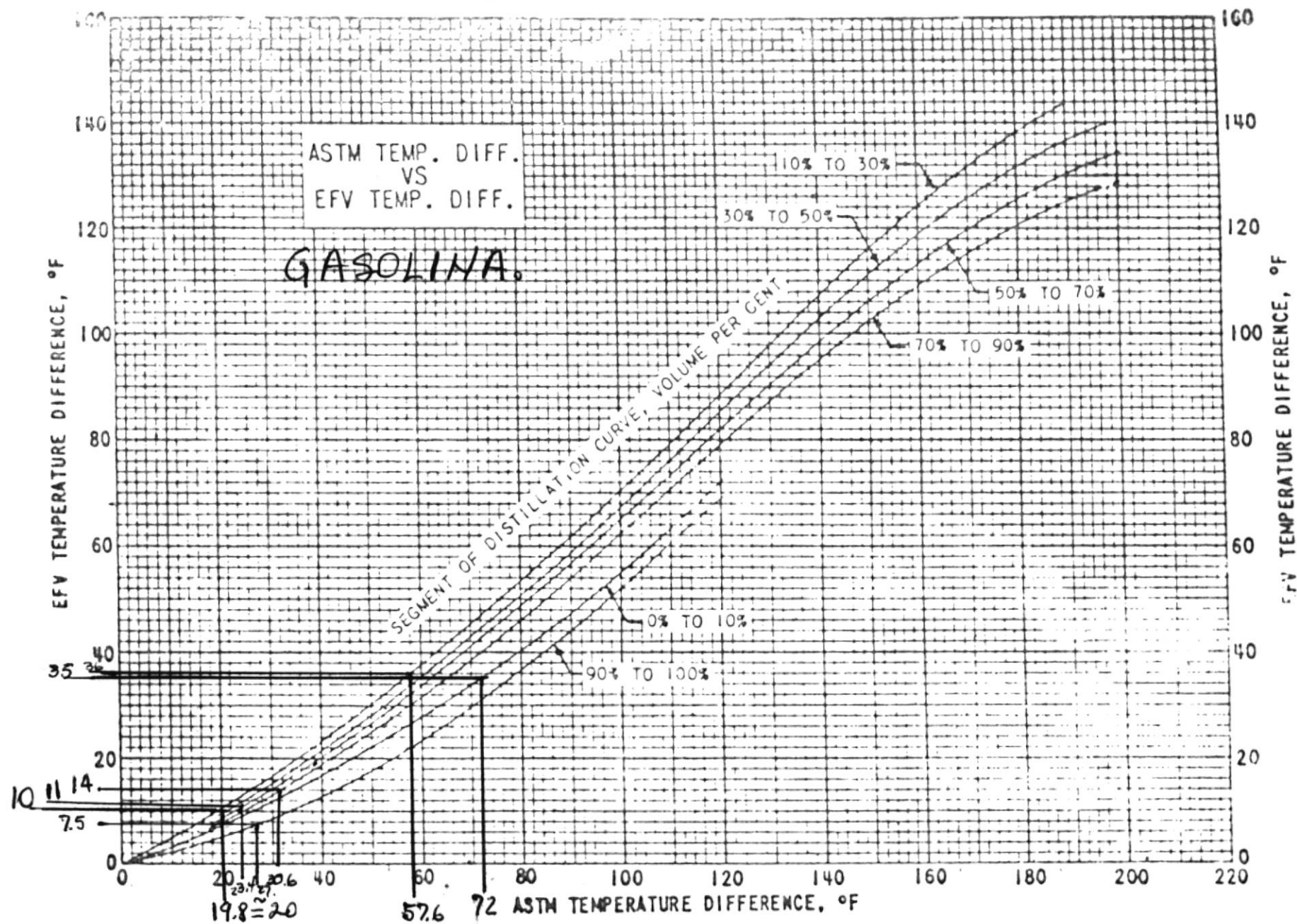
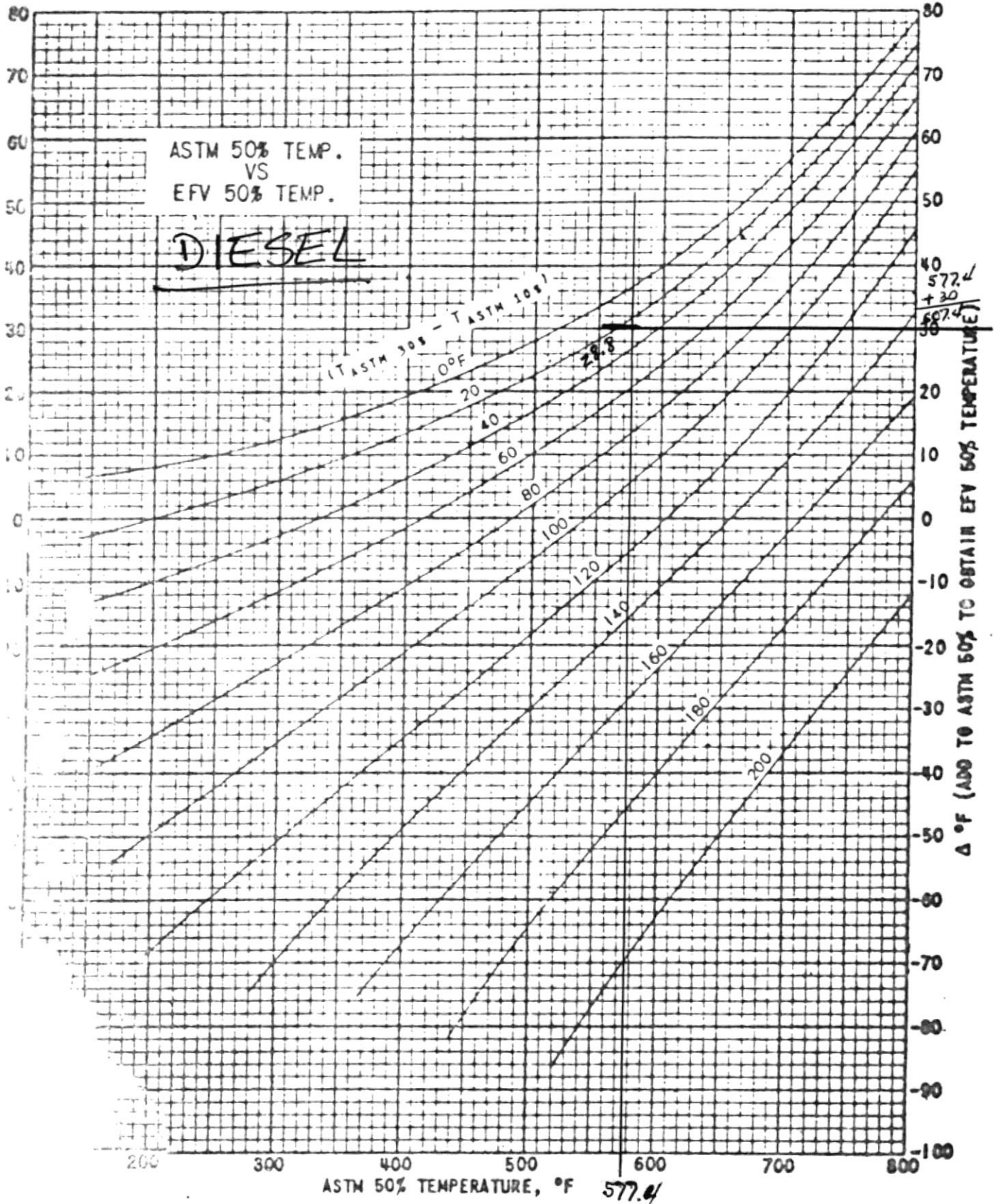


FIGURE 12.9—ASTM temperature difference vs. EFV temperature difference.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics



12.8—ASTM 50 percent temperature vs. EFV 50 percent temperature.

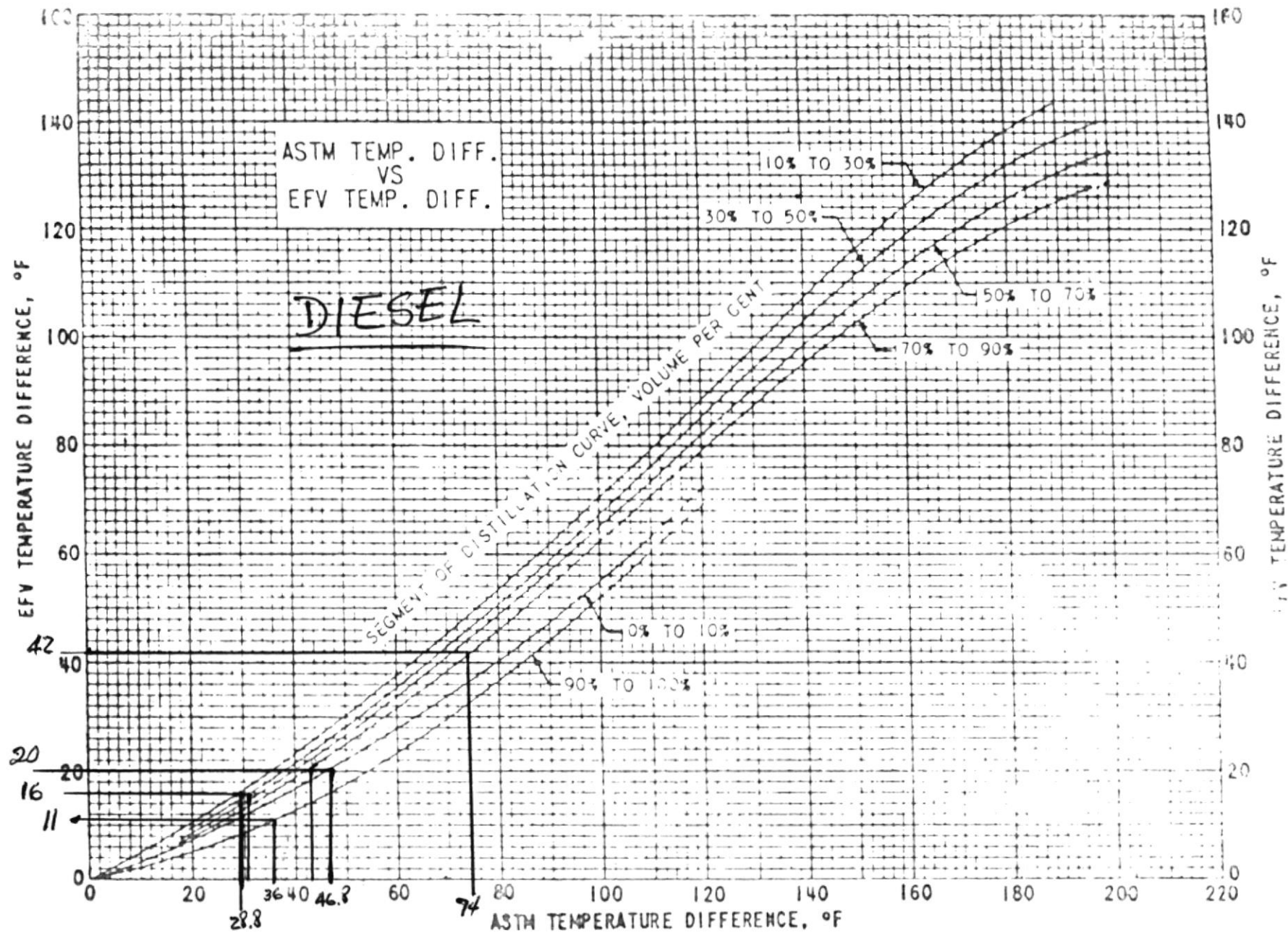


FIGURE 12.9—ASTM temperature difference vs. EFV temperature difference.

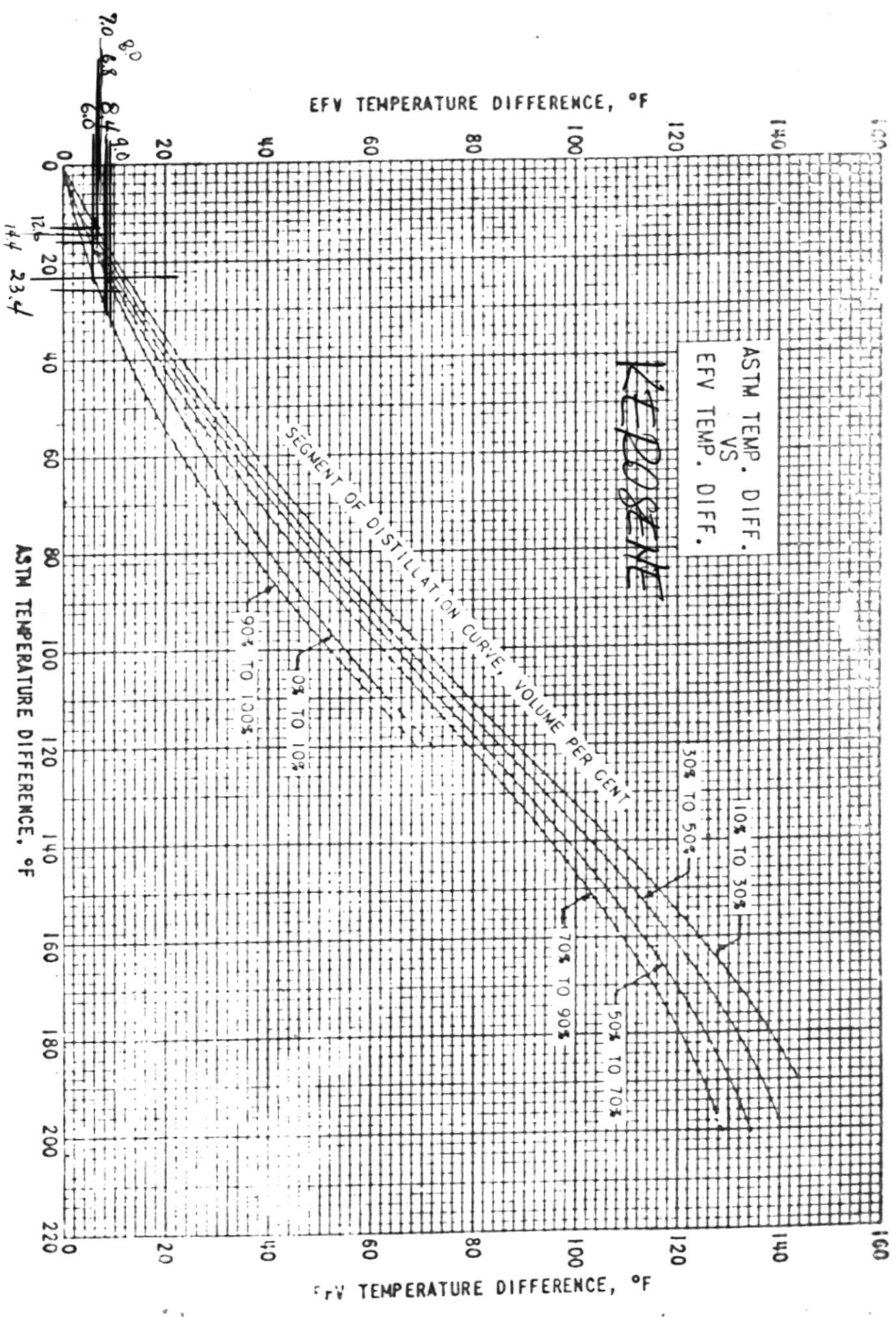
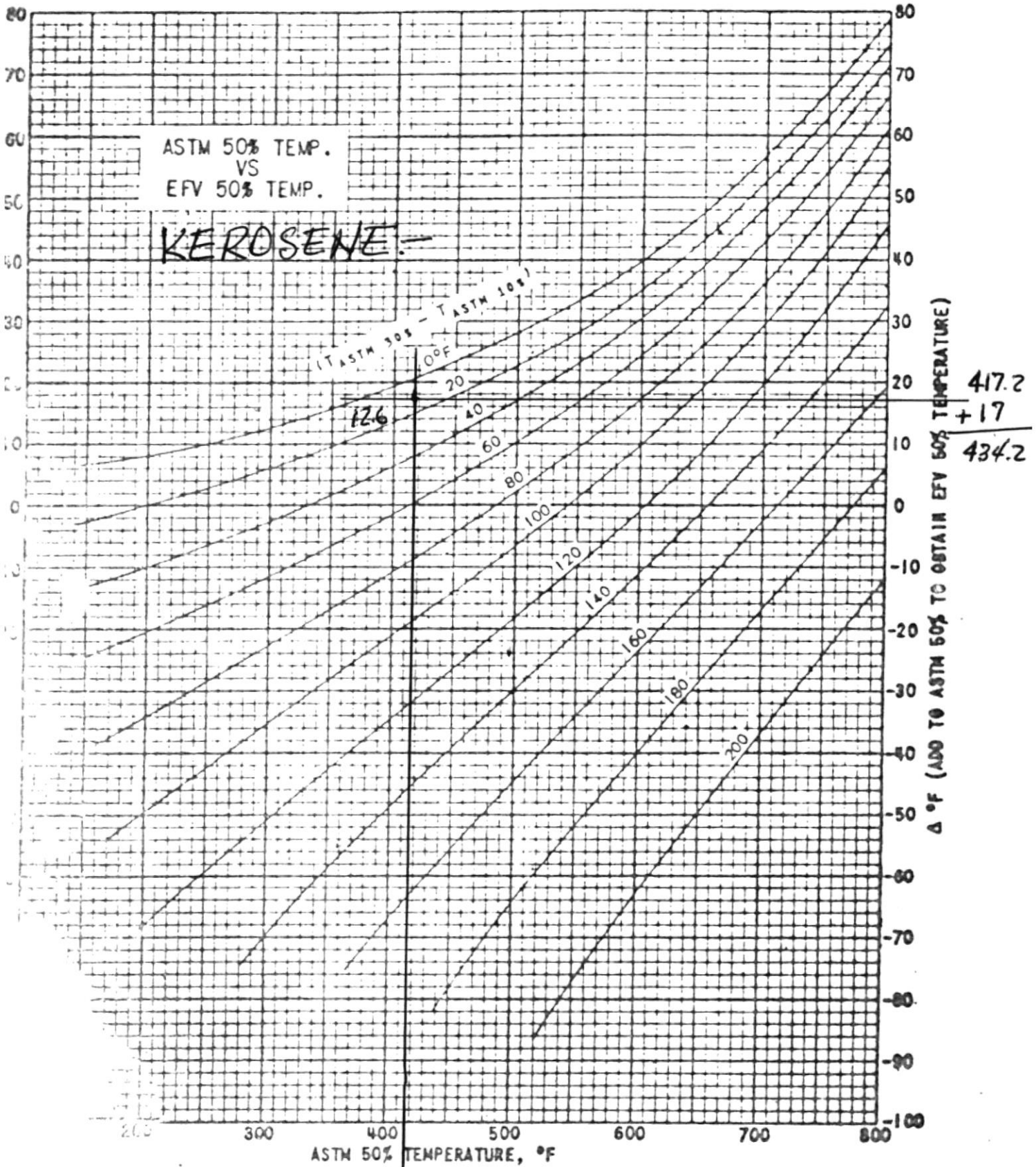


FIGURE 12.9—ASTM temperature difference vs. EFV temperature difference.

Applied Hydrocarbon Thermodynamics



12.8—ASTM 50 percent temperature vs. EFV 50 percent temperature.

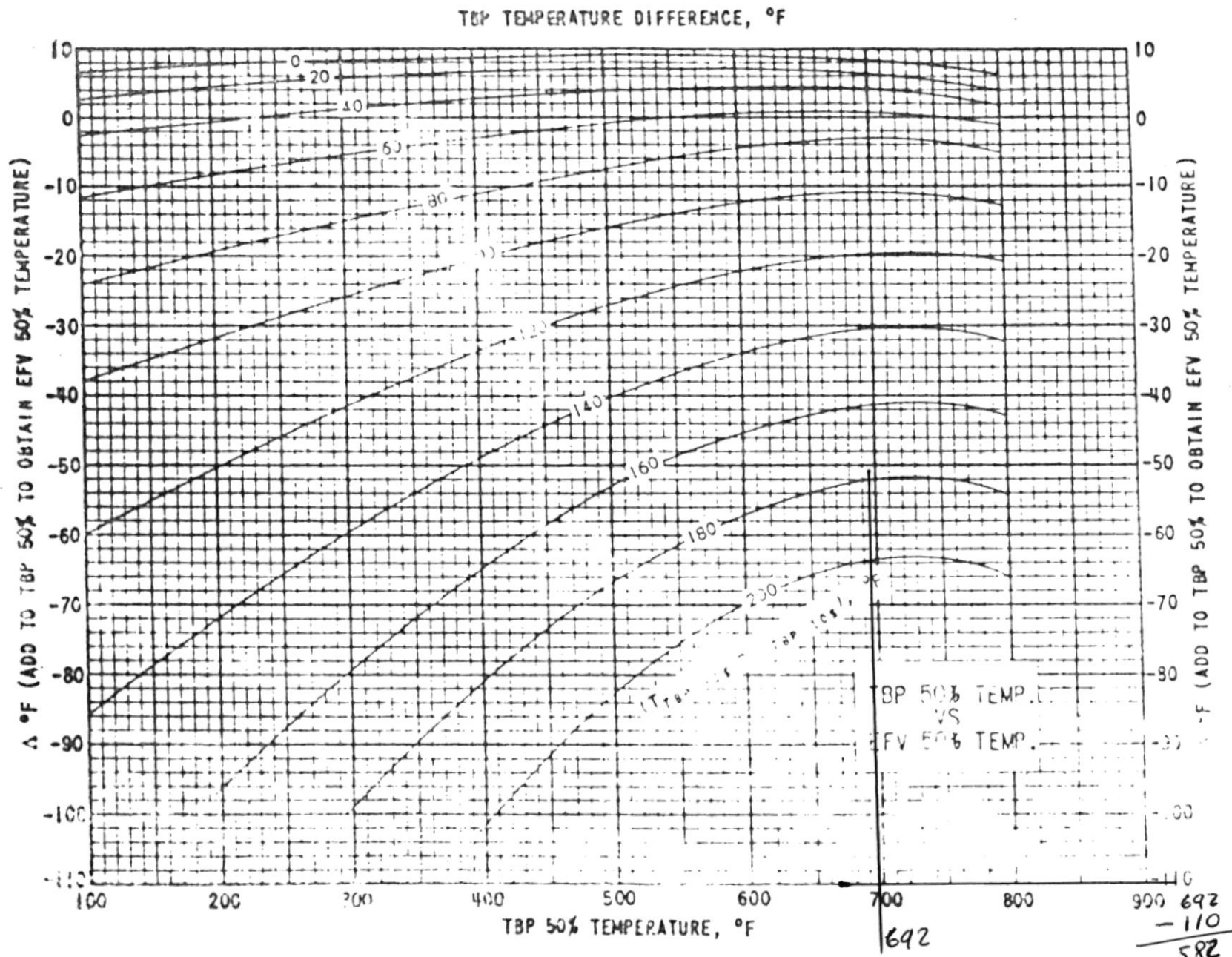


FIGURE 12.6—TBP 50 percent temperature vs. EFV percent temperature.

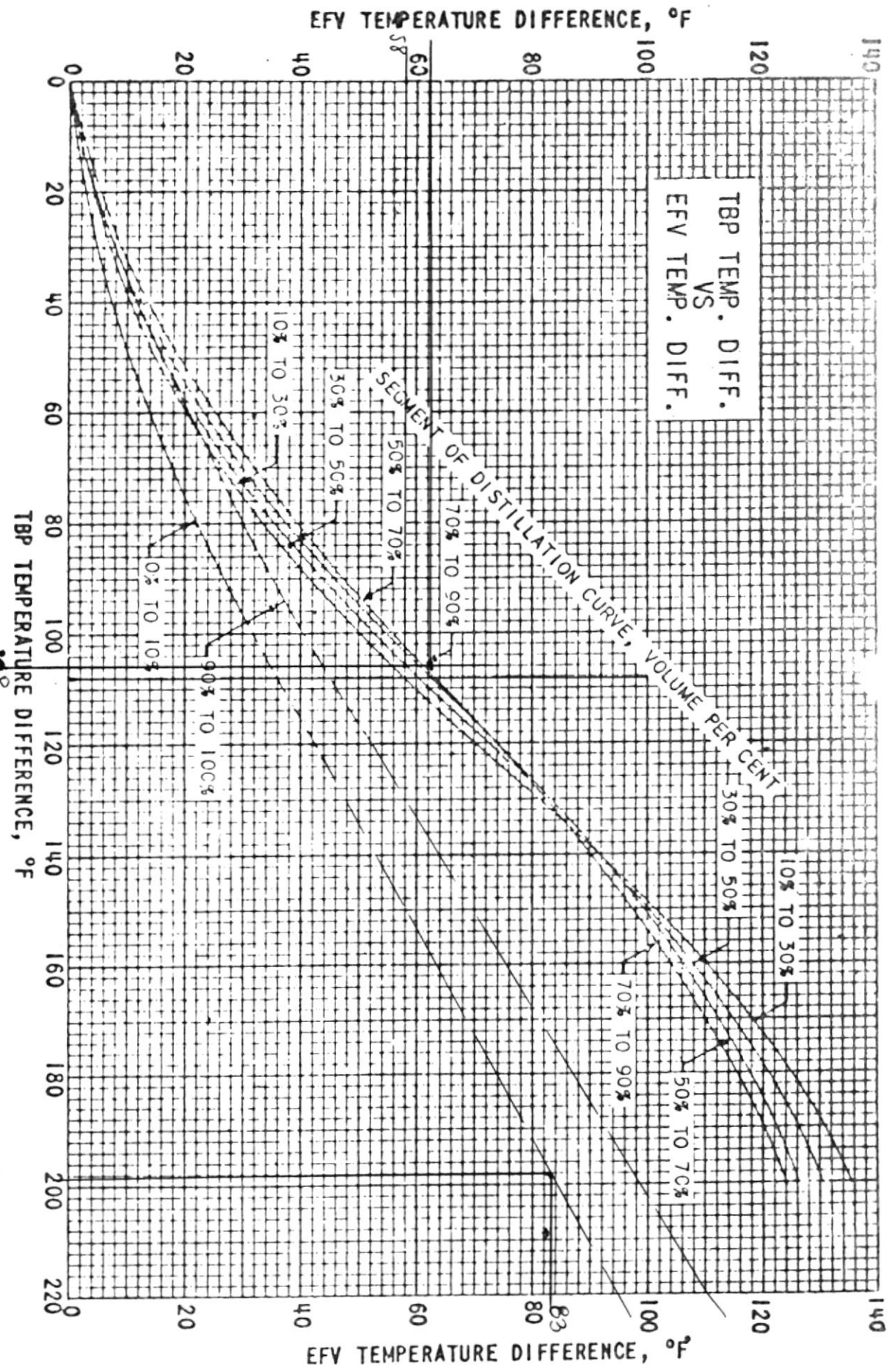
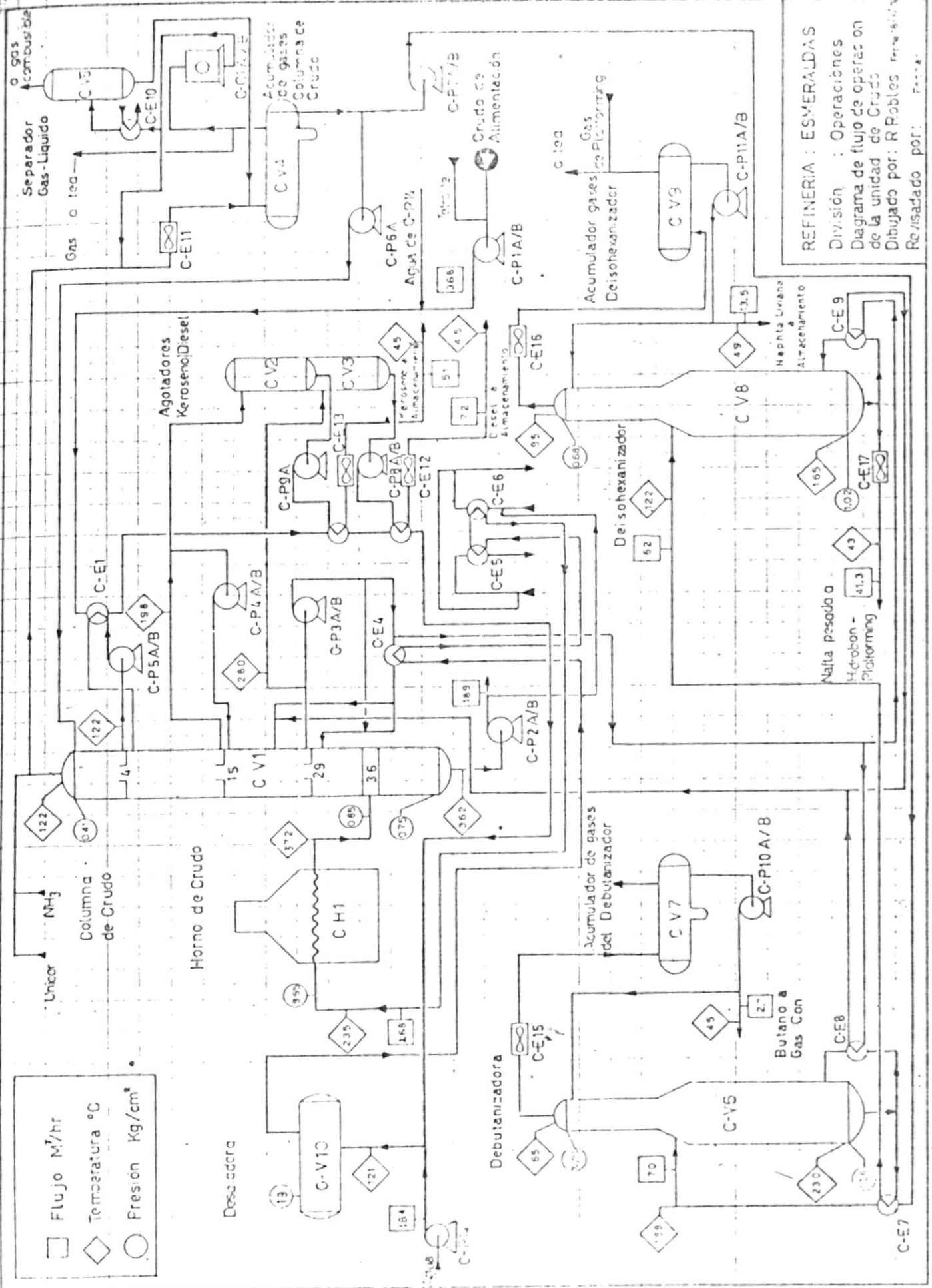


FIGURE 12.7—TBP temperature difference vs. EFV temperature difference.



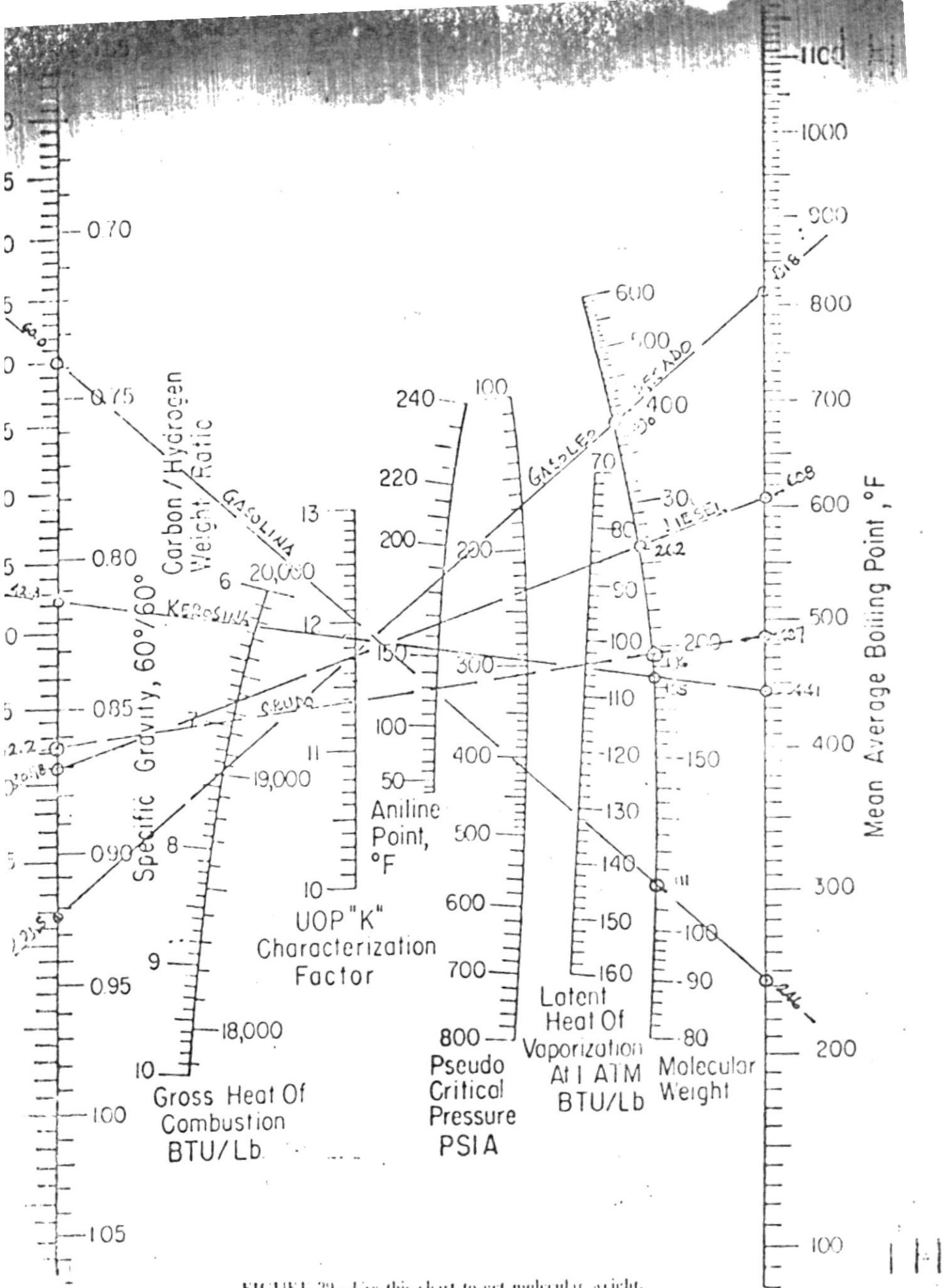
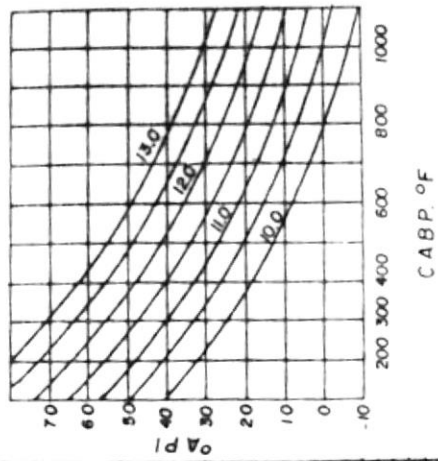
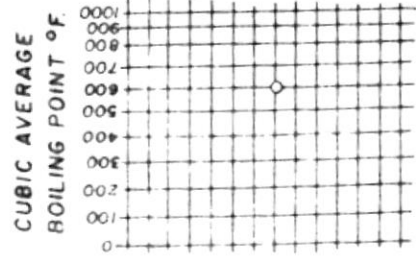
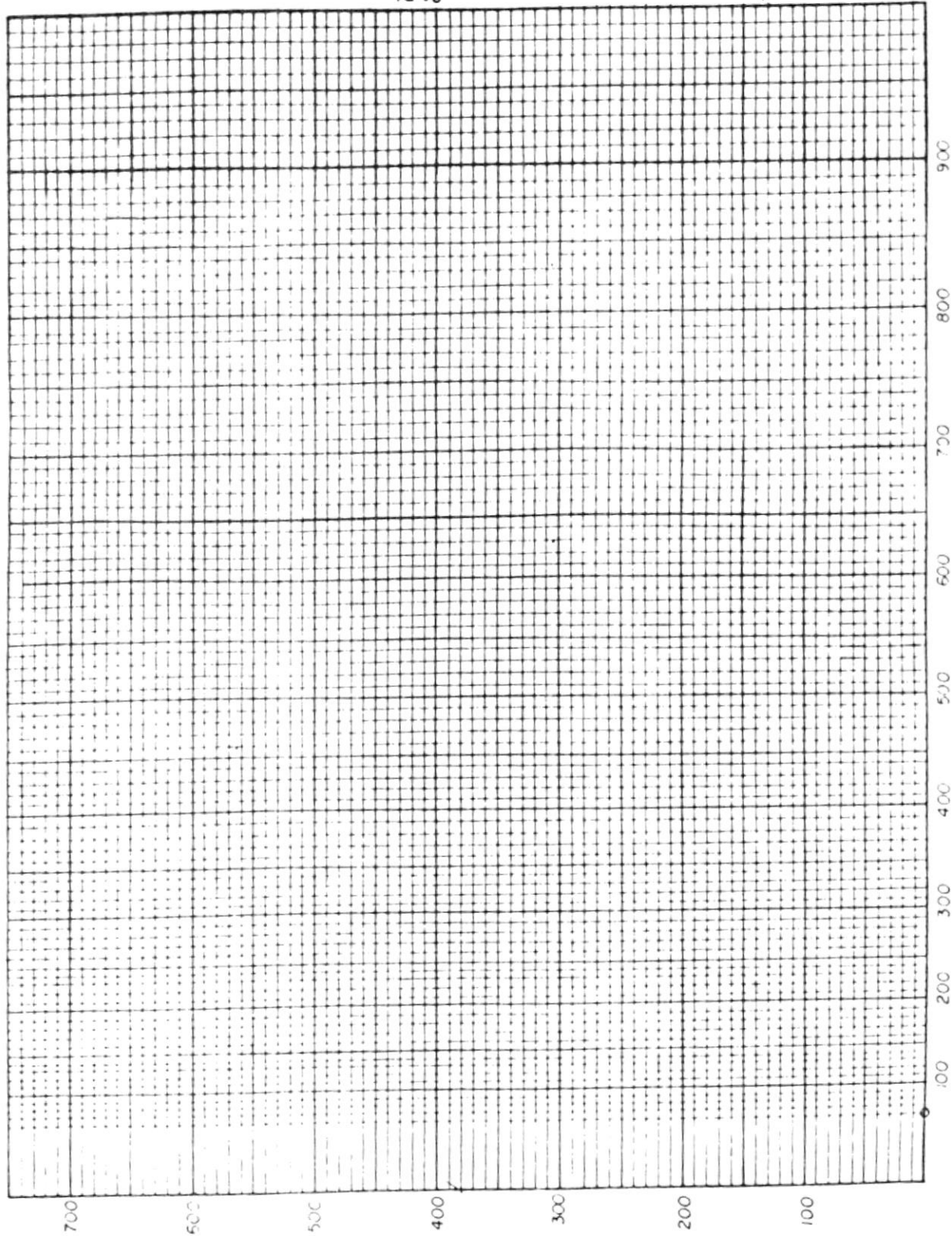


FIGURE 29—Use this chart to get molecular weight.

REE. SEDES/SEVIA

ENTHALPY OF PETROLEUM LIQUIDS



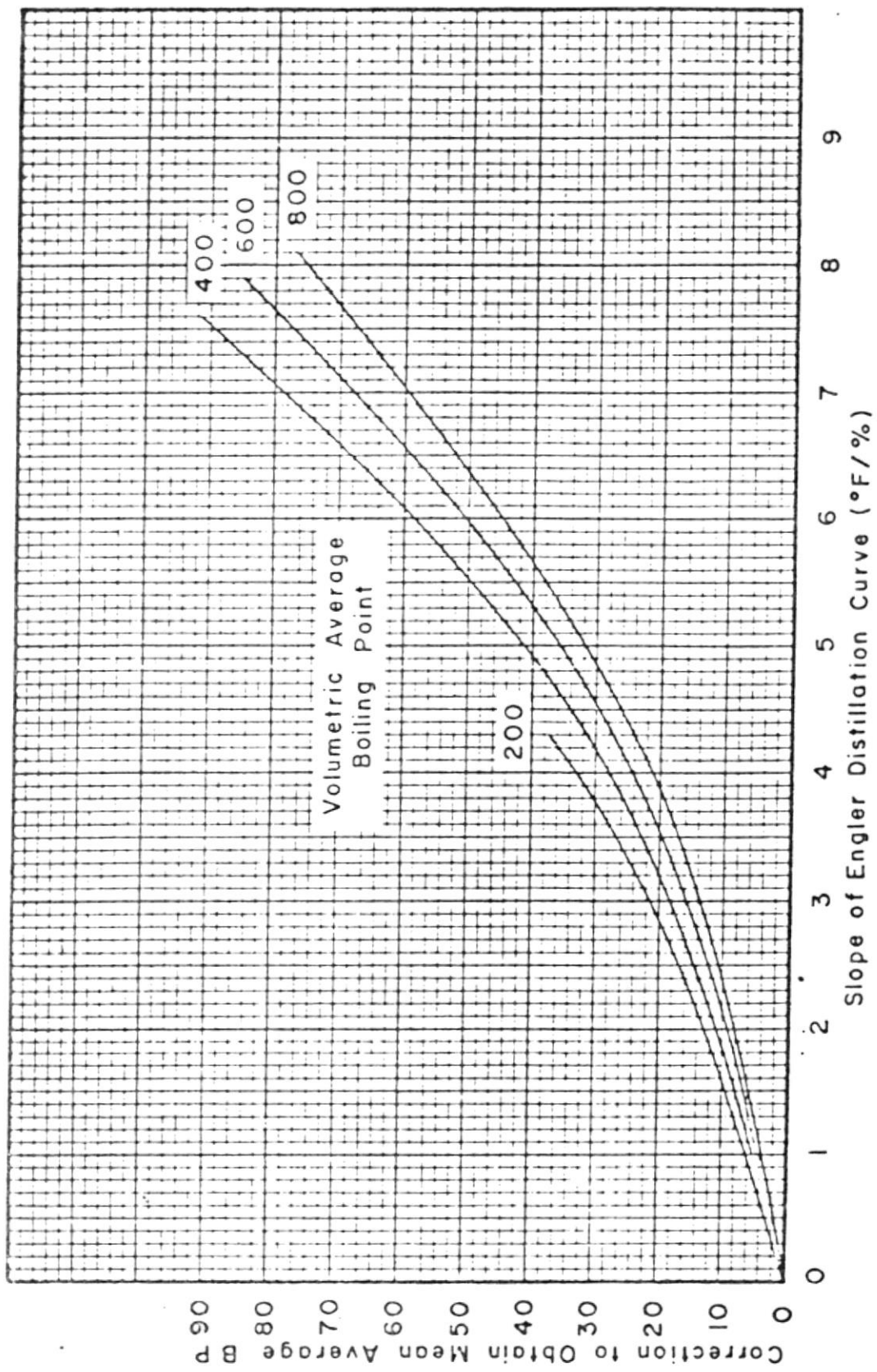


Figure 6

Mean Average Boiling Point from
Volumetric Average Boiling Point and Engler Slope

CALCULATION OF UOP CHARACTERIZATION FACTOR (67-59)

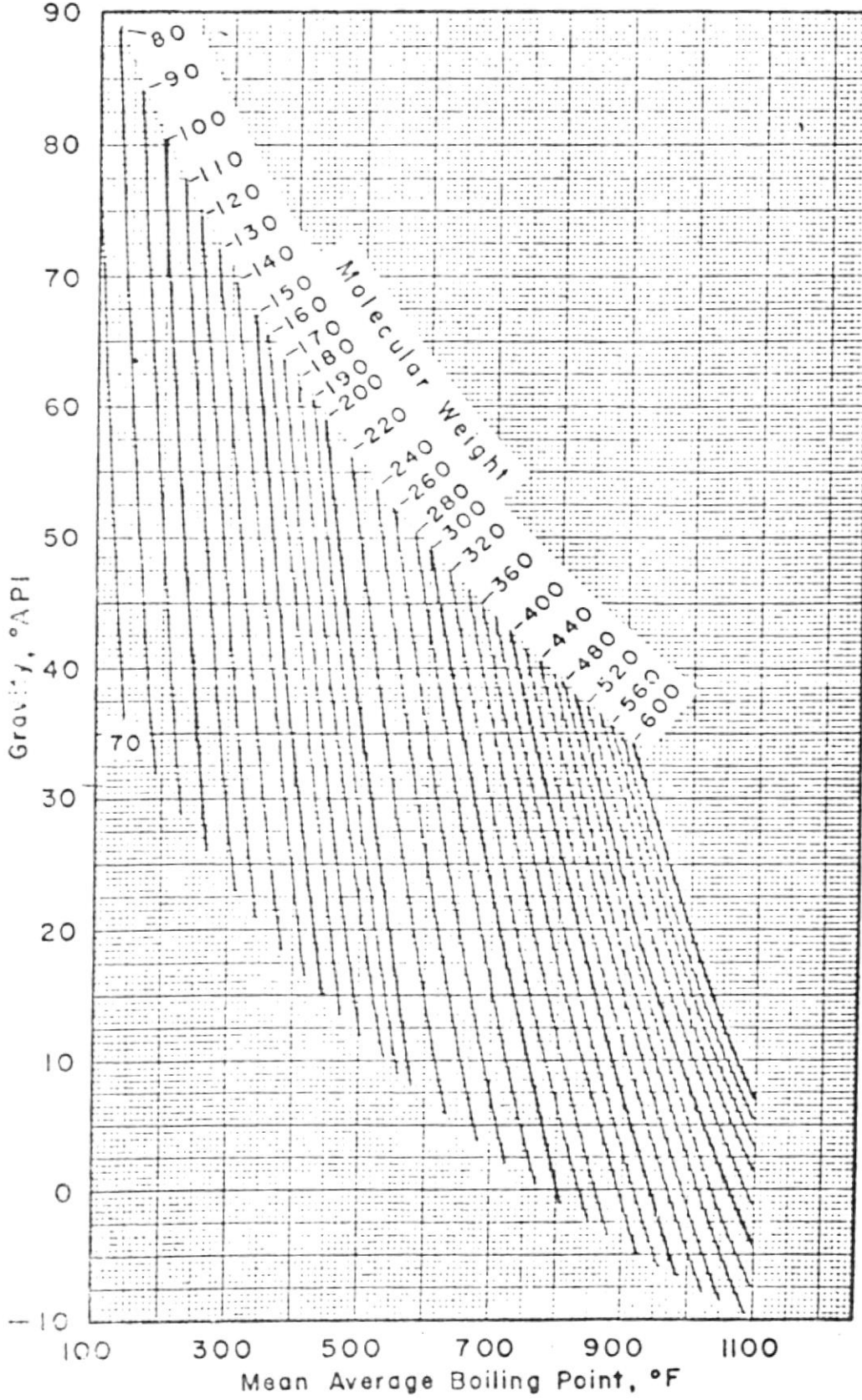


Figure 7

Molecular Weight from
Mean Average Boiling Point and API Gravity

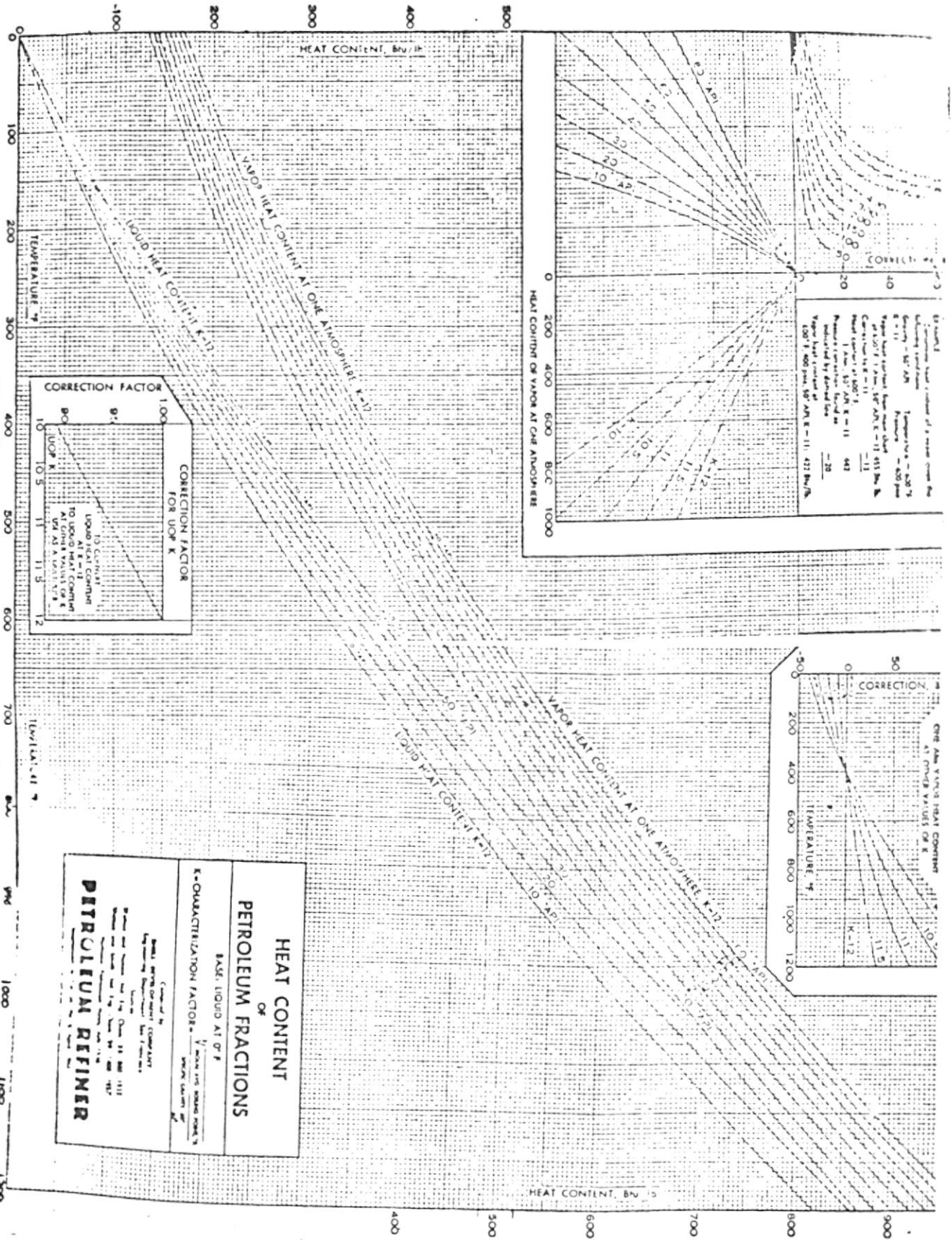


Fig. 5-1. Heat content of petroleum fractions including the effect of pressure.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- P. Withier, El Petróleo. Refino y tratamiento Químico
- 2 .- M. Montaña, "Termodinámica", folleto de la ESPOL.
- 3 .- O. Valle, Operaciones Unitarias, folleto de la ESPOL.
- 4 .- CEPE, Manual de operaciones,
- 5 .- Instituto Mexicano del Petróleo, folletos.