

7
U.

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias Químicas

CALCULO DE UNA
TORRE ESTABILIZADORA
PARA
GASOLINA NATURAL

Tesis
que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
presenta

J. Mario Arreguín González

GUADALAJARA, JALISCO.
MARZO DE 1956



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Universidad Autónoma de Guadalajara

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias Químicas

CALCULO DE UNA
TORRE ESTABILIZADORA
PARA
GASOLINA NATURAL

T e s i s
que para obtener el título de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

J. Mario Arreguín González

GUADALAJARA, JALISCO.
MARZO DE 1956

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE Y ABUELITA

HERMANOS Y HERMANAS

A MI FUTURA ESPOSA

A MIS MAESTROS Y COMPAÑEROS
DE ESTUDIO.

A MIS AMIGOS

TEMARIO

I—INTRODUCCION

II—PRESENTACION DEL PROBLEMA

III—METODOS Y FORMULAS USADOS

IV—CALCULO DE LA TORRE

1—DETERMINACION DE LA PRESION DE OPERACION DE LA TORRE Y DE LAS TEMPERATURAS DEL DOMO Y FONDO DE LA MISMA

2—APLICACION DEL METODO DE BROWN Y HOLCOME PARA ENCONTRAR EL NUMERO DE PLATOS Y REFLUJO NECESARIOS.

3—CALCULO DEL NUMERO DE PLATOS Y CONCENTRACIONES LIQUIDAS Y GASEOSAS EN CADA UNO DE ELLOS SEGUN EL METODO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA, ADOPTANDO EL REFLUJO SELECCIONADO EN EL METODO ANTERIOR.

4—DETERMINACION DEL PLATO DE ALIMENTACION.

5—CALCULOS FINALES RELATIVOS AL DIAMETRO DE LA TORRE, SEPARACION DE LOS PLATOS, CACHUCHAS Y TUBOS DE ESCURRIMIENTO.

V—GRAFICAS.

INTRODUCCION.

ESTABILIZACION DE LA GASOLINA NATURAL.—

La gasolina natural contiene generalmente de 10 a 40% de metano, etano y propano. Estos gases disueltos dan a la gasolina una volatilidad muy elevada, y deben ser eliminados para que la gasolina pueda mandarse al mercado como un producto estable.

La estabilización de este tipo de gasolinas no es sino la separación fraccionada de estos componentes ligeros, de alta presión vapor, en columnas de destilación apropiadas a las que la industria petrolera da el nombre de "torres estabilizadoras" o simplemente "estabilizadores".

La composición de la gasolina natural afecta considerablemente a su presión vapor. Siendo ésta muy elevada para el metano, etano y propano, la presencia de pequeñas cantidades de estos gases aumenta bastante la presión vapor de la gasolina. Respecto al butano e isobutano se prefiere retener la mayor cantidad que permitan las especificaciones de la gasolina.

La presión vapor determinada según el método Reid (P.V.R.) especificada para las gasolinas naturales varía de 10 a 34 lbs/pulg² a 1000, según la situación geográfica, consecuencia oblicada por el cambio de condiciones climatológicas.

La función de una torre estabilizadora, es pues, la producción de gasolinas de 10 a 34 lbs/pulg² P. V. R. a partir de gasolinas de 50 a 60 lbs/pulg² P. V. R., por medio de la eliminación total del metano, etano y propano, y parcial del isobutano, butano, y a veces, aunque raramente, del pentano.

Los métodos para el diseño de este tipo de torres se desarrollan calculando plato por plato, ya que la complejidad de la composición de las gasolinas no permite la aplicación de los relativamente simples, métodos matemáticos y gráfico que se aplican en los casos de destilación de mezclas binarias.

La combinación de algunos de estos métodos se emplea en este estudio para el cálculo de un torre estabilizadora.

PROBLEMA.

DISEÑAR UNA COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO PARA ESTABILIZAR HASTA UNA P. V. R. DE 28.4 Lbs/Pulg² A 100° UNA GASOLINA NATURAL QUE TIENE LA SIGUIENTE COMPOSICION EN MOL. PORCIENTO.

ETANO	8.90
N—PROPANO	27.14
ISOBUTANO	8.05
N—BUTANO	19.35
ISOPENTANO	7.32
N—PENTANO	12.08
N—HEXANO	17.16

CON LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

- A—LA GASOLINA CRUDA SE CARGARA A LA TORRE EN SU PUNTO DE EBULLICION.
- B—DEBERA RETENERSE EN LA GASOLINA ESTABILIZADA EL 98% DEL BUTANO PRESENTE EN LA CARGA, Y EN SU TOTALIDAD EL PENTANO.
- C—PARA PROPORCIONAR EL CALOR NECESARIO A LA TORRE SE UTILIZARA UN RECALENTADOR TUBULAR PARA CALENTAR LOS FONDOS CON VA POR.
- D—SE USARA PARA REFLUJAR LA TORRE EL PRODUCTO OBTENIDO POR LA CONDENSACION PARCIAL DE LOS VAPORES DEL DOMO.

SIMBOLOS USADOS.

- F = Carga (gasolina sin estabilizar).
 D = Destilado o Producto superior.
 B = Fondes (gasolina estabilizada).
 L = Reflujo interno en la sección de rectificación.
 \bar{L} = Reflujo interno en la sección de stripping.
 V = Vapor burbujeando en el líquido de los platos de la sección de rectificación.
 \bar{V} = Vapor burbujeando en el líquido de los platos de la sección de stripping.
 x = Fracción mol de un componente en la fase líquida.
 y = Fracción mol de un componente en la fase gaseosa.
 n = Un plato cualquiera en la sección de rectificación.
 m = Un plato cualquiera en la sección de stripping.
 $n+1$ = Un plato arriba del plato n .
 $m+1$ = Un plato arriba del plato m .
 u = Un plato cualquiera de la columna.
 t = Plato superior
 $t-1, t-2, \text{ etc. } = 1, 2, \text{ etc. platos abajo de } t$.
 S = Reboiler o fondo de la torre.
 N = Número de platos.
 N_r = Número mínimo de platos.
 $a, b, c, d, \text{ etc.}$ -- Componentes en cualquiera de las fases, de más ligero a más pesado.
 $x_a, x_b, x_c, x_d, \text{ etc.}$ = Concentraciones líquidas de los componentes $a, b, c, d, \text{ etc.}$
 $y_a, y_b, y_c, y_d, \text{ etc.}$ = Concentraciones gaseosas de los componentes $a, b, c, d, \text{ etc.}$
 Q_{ab} = Volatilidad relativa del componente a respecto al componente b .
 T_c = Temperatura crítica.
 P_c = Presión crítica.
 Bbl, s = barril, es.
 P. M. = Peso molecular.
 Z = Constante de compresibilidad (Ley general de los gases).

I.—LEYES DE HENRY Y DALTON.

$$y = Kx$$

(1)

"La concentración de un determinado componente en un líquido es directamente proporcional a la concentración de ese mismo componente en el vapor en equilibrio con el líquido".

a) En las torres fraccionadoras para mezclas complejas, como gasolina natural por ejemplo, la caída de temperatura cambia rápidamente cerca del domo, del fondo, o del plato de alimentación y se desea generalmente calcular plato por plato determinando las composiciones del líquido y vapor en cada uno de ellos, relacionándolos con ecuaciones derivadas de balances de materiales y con la ecuación representativa de las Leyes de Henry y Dalton.

b) La solución correcta para el punto de rocío de un vapor o para el punto de ebullición de un líquido se obtiene cuando la suma de las fracciones mol de todos los componentes en la otra fase iguala la unidad.

$$\text{Ya que } y = Kx \text{ o } x = \frac{Y}{K}$$

cuando $\sum \frac{Y}{K} = 1$ a T° , el punto de rocío de un vapor es T° .

y cuando $\sum Kx = 1$ a T_0 , el punto de ebullición de un líquido es T_0 .

II.—LEY DE RAOULT.

"La presión vapor parcial de un componente en un líquido es igual a la presión vapor del componente en estado puro, a la misma temperatura, multiplicada por la fracción mol de ese componente".

III.—FORMULAS BASE PARA ESTUDIO DE PROCESOS DE DESTILACION.

Para abreviar se omitirá la deducción de las siguientes fórmulas basadas únicamente en balances de materiales de la columna, parciales o totales, y cuya deducción puede encontrarse en cualquier libro de ingeniería química, o en libros especializados en destilación.

1.—Del balance de materiales en la sección de rectificación se obtiene la ecuación:

$$V_{n-1} = L_n + D \quad (2)$$

Por las suposiciones que para simplificar se introducen más adelante, se verá que:

$$V = L + D \quad (3)$$

2.—Así mismo para la sección de stripping se obtienen las ecuaciones:

$$\bar{V}_m = \bar{L}_{m+1} - B \quad (4) \quad \bar{V} = \bar{L} - B \quad (5)$$

3.—Del balance de materiales de un componente en la sección de rectificación se obtiene la ecuación:

$$y_{n-1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{D}{V} x_d \quad (6)$$

4.—Del mismo modo para la sección de stripping:

$$y_m = \frac{\bar{L}}{\bar{V}} x_m + 1 - \frac{B}{\bar{V}} x_b \quad (7)$$

5.--Para reflujo infinito en la columna $D=0$ y $B=0$.

Entonces las ecuaciones (3) y (5) se transforman en:

$$V = L \quad \bar{V} = \bar{L}$$

y de las ecuaciones (6) y (7) se obtiene:

$$y_{n-1} = x_n \quad (8) \quad Y_m = x_{m+1} \quad (9)$$

6 --Para número infinito de platos en la columna hay en ésta una zona en la que no hay cambio en las composiciones de plato a plato.

$$\text{Entonces: } x_n = x_{n-1} = x_{n+1} \text{ etc.} \quad (10)$$

Para las zonas de composición constante se deducen las siguientes ecuaciones por combinación de (1) y (10) con (6) y (7):

$$(11) \quad x = \frac{D_{xd}}{KD + L (K-1)} \text{ para la sección de rectificación.}$$

$$(12) \quad x = \frac{B_{xb}}{KB + \bar{L} (1-K)} \text{ para la sección de stripping.}$$

DETERMINACIÓN DE LA PRESION NECESARIA PARA OPERAR LA TORRE.

Se calcula de acuerdo con las condiciones del acumulador de reflujo y la temperatura del agua de enfriamiento del condensador.

De acuerdo con esta temperatura se supone la correspondiente al material en el acumulador del condensado. La presión de operación de la torre será la correspondiente al punto de rocío de los vapores del domo, más la caída de presión a través del condensador.

DETERMINACION DE LAS TEMPERATURAS DEL DOMO Y FONDO DE LA TORRE.

A.—La temperatura del domo se calcula como el punto de rocío del producto superior.

1. Esta temperatura no es en realidad la actual del domo de la torre, en nuestro caso, ya que el rellujo no es de la misma composición que el producto superior.
2. La temperatura actual del domo es el punto de rocío de la mezcla de rellujo externo y producto superior.
3. En este caso se obtiene indirectamente la composición del líquido en el plato superior.

B.—La temperatura del fondo se calcula como el punto de ebullición del producto inferior de la torre.

Indirectamente se obtiene la composición de los vapores del reboiler.

Adjuntas vienen las gráficas de K vs. T y K vs. P .

ECUACION DE UNDERWOOD.

Para rellujo total en la torre: $y_{t-1} = x_t$ (8)

Aplicando esta ecuación para las concentraciones de los componentes c y d :

$$y_{c,t-1} = x_{c,t} \quad y_{d,t-1} = x_{d,t}$$

y relacionándolas entre sí:

$$\frac{y_{c_{t-1}}}{y_{d_{t-1}}} = \frac{x_{c_t}}{x_{d_t}}$$

Pero también:

$$\frac{y_{c_{t-1}}}{y_{d_{t-1}}} = \frac{K_c x_{c_{t-1}}}{K_d x_{d_{t-1}}} \quad (1)$$

De donde

$$\frac{x_{c_t}}{x_{d_t}} = \frac{K_c x_{c_{t-1}}}{K_d x_{d_{t-1}}} \cdot \frac{x_{c_{t-1}}}{x_{d_{t-1}}} = \frac{K_d x_{c_t}}{K_c x_{d_t}}$$

Así mismo para los platos t-2, t-3, etc.:

$$\frac{x_{c_{t-2}}}{x_{d_{t-2}}} = \frac{K_d x_{c_{t-1}}}{K_c x_{d_{t-1}}}$$

$$\frac{x_{c_{t-3}}}{x_{d_{t-3}}} = \frac{K_d x_{c_{t-2}}}{K_c x_{d_{t-2}}}$$

etc.

Combinando las ecuaciones anteriores:

$$\frac{x_{c_{t-3}}}{x_{d_{t-3}}} = \frac{K_d^2 x_{c_{t-1}}}{K_c^2 x_{d_{t-1}}} = \frac{K_d^3 x_{c_t}}{K_c^3 x_{d_t}}$$

...

$$\frac{x_{c_{t-3}}}{x_{d_{t-3}}} \cdot \frac{x_{d_t}}{x_{c_t}} = \frac{K_d^3}{K_c^3}$$

Poniendo la ecuación anterior en forma logarítmica:

$$\log \left(\frac{x_{c_{t-3}}}{x_{d_{t-3}}} \cdot \frac{x_{d_t}}{x_{c_t}} \right) = 3 \log \frac{K_d}{K_c}$$

$$3 = \frac{\log \left(\frac{x_{c_{t-3}}}{x_{d_{t-3}}} \cdot \frac{x_{d_t}}{x_{c_t}} \right)}{\log \frac{K_d}{K_c}}$$

En este caso la cifra 3 es igual al número de platos que hay entre t y t-3, más uno.

Por lo tanto, de la última ecuación puede deducirse otra que sirva para determinar el número de platos que hay entre dos cualesquiera de la torre, en los que se conoce la composición del líquido correspondiente.

Sean t y u estos 2 platos y n el número de platos que hay entre ellos. Entonces:

$$n + 1 = \frac{\log \left(\frac{x_{c,u}}{x_{d,u}} \frac{x_{d,t}}{x_{c,t}} \right)}{\log \frac{K_{d,media}}{K_{c,media}}} \quad (13)$$

Igualdad conocida con el nombre de

ECUACION DE UNDERWOOD

COMPONENTES BASE —

Se designan con este nombre a aquellos componentes que por encontrarse en ambos extremos de la torre, fondo y domo, y por ende en todos los platos de la misma, nos sirven para aplicar ciertos métodos, ecuaciones, principios, etc., en forma escalonada y continua tanto para la sección de rectificación como para la de stripping, en el caso de destilación de mezclas complejas.

En el problema que nos planteamos se verá más tarde que los componentes que se encuentran tanto en la gasolina estabilizada como en el producto destilado son el IC_4 y nC_4 .

Así mismo se notará que la relación de estos dos componentes IC_4/nC_4 es de gran utilidad en el desarrollo de los métodos que se siguen para la resolución del problema.

Esta relación tiene un valor mínimo en la composición de la carga y los valores correspondientes a las composiciones en cada plato son máximos en los extremos de la torre y van disminuyendo hacia el plato de la alimentación.

SIMPLIFICACION DE LOS CALCULOS.—

Con el fin de simplificar la resolución del problema se hacen las siguientes suposiciones:

- 1.—Los cambios de calor sensible a través de la torre son insignificantes en comparación con los de calores latentes de vaporización.
- 2.—Los calores latentes molares de todos los componentes son iguales. De modo que el vapor de plato a plato es igual en toda la torre.
- 3.—El calor de mezcla de los componentes es despreciable, así como también las pérdidas de calor a través de las paredes de la torre.

METODO DE BROWN Y HOLCOMB PARA DETERMINAR EL NUMERO DE PLATOS Y REFLUJO NECESARIOS.

La exactitud de este método es aceptable, pero en nuestro caso los resultados obtenidos, especialmente el reflujo, servirán únicamente de guía para desarrollar el cálculo de la torre según el procedimiento de la "volatilidad relativa" que se estudia más adelante.

PROCEDIMIENTO.—

En el método de Brown y Holcomb se desarrollan los siguientes pasos:

A—Determinación del NUMERO MINIMO DE PLATOS.—

- 1.—Suponiendo reflujo total en la torre y basándose en la composición del líquido del primer plato en el domo, se calcula plato por plato hacia abajo hasta llegar a la zona en que la ΔT de plato a plato es más o menos constante.

Las composiciones de vapores y líquidos en los distintos platos se van enlazando entre sí por medio de las ecuaciones $Y_{n-1} = X_n$ (8), y la ecuación de Henry $y = Kx$ (1) que se aplica en forma de prueba y error tomando sucesivamente los valores de K a distintas temperaturas y a la presión de operación de la torre, hasta que la suma de x sea igual a la unidad. La primera temperatura adoptada será naturalmente un poco mayor que la calculada para el domo.

Para mayor facilidad en el manejo de las cifras las concentraciones se expresaron no en forma decimal sino en por ciento. Entonces según las consideraciones anteriores la suma de x debe ser igual a 100.

Ya una vez aproximado el resultado correcto se acelera el cálculo con la ayuda de la interpolación.

- 2.—Haciendo de nuevo la suposición de reflujo total y tomando como base la composición de los vapores del fondo de la torre, se calcula plato por plato hacia arriba hasta alcanzar la zona de ΔT constante.

Ahora las ecuaciones usadas serán $y_m = x_{m+1}$ (9) y la de Henry $y = Kx$ (1).

- 3.—Se aplica la ecuación de Underwood para encontrar el número de platos que hay en la zona limitada por los últimos pasos de los dos cálculos anteriores y en esta forma se obtiene fácilmente el número mínimo de platos en la torre, sumando el número de platos calculados tanto en la sección de rectificación como en la de stripping, al número de platos determinado con la ecuación de Underwood.

B.—Determinación del REFLUJO MINIMO.

- 1 —Considerando ahora un número infinito de platos se determina el reflujo mínimo para las secciones de rectificación y stripping por separado.

Como ya se dijo una torre con número infinito de platos debe tener una zona en la que no varían las composiciones de plato a plato. Para esa zona aplican las ecuaciones.

$$(11) \quad x = \frac{Dx_d}{KD + L(K-1)} \quad (\text{Sección de rectificación})$$

$$(12) \quad x = \frac{Bx_b}{KB + \bar{L}(1-K)}$$

dando a L y \bar{L} diferentes valores y tomando para K el valor correspondiente a una temperatura tal que la suma de los valores de x se aproxime a 100. Una vez obtenido esto no se recurre a la interpolación para obtener el resultado exacto sino solamente se corrige un componente en la sección de rectificación. Ese componente es el más pesado, en nuestro caso es el C_4H_{10} . Se hace en esta forma debido a que dicho componente varía considerablemente con pequeñas variaciones de K .

- 2 —Se sitúan en seguida los valores L o \bar{L} vs. la relación entre las concentraciones de los componentes base, resultantes de la aplicación de las ecuaciones (11) y (12). En el caso particular que nos ocupa, la relación entre L

$\frac{IC_4}{nC_4}$ y \bar{L} se representa en la gráfica No. 1.

y la relación entre \bar{L} y $\frac{IC_4}{nC_4}$ en la gráfica No. 2.

- 3.—Lógicamente el reflujo mínimo que se puede tener es el correspondiente a la relación $\frac{L}{V}$ mínima, y ésta corresponde a $\frac{1}{N-1}$ vez a la carga.

Con estas consideraciones y el uso de las gráficas citadas se determina el reflujo mínimo para las secciones de rectificación y stripping. El menor de estos dos será el reflujo mínimo para la torre.

C.—SELECCION DEL NUMERO DE PLATOS Y REFLUJO NECESARIOS.

- 1.—Adjunta con el No. 3 viene la gráfica en que se sitúan.

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} - 1 \quad \text{vs} \quad \frac{N \text{ (Número de platos)}}{N-1 \text{ (Número mínimo de platos)}}$$

$$\left(\frac{\bar{L}}{\bar{V}} - 1 \right)_{\min}$$

Ya que el alimento entra a la torre en su punto de ebullición, en el caso que se estudia:

$$\bar{V} = V$$

De aquí que la expresión $\frac{\bar{L}}{\bar{V}} - 1$ se transforma en $\frac{\bar{L}}{L} - 1$

Esta gráfica representa las relaciones entre L y N. Dando diferentes valores a L, se deducen fácilmente los correspondientes valores de N, ya que se conoce N-1 y \bar{L} es fácil de determinar para cada valor de L.

La situación de L vs. N se representa en la gráfica No. 4. Teniendo en cuenta las limitaciones de número de platos y reflujo mínimos y las necesarias consideraciones prácticas y económicas se adoptan el número de platos y reflujo convenientes, de la última gráfica citada.

ECUACIONES AUXILIARES USANDO EL CONCEPTO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA.—

Para el cálculo final de la torre plato a plato se introduce la llamada "volatilidad relativa" o relación entre las constantes de equilibrio de dos componentes cualesquiera, concepto que se expresa con la ecuación.

$$Q_{ab} = \frac{K_a}{K_b}$$

En la que

Q_{ab} = Volatilidad relativa del componente a respecto al componente b.

K_a, K_b = Constantes de equilibrio de a y b respectivamente.

En el caso de mezclas complejas el componente con el que se relacionan los demás es uno de los componentes base, generalmente el más pesado de ellos, que en el caso que se estudia viene a ser el C4 H10.

DEDUCCION DE LAS ECUACIONES.—

Se relacionan las concentraciones (x, y) de los distintos componentes con la volatilidad relativa (Q) de la siguiente manera:

A---Llamaremos componente d al componente base con el que se relacionan los demás (C4 H10)

Para el líquido de cualquier plato la suma de las concentraciones de los diversos componentes es igual a la unidad.

$$1 = x_a + x_b + x_c + x_d + \dots \text{ etc.}$$

Multiplicando ambos miembros por K_d

$$K_d = x_a K_d + x_b K_d + \dots + x_c K_d + K_d + \dots \text{ etc.}$$

Si reemplazamos cada x por su igual $x = \frac{y}{K}$ (1)

$$K_d = \frac{y_a K_d}{K_a} + \frac{y_b K_d}{K_b} + \frac{y_c K_d}{K_c} + \frac{y_d K_d}{K_d} + \dots \text{ etc.}$$

Expresión que puede transformarse en esta otra:

$$K_d = \frac{y_a}{\frac{K_a}{K_d}} + \frac{y_b}{\frac{K_b}{K_d}} + \frac{y_c}{\frac{K_c}{K_d}} + \frac{y_d}{\frac{K_d}{K_d}} + \dots \text{ etc.}$$

O sea:

$$K_d = \frac{y_a}{Q_{ad}} + \frac{y_b}{Q_{bd}} + \frac{y_c}{Q_{cd}} + \frac{y_d}{Q_{dd}} + \dots \text{ etc.}$$

$$K_d = S \left(\frac{y}{Q} \right)$$

Ahora bien: $x_a = \frac{y_a}{K_a}$

Dividiendo numerador y denominador del segundo miembro de esta igualdad por K_d tenemos:

$$X_a = \frac{\frac{Y_a}{K_a}}{\frac{K_d}{K_d}} = \frac{Y_a}{\frac{Q_{ad}}{K_d}}$$

Reemplazando K_d por $S \left(\frac{Y}{Q} \right)$ tenemos $X_a = \frac{Y_a/Q_{ad}}{S \left(\frac{Y}{Q} \right)}$

Aplicando esta ecuación en la sección de rectificación para cualquier componente del plato n tendremos:

$$X_n = \frac{Y_n/Q}{S \left(\frac{Y_n}{Q} \right)} \quad (14)$$

B.—Para los vapores de cualquier plato, la suma de las concentraciones de los distintos componentes es igual a la unidad.

$$1 = y_a + y_b + y_c + y_d + \dots \text{ etc.}$$

Dividiendo ambos miembros entre K_d

$$\frac{1}{K_d} = \frac{Y_a}{K_d} + \frac{Y_b}{K_d} + \frac{Y_c}{K_d} + \frac{Y_d}{K_d} + \dots \text{ etc.}$$

Reemplazando cada y por su igual $y = Kx$ (1)

$$\frac{1}{K_d} = \frac{K_a}{K_d} X_a + \frac{K_b}{K_d} X_b + \frac{K_c}{K_d} X_c + \frac{K_d}{K_d} X_d + \dots \text{ etc.}$$

O sea:

$$\frac{1}{K_d} = Q_{ad} X_a + Q_{bd} X_b + Q_{cd} X_c + Q_{dd} X_d + \dots \text{ etc.}$$

$$\frac{1}{K_d} = S Q x \quad K_d = \frac{1}{S Q x}$$

Ahora bien: $y_a = K_a x_a$

Multiplicando y dividiendo el segundo miembro de esta igualdad por K_d tenemos:

$$y_a = \frac{K_a K_d x_a}{K_d} = Q_{ad} K_d x_a$$

Reemplazando K_d por su equivalente $\frac{1}{S Q x}$ resulta:

$$y_a = \frac{Q_{ad} x_a}{S Q x}$$

Aplicando esta ecuación en la sección de stripping para cualquier componente del platón tendremos:

$$y_m = \frac{Q x_m}{S Q x_m} \quad (15)$$

C.—Aplicando las ecuaciones (14) y (15) para el componente d en cualquier plato se comprueba que

$$K_d = S \left(\frac{y_n}{Q} \right) \quad (16)$$

$$y \quad K_d = \frac{1}{S Q x_m} \quad (17)$$

CALCULO DE LA TORRE POR MEDIO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA.—

A.—CALCULO DE LA SECCION DE RECTIFICACION.

1.—Empezando con la composición del líquido en el plato superior (xi) se va calculando plato por plato hacia abajo relacionando las composiciones de líquidos y vapores por medio de las ecuaciones.

$$x_n = \frac{y_{n+1} \cdot Q}{S(y_{n+1} \cdot Q)} \quad (14)$$

$$y_{n-1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{D}{V} x_d \quad (6)$$

Usando para L y V los valores determinados según el método de Brown y Holcomb.

Se calcula plato por plato hasta que la relación de los componentes base en el líquido de un plato

$\left(\frac{IC_4}{nC_4} \right)$ sea más o menos igual a esa misma relación en la carga.

2.—La temperatura en cada plato es la correspondiente para un valor de

$$K_{c4} = S(y_{n+1} \cdot Q) \quad (16)$$

- 3.—Sin afectar apreciablemente la exactitud del método los valores de Q pueden considerarse constantes para una serie de cálculos si así lo permiten una ΔT de plato a plato pequeña y la pendiente más bien pronunciada de la curva Q vs temperatura. Gráficas de Q vs T vienen adjuntas.

B.—CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE STRIPPING —

- 1.—Basándose en la composición de los vapores del fondo (y_b) se va calculando plato por plato hacia arriba, relacionando las composiciones de líquidos y vapores por medio de las ecuaciones

$$y_m = \frac{Qx_m}{SQx_m} \quad (15)$$

$$x_{m+1} = \frac{\bar{V}}{L} y_m + \frac{B}{L} x_b$$

Al aplicar esta última ecuación se dan a \bar{L} y \bar{V} los valores deducidos por el método de Brown y Holcomb.

Se calculan platos hasta que la relación $\frac{104}{n04}$ del líquido de un plato sea igual a la carga.

- 2.—La temperatura de cada plato es la correspondiente a un valor de

$$Kc_d = SQx_m \quad (17)$$

- 3.—Igual que para la sección de rectificación de los valores de Q pueden considerarse constantes para una serie de cálculos.

C —INTRODUCCION DE LOS COMPONENTES AUSENTES.

DETERMINACION DEL PLATO DE ALIMENTACION.

Como se verá en los cálculos hechos para el problema que se estudia, las últimas composiciones de líquidos, obtenidas del domo hacia abajo y del fondo hacia arriba no concuerdan satisfactoriamente sobre todo por el hecho de que ciertos componentes en cada uno de los dos cálculos no figuran en el otro.

Para igualar las dos composiciones en el plato de alimentación se usa el siguiente procedimiento de prueba y error:

- 1 —Se selecciona un plato de alimentación. Naturalmente, debe estar localizado aproximadamente al final de los dos cálculos.
- 2 —Se introducen los componentes ausentes algunos platos abajo del de alimentación y se recalcula hacia arriba, plato por plato, hasta el citado plato de alimentación.
- 3 —De igual manera se introducen los componentes ausentes más pesados, algunos platos arriba del de alimentación y se recalcula hacia abajo.
- 4 —Si la selección del plato de alimentación y la introducción de los componentes ausentes son correctas, las composiciones derivadas en los cálculos coincidirán; si no, habrá que repetir los cálculos anteriores, reajustando la introducción de los componentes ausentes o seleccionando otro plato de alimentación.

METODO GENERAL USADO EN EL CALCULO.

- I—DETERMINACION DE LA PRESION DE OPERACION DE LA TORRE Y DE LAS TEMPERATURAS DEL DOMO Y FONDO DE LA MISMA.
- II—APLICACION DEL METODO DE BROWN Y HOLCOMB PARA ENCONTRAR EL NUMERO DE PLATOS Y REFLUJO NECESARIOS
- III—CALCULO DEL NUMERO DE PLATOS Y CONCENTRACIONES LIQUIDAS Y GASEOSAS EN CADA UNO DE ELLOS SEGUN EL METODO DE LA VOLATILIDAD RELATIVA, ADOPTANDO EL REFLUJO SELECCIONADO EN EL METODO ANTERIOR
- IV—DETERMINACION DEL PLATO DE ALIMENTACION
- V—CALCULOS FINALES RELATIVOS AL DIAMETRO DE LA TORRE, SEPARACION DE LOS PLATOS, CACHUCHAS Y TUBOS DE ESCURRIMIENTO.

CALCULO DE LA TORRE PLATO POR PLATO

- I —COMPOSICION DE LA CARGA, FONDOS Y VAPORES DEL DOMO DE LA TORRE.

Base: - 100 moles de carga.—

Composición de la carga

	mol %
C2	8.90
C3	27.14
IC4	8.05
C4	19.35
IC5	7.32
CS	12.68
C6	17.16

	100.00

Composición de los fondos:

$$C4 = (98\% \text{ del original}) = 0.98 \times 19.35 = 18.95 \text{ moles.}$$

Sea x la cantidad de IC4, requerida, entonces por 100 moles de carga tendremos de fondos:

P. V. R. a 100° F

IC4	x	moles	75.8
C4	18.95		51.8
IC5	7.32		20.6
C5	12.08		15.4
C6	17.16		4.8
			55.51 + x

P. V. R. de la gasolina a 100°: 28.4 Lib./pulg. 2

$$28.4 = \frac{75.8x + (18.95 \times 51.8) + (7.32 \times 20.6) + (12.08 \times 15.4) + (17.16 \times 4.8)}{55.51 + x}$$

(Ley de Raoult)

$$x = 3.68 \text{ moles}$$

∴ Por 100 moles de carga, los fondos serán:

		moles	mol%
IC4	3.68		6.23
C4	18.95		32.01
IC5	7.32		12.36
C5	12.08		20.40
C6	17.16		29.00
			100.00
			59.19

Por diferencia entre carga y fondos se obtiene la composición de los vapores del domo—

CUADRO DE COMPOSICIONES.— Base 100 moles de carga

CARGA	FONDOS		PROD. moles	SUPERIOR mol %
	mol %	moles mol %		
C2	8.90		8.90	21.80
C3	27.14		27.14	66.50
IC4	8.05	3.68	4.37	10.73
C4	19.35	18.95	0.40	0.97
IC5	7.32	7.32		
C5	12.08	12.08		
C6	17.16	17.16		
	100.00	59.19	40.81	100.00

II.—PRESION DE OPERACION DE LA TORRE.—

Considerando la tem. de agua de enfriamiento de 85° F como máximo se puede suponer una temp. de 100° para el material del acumulador de condensado.

Se obtendrá entonces la presión de operación determinando la que corresponde al punto de rocío de los vapores del domo a 100° F, y sumando a ésta la caída de presión a través del condensador.

Base: Composición de los vapores del domo. $x = K/y$

	yd	K190Lib.	X190Lib.	K200Lib.	X200Lib.	xr
C2	21.80	3.20	6.81	3.05	7.15	6.80
C3	66.50	1.00	66.50	0.96	69.27	66.40
IC4	10.73	0.44	23.70	0.43	24.54	23.67
C4	0.97	0.31	3.13	0.30	3.23	3.13
	100.00		100.14		104.19	100.00

Interpolación: $\Delta x = 4.05$ $\Delta P = 10$ Lib.

$$\text{Presión} = 190 - \frac{10 \times 0.14}{4.05} = 189.7 \text{ Lib. abs.}$$

Suponiendo una caída de presión de 25 Lib. a través del condensador, se obtiene como presión de operación de la torre 215 Lib. abs.

PRESION DE OPERACION DE LA TORRE: 200 LIBRAS MANOMETRICAS.

III—DETERMINACION DE LAS TEMPERATURAS DEL DOMO Y FONDO DE LA TORRE

A.—Se calcula la temperatura del domo como la correspondiente al punto de rocío del producto superior, a la presión de la torre.

En realidad ésta no es la temperatura actual del domo puesto que el reflujo no tiene la misma composición que los vapores. La temperatura actual sería el punto de rocío de los vapores más el reflujo externo.

Base Composición de los vapores del domo.

	yd = y _t	K100°F	x100°F	K110°F	x110°F	x _t
C2	21.80	2.85	7.65	3.1	7.03	7.03
C3	66.50	0.90	73.89	1.0	66.50	66.56
IC4	10.73	0.395	27.16	0.458	23.43	23.46
C4	0.97	0.285	3.40	0.33	2.94	2.95
	100.00		112.10		99.90	100.00

Interpolación: $\Delta x = 12.2$ $\Delta T = 10^\circ$

Punto de rocío: $110 - \frac{10 \times 0.1}{12.2} = 109.9^\circ \text{ F}$

Temperatura en el domo: 109.9° F (no actual)

B.—La temperatura de los fondos será el punto de ebullición de los mismos —

Base: Composición de los fondos.

	xb	xs	K270°F	y270°F	K280°F	y280°F	ys
IC4	6.23		1.9	11.84	2.05	12.77	12.13
C4	32.01		1.6	51.22	1.70	54.42	52.24
IC5	12.36		0.96	11.87	1.03	12.73	12.14
C5	20.40		0.81	16.52	0.885	18.05	17.00
C6	29.00		0.214	6.21	0.245	7.11	6.49
				<u>97.66</u>		<u>105.08</u>	<u>100.00</u>

Interpolación: $\Delta y = 7.42$ $\Delta T = 10^\circ$

Punto de ebullición: $280^\circ - \frac{10 \times 5.08}{7.42} = 273.20^\circ\text{F}$

Temperatura de los fondos: 273.20°F

C.—La carga entrará en este caso a la torre en su punto de ebullición

Base: Composición de la carga.

	xi	K150°F	y150°F	K160°F	y160°F
C2	8.90	4.00	35.60	4.20	37.38
C3	27.14	1.44	39.08	1.58	42.88
IC4	8.05	0.74	3.96	0.82	6.60
C4	19.35	0.55	10.64	0.62	12.00
IC5	7.32	0.26	1.90	0.298	2.18
C5	12.08	0.2	2.42	0.23	2.78
C6	17.16	0.32	0.55	0.038	0.65
			<u>96.15</u>		<u>104.47</u>

Interpolación $\Delta y = 8.32$ $\Delta T = 10^\circ$

Punto de Ebullición: $160 - \frac{10 \times 4.47}{8.32} = 154.6^\circ\text{F}$

\therefore Temperatura de la carga: 154.6°F

IV.—DETERMINACION DEL NUMERO DE PLATOS Y REFLUJO NECESARIOS SEGUN EL METODO DE BROWN Y HOLCOMB.

A.—NUMERO DE PLATOS MINIMO CON REFLUJO INFINITO.—

1.—Cálculo de las composiciones de vapores y líquidos en cada plato del domo hacia abajo:

Denominación plato No. 1 = t Fórmulas base:
 .. No. 2 = t - 1 $x_n = y_{n-1}$
 .. No. 3 = t - 2, etc. $y = Kx$

	$x_{t-1}=y_{t-1}$	K130oF	x_{130oF}	K140oF	x_{140oF}	x_{t-1}
C2	7.03	3.54	1.99	3.8	1.85	1.94
C3	66.56	1.22	54.56	1.34	49.67	52.80
IC4	23.46	0.58	40.45	0.66	35.55	38.70
C4	2.95	0.43	6.86	0.49	6.02	6.56
	100.00		103.86		93.09	100.00

Interpolación: $dx = 10.77$ $dT = 10o$

$$\text{Temperatura (t-1)} = 140 - \frac{10 \times 6.91}{10.77} = 133.6oF$$

	$x_{t-1}=y_{t-2}$	K150oF	x_{150oF}	K160oF	x_{160oF}	x_{t-2}
C2	1.94	4.0	0.49	4.25	0.46	0.49
C3	52.80	1.46	36.16	1.58	33.42	35.89
IC4	38.70	0.74	52.30	0.82	47.20	51.80
C4	6.56	0.55	11.93	0.61	10.75	11.82
	100.00		100.88		91.83	100.00

Interpolación: $dx = 9.05$ $dT = 10o$

$$\text{Temperatura (t-2)} = 150 + \frac{10 \times 0.88}{9.05} = 151oF$$

	$x_{t-2} = y_{t-3}$	K160°F	$x_{160°F}$	K170°F	$x_{170°F}$	x_{t-3}
C2	0.49	4.25	0.12	4.5	0.11	0.12
C3	35.89	1.58	22.72	1.7	21.11	21.78
IC4	51.80	0.82	63.17	0.90	57.56	59.89
C4	11.82	0.61	19.38	0.68	17.38	18.21
	100.00		105.39		96.16	100.00

Interpolación: $dx = 9.23 \text{ dT} = 10^\circ$

$$\text{Temperatura (t-3)} = 170 - \frac{10 \times 3.84}{9.23} = 165.8^\circ\text{F}$$

2 --Cálculo de las composiciones de vapores y líquidos en cada plato del fondo hacia arriba:

Denominación: plato No. 1 = $s + 1$
 " No. 2 = $s + 2$
 " No. 3 = $s + 3$, etc.

	y_{s+1}	K230°F	$y_{230°F}$	K240	y_{240}	y_{s+1}
IC4	12.13	1.48	17.95	1.58	13.17	18.05
C4	52.24	1.21	65.21	1.30	67.91	63.55
IC5	12.14	0.67	8.15	0.74	8.98	8.19
C5	17.00	0.55	9.55	0.61	10.37	9.42
C6	6.49	0.122	0.79	0.142	0.92	0.79
	100.00		99.45		107.35	100.00

Interpolación: $dy = 7.92 \text{ dT} = 10^\circ$

$$\text{Temperatura (s+1)} = 230 + \frac{10 \times 0.55}{7.92} = 230.7^\circ\text{F}$$

	$ys+1 = xs + 2$	K210oF	$y210oF$	K220F	$y220oF$	$ys+2$
IC4	18.05	1.27	22.92	1.37	24.73	23.76
C4	63.55	1.01	64.19	1.11	70.54	67.15
IC5	8.19	0.54	4.42	0.605	4.95	4.67
C5	9.42	0.435	4.10	0.49	4.62	4.34
C6	9.79	0.089	0.07	0.105	0.08	0.08
	100.00		95.70		104.92	100.00

Interpolación: $dy = 9.22 \text{ dT} = 10o$

$$\text{Temperatura (s+2)} = 220o - 10 \times \frac{4.92}{9.22} = 216.7oF.$$

	$ys+2 = xs + 3$	K200oF	$y200oF$	K210oF	$y210oF$	$ys+3$
IC4	23.76	1.18	25.04	1.27	30.18	29.58
C4	67.15	0.92	61.78	1.01	67.82	66.14
IC5	4.67	0.49	2.24	0.54	2.52	2.44
C5	4.34	0.362	1.66	0.435	1.89	1.83
C6	0.08	0.075	0.01	0.089	0.01	0.01
	100.00		93.73		102.42	100.00

Interpolación $dy = 8.69 \text{ dT} = 10o$

$$\text{Temperatura (s-3)} = 210 - 10 \times \frac{2.42}{8.69} = 207.2oF$$

	$ys+3 = xs+4$	K200oF	$y200oF$	K210oF	$y210oF$	$ys+4$
IC4	29.58	1.17	34.90	1.27	37.57	35.75
C4	66.14	0.91	60.19	1.01	66.80	62.29
IC5	2.44	0.485	1.18	0.54	1.32	1.23
C5	1.83	0.382	0.70	0.435	0.80	0.73
C6	0.01	0.076	---	0.089	---	---
			96.97		106.49	100.00

Interpolación $dy = 9.52 \text{ dT} = 10o$

$$\text{Temperatura (s+4)} = 200 + 10o \times \frac{3.03}{9.52} = 203.2o$$

3.—Aplicación de la ecuación de Underwood entre s+3 y t-2:

$$n+1 = \frac{\log \left(\frac{x_c, s+3}{x_d, s+3} \times \frac{x_d, t-2}{x_c, t-2} \right)}{\log \frac{K_d, \text{prom.}}{K_c, \text{prom.}}}$$

n = número de platos entre s+3 y t-2
 c = IC4 Componente base.
 d = nC4

mol %

$$\begin{aligned} x_c, s+3 &= x_{IC_4, s+3} = 23.76 \\ x_d, s+3 &= x_{nC_4, s+3} = 67.15 \\ x_d, t-2 &= x_{nC_4, t-2} = 11.82 \\ x_c, t-2 &= x_{IC_4, t-2} = 51.80 \end{aligned}$$

$$K_{IC_4, s+3} = 1.25 \quad \therefore \quad K_{c, \text{prom.}} = \frac{1.25 + 0.75}{2} = 1.00$$

$$K_{IC_4, t-2} = 0.75$$

$$K_{nC_4, s+3} = 0.98 \quad \therefore \quad K_{d, \text{prom.}} = \frac{0.98 + 0.56}{2} = 0.77$$

$$K_{nC_4, t-2} = 0.56$$

$$n+1 = \frac{\log \left(\frac{0.2376}{0.6715} \times \frac{0.1182}{0.5180} \right)}{\log \frac{1.00}{0.77}} = \frac{\log 0.08074}{\log 0.77000}$$

$$n+1 = \frac{-1.0930}{-0.1135} = 9.65 \quad \therefore \quad n = 8.6$$

∴ Número mínimo de pasos de equilibrio con reflujo infinito: 3 + 3 + 8.6 + 2 = 16.6

Los últimos 2 pasos de esta suma son los correspondientes al condensador y al recalentador.

B -- REFLUJO MINIMO CON NUMERO INFINITO DE PLATOS.

SECCION DE RECTIFICACION.---

Ecuaciones: $x = \frac{D \cdot x_d}{L(K-1) + KD}$ $V = L + D$

Base: 100 moles de carga. ∴ D = 40.8 moles. (deducción ant)

1 -- Se supone L = 50 moles /100 moles de carga.
Temp. = 151°F

Entonces $V = 50 + 40.8 = 90.8$ moles $\frac{L}{V} = \frac{50}{90.8} = 0.55$

	Dx_d	K151°F	KD	K-1	L(K-1)	KD + L(K-1)	x	x
							Corregida	
C2	8.9	4.02	164.0	3.02	151.0	315.0	2.83	2.83
C3	27.14	1.47	60.0	0.47	23.5	83.5	32.50	32.50
IC4	4.37	0.75	30.6	0.25	12.5	18.1	24.14	24.14
C4	0.40	0.56	22.85	0.44	22.0	0.85	47.06	40.53
							106.53	100.00

$\frac{IC4}{nC4} = \frac{24.14}{40.53} = 0.597$

2 -- Se supone L = 60 moles /100 moles de carga.

Temp. = 158°F

Entonces: $V = 60 + 40.8 = 100.8$ moles L $\frac{L}{V} = \frac{60}{100.8} = 0.596$

	Dxd	K158o	KD	K-1	L(K-1)	KD+L(K-1)	x	Corregida
C2	8.90	4.18	170.6	3.18	190.8	361.4	2.46	2.46
C3	27.14	1.54	62.8	0.54	52.4	95.2	28.51	28.51
IC4	4.37	0.805	32.9	0.195	11.7	21.2	20.60	20.60
C4	0.40	0.605	24.7	0.395	23.7	1.0	40.00	48.43
							91.57	100.00
		IC4	20.60					
		nC4	48.43	=	0.425			

3.—Se supone L = 70 moles /100 moles de carga

Temp. = 163oF

$$\text{Entonces: } V = 70 + 40.8 = 110.8 \text{ L} \quad \frac{70}{V} = \frac{70}{110.8} = 0.633$$

	Dxd	K163oF	KD	K-1	L(K-1)	KD+L(K-1)	x	Corregida
C2	8.9	4.28	174.7	3.28	229.6	404.4	2.20	2.20
C3	27.14	1.61	65.7	0.61	42.7	108.4	25.04	25.04
IC4	4.37	0.83	33.9	0.17	11.9	22.0	19.86	19.86
C4	0.40	0.639	26.1	0.361	25.3	0.8	50.00	52.90
							97.10	100.00
		IC4	19.86					
		nC4	52.90	=	0.375			

4 —Se supone: L = 65 moles /100 moles de carga

Temp. = 160oF

$$V = 65 + 40.8 = 105.8 \quad \frac{L}{V} = \frac{65}{105.8} = 0.615$$

	Dxd	K160°F	KD	K-1	L(K-1)	KD+L(K-1)	x	Corregida
C2	8.90	4.26	173.9	3.26	212.0	385.9	2.31	2.31
C3	27.14	1.57	64.1	0.57	37.1	101.2	25.82	26.82
IC4	4.37	0.82	33.5	0.18	11.7	21.8	20.05	20.05
C4	0.40	0.622	25.4	0.378	24.6	0.8	50.00	50.82
							99.18	100.00

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{20.05}{50.82} = 0.395$$

Los valores obtenidos anteriormente se sitúan:

L vs $\frac{IC4}{nC4}$ (Gráfica No. 1)

$$\text{Relación } IC4/nC4 \text{ en la carga} = \frac{8.05}{19.35} = 0.415$$

De la gráfica anterior: L = 62 moles

MINIMO REFLUJO EN LA SECCION DE STRIPPING.

$$\text{Ecuaciones: } x = \frac{Bxb}{\bar{L}(1-K) + KB} \quad \bar{V} = \bar{L} - B$$

Bases: 100 moles de carga $B = 59.2$ (Deducción ant.)

1. — Se supone $\bar{L} = 170$ moles / 100 moles de carga

$$\bar{V} = \bar{L} - B = 170 - 59.2 = 110.8 \quad \frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{170}{110.8} = 1.538$$

	Bxb	K220oF	x220oF	K224o	x224o	x x (Interpolac.)	
IC4	3.68	1.37	20.23	1.41	26.74	6.51	27.35
C4	18.95	1.09	38.50	1.14	43.38	4.88	43.84
IC5	7.32	0.603	7.09	0.633	7.33	0.24	7.35
C5	12.08	0.486	10.34	0.503	10.57	0.23	10.59
C6	17.16	0.104	10.83	0.110	10.87	0.04	10.87
			66.99		98.89	11.90	100.00

Interpolación:

$$xIC4 = 26.74 + \frac{6.51}{11.90} \times 1.11 = 27.35$$

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{27.35}{43.84} = 0.624$$

2.—Se supone $\bar{L} = 140$ moles /100 moles de carga

$$\bar{V} = 140 - 59.2 = 80.8 \quad \bar{L} = 140$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{140}{80.8} = 1.732$$

	Bxb	K230oF	x230oF	K233oF	x233oF	x x	
IC4	3.68	1.48	18.04	1.51	20.47	2.43	19.98
C4	18.95	1.20	44.04	1.22	45.76	1.72	45.42
IC5	7.32	0.67	8.53	0.69	8.69	0.16	8.66
C5	12.08	0.54	12.54	0.56	12.75	0.21	12.71
C6	17.16	0.12	13.17	0.127	13.23	0.06	13.23
			66.32		100.90	4.58	100.00

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{19.98}{45.42} = 0.440$$

3.—Se supone $\bar{L} = 120$ moles /100 moles de carga.

$$\bar{V} = 120 - 59.2 = 60.8 \quad \bar{L} = 120$$

$$\frac{\bar{L}}{\bar{V}} = \frac{120}{60.8} = 1.974$$

	Bxb	K247°F	x247°F	K240°F	x240°F
IC4	3.68	1.66	19.32	1.58	15.38
C4	18.95	1.36	50.80	1.29	45.60
IC5	7.32	0.80	10.26	0.745	9.80
C5	12.08	0.642	14.92	0.600	14.46
C6	17.16	0.155	15.52	0.140	15.39
			110.82		100.63

$$\frac{IC_4}{nC_4} = \frac{15.38}{45.60} = 0.337$$

Se sitúan los valores obtenidos anteriormente:

$$\bar{L} \text{ vs. } \frac{IC_4}{nC_4}$$

(Gráfica No. 2)

En la carga, $\frac{IC_4}{nC_4} = 0.415$ \therefore Reflujo necesario = \bar{L}
 $= 134$ moles

Pero $\bar{L} = L + F$ siendo F la carga = 100 moles.

$$\therefore L = 134 - 100 = 34 \text{ moles.}$$

Pero la Sección de Rectificación requiere 62 moles de reflujo, y esta última será la cifra adoptada.

C.—RELACION ENTRE REFLUJO Y NUMERO DE PLATOS.—

Se hace uso de la gráfica adjunta No. 3 en que se representa:

$$\frac{\bar{L}V - 1}{\bar{V}L} \quad \text{vs.} \quad \frac{N \text{ (Número de platos)}}{Nr-1 \text{ (N. Mínimo de platos)}}$$

$$\left(\frac{\bar{L}V - 1}{\bar{V}L} \right)_{\min}$$

$$V = \bar{V}$$

$$\left(\frac{\bar{L}V - 1}{\bar{V}L} \right)_{\min} = \frac{162V}{\bar{V}62} - 1 = 2.61 - 1 = 1.61.$$

$Nr-1 = \text{Número mínimo de pasos de equilibrio} = 16.6$

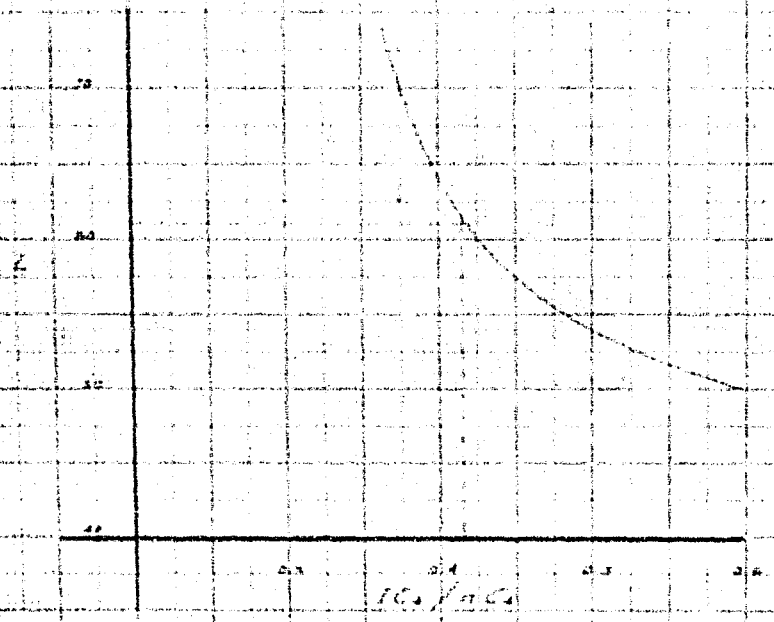
Teniendo en cuenta que $\bar{L} = F + 1 = 100 + L$, y con ayuda de la gráfica ya citada se hace la siguiente tabulación:

L	$\frac{\bar{L}V - 1}{\bar{V}L}$	N	N
	1.61	16.6	
62	1.00	∞	∞
70	0.89	2.18	36.2
80	0.78	1.87	31.0
90	0.69	1.69	28.0
100	0.62	1.59	26.4
120	0.52	1.46	24.2
160	0.39	1.34	22.2
200	0.31	1.26	20.5
300	0.21	1.17	19.4

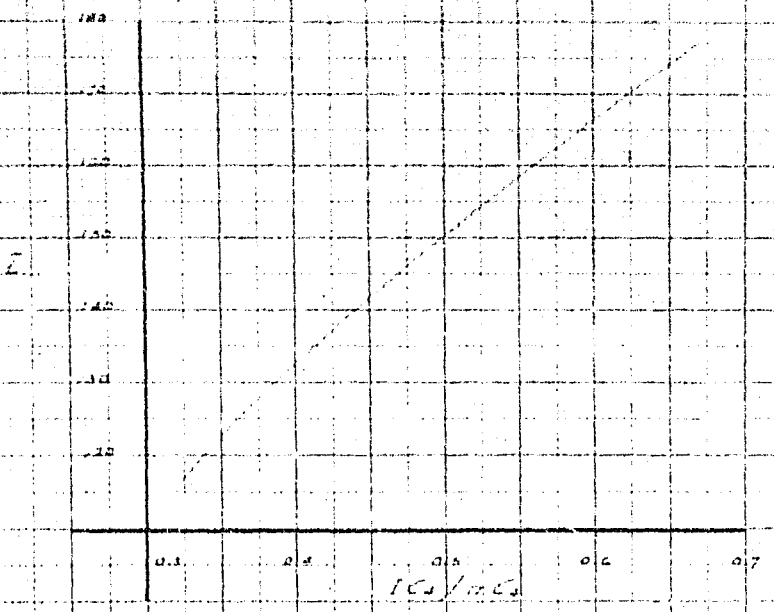
La gráfica en que se sitúan L vs. N viene adjunta. (No. 4). En ella se ve que el reflujo óptimo está comprendido en el rango de 80 a 120 moles por 100 moles de carga.

Tomemos un REFLUJO = 100 moles

GRAFICA Nº 1



GRAFICA Nº 2



1000 (No. 4)
por el 1950

1000 (No. 4)
por el 1950

165

1 = 101

(photo)

GRAFICO N° 1

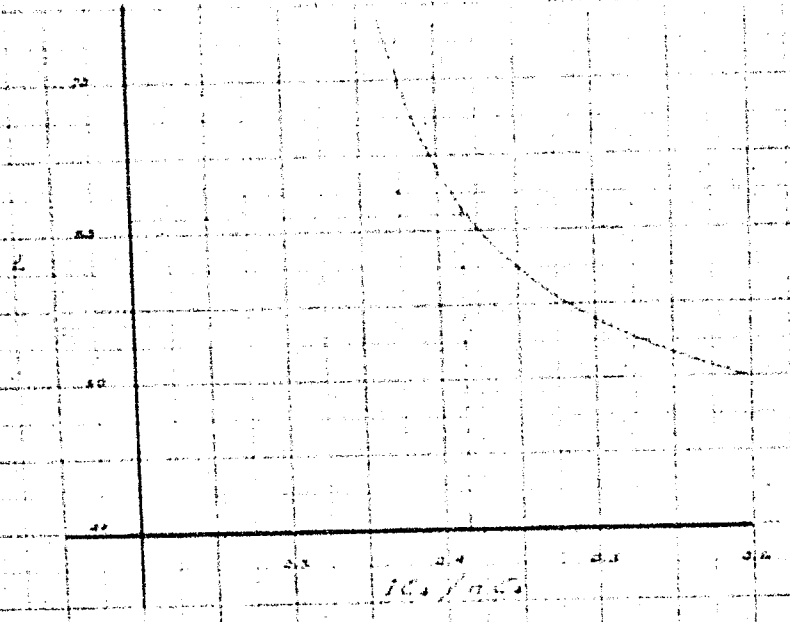
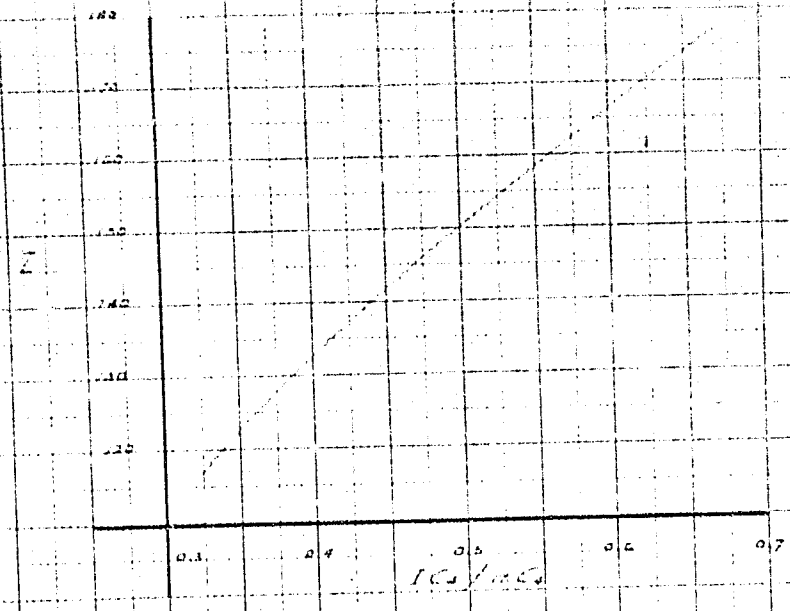
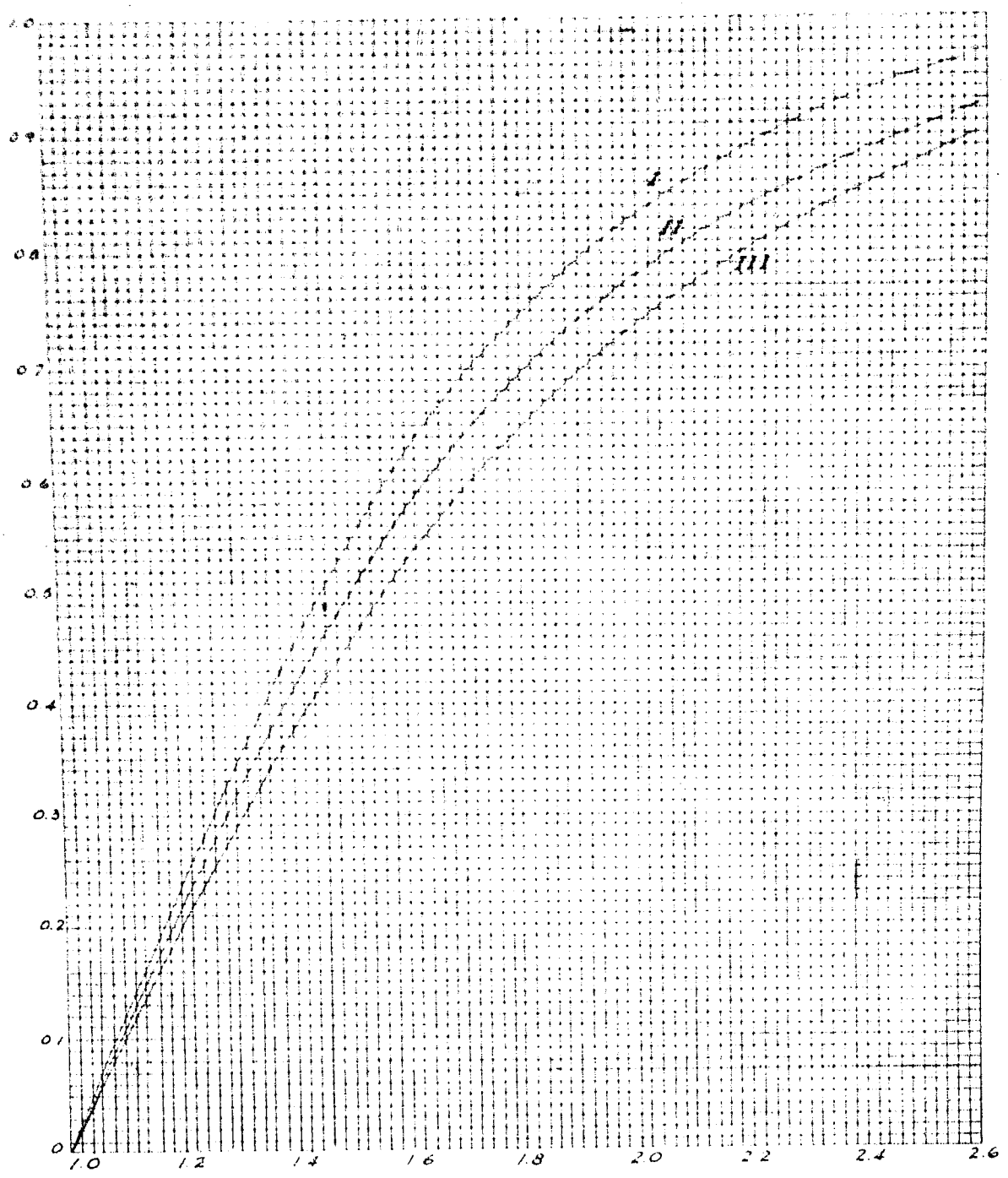


GRAFICO N° 2



Número de platos con refujo finito mayor de 8
 Número de platos con refujo finito mayor de 6
 III

$$\frac{w_{min} \left(1 - \frac{7A}{N^2} \right)}{\left(1 - \frac{7A}{N^2} \right)}$$



$$\frac{\text{Número de platos con refujo finito}}{\text{Número mínimo de platos}}$$

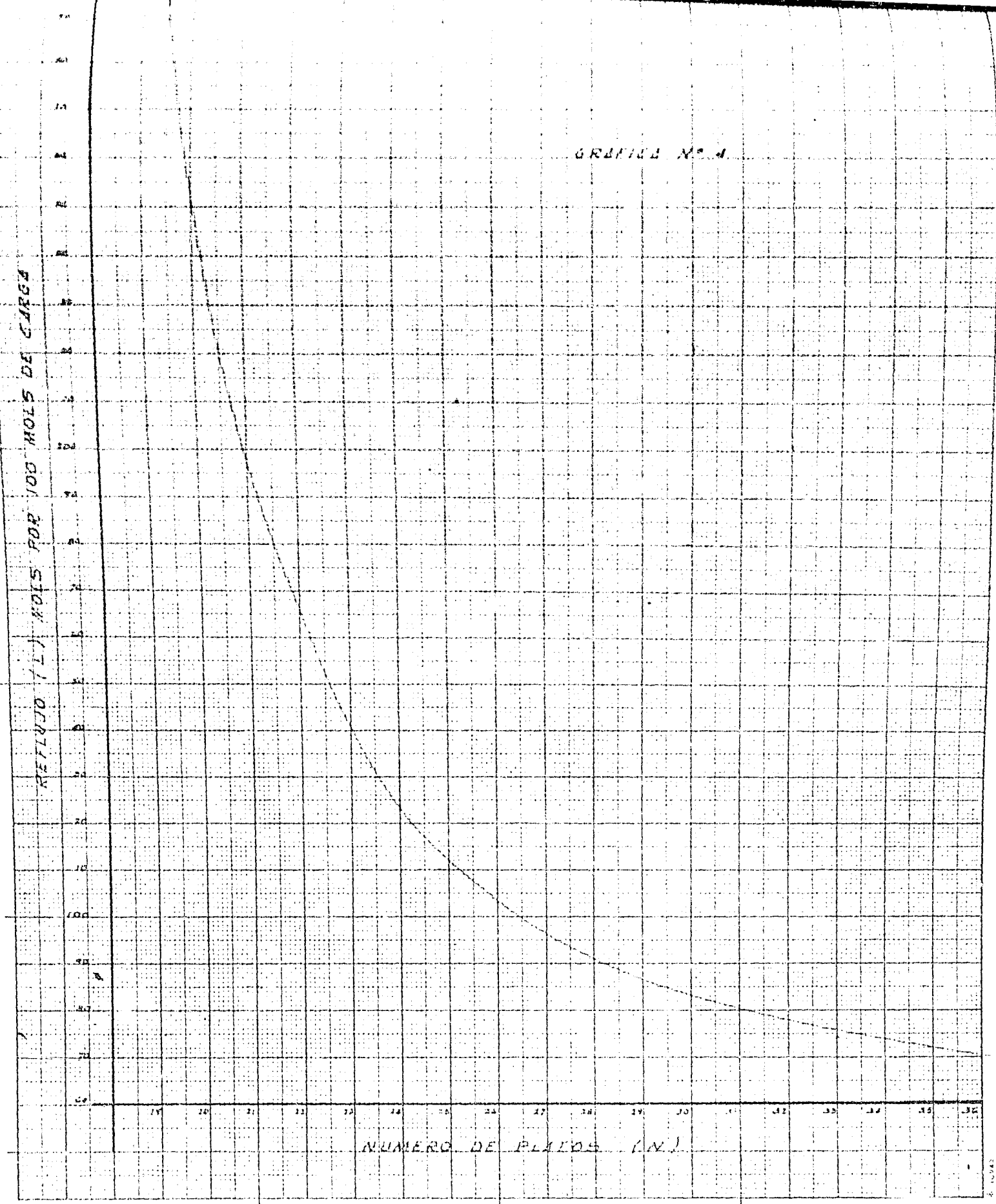
BROWN AND MARTIN

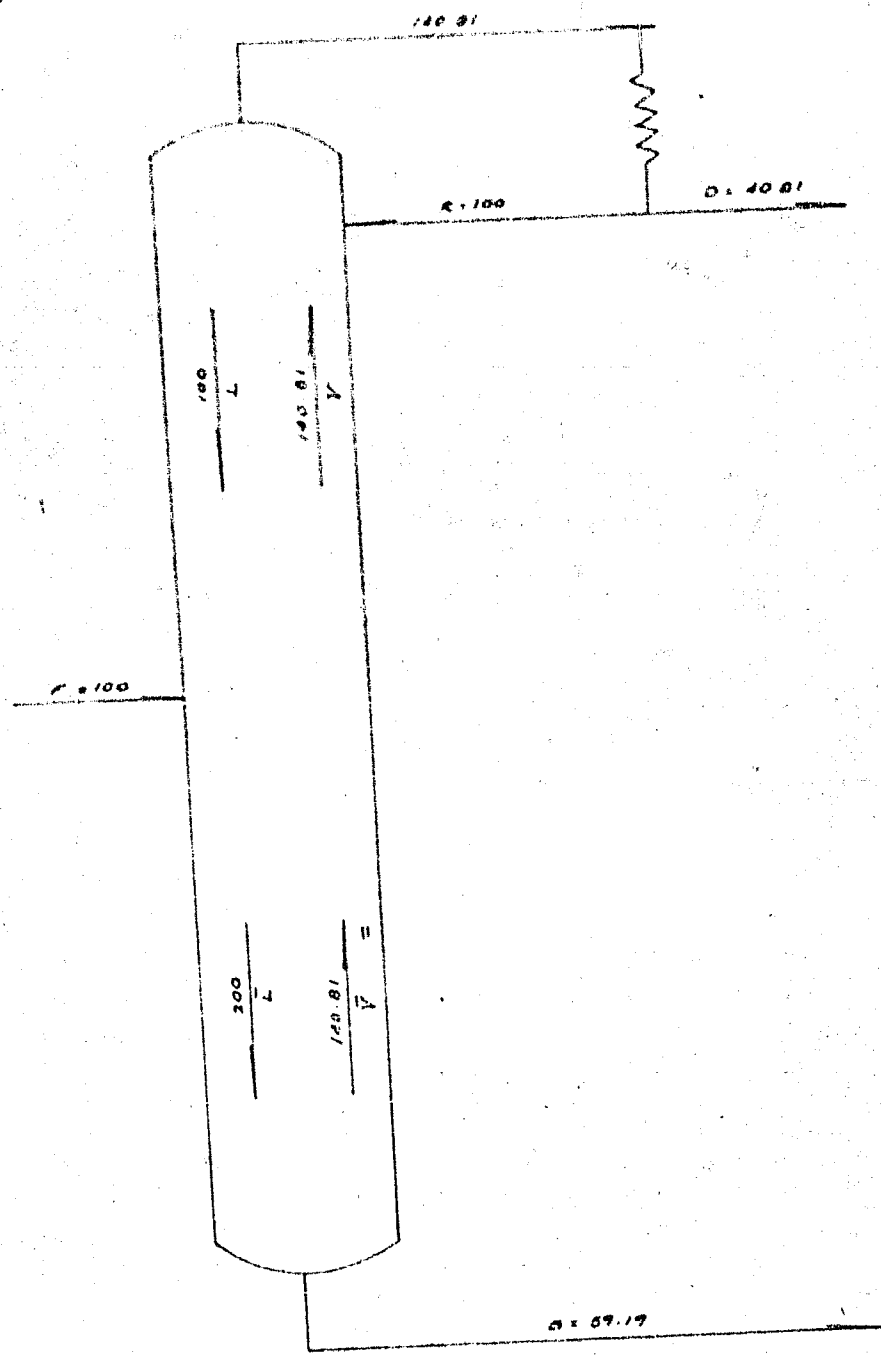
$$\frac{N}{N-1}$$

GRÁFICO N.º 4

REFLUJO (L.) MOLS POR 100 MOLS DE CARGA

NUMERO DE PLIEGOS (N)





BALANCE DE MATERIALES DE LA TORRE EN MOLES

GRAFICA N° 5

Si consideramos para los platos un 75% de eficiencia entonces:

$$\text{NUMERO DE PLATOS REQUERIDO} = \frac{26.4}{0.75} = 35 \text{ platos}$$

$$N = 33 + \text{reboiler} + \text{condensador.}$$

V.—BALANCE DE MATERIALES DE LA TORRE.—

Base: 100 moles de carga = F

Por deducción anterior tenemos:

Producto superior = D = 40.81 moles

Producto inferior = Fondos = B = 59.19 moles

Aceptando el rellujo obtenido según el método de Brown y Holcomb tenemos:

Rellujo sección rectificación = L = 100 moles

Rellujo sección stripping = \bar{L} = L + F = 200 moles

Vapores sección rectificación = V = L + D = 140.81 moles

Vapores sección stripping = \bar{V} = \bar{L} - B = 140.81 moles

El esquema representativo de estas cifras, en moles, se puede ver en la gráfica No. 5

VI.—CALCULO DE LA SECCION DE RECTIFICACION PLATO A PLATO.—

Ecuaciones generales:

$$x_n = \frac{y_n/Q}{S(y_n/Q)} \quad \frac{IC_4}{nC_4} \quad \text{en la carga} = 0.415$$

$$y_{n-1} = \frac{L}{V} x_n - \frac{D}{V} x_d$$

Para cada componente la ecuación operante es:

$$C2 \quad y_{n-1} = \frac{100}{140.81} x_n + \frac{40.81 \times 21.80}{140.81} \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + 6.32$$

$$C3 \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + \frac{40.81 \times 66.50}{140.81} \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + 19.27$$

$$IC4 \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + \frac{40.81 \times 10.73}{140.81} \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + 3.11$$

$$C4 \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + \frac{40.81 \times 0.97}{140.81} \quad y_{n-1} = 0.710 x_n + 0.28$$

Empezando por el plato superior:

	x_1	y_{1-1}	Q_{110}	y_{1-1}/Q	x_{1-1}	
C2	7.03	11.31	9.40	1.20	3.02	
C3	66.56	66.53	3.03	21.81	54.92	KC4 = 0.3971
IC4	23.46	19.77	1.38	14.33	36.09	
C4	2.95	2.37	1.00	2.37	5.97	Temp. (t-1) = 123°F
	<u>100.00</u>	<u>99.98</u>		<u>39.71</u>	<u>100.00</u>	

	y_{1-2}	Q_{110}	y_{1-2}/Q	x_{1-2}	
C2	8.46	9.40	0.90	1.99	
C3	58.26	3.03	19.10	42.13	KC4 = 0.4554
IC4	28.73	1.38	20.82	45.91	Temp. (t-2) = 134°F
C4	4.52	1.00	4.52	9.97	
	<u>99.97</u>		<u>45.54</u>		

	yt-3	Q140o	yt-3/Q	xt-3	
C2	7.73	7.60	0.99	1.88	
C4	49.18	2.75	17.88	33.94	KC4 = 0.5268
IC4	35.71	1.35	26.45	30.21	
C4	7.36	1.00	7.36	13.97	Temp. (t-3) = 146oF
	<u>99.98</u>		<u>52.68</u>		

	yt-4	Q140o	yt-4/Q	xt-4	
C2	7.65	7.60	0.98	1.76	
C3	43.37	2.75	15.77	28.33	KC4 = 0.5566
IC4	38.76	1.35	28.71	51.58	
C4	10.20	1.00	10.20	18.33	Temp. (t-4) = 151oF
	<u>99.98</u>		<u>55.66</u>	<u>100.00</u>	

	yt-5	Q150o	yt-5/Q	xt-5	
C2	7.57	7.4	1.02	1.74	
C3	39.38	2.70	14.59	24.92	KC4 = 0.5855
IC4	39.73	1.34	29.63	50.64	
C4	13.29	1.00	13.29	22.70	Temp. (t-5) = 156oF
	<u>99.97</u>		<u>58.55</u>	<u>100.00</u>	

	yt-6	Q150o	yt-6/Q	xt-6	
C2	7.56	7.4	1.02	1.69	
C3	36.96	2.70	13.59	22.72	KC4 = 0.6026
IC4	39.06	1.34	29.15	48.37	
C4	16.40	1.00	16.40	27.22	Temp. (t-6) = 159oF
	<u>99.98</u>		<u>60.26</u>	<u>100.00</u>	

	yt-7	Q165o	yt-7/Q	xt-7	
C2	7.52	6.8	1.11	1.77	
C3	35.40	2.38	13.72	21.84	KC4 = 0.6281
IC4	37.45	1.32	28.37	45.17	
C4	19.61	1.00	19.61	31.22	Temp. (t-7) = 162oF
	<u>99.98</u>		<u>62.81</u>	<u>100.00</u>	

	yt-8	Q165o	yt-8/O	xt-8	
C2	7.57	6.8	1.11	1.74	KC4 = 0.6369
C3	34.78	2.38	13.48	21.16	
IC4	35.18	1.32	26.65	41.85	
C4	22.45	1.00	22.45	35.25	
	<u>99.98</u>		<u>63.69</u>	<u>100.00</u>	Temp. (t-8) = 165oF

	yt-9	Q165o	yt-9/O	xt-9	
C2	7.56	6.8	1.11	1.72	KC4 = 0.6457
C3	34.29	2.58	13.29	20.58	
IC4	32.82	1.32	24.86	38.50	
C4	25.31	1.00	25.31	39.20	
	<u>99.98</u>		<u>64.57</u>	<u>100.00</u>	Temp. (t-9) = 165oF

	yt-10	Q165o	yt-10/O	xt-10	
C2	7.54	6.8	1.11	1.70	KC4 = 0.6542
C3	33.88	2.36	13.13	20.07	
IC4	30.45	1.31	23.07	35.26	
C4	28.11	1.00	28.11	42.97	
	<u>99.98</u>		<u>65.42</u>	<u>100.00</u>	Temp. (t-10) = 166oF

	yt-11	Q165o	yt-11/O	xt-11	
C2	7.53	6.8	1.11	1.68	KC4 = 0.6621
C3	32.52	2.38	12.99	19.82	
IC4	28.14	1.32	21.82	32.20	
C4	30.79	1.00	30.79	46.50	
	<u>99.98</u>		<u>66.21</u>	<u>100.00</u>	Temp. (t-11) = 167oF

	yt-12	Q165o	yt-12/O	xt-12	
C2	7.51	6.8	1.10	1.64	KC4 = 0.6694
C3	33.20	2.38	12.87	19.23	
IC4	25.97	1.32	19.67	29.38	
C4	33.30	1.00	33.30	49.75	
	<u>99.98</u>		<u>66.94</u>	<u>100.00</u>	Temp. (t-12) = 168oF
					IC4 = $\frac{29.38}{49.75} = 0.590$

	yt-13	Q165o	yt-13/Q	xt-13	
C2	7.48	6.8	1.10	1.63	KC4 = 0.6762
C3	32.92	2.38	12.76	18.87	
IC4	23.97	1.32	18.16	26.86	Temp. (t-13) = 169oF
C4	35.60	1.00	33.60	52.64	
	99.97		67.62	100.00	
					IC4 = $\frac{26.86}{52.64} = 0.510$

	yt-14	Q165o	yt-14/Q	xt-14	yt-15	
C2	7.48	6.8	1.10	1.61	7.46	KC4 = 0.6821
C3	32.67	2.38	12.66	18.56	32.46	
IC4	22.18	1.32	16.80	24.63	20.61	Temp. (t-14) = 171oF
C4	37.65	1.00	37.65	55.20	39.50	
	99.98		68.21	100.00	100.03	
						IC4 = $\frac{24.63}{55.20} = 0.446$

Como se vé la relación de IC_4 a nC_4 en el plato t-14, es ya sólo un poco mayor que esta misma relación en la carga. Por lo tanto sólo hasta este plato se calcula la sección de rectificación.

VII — CALCULO DE LA SECCION DE STRIPPING PLATO A PLATO.

Ecuaciones generales:

$$y_m = \frac{Q_{xm}}{SQ_{xm}} \quad \frac{IC_4}{nC_4} \quad \text{en la carga} = 0.415$$

$$x_m + 1 = \frac{\bar{V}}{\bar{L}} y_m + \frac{B}{\bar{L}} x_b$$

Para cada componente la ecuación operante es:

$$IC4 \quad x_{m+1} = \frac{140.81}{200} y_m + \frac{59.19 \times 6.23}{200} x_{m+1} = 0.704 y_m + 1.84$$

$$C4 \quad x_{m+1} = 0.704 y_m + \frac{59.19 \times 32.01}{200} x_{m+1} = 0.704 y_m + 9.47$$

$$IC5 \quad x_{m+1} = 0.704 y_m + \frac{59.19 \times 12.36}{200} x_{m+1} = 0.704 y_m + 3.66$$

$$C5 \quad x_{m+1} = 0.704 y_m + \frac{59.19 \times 20.40}{200} x_{m+1} = 0.704 y_m + 6.01$$

$$C6 \quad x_{m+1} = 0.704 y_m + \frac{59.19 \times 29.00}{200} x_{m+1} = 0.704 y_m + 8.58$$

Empezando por el fondo

	y_s	x_{s+1}	Q_{260°	$Q_{x_{s+1}}$	y_{s+1}	
IC4	12.13	10.38	1.19	12.35	16.16	$KC4 = \frac{1}{0.764} = 1.309$ Temp. (s+1) = 242°F
C4	52.24	46.25	1.00	46.25	60.55	
IC5	12.14	12.21	0.608	7.42	9.71	
C5	17.00	18.01	0.486	8.75	11.45	
C6	6.49	13.15	0.124	1.63	2.13	
	100.00	100.00		76.40	100.00	

	x_{s+2}	Q_{220°	$Q_{x_{s+2}}$	y_{s+2}	
IC4	13.22	1.24	16.39	20.12	$KC4 = \frac{1}{0.8146} = 1.2276$ Temp. (s+2) = 233°F
C4	52.09	1.00	52.09	63.96	
IC5	10.50	0.554	5.82	7.14	
C5	14.10	0.440	6.20	9.61	
C6	10.08	0.095	0.96	1.18	
	99.99		81.46	100.00	

	xs + 3	Q220o	Qxs+3	ys+3	
IC4	16.00	1.24	19.84	23.33	$KC4 = \frac{1}{0.8505} = 1.1757$
C4	54.49	1.00	54.49	64.05	
IC5	8.69	0.554	4.81	5.66	
C5	11.40	0.440	5.02	5.91	
C6	9.41	0.095	0.89	1.05	
	99.99		85.05	100.00	

Temp. (s+3) = 228oF

	xs + 4	Q220o	Qxs+4	ys+4	
IC4	18.26	1.24	22.64	26.10	$KC4 = \frac{1}{0.8681} = 1.1519$
C4	54.57	1.00	54.57	62.85	
C5	10.20	0.440	4.42	5.17	
IC5	7.64	0.554	4.23	4.87	
C6	9.32	0.095	0.88	1.01	
	99.99		86.81	100.00	

Temp. (s+4) = 226oF

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{18.26}{54.57} = 0.334$$

	xs + 5	Q220o	Qxs+5	ys+5	
IC4	20.21	1.24	25.05	28.53	$KC4 = \frac{1}{0.8785} = 1.1383$
C4	53.72	1.00	53.72	61.15	
IC5	7.09	0.554	3.93	4.47	
C5	9.68	0.440	4.26	4.85	
C6	9.29	0.095	0.88	1.00	
	99.99		87.85	100.00	

Temp. (s+5) = 224oF

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{20.21}{53.72} = 0.377$$

	xs + 6	Q220o	Qxs+6	ys+6	
IC4	21.93	1.24	27.19	30.72	$KC4 = \frac{1}{0.8852} = 1.1297$
C4	52.52	1.00	52.52	59.33	
IC5	6.81	0.554	3.77	4.26	
C5	9.45	0.440	4.16	4.70	
C6	9.28	0.095	0.88	0.99	
	99.99		88.52	100.00	

Temp. (s+6) = 223oF

$$\frac{IC4}{nC4} = \frac{21.93}{52.52} = 0.418$$

La última relación $\frac{IC4}{nC4}$ nos indica que ya se han calculado suficientes platos. Las concentraciones y temperaturas obtenidas se sitúan vs. el número de platos.

VIII.—DETERMINACION DEL PLATO DE ALIMENTACION.—

Ecuación operante para los componentes ausentes en la sección de stripping:

$$C2 \text{ y } C3 \quad x_{m+1} = \frac{\bar{V}}{L} y_m + \frac{B}{L} x_b \quad x_b = 0$$

$$x_{m+1} = \frac{\bar{V}}{L} y_m = 0.704 y_m$$

Después de varios intentos se elige el plato No. 9 introduciendo las siguientes concentraciones:

Se introduce un 0.75% de C3 en el líquido de s+3

	x_{s+3}	Q_{2200}	$Q_{x_{s+3}}$	y_{s+3}	
C3	0.75	2.18	1.64	1.91	$KC4 = \frac{1}{0.857} = 1.167$
IC4	15.75	1.24	19.53	22.78	
C4	54.10	1.00	54.10	63.13	Temp. (s+3) = 227°
IC5	8.65	0.553	4.77	5.57	
C5	11.25	0.440	4.77	5.57	
C6	9.40	0.0945	0.89	1.04	
	100.00		85.70	100.00	

	x_{s+4}	Q_{2200}	$Q_{x_{s+4}}$	y_{s+4}	
C3	1.54	2.18	2.92	3.31	$KC4 = \frac{1}{0.8627} = 1.133$
IC4	17.88	1.24	22.17	5.10	
C4	53.93	1.00	53.93	61.10	Temp. (s+4) = 224°
IC5	7.58	0.553	4.19	4.75	
C5	9.96	0.440	4.18	4.74	
C6	9.31	0.0945	0.88	1.00	
	100.00		88.27	100.00	

	xs + 5	Q220°	Qxs+5	ys+5	
C3	2.33	2.18	5.08	5.62	KC4 = $\frac{1}{0.9046} = 1.105$
IC4	19.51	1.24	24.19	26.74	
C4	52.50	1.00	52.50	58.04	Temp. (s+5) = 221°F
IC5	7.00	0.553	3.87	4.28	
C5	9.38	0.440	3.94	4.35	
C6	9.28	0.0945	0.88	0.97	
	100.00		90.45	100.00	

	xs + 6	Q220°	Qxs+6	ys+6	
C3	3.96	2.18	8.53	9.28	KC4 = $\frac{1}{0.9297} = 1.0756$
IC4	20.66	1.24	25.58	27.51	
C4	50.35	1.00	50.35	54.17	Temp. (s+6) = 217°F
IC5	6.67	0.553	3.70	3.98	
C5	9.10	0.440	3.82	4.11	
C6	9.26	0.0945	0.88	0.94	
	100.00		92.97	99.99	

	xs + 7	Q220°	Qxs+7	ys+7	
C3	6.53	2.18	14.24	14.78	KC4 = $\frac{1}{0.9634} = 1.038$
IC4	21.21	1.24	26.30	27.30	
C4	47.61	1.00	47.61	49.41	Temp. (s+7) = 214°F
IC5	6.46	0.553	3.57	3.71	
C5	8.93	0.440	3.75	3.89	
C6	9.24	0.0945	0.87	0.91	
	99.98		96.34	100.00	

	xs + 8	Q220°	Qxs+8	ys+8	xs+9	
C3	10.41	2.18	22.69	22.44	15.80	KC4 = $\frac{1}{1.0109} = 0.9892$
IC4	21.06	1.24	26.11	25.83	20.03	
C4	44.26	1.00	44.26	43.79	40.50	Temp. (s+8) = 209°F
IC5	6.28	0.553	3.47	3.43	6.08	
C5	8.78	0.440	3.69	3.65	8.61	
C6	9.22	0.0945	0.87	0.86	9.19	
	100.01		101.09	100.00	100.01	

Se introduce 0.40 mol % de C2 en el líquido de s+8

	x_{s+8}	Q2200	Q_{xs+8}	y_{s+8}	
C2	0.40	5.65	2.26	2.16	$KC4 = \frac{1}{1.0461} = 0.956$
C3	10.30	2.32	23.90	22.85	
IC4	20.96	1.27	26.62	25.45	Temp (s+8) = 205°F
C4	44.09	1.00	44.09	42.15	
IC5	6.27	0.528	3.31	3.16	
C5	8.76	0.418	3.66	3.50	
C6	9.22	0.083	0.77	0.74	
	100.00		104.61	100.01	

	x_{s+9}	Q2200	Q_{ys+9}	y_{s+9}	
C2	1.52	5.65	8.59	7.31	$KC4 = \frac{1}{1.1757} = 0.8506$
C3	16.09	2.32	37.33	31.75	
IC4	19.75	1.27	25.10	21.35	Temp. (s+9) = 193°F
C4	39.14	1.00	39.14	33.29	
IC5	5.88	0.528	3.10	2.64	
C5	8.50	0.418	3.55	3.02	
C6	9.10	0.083	0.76	0.65	
	99.99		117.57	100.01	

Como se ve, los valores de y_{s+9} se aproximan bastante a los valores de y_{t-15} obtenidos anteriormente.

Ecuación operante para los componentes pesados ausentes en la sección de rectificación:

$$y_{n-1} = \frac{L}{V} x_n + \frac{D}{V} x_d \quad x_d = 0 \quad \therefore y_{n-1} = 0.710 x_n$$

Después de varias tentativas se elige el plato t-15 como plato de alimentación introduciendo las siguientes concentraciones: Se introduce 0.5 mol % de IC5, en el líquido del plato t-12.

	xt-13	yt-13	Q180°	yt-13/Q	xt-13	
C2	1.64	7.48	6.25	1.20	1.74	
C3	19.70	32.90	2.46	13.77	19.37	KC4 = 0.6902
IC4	29.21	23.85	1.30	18.35	26.59	
C4	49.45	35.39	1.00	35.39	51.27	Temp (t-13) = 170°F
IC5	0.50	0.35	0.504	0.71	1.03	
	100.00	99.98		59.02	100.00	

Se introduce 0.65 mol % de C5 en el liquido del plato t-13

	xt-13	yt-14	Q180°	yt-14/Q	xt-14	
C2	1.74	7.56	6.25	1.20	1.70	
C3	19.30	32.97	2.46	13.40	19.03	KC4 = 0.7043
IC4	26.35	21.82	1.30	16.78	23.82	
C4	50.93	35.44	1.00	35.44	51.74	Temp (t-14) = 174°F
IC5	1.03	0.73	0.504	1.45	2.06	
C5	0.65	0.45	0.395	1.16	1.65	IC4 = 23.82
	100.00	99.99		70.43	100.00	nC4 = 51.74 = 0.460

	yt-15	Q180°	yt-15/Q	xt-15	
C2	7.53	6.25	1.20	1.65	KC4 = 0.7295
C3	32.78	2.46	13.22	18.27	
IC4	20.02	1.30	15.55	21.32	Temp (t-15) = 183°F
C4	37.02	1.00	37.02	50.75	
IC5	1.45	0.504	2.90	3.98	IC4 = 21.32
C5	1.17	0.395	2.95	4.03	nC4 = 50.75 = 0.420
			72.95	100.00	

Se introduce 0.75% de C6 en el liquido del plato t-15

	xt-15	yt-16
C2	1.65	7.49
C3	18.25	32.23
IC4	21.00	18.02
C4	50.37	35.04
IC5	3.95	2.80
C5	4.03	2.85
C6	0.71	0.55
	100.00	100.00

Como se ve, las concentraciones de los componentes en los vapores del plato 1-16 coinciden bastante con las de los vapores del plato s + 2 excepto para los componentes base IC4 y C4.

Teniendo en cuenta los resultados de las selecciones anteriores y que las concentraciones de los componentes base varían considerablemente en las cercanías del plato de alimentación (Ver gráficos No. 6), se adopta como tal el plato s + 2.

Considerando un 75% de eficiencia para los platos tendremos:

PASOS DE EQUILIBRIO TEORICOS NECESARIOS = 26

PASOS DE EQUILIBRIO ACTUALES NECESARIOS = $\frac{26}{0.75} = 34.6$

PLATOS ACTUALES = 35 - Reboiler - Condensador = 33

PLATO DE ALIMENTACION ACTUAL = $\frac{10}{0.75} - \text{Reboiler} = 12$

(del fondo al domo)

110° 120° 130° 140° 150° 160° 170° 180° 190° 200° 210° 220° 230° 240° 260° 260°
TEMPERATURAS

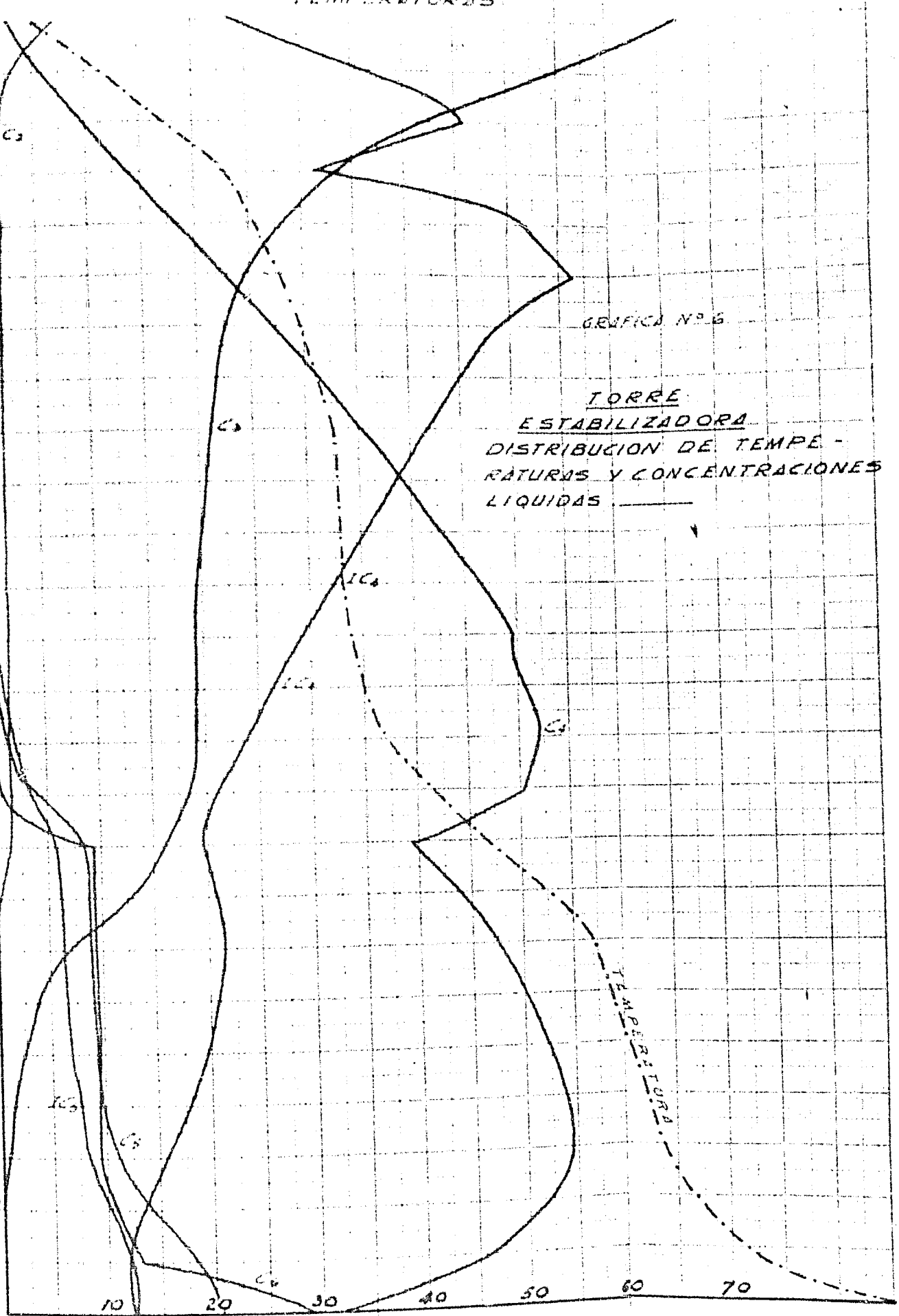
DOMO

P L A T O S

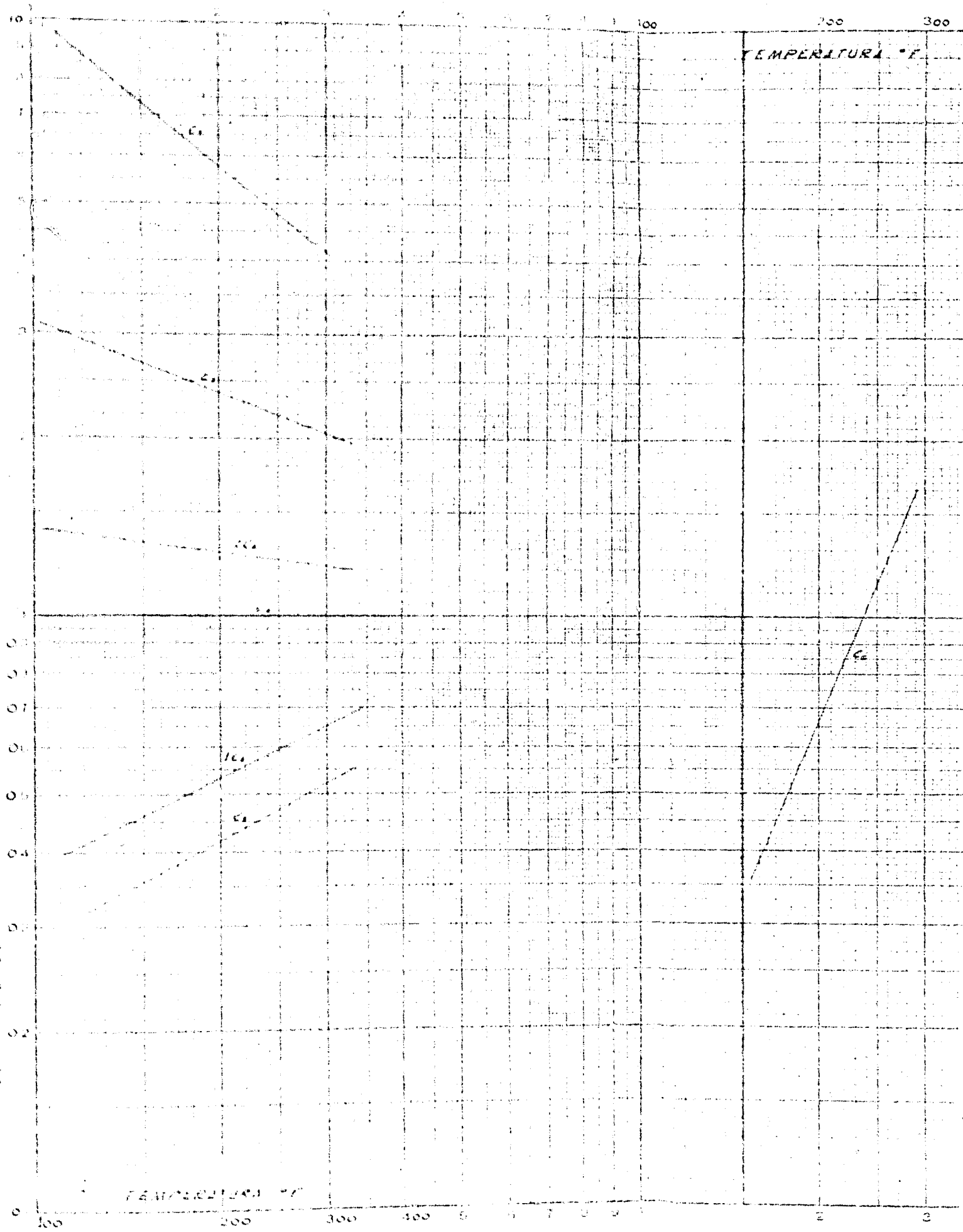
ALIMENTO

FONDO

t
t-1
t-2
t-3
t-4
t-5
t-6
t-7
t-8
t-9
t-10
t-11
t-12
t-13
t-14
t-15
S+9
S+8
S+7
S+6
S+5
S+4
S+3
S+2
S+1

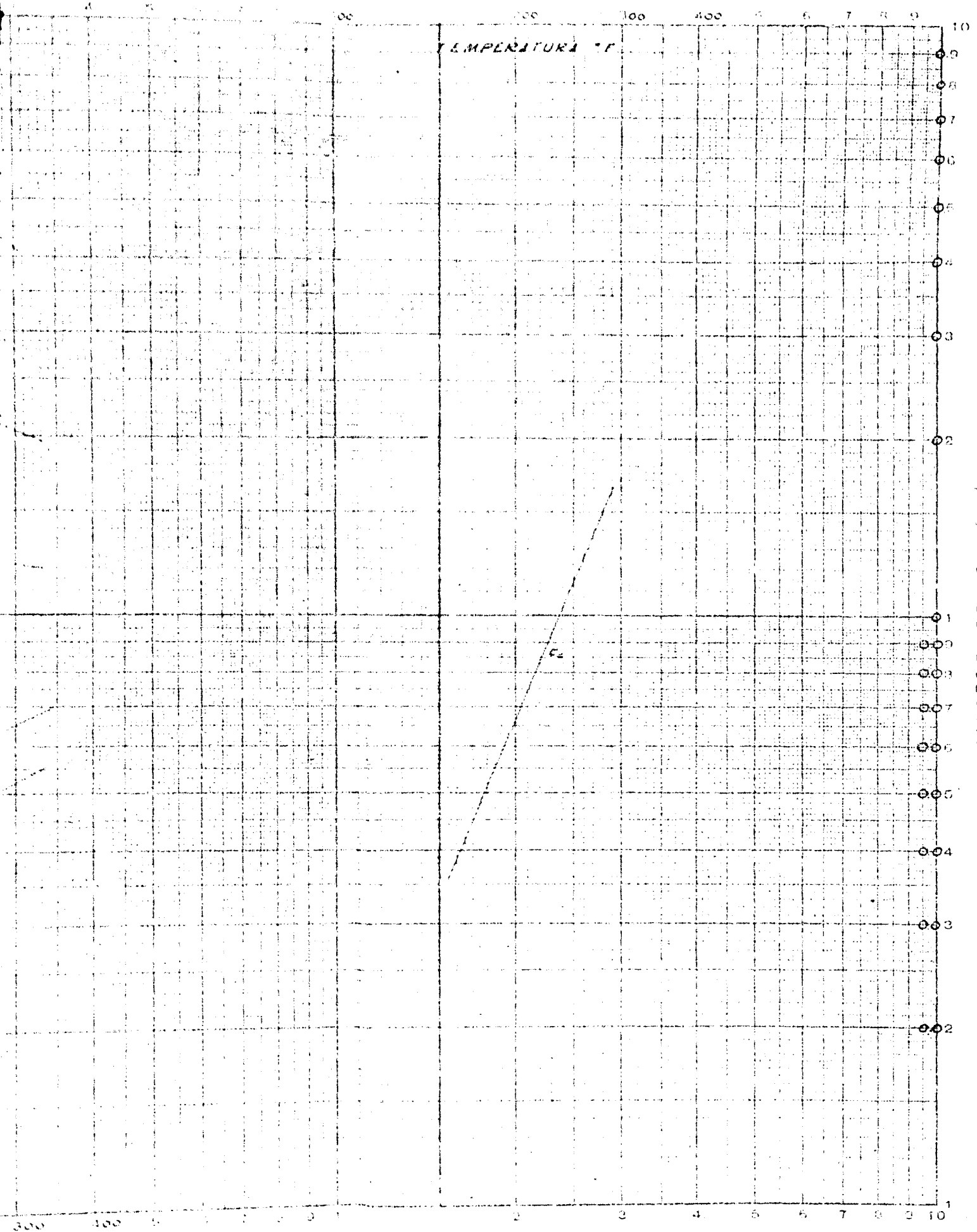


VALORES DE Q (C.G. = 5)



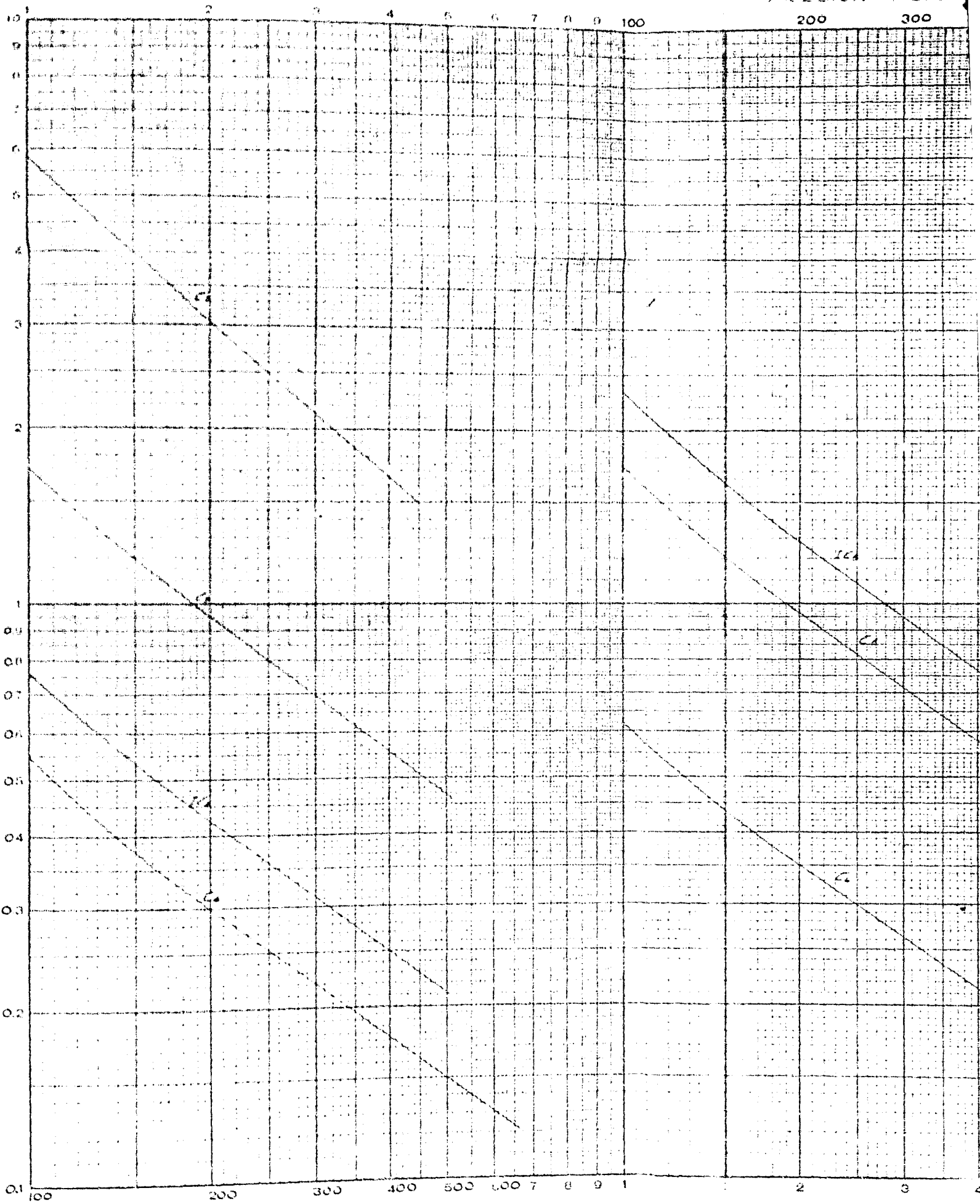
TEMPERATURA °F

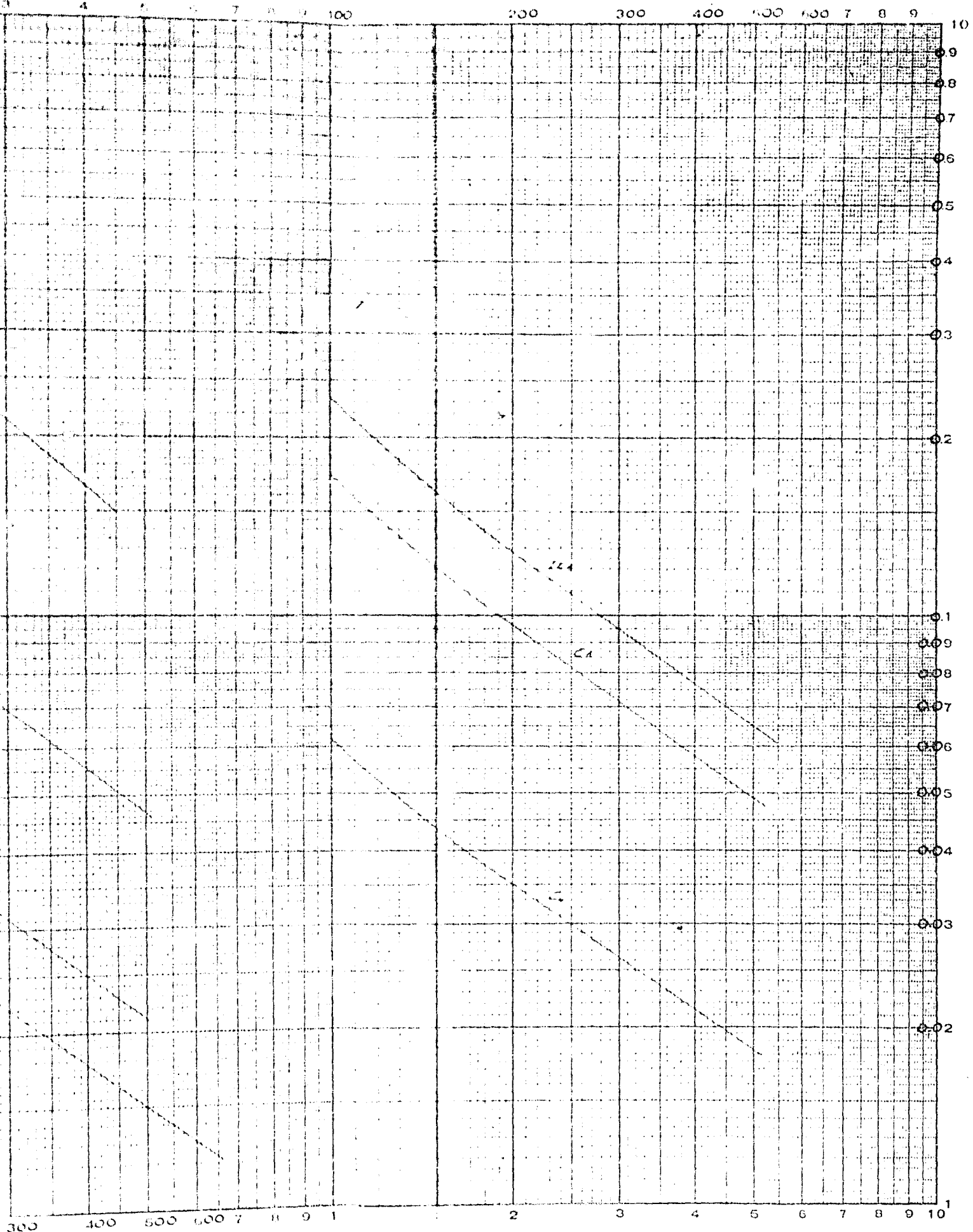
VALORES DE Q (C)



VALORES DE K (C2 a C4)

DATOS OBTENIDOS DE LA PHILLIPS CO

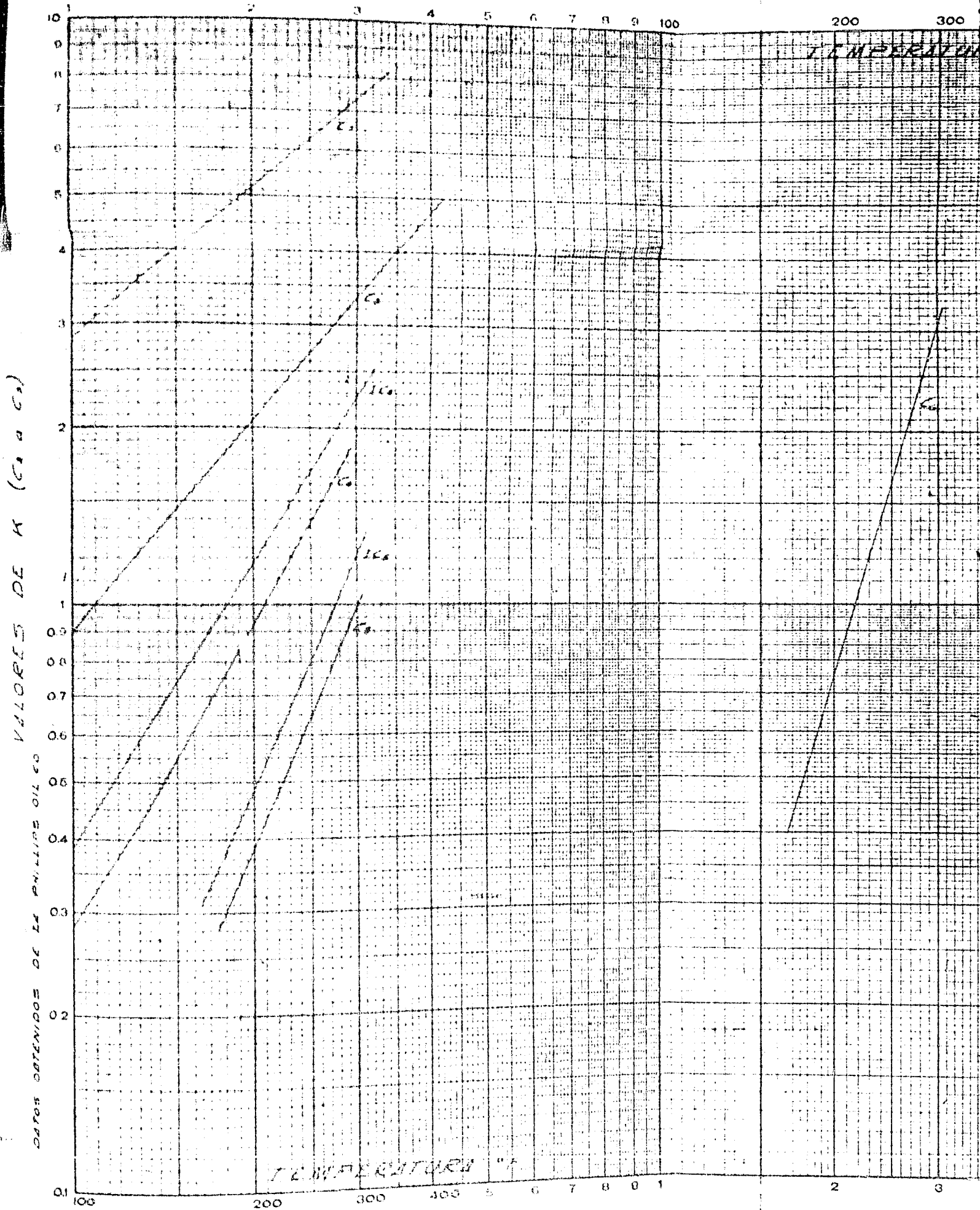


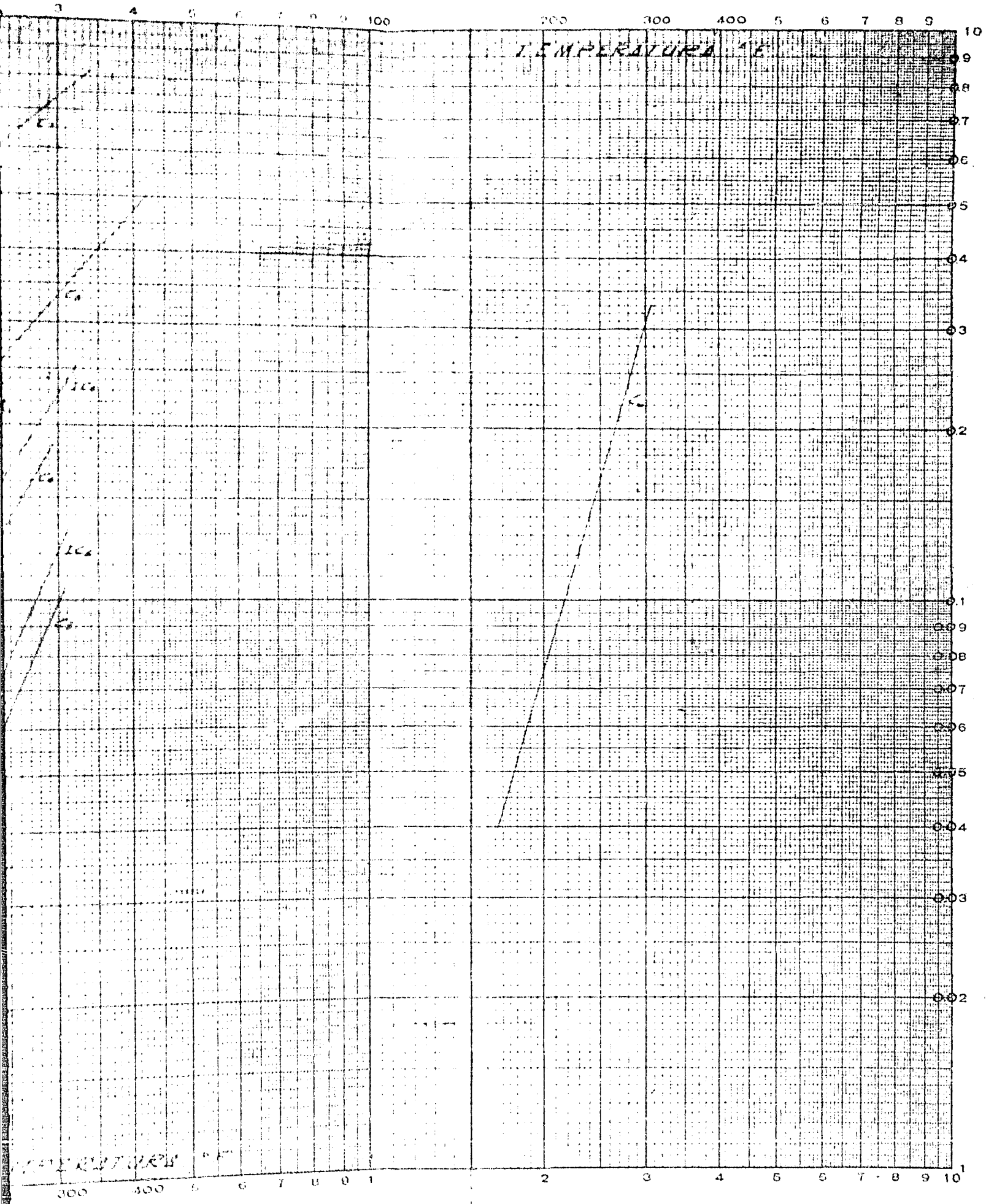


WORLD & CARBON CO. N.Y. N.Y. 10010
 Telephone: 2-7150
 1951

VALORES DE K (100 = C)

300 400 500 600 7 8 9 10 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10





BUFFEL & ESSER CO., N.Y. NO. 1397
 Logarithmic 2 1/2 Cycles

VALORES DE X (C)

CUADRO GENERAL DE COMPOSICIONES DE LIQUIDOS Y VAPORES EN LOS PLATOS DE LA TORRE

	DOMO					
	t		t-1		t-2	
	x	y	x	y	x	y
C2	7.03	21.80	3.02	11.31	1.99	8.46
C3	66.56	66.50	54.92	66.53	42.13	38.26
IC4	23.46	10.73	36.09	19.77	45.91	28.73
C4	2.95	0.97	5.97	2.37	9.97	4.52
	Temp: 110°F		Temp: 123°F		Temp: 134°F	
	t-3		t-4		t-5	
	x	y	x	y	x	y
	C2	1.88	7.73	1.76	7.65	1.74
C3	33.94	49.18	38.33	43.37	24.92	39.38
IC4	30.21	35.71	51.58	38.76	50.64	39.73
C4	13.97	7.36	18.33	10.20	22.70	13.29
	Temp: 146°F		Temp: 151°F		Temp: 156°F	
	t-6		t-7		t-8	
	x	y	x	y	x	y
	C2	1.69	7.56	1.77	7.52	1.74
C3	22.72	36.96	21.84	35.40	21.16	34.78
IC4	48.37	39.06	45.17	37.45	41.85	35.18
C4	27.22	16.40	31.22	19.61	35.25	22.45
	Temp: 159°F		Temp: 162°F		Temp: 165°F	
	t-9		t-10		t-11	
	x	y	x	y	x	y
	C2	1.72	7.56	1.70	7.54	1.68
C3	20.58	34.29	20.07	33.88	19.62	33.52
IC4	38.50	32.82	35.26	30.45	32.20	28.14
C4	39.20	25.31	42.97	28.11	46.50	30.79
	Temp: 165.5°F		Temp: 166°F		Temp: 167°F	

	S+4		S+3		S+2	
	x	y	x	y	x	y
C3	1.54	3.31	0.75	1.91	13.22	20.12
IC4	17.88	5.10	15.75	22.78	52.09	63.96
C4	53.93	61.10	54.10	63.13	10.50	7.14
ICS	7.58	4.75	8.65	5.57	14.10	9.61
C5	9.96	4.74	11.35	5.57	10.08	1.18
C6	9.31	1.00	9.40	1.04	Temp:	2330F
	Temp:	2240F	Temp:	2270F		
			FONDO			
			S			
			x	y		
IC4	10.38	16.16	6.23	12.13		
C4	46.25	60.55	32.01	52.24		
ICS	12.21	9.71	12.36	12.14		
C5	18.01	11.45	20.40	17.00		
C6	13.15	2.13	29.00	6.49		
	Temp:	2420F	Temp:	2730F		

	t-12		t-13		t-14	
	x	y	x	y	x	y
C2	1.64	7.51	1.74	7.48	1.70	7.56
C3	19.20	33.20	19.30	32.90	19.03	32.97
IC4	29.21	35.97	26.35	23.85	23.82	21.82
IC4	49.45	33.30	50.93	35.39	51.74	36.44
ICS	0.50	-----	1.03	0.35	2.05	0.73
C5	-----	-----	0.65	-----	1.65	0.45
C6	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Temp:	168oF	Temp:	170oF	Temp:	174oF
PLATO DE ALIMENTACION t-15						
	t-15		S+9		S+8	
	x	y	x	y	x	y
C2	1.65	7.53	1.52	7.31	0.40	2.16
C3	16.25	32.78	15.09	31.75	10.30	22.85
IC4	21.00	20.02	19.76	21.35	20.96	25.45
IC4	50.37	37.02	39.14	33.25	44.09	42.15
ICS	3.95	1.46	5.85	2.64	6.27	3.16
C5	4.03	1.17	8.50	3.02	8.76	3.50
C6	0.75	-----	9.10	0.65	9.22	0.74
	Temp:	183oF	Temp:	193oF	Temp:	205oF
	S+7		S+6		S+5	
	x	y	x	y	x	y
C2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C3	6.53	14.78	3.96	9.28	2.33	5.62
IC4	21.21	27.30	20.66	27.51	19.51	26.74
IC4	47.61	49.41	50.35	54.17	52.50	58.04
ICS	6.46	3.71	6.67	3.98	7.00	4.28
C5	8.93	3.89	9.10	4.11	9.38	4.35
C6	9.24	0.91	9.26	0.94	9.28	0.97
	Temp:	214oF	Temp:	217oF	Temp:	221oF

	S+4		S+3		S+2	
	x	y	x	y	x	y
C3	1.54	3.31	0.75	1.91	13.22	20.12
IC4	17.88	5.10	15.75	22.78	52.09	63.96
C4	53.93	61.10	54.10	63.13	10.50	7.14
IC5	7.58	4.75	8.65	5.57	14.10	9.61
C5	9.96	4.74	11.35	5.57	10.08	1.18
C6	9.31	1.00	9.40	1.04	Temp:	233oF
	Temp:	224oF	Temp:	227oF		
			FONDO			
	S+1		S			
	x	y	x	y		
IC4	10.38	16.16	6.23	12.13		
C4	46.25	60.55	32.01	52.24		
IC5	12.21	9.71	12.36	12.14		
C5	18.01	11.45	20.40	17.00		
C6	13.15	2.13	29.00	6.49		
	Temp:	242oF	Temp:	273oF		

CUADRO DE MATERIALES DE LA TORRE

BASE: 100 moles de carga

CARGA.—

	mol %	Peso mol.	Lbs.	moles/Bbl	Bbla.	% V. L.
C2	8.90	30.05	267.5	4.399	2.02	6.71
C3	27.14	44.06	1195.8	4.037	6.72	22.33
IC4	8.05	58.08	467.5	3.390	2.37	7.88
C4	19.35	58.08	1123.9	3.524	5.49	18.25
IC5	7.32	72.09	527.7	3.034	2.41	8.01
C5	12.08	72.09	870.9	3.063	3.94	13.09
C6	17.16	100.10	1717.7	2.402	7.14	23.73
	100.00		6171.0		30.09	100.00

PRODUCTO SUPERIOR.—

C2	8.90	30.05	267.5	4.399	2.02	19.93
C3	27.14	44.06	1195.8	4.047	6.72	66.27
IC4	4.37	58.08	253.8	3.390	1.29	12.72
C4	0.40	58.08	23.2	3.524	0.11	1.08
			1740.3		10.14	100.00

FONDOS.—

IC4	3.68	58.08	213.7	3.390	1.085	5.44
C4	18.65	58.08	1100.6	3.524	5.377	26.93
IC5	7.32	72.09	527.7	3.034	2.413	12.09
C5	12.08	72.09	870.8	3.063	3.944	19.76
C6	17.16	100.10	1717.8	2.402	7.144	35.78
			4430.6		19.963	100.00

SEPARACION DE LOS PLATOS.

Para seleccionar esta separación el principal factor que se tiene en cuenta es el acarreo de partículas líquidas por el vapor, que, de ser considerable, disminuye la efectividad del fraccionamiento en la columna.

El acarreo puede considerarse despreciable para velocidades de 2 ptes/sec. Pero llega a tener valores de 7 a 20% para velocidades de 4 a 5.5 ptes/sec.

La relación entre velocidad de vapor, separación de los platos y acarreo se expresa en el siguiente cuadro.

Velocidad del vapor ptes/sec	Separación entre platos		
	18"	12"	6"
1.7			0.004
1.8		0.006	0.250
2.5		0.040	
3.7	0.006	0.110	
5.5	0.009	0.300	
5.0	0.133		
7.0	0.177		
	Acarreo lbs líquido/lbs vapor seco		

De los datos derivados de la operación de diversas plantas la Compañía Phillips ha adoptado una separación standard, de 24", entre los platos de las columnas de fraccionamiento en la Industria Petrolera.

Esta separación tiene las siguientes ventajas:

- 1 — Es suficiente para evitar el acarreo de partículas líquidas en el vapor, permitiendo un margen amplio para velocidades del vapor.

- 2.—Se cuenta con espacio suficiente para la instalación de registros entre plato y plato, indispensables para la inspección limpieza y reparación de la columna
- 3.—El balance económico entre los costos de construcción y operación favorece esta separación.

De acuerdo con las consideraciones anteriores se adoptó para el presente estudio una separación de 24" entre los platos de la torre

DIAMETRO DE LA TORRE.

Se calculará para la torre el diámetro que permita la carga máxima de vapor necesaria, a una velocidad que no produzca un acarreo considerable de partículas líquidas de plato a plato.

Este acarreo depende, además, de la separación de los platos, de otros varios factores: la velocidad y densidad del vapor, la densidad del líquido, su viscosidad y tensión superficial. Estos factores se relacionan entre sí según la ecuación.

$$G = C \sqrt{d_2^2 (d_1 - d_2)} \quad (\text{Nelson, pág. 437}).$$

En la que

G = Masa velocidad del vapor en

d_2 = Densidad del vapor en lib. / pie³

d_1 = Densidad del líquido en lib. / pie³

C = Constante que depende de la separación de los platos y de la tensión superficial del líquido

Pag. 308 (Badger and Banchero)

libras
pie² × hr.

Se ha demostrado que la velocidad óptima para el vapor en la torre, en lo que respecta a la eficiencia de los platos, es así mismo la determinada con la ecuación anterior.

CALCULO DEL DIAMETRO

Base: 350 Bbls/hr de carga.

Vapor = 140.8 moles/100 moles de carga (Constante en la torre)

$$\therefore V = 140.8 \times \frac{350}{30.09} = 1638 \text{ moles/hr.}$$

Tomando el plato t-1, tenemos:

Composición de los vapores:

	wt-l	P. M.	Lib.	Tc	Tem. Pseudocrítica	Pc Pseudocrítica	Presión Pseudocrítica
C2	11.31	30.05	340	549.4	61.1	715	81.0
C3	66.53	44.06	2935	666.0	443.0	615	409.0
IC4	19.77	58.08	1148	732.0	145.0	542	107.0
C4	2.39	58.08	139	757.0	18.2	549	13.0
	100.00		4562		668.3		610.0
				(R)		(psia)	

$$\text{Peso molecular del vapor P. M.} = \frac{4562}{100} = 45.62$$

$$\text{Peso del vapor} = 1638 \times 45.62 = 74700 \text{ Lib./hr.}$$

$$\text{Temperatura en t-1} = 123^\circ$$

$$\therefore \text{Temperatura pseudoreducida} = \frac{460 + 123}{668.3} = 0.875$$

$$\text{Presión pseudoreducida} = \frac{215}{610} = 0.35$$

$$Z = 0.78 \text{ (Nelson, pág. 156).}$$

$$\text{Aplicando la ecuación general } V = \frac{ZnRT}{P}$$

$$\text{Volumen del vapor} = \frac{0.78 \times 1638 \times 10.71 \times 583}{215} = 37200 \text{ pies}^3$$

$$\therefore \text{Densidad del vapor (d)} = \frac{74\,700}{2 \times 37\,200} = 2.01 \text{ lbs. pies}^3$$

Composición del líquido:

	xi-1	P. M.	Lib	moles/Bbl.	Bbls.
C2	3.02	30.05	91	4.399	0.687
C3	54.92	44.06	2420	4.037	13.600
IC4	36.09	58.08	2096	3.390	10.650
C4	5.97	58.08	347	3.524	1.694
	100.00		4954		26.631

Considerando que un barril de agua pesa 350 Lib.

$$\text{Gravedad específica del líquido} = \frac{4954}{26.63 \times 350} = 0.531$$

Si tomamos 0.08 como el coeficiente de expansión del líquido.
(Nelson Pág. 157)

$$\text{Densidad del líquido} = 0.531 \times 62.4 \times \frac{1}{1.08}$$

$$d_l = 30.3 \text{ Lib./pie}^3$$

Tensión superficial del líquido = 6 dynas (Nelson pág 438)

\therefore C (24" separación, 6 dynas) = 480 (Gráfica No. 7).

\therefore Masa velocidad permisible

$$G = 480 \sqrt{2.01 (30.3 - 2.01)} = 3620 \frac{\text{Libras}}{\text{pie}^2 \times \text{hr.}}$$

$$\frac{\text{Lib. /hr.}}{\text{lib.}}$$

Por análisis dimensional $\text{pie}^2 = \frac{\text{pies}^2 \times \text{hr}}{\text{hr}}$

$$\text{Area requerida} = \frac{74700}{3620} = 20.6 \text{ pies}^2$$

Es recomendable un factor de seguridad de ± 25%

$$\text{Área necesario} = 206 \times 1.25 = 258 \text{ pies}^2$$

Para selección la compañía Phillips tiene los siguientes platos standard:

1½ standard P. P. Co.

Área transv.

Diámetro	Área transv.	Tubos de escurrimiento	Área neta
6 pies	28.27 pies ²	5.20 pies ²	23.01 pies ²
7 ..	38.49 ..	7.25 ..	31.24 ..
8 ..	50.27 ..	6.80 ..	43.45 ..

Se adoptan platos standard de 7 pies de diámetro.

Otros datos de estos platos (7' diám.) son:

Área de ranuras por cachucha: 0.037 pies²

Número de cachuchas (5") 100

Queda solamente por investigar si las cachuchas y tubos de escurrimiento de los platos adoptados satisfacen ciertos requisitos que garantizan una buena operación de la torre.

CACHUCHAS O GORROS DE BURBUJEJO.

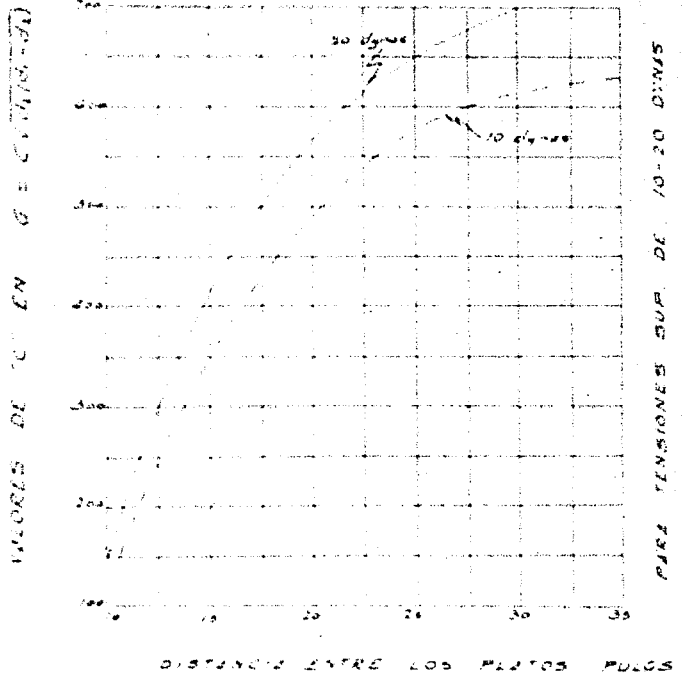
El principal factor que debe tenerse en cuenta para su aceptación es la velocidad del vapor a través de las ranuras sin que importe gran cosa su forma y disposición en el plato.

La máxima velocidad recomendada es de 9 a 14 pies./seg. En el caso que se estudia

Área de ranuras por plato = 3.7 pies²

$$\text{Velocidad del vapor a trav\u00e9s de las ranuras} = \frac{37200}{3600 \times 3.7}$$

$$= 2.79 \text{ pies/seg.}$$



GR\u00c1FICO N\u00b0 7

$$\text{Velocidad del vapor a través de las ranuras} = \frac{37200}{3600 \times 3.7}$$

$$= 2.79 \text{ pies/seg.}$$

Como se vé, esta cifra está muy por debajo del límite aconsejado.

VELOCIDAD DEL LIQUIDO EN LOS TUBOS DE ESCURRIMIENTO.

La carga máxima para estos tubos se encuentra en el plato de alimentación cuando la carga entra en su punto de ebullición.

Sobre este plato tenemos los siguientes datos del líquido correspondiente.

	x	P. M.	Libras	mols/Bbl.	Bbls.
C2	1.52	30	45	4.399	0.38
C3	16.09	44	704	4.037	3.96
IC4	19.76	58	1102	3.390	5.61
C4	39.14	58	2320	3.524	11.35
IC5	5.88	72	432	3.034	1.98
C5	8.50	72	612	3.063	2.78
C6	9.10	100	900	2.402	3.75
			6115		29.81

$$\text{Gravedad específica} = \frac{6115}{29.81 \times 350} = 0.586$$

(350 = Lib. H2O / Bbl)

$$A. P. I. = \frac{141.6}{0.586} - 131.5 = 110^\circ$$

Líquido total en el tubo = Carga + Reflujo

$$Carga = \frac{350}{30.09} \times 100 = 1163 \text{ mols/hr.}$$

$$\text{Reflujo} = 1163 \text{ mols/hr.} \quad \left(\frac{L}{F} = 1\right)$$

$$\text{Líquido total} = 2326 \text{ mols/hr.} = \frac{2326}{100} \times 29.81 = 693 \text{ Bbls. /hr}$$

Factor de expansión para un API de 110° a $194^\circ\text{F} = 119\%$

Velumen del líquido = $693 \times 5.77 \times 1.19 = 4630 \text{ pies}^3/\text{hr.}$

Area del tubo standar P. P. Co. adoptado = 1100 pulg^2

Velocidad del Líquido en el Tubo

$$= \frac{4630 \times 1728}{3600 \times 1100} = 2.02 \text{ pulg/seg.}$$

Siendo la velocidad recomendada de 2 a 4 pulg./seg., el resultado obtenido aprueba la adopción de estos tubos.

ACLARACION

Los términos en inglés usados en este estudio fueron empleados única y exclusivamente debido al amplio uso que de ellos se hace en la industria a la que se relaciona le tema y a la costumbre adquirida en ella por el que escribe.