

**Universidad Nacional de  
Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Industrial**

**TESIS DE GRADO**

**Simulación de la Operación de una Columna de  
Destilación Mediante la Computadora Analógica**

***Gilberto Guerra  
Asencios***

***Luis Mejía  
Irigoyen***

**1968**

# **CAPITULO I**

**COMPUTADORA ANALOGICA**

## COMPUTADORA ANALOGICA

### 1.1 INTRODUCCION:

La computadora analógica sirve para estudiar e investigar los sistemas físicos.

Un sistema físico es el conjunto ordenado de elementos que contribuyen a un fin, son: sistemas físicos; una reacción química; el sistema solar, y en general cualquier cosa que por su naturaleza tenga más de un factor que influyan en ella y la determinen. Tales factores son las variables del sistema, las cuales al ser descritas matemáticamente mediante ecuaciones diferenciales, definen el sistema. Estas ecuaciones pueden ser referidas a ecuaciones similares en un sistema eléctrico, de tal modo que al ser los sistemas gobernados por las mismas ecuaciones, no obstante no tener las mismas dimensiones, los sistemas resultan análogos \* El correlacionar dos sistemas de este modo es lo que se llama computación analógica. La materialización de las ecuaciones matemáticas del sistema eléctrico mediante el equipo adecuado, constituye la computadora analógica.

Los resultados obtenidos mediante la computadora serán numéricamente los mismos, dado que están hechos sobre la base de ecuaciones iguales. De todo lo cual, una definición general de computadora analógica es: Una computadora analógica es un sistema cuyo comportamiento es análogo al comportamiento del sistema en estudio.

\* Analogía: Relación de semejanza entre dos cosas distintas.

# COMPUTADORA ANALOGICA

## 1.2 ANALOGIA ELECTRICA DE VARIABLES FISICAS

En la computadora analógica las variables físicas pueden ser: el peso, temperatura o el área y están representados por voltaje. El voltaje es la analogía eléctrica del análisis de la variable, para comenzar una operación que puede ser mecánica, hidráulica, automática o naturalmente eléctrica.

Los factores de escala son arbitrarios relativo a los voltajes en la computadora y con estas variables comienzan la solución del problema.

Los componentes en la computadora son designados por el operador, en la salida el voltaje tiene un rango de  $\pm 100$  volts, y las variables son escogidas en este rango, así, para la temperatura muy bien puede ser de 0 a 1,000°C y representa en la computadora un voltaje desde cero hasta +100 volts (100 V = 1,000°C, 1°C = 0.01V) ó sea que el factor de escala está dado por 1/100volts x °C.

## 1.3 ELEMENTOS DE LA COMPUTADORA

La computadora consiste en un componente básico para construir cualquier operación matemática tal como suma, resta, multiplicación, división, integración, etc.

Los componentes básicos son:

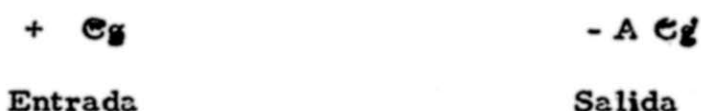
1. Amplificador
2. Potenciómetro
3. Integrador
4. Generador de funciones

Estos componentes son conectados de acuerdo a las variables de la ecuación. En la práctica estos elementos de la computadora son conectados en el tablero y las ecuaciones son derivadas por la acción de los sistemas analizados

Las interconexiones son manejadas por el hombre en el tablero.

### 1. Amplificador

El componente básico del computador es el amplificador y su símbolo puede representarse

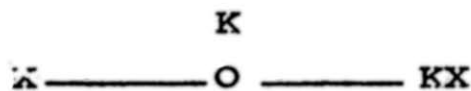


En el amplificador el voltaje de entrada es multiplicado por un valor  $A$  ( $10^{-8}$  volts) que cambia el signo en la salida.

El amplificador puede ser sumador o multiplicador y este amplificador es usado en voltajes de las resistencias, así por ejemplo: al tener las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  pueden ser reemplazados por un equivalente  $R_t$  en base a la ley de Kirchoff.

## 2. Potenciómetro

La multiplicación de un voltaje por un factor de 1 ó 10 es un potenciómetro. El símbolo de un potenciómetro es un círculo, así



El voltaje en el potenciómetro tiene unas veces un voltaje  $K$  de entrada, donde el valor de  $K$  está dado por un valor comprendido entre cero y uno.

En la computadora el potenciómetro está representado por un dial calibrado y el valor de  $K$  es dado directamente en el dial.

## 3. Integrador

Las ecuaciones básicas de física e ingeniería son ecuaciones diferenciales, esto es, variables expresadas en términos de derivados.


Una ecuación ordinaria muy simple sería:

$$\frac{d^2X}{dt^2} + \frac{dX}{dt} + X = 0$$

Así tenemos que de  $\frac{d^2X}{dt^2}$ , se obtiene  $\frac{dX}{dt}$  por medio de una integración.

Así también de  $\frac{dX}{dt}$  se obtiene  $X$  por una integración de donde matemáticamente se puede describir:

$$\frac{dX^2}{dt^2} dt = \frac{dX}{dt} + C$$

El símbolo del integrador es: 

y la expresión se puede representar

$$+ \frac{dX^2}{dt^2} \quad - \frac{dX}{dt} \quad + X$$

-6-

#### 4. Generador de funciones

Muchos tipos de generador de funciones son variables, pero los variables típicos en el generador de funciones son diodos. Estos diodos se emplean en trabajos netos de resistencia que dan aproximadamente funciones de segmento de curvas o rectas; el principio y fin de cada segmento pueden igualmente ajustarse como buena función de la curva de acuerdo al diodo o función generador y consisten en un circuito como componente específico que son cambios que produce al designar la función.

La precisión de un diodo, función generador depende primordialmente de los números de segmentos usados.

#### 1.4 COMPUTADORA ANALOGICA VERSUS DIGITAL

En general, dado que hay muchas consideraciones, la principal ventaja de la computadora analógica, es la rapidez y la ventaja de la computadora digital, es la precisión.

La ventaja de esta rapidez en la analógica es que determina los hechos, mientras que la digital su performance, está calculado mediante la secuencia de números discretos; los componentes de la computadora analógica son (sumadores, integradores, etc.) y estas dan operaciones en forma simultánea y continuas. La computadora digital espera que cada cálculo sea completado por el programa siguiente. Para mejor comprensión del problema, los cálculos requieren un tiempo largo para su solución, este tiempo requerido para la solución en las análogas es virtualmente independiente para la solución del problema.

Una computadora Analógica típica da sus soluciones desde 10 a 60 segundos con intervalo de 20 segundos para cada programa.

Una gran computadora analógica de laboratorio, en algunos problemas aventaja a una computadora digital hasta en una proporción de 100 a 1, esta rapidez de ventaja es importante para la solución de problemas con muchos parametros variables.

# **CAPITULO II**

**ANALISIS DE LA COLUMNA DE DESTILACION**

## ANALISIS DE LA COLUMNA DE DESTILACION

### 2.1 INTRODUCCION:

Nuestro trabajo se va a basar en el estudio de una columna de destilación de platos de una mezcla binaria. Para lo cual hemos recurrido a la información obtenida de una columna de destilación de mezcla binaria, Acido Acético. - Acetona, que es parte del sistema de recuperación en el proceso de obtención del Anhidrido Acético, a partir de la Acetona y del Acido Acético, estudio que presentamos como tesis de bachiller.

Los datos numéricos que hemos usado, son los exactamente obtenidos durante el desarrollo del mencionado estudio, los cuales presentamos a continuación, en forma no muy detallada.

El método usado es el de Mc Cabe - Thiele

### 2.2 CALCULOS ANALITICOS:

#### 2.2.1 DATOS:

Caudal de la alimentación: 493.05 mol-lb/hora

Composición de la alimentación

Acetona ; 240.52 mol-lb

Acido Acético ; 251.77 mol-lb

Temperatura de alimentación en su punto de ebullición ( 75 °c )

#### 2.2.2 NOMENCLATURA:

F	mol-lb/hora	caudal de alimentación
$X_f$		fracción molar del componente más volátil
D	mol-lb/hora	caudal del destilado
$X_d$		fracción molar del destilado
W	mol-lb/hora	caudal del fondo
$X_w$		fracción molar de los fondos

#### 2.2.3 BALANCE DE MATERIAS

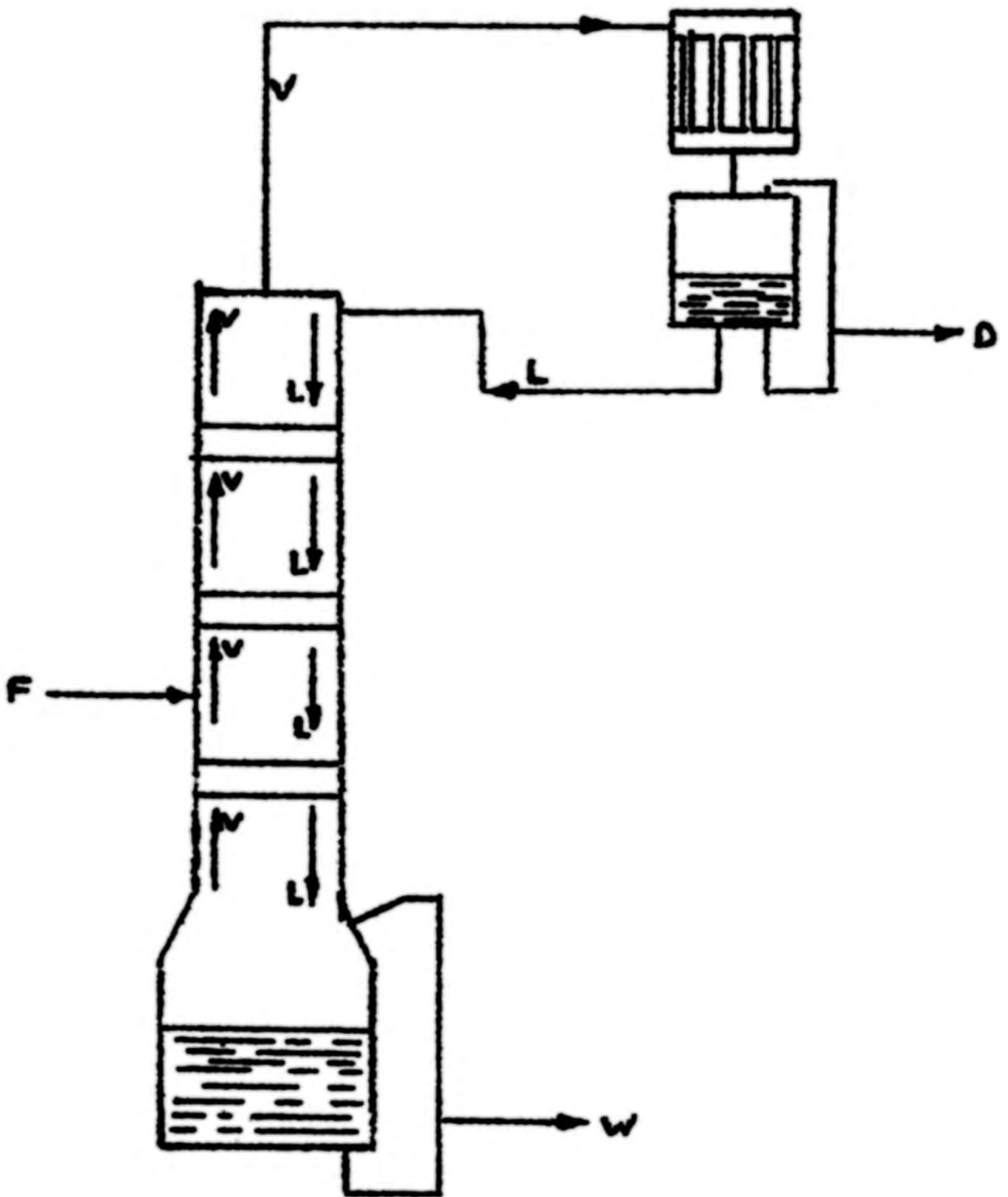
Los caudales de las corrientes terminales D y W, se pueden calcular a partir del balance de materias, en condiciones de régimen estacionario

$$F = D + W \quad \text{---} \quad \text{(I)}$$

$$F X_f = D X_d + W X_w \quad \text{---} \quad \text{(II)}$$



COLUMNA DE DESTILACION



donde:

$$X_f = \frac{\text{Moles Acetona}}{\text{Moles Totales}} = \frac{240.52}{240.52 + 251.77} = .485$$

$$X_f = .485$$

$$X_d = .9975$$

$$X_w = .01$$

Los dos últimos valores son condiciones del proceso.

De las ecuaciones (I - II)

$$D = \frac{X_f - X_w}{X_d - X_w} \cdot F$$

$$W = \frac{X_d - X_f}{X_d - X_w} \cdot F$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$D = 237.15 \text{ mol-lb}$$

$$W = 255.3 \text{ mol-lb}$$

#### 2.2.4 DETERMINACION DEL REFLUJO Y ETAPAS NECESARIAS

Utilizando el método de Mc Cabe - Thiele, determinamos el número de platos teóricos que son necesarios

Se ha de tomar la mínima relación de reflujo, R que queda definida por la siguiente ecuación

$$R = \frac{X_D - Y^*}{Y^* - X^*}$$

cuyo valor-numérico en nuestro caso es de  $R = .215$ , habiendo usado para la graficación  $1.5 R = .3285$

Conocidos los valores de  $X_f$ ,  $X_d$ ,  $X_w$ , R se procede a la graficación que se adjunta a continuación. (fig. # 1)

Trazados los escalones triangulares entre las dos líneas de operación y la curva de equilibrio, se definirán 14 platos teóricos, los cuales serán los necesarios para efectuar la separación pedida, haciéndose la alimentación en el tercer plato, contando desde la cabeza de la columna.

#### 2.2.5 DETERMINACION DEL CAUDAL DEL VAPOR

Si, V, define la cantidad total de vapor, constante en toda la columna, que entra al condensador, y siendo L, D la cantidad de líquido reflujo y de producto respectivamente, los cuales salen del condensador, se tendrá que:

$$V = L + D$$

$$\text{Pero } R_D = \frac{L}{D}$$

$$V = (R_D + 1)D$$

$$V = 319.39 \text{ mol-lb/hora}$$

Considerando todo el vapor proveniente del fondo como acetona  
De densidad 0.166 lbs/pies<sup>3</sup> a la temperatura de 118°c

$$V = 27.51 \text{ pies}^3/\text{seg.}$$

## 2.2.6 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE LOS VAPORES

La ecuación Souders - Brown, dá la velocidad mínima del vapor ascendente para contrarrestar la fuerza de la gravedad sobre una gotita de líquido

$$U = C_s \sqrt{\frac{P_L - P_V}{P_V}}$$

C<sub>s</sub> = Constante que depende del espacio entre platos y tensión superficial del líquido

P<sub>L</sub> = Densidad del líquido lbs/pies<sup>3</sup>

P<sub>V</sub> = Densidad del vapor lbs/pies<sup>3</sup>

Asumiendo un espacio entre platos de 18" y un sello líquido de una pulgada

$$C_s = 0.14$$

Haciendo los cálculos correspondientes se tendrá velocidad en el tope de la columna a la temperatura de 56°c, cálculos hechos en base a la Acetona.

$$U_T = 2.618 \text{ pies/seg.}$$

Velocidad en el fondo de la columna a la temperatura de 118°c, cálculos hechos en base al Acido Acético.

$$U_F = 3.12 \text{ pie/seg.}$$

## 2.2.7 DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA COLUMNA

Por razones prácticas, se utiliza el mayor diámetro. El diámetro está definido por la siguiente expresión, que será calculado bajo las condiciones del tope y fondo de la columna

$$D = \sqrt{\frac{4V}{U \cdot 3.14}}$$

Siendo:

D = diámetro en pies

V = Caudal de vapor, en pies<sup>3</sup>/seg.

U = Velocidad de los vapores

Reemplazando los valores de velocidades de vapor obtenidos en el párrafo 2.2.6 y caudal de vapor del párrafo 2.2.5 se obtendrá: para el tope un diámetro de 3.66 y 3.35 pies para el fondo.

Tomando el valor de 3.66 pies como el diámetro de la columna. Siendo el valor del área correspondiente de 10.5 pies<sup>2</sup> que se considera por hipótesis permitirá la colocación de campanas y que el área de las mismas es la adecuada para que las velocidades del vapor y el líquido estén dentro de valores permisibles.

Esta área es el área afectiva, siendo 3.66 pies el diámetro efectivo. Esta área, no obstante, no es el área total del plato, pues aún no se ha incluido las áreas que corresponden a los tubos verticales de salida y entrada del líquido en el plato.

### 2.3 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES ANALITICAS

- Para una obtención de concentración de tope y fondo de 0.9975 y 0.01 respectivamente, se necesitarán 14 platos, incluido el caldero y siendo la alimentación en el tercer plato, a partir de arriba. Las condiciones sobre las que ha de trabajar, la columna serán:

Alimentación: 493.05 mol-lb/hora

Destilado : 257.15 mol-lb/hora

Fondo : 255.3 mol-lb

- El reflujo se ha considerado 1.5 del reflujo mínimo por experiencia.

$$R = 0.3285$$

- La temperatura del destilado será aproximadamente de 56°C (acetona)
- La temperatura en los fondos será aproximadamente de 118°C.
- La presión en la columna la hemos considerado de 1 atmósfera, despreciando las caídas de presión que son pequeñas.
- El estudio presentado de la columna de destilación sólo incluye la información que hemos de usar para la simulación analógica de la columna, habiendo omitido otro tipo de información, como son cálculos de colores, dado que ellos no han de considerarse en la simulación.
- Los cálculos de diseño sobre retención de platos y caldero serán presentados en el siguiente capítulo.

# **CAPITULO III**

**SIMULACION DE LA COLUMNA DE DESTILACION**

## SIMULACION DE LA COLUMNA DE DESTILACION

### 3.1 INTRODUCCION

Con la finalidad de realizar la simulación de la columna de destilación, mediante la analogía eléctrica en la computadora, deberemos fijar las ecuaciones matemáticas que nos definan la destilación en la columna. Luego tendremos que adoptar dichas ecuaciones de forma que puedan ser dispuestas para su representación mediante la computadora.

Finalmente, estando programada la computadora con las ecuaciones de destilación de la columna, podrá la computadora darnos cualquier información que queramos conocer, supeditada a los alcances que tengan las ecuaciones.

Dado que en la definición de las ecuaciones matemáticas que nos definen la destilación en la columna, tendremos que incluir la retención en los platos y caldero, deberemos hacer un estudio acerca de su diseño.

Ciertas consideraciones hipotéticas se han de tomar para mayor claridad y simplicidad del estudio de la columna.

Las medidas que se consideran en el diseño, han sido tomadas de manuales de diseño de columna y algunas han sido asumidas

### 3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

#### 3.2.1 CANTIDAD DE RETENCION EN LOS PLATOS

Se ha de estudiar la cantidad de líquido en cada plato expresado en lb-mol, hemos de considerar que la retención es igual en todos.

##### 3.2.1.1 AREA EFECTIVA

De los cálculos hechos en el capítulo anterior, párrafo 2.2.7, se determinó el diámetro de la columna, siendo su valor 3.66 pies, cuya área efectiva es  $10.5 \text{ pies}^2$ , área que considera las campanas.

##### 3.2.1.2 DISEÑO DE CAMPANAS Y REBOSE

Con la finalidad de calcular la altura que alcanza el líquido retenido, hemos de definir la altura de las campanas y altura del rebose. La siguiente figura 3-1 muestra las dimensiones propias del diseño de la campana y copa de levantamiento.

Las campanas están diseñadas bajo las siguientes condiciones:

Diámetro interno:	3 3/4 pulgadas
Diámetro externo:	4" pulgadas
Altura (desde la superficie del plato)	2 1/4 pulgadas
Ranura de la taza:	3/4 x 3/32 pulgads (altura, ancho)
Número de Ranuras	48
Altura de la ranura encima del plato	1 pulgada

Las copas de levantamiento están diseñadas bajo las siguientes condiciones:

Diámetro Interno	1. 7/8 pulgadas
Diámetro Externo	2. pulgadas
Altura	1. 3/4 pulgada

### 3.2.1.3 ALTURA DE LIQUIDO EN EL PLATO

De las consideraciones propias de diseño, figura 3.3

$Z_{cr}$  = Altura del líquido encima del rebose

$Z_{sp}$  = Altura de la parte alta de la copa encima de la ranura

$Z_x$  = Altura del rebose

$Z_g$  = Altura de la gradiente

Datos asumidos:

$$Z_w = \frac{1}{4} + 1 = 1. 1/4 \text{ pulgadas}$$

$$Z_{cr} = 0.95 \text{ pulgadas}$$

$$Z_q = 0.5 \text{ pulgadas}$$

Media de la gradiente de 0.5 = 0.25 pulgadas

de donde la altura del líquido:

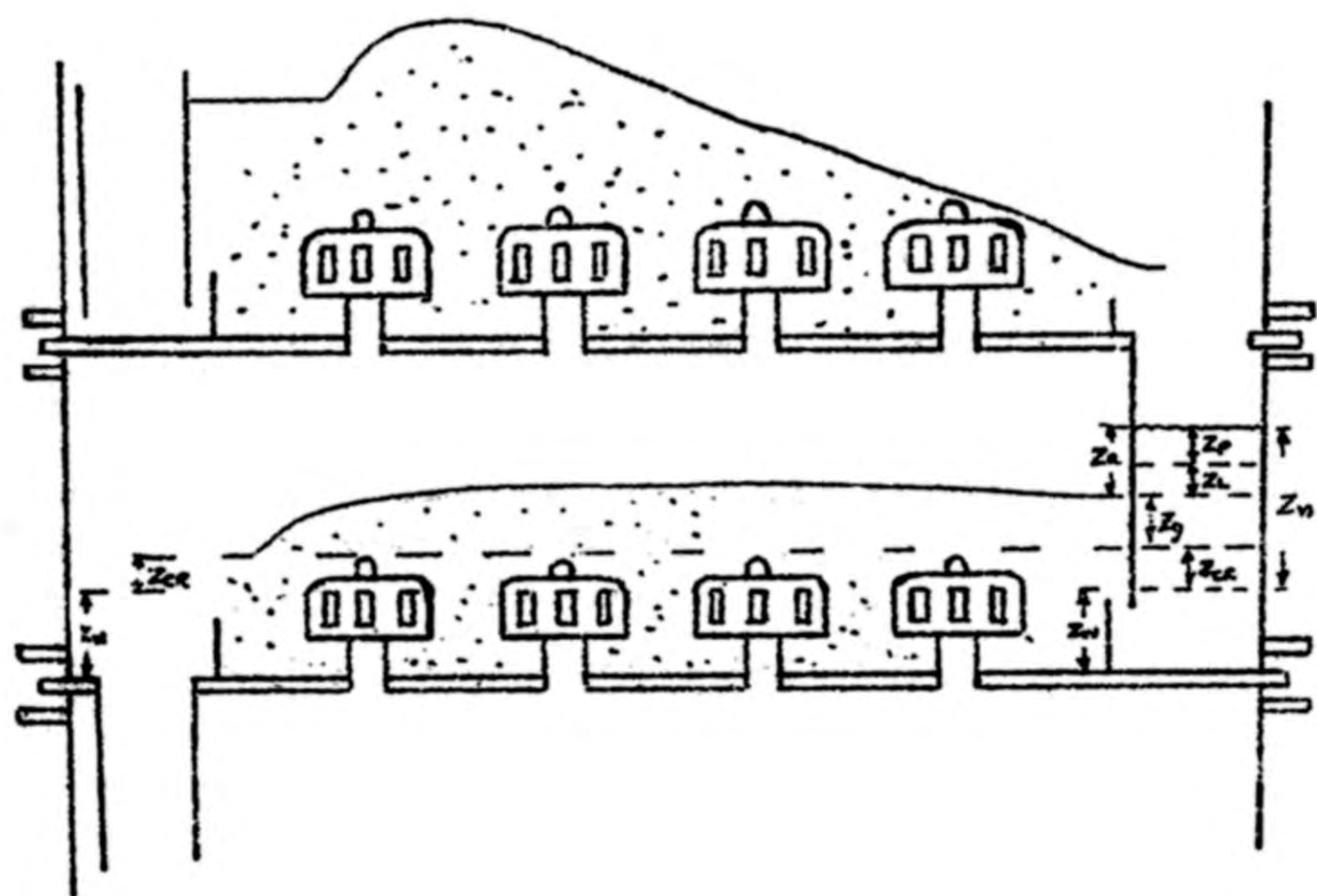
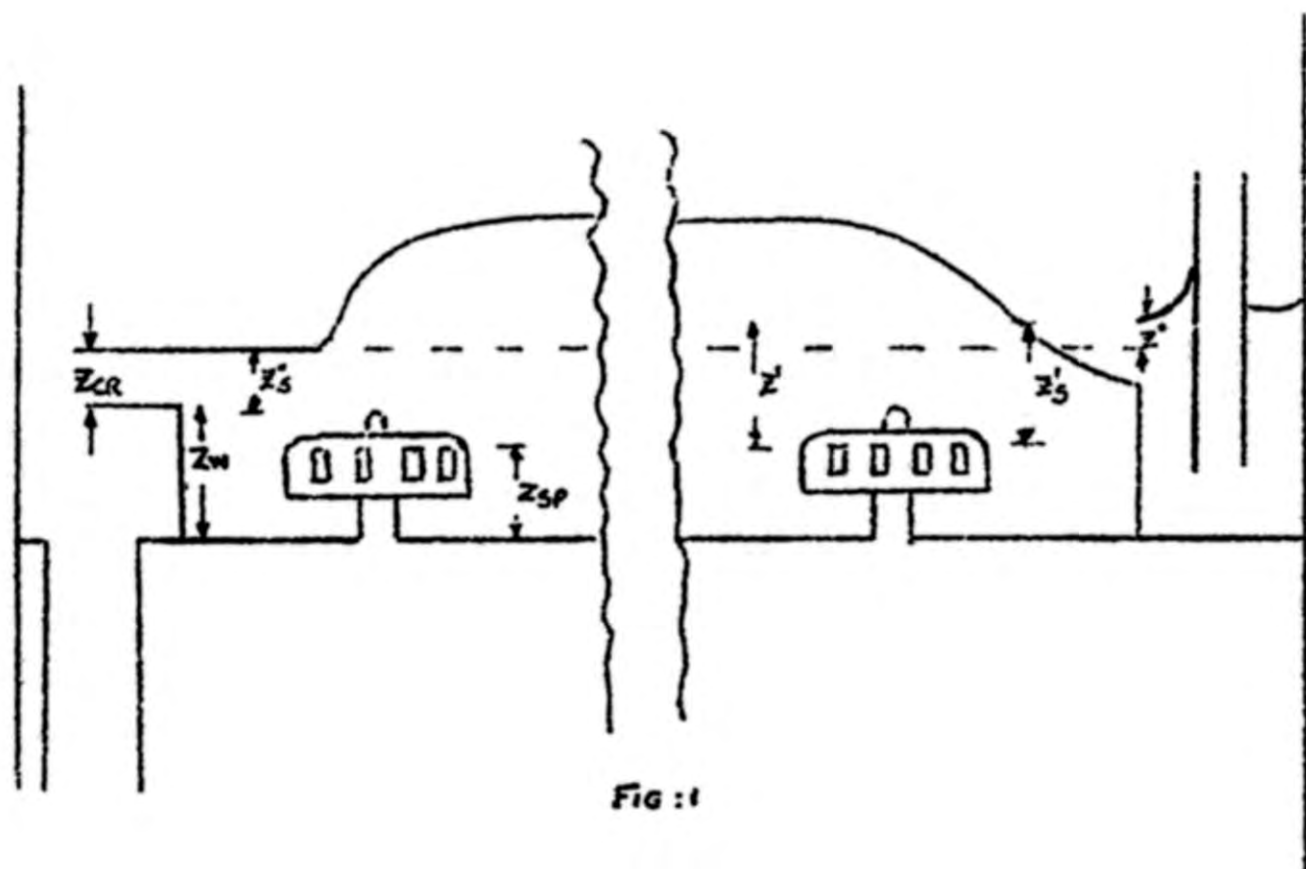
$$Z_{cr} + Z_w + \frac{1}{2} Z_q = 2.45$$

Altura líquido en el plato 2.45 pulgadas

### 3.2.1.4 DISEÑO DE LAS CAMPANAS EN EL PLATO

La figura 3-2 muestra la distribución de las campanas en el plato y condiciones de diseño, siendo 50 el número de tazas. El área efectiva es la comprendida entre los reboses cuyo valor es de 10.5 pies<sup>2</sup>, siendo las áreas laterales de 1 pies<sup>2</sup> cada una. Las áreas laterales servirán para la colocación de los tubos verticales de comunicación plato a plato, por donde fluirá el líquido hacia abajo.

Sumando el área efectiva y áreas laterales obtendremos el área total de la





columna

$$A_1 = A_2 = 1 \text{ pie}^2$$

$$A = 10.5 \text{ pie}^2$$

$$A \text{ total} = 10.5 - 2 =$$

$$A \text{ total} = 12.5 \text{ pies}^2$$

### 3.2.1.5 DIAMETRO DE LA COLUMNA

Dado que el área total es de 12.5 pies<sup>2</sup>, el diámetro total de la columna será 4 pies.

### 3.2.1.6 CALCULO DE LA RETENCION EN LOS PLATOS

En base a los valores de diseño anteriores, se tendrá que: El volumen de líquido retenido en cada plato será igual al volumen ocupado por el líquido en el área efectiva, menos el volumen ocupado por las copas de levantamiento

$$V = (\text{Área efectiva}) \times H - (N \times 3.14 r^2) h$$

siendo: Área efectiva: 10 pies<sup>2</sup>

$$\text{Altura del líquido (H): } \frac{2.45}{12} = 0.22 \text{ pies}$$

$$\text{Número de campanas (N) = 50}$$

$$\text{Radio externo de copa (r) = } \frac{1}{12} = 0.0835 \text{ pies}$$

$$\text{Altura de copa (h) = } \frac{1.75}{12} = 0.14 \text{ pies}$$

lo cual da un valor de  $V = 2.158 \text{ pies}^3$ , que será el volumen de retención de cada plato.

### 3.2.1.1 CALCULO DE MOLES DE RETENCION EN LOS PLATOS

Hemos de considerar el cálculo a las condiciones del fondo de la columna

Usando la relación

$$\text{Peso Molecular} \times \text{Número de Moles} = \text{Volumen} \times \text{densidad}$$

$$\text{Densidad Acido Acético } 58.2 \text{ lbs/pies}^3$$

$$\text{Peso Molecular Acido Acético } 60 \text{ lbs/lbs-mol}$$

lo cual da un valor de 2.08 lb-mol

### 3.2.2 CANTIDAD DE RETENCION EN EL CALDERO

Vamos a considerar la retención del caldero diez veces la correspondiente a la de cada plato, o sea 20.8 lb-mol. Esta consideración la hemos de tomar en base a la experiencia de otras columnas.

Dado que el vapor tiene una velocidad de subida en toda la columna de

$$319.39 \frac{\text{lb - mol}}{\text{hora}} = 5.28 \frac{\text{lb - mol}}{\text{minuto}}$$

la retención en el caldero será aproximadamente cuatro veces esta cantidad.

### 3.3 DEFINICION DE LAS ECUACIONES PARA LA SILUMACION CONSIDERACIONES PREVIAS

#### 3.3.1 CARACTERISTICAS DE LA COLUMNA Y MEZCLA BINARIA

El estudio analítico que hemos de presentar se hará en base a una columna de destilación de platos que consta de cuatro platos, con las características de diseño antes indicadas.

Consideraremos que el plato inferior ha de ser el caldero.

Por otro lado, contamos con una mezcla Acetona - Acido Acético, de 48 % de Acetona con un caudal de alimentación de 493.05 lb-mol/

#### 3.3.2 NOTACIONES USADAS EN LAS ECUACIONES

D = Destilado en lb-mol/minuto

L = Reflujo "

V = Flujo de vapor "

W = Residuo de fondos "

R = Razón de reflujo ( sin dimensiones)

$N_h$  = Retención del hervidor en líquido lb-mol

N = Retención del plato en líquido

X = Fracción molar del líquido mas volátil en el plato (sin dimensión)

Y = Fracción molar del vapor más volátil en el plato (sin dimensión)

T = Tiempo.

Los platos son numerados de arriba hacia abajo.

#### 3.3.3 HIPOTESIS

Se ha tomado las siguientes consideraciones

- La cantidad de vapor en toda la columna es constante.
- La eficiencia por plato es la unidad.
- Los fenómenos térmicos son despreciables.
- La volatilidad relativa es constante.
- La alimentación se hace en el punto de ebullición.
- Todos los platos menos el caldero tienen la misma retención.

### 3.3.4 ECUACIONES DE LA COLUMNA

$$(1) \quad D = \frac{VV}{R+1}$$

$$(2) \quad L = \frac{VR}{R+1}$$

$$(3) \quad W = F - \frac{V}{R+1}$$

$$(4) \quad R = \frac{L}{D}$$

### 3.3.4 DATOS NUMERICOS

Usando los valores calculados en el capítulo 2 se sabe que:

$$V \text{ Vapor que sube en la columna} = 319.39 \frac{\text{lb} - \text{mol}}{\text{hora}} = 5.28 \frac{\text{lb} - \text{mol}}{\text{minuto}}$$

$$F \text{ Alimentación} = 493.05 \frac{\text{lb} - \text{mol}}{\text{hora}} = 8.22 \frac{\text{lb} - \text{mol}}{\text{minuto}}$$

$$R \text{ Razón de reflujo} = 0.3285$$

$$\text{La retención en cada plato es la misma} = 2.08 \text{ lb} - \text{mol}$$

$$\text{La retención en el caldero} = 20.8 \text{ lb} - \text{mol}$$

### 3.3.5 DEFINICION DE LAS ECUACIONES DE LA COLUMNA

Mediante un sucesivo balance de Materias, plato a plato, se definirán las ecuaciones diferenciales de destilación. Las ecuaciones estarán referidas a la retención de mezcla de cada plato, con respecto al tiempo y los flujos de vapor y líquido que entran y salen de ellos.

Las ecuaciones de balance de materias, en forma general quedarán definidas de la siguiente forma:

PLATO SUPERIOR:

$$N_p \frac{dx_p}{dt} = V \cdot Y_{p-1} - VY_p + \frac{VR}{R+1} Y_p - \frac{VR}{R+1} X_p$$

PLATO DE RECTIFICACION

$$N_r \frac{dx_r}{dt} = VY_{r-1} + VY_r + \frac{VR}{R+1} X_{r+1} - \frac{VR}{R+1} X_r$$

PLATO DE ALIMENTACION

$$N_a \frac{dx_a}{dt} = VY_{a-1} - VY_e + \frac{VR}{R+1} X_{a+1} - \left( \frac{VR}{R+1} + F \right) X_a$$

## PLATO DE EMPOBRECIMIENTO

$$N_e \frac{dx_e}{dt} = VY_{e-1} - VY_e + (F + \frac{VR}{R+1}) X_{e+1} - (\frac{VR}{R+1} + F) X_e$$

## HERVIDOR

$$N_h \frac{dx_h}{dt} = -VY_h + (F + \frac{VR}{R+1}) X_{h+1} - (F - \frac{V}{R+1}) X_h$$

Las ecuaciones así presentadas, corresponden al funcionamiento de la columna con una cantidad determinada de alimentación ( $FX_f$ ), residuo de fondo  $(F - \frac{V}{R+1} X_h)$ , y destilado  $(VY_p - \frac{VR}{R+1} Y_p)$

tales condiciones nos definen la columna, en el estado de funcionamiento en producción. No obstante antes de poder trabajar la columna en producción es necesario trabajar la columna a reflujo, total esto es sin obtención de destilado ni productos de fondo, habiéndose inicialmente llenado los platos y caldero de la columna, de modo de obtener en toda la columna, condiciones permanentes, así como concentraciones estables en los platos.

Las ecuaciones de balance de materias para reflujo total, en forma general quedarán definidas de la siguiente forma:

## PLATO SUPERIOR

$$N_p \frac{dx_p}{dt} = VY_{p-1} - VX_p$$

## PLATO DE RECTIFICACION

$$N_r \frac{dx_r}{dt} = VY_{r-1} - VY_r + VX_{r+1} - VX_r$$

## PLATO DE ALIMENTACION

$$N_a \frac{dx_a}{dt} = VY_{a-1} - VY_a + VX_{a+1} - VX_a$$

## PLATO DE EMPOBRECIMIENTO

$$N_e \frac{dx_e}{dt} = VY_e - 1 - VY_e + VX_{e+1} - VX_e$$

## HERVIDOR

$$N_h \frac{dx_h}{dt} = -VY_h + VY_h - 1$$

Las condiciones para reflujo total han sido tomados en base de que R igual infinito.

### 3.3.6 ECUACIONES DE MAQUINA

Estando definidas las ecuaciones de destilación, las adoptaremos de forma que puedan ser dispuestas para su representación mediante la computadora. Lo cual nos llevará a tener que hacer un análisis de las ecuaciones para su escalamiento de variables en cuanto a magnitud y tiempo.

#### 3.3.6.1 ESCALAMIENTO DE MAGNITUD

En forma general el procedimiento a seguir es el siguiente: Las conexiones de salida de los amplificadores deben tener un valor que esté comprendido entre valores de referencia positiva y negativa, de tal manera que se deberá escoger una escala de factores en base al conocimiento de (1) El máximo valor que pueden tomar las variables del problema y (2) El valor de referencia del computador, que debe tomarse como la unidad.

En el caso de nuestras ecuaciones de Balance de Materias no tendremos necesidad de hacer este escalamiento, dado que los valores de las variables X, Y son fracciones molares, siempre menores o en caso máximo iguales a la unidad.

#### 3.3.6.2 ESCALAMIENTO DE TIEMPO

Escaladas las ecuaciones en cuanto a magnitud, debe escalárselas de tal modo que los valores de las conexiones de entrada a los integradores sean tales que estén entre los valores 0.1 y 10 correspondientes a las respectivas ganancias del integrador. En el caso de nuestras ecuaciones tampoco tendremos necesidad de afectar los coeficientes por ningún factor de tiempo, dado que todos los valores que entran al integrador están entre los valores co-respondientes a las ganancias

De modo que:

$$T = B \cdot t$$

Donde T = tiempo de máquina en minutos

B = factor de tiempo

t = tiempo real

En nuestro caso B = 1

#### 3.3.6.3 ECUACIONES

Hecho el estudio de los escalamientos de Magnitud y tiempo las ecuaciones de máquina quedarán definidas así:

Las ecuaciones de máquina a reflujo total son:

**PLATO SUPERIOR**

$$d \frac{x_p}{dt} \frac{V}{N_p B} Y_{p-1} - \frac{V}{N_p B} U_p$$

**PLATO DE RECTIFICACION**

$$d \frac{x_r Z}{dt} \frac{V}{N_r B} Y_{r-1} - \frac{V}{N_r B} Y_r - \frac{V}{N_r B} X_{r-1} - \frac{V}{N_r B} X_r$$

**PLATO DE ALIMENTACION**

$$d \frac{x_a}{dt} \frac{V}{N_a B} Y_{a-1} - \frac{V}{N_a B} Y_a \frac{V}{N_a B} X_{a-1} - \frac{V}{N_a B} X_a$$

**PLATO DE EMPOBRECIMIENTO**

$$d \frac{x_e}{dt} \frac{V}{N_e B} Y_{e-1} - \frac{V}{N_e B} Y_e \frac{V}{N_e B} X_{e-1} - \frac{V}{N_e B} X_e$$

**HERVIDOR**

$$\frac{dx_h}{dt} - \frac{V}{N_h B} Y_h \frac{V}{N_h B} Y_{h-1}$$

**3.3.6.4 RELACION ENTRE FRACCION MOLAR DE LIQUIDO Y VAPOR**

Dado que las ecuaciones de máquina presentadas anteriormente están expresadas en función de dos variables, fracciones molares de vapor y líquido, deberemos referir una con respecto a la otra, para poder contar con una sola variable independiente.

El modo analítico de hacerlo sería hallando la ecuación de la curva de equilibrio, que está referida a las fracciones molares del vapor y líquido y sustituirla convenientemente en la ecuación de máquina.

La curva de equilibrio hallada, podrá ser definida en la computadora mediante un elemento llamado Generador de funciones.

No obstante, no contando la computadora de la Facultad con dicho elemento, hemos tenido que recurrir a un artificio de modo de poder definir la curva de equilibrio.

Valléndonos de un número determinado de rectas podremos definir la curva de equilibrio, dado que cada recta la definirá entre ciertos rangos.

En nuestro caso sólo hemos usado tres rectas, ya que los elementos con los que contabamos no eran suficientes para usar más rectas que nos ha brían definido mejor la curva de equilibrio.

las ecuaciones de recta son:

- 1)  $Y = 0.15x + 0.84$  rango: 0.60 - 1.
- 2)  $Y = X + 0.42$  0.25 - 0.60
- 3)  $Y = 2.7 X$  0 - 0.25

Con la finalidad de evitar presentar las ecuaciones de máquina en forma más compleja hemos oviado el reemplazo de estas ecuaciones en ellas. Además debe tenerse en cuenta que las rectas, que en el diagrama de - computación son representadas por los sumadores 18, 05, 07, 13, debe rán ser colocadas convenientemente de tal modo que definan partes de la curva de equilibrio entre las que esten trabajando las condiciones de va por y líquido de un determinado plato de la columna. Así por ejemplo, el sumador 18 trabajando con los valores de la recta (1), no podrá ser usado para definir condiciones en la parte baja de la columna. La conve niente asignación de valores a los sumadores la obtendremos haciendo numerosos tanteos, hasta obtener valores coherentes al introducirlos en la computadora. Valores que serán contrastados con los obtenidos me dante el método gráfico de Mac. Cabe Thiele

#### 3.4. CONFECCION DEL DIAGRAMA DE SIMULACION PARA UNA COLUMNA DE DESTILACION DE CUATRO PLATOS

Las ecuaciones de máquina presentadas en el párrafo 3.3.6.3 están refe ridas en forma general a todas las secciones de la columna, que son cin co: plato superior, enriquecimiento, alimentación, empobrecimiento y caldero. No obstante, el estudio que vamos a hacer solo ha de estar re ferido a cuatro platos, lo que traerá como consecuencia que una de las secciones, empobrecimiento o enriquecimiento, no se tomen en cuenta al considerar una cierta condición de alimentación, así por ejemplo: si se hace la alimentación en el tercer plato, oviamente la sección corres pondiente a empobrecimiento no se ha de considerar.

Todo lo antes expuesto es importante tomarlo en cuenta dado que nos per mitirá escoger convenientemente las ecuaciones que definirán los coefi cientes que han de usarse en el diagramado de una determinada condición

de alimentación.

El diagrama de Simulación, muestra en forma gráfica los elementos del sistema eléctrico análogo al matemático. Este diagrama presentado, es el correspondiente a una alimentación en el tercer plato, en el cual las líneas discontinuas son las conexiones que deben hacerse cuando se trabaja la computadora a un reflujo que no sea el total, estando desconectadas cuando se trabaja a reflujo total.

La línea punteada de la parte alta del diagrama representa el destilado, y la de la parte baja el residuo de fondo, siendo la alimentación, la línea punteada central.

Los elementos de los que consta el diagrama son: Los Integradores, potenciometros, inversores y sumadores, enumerados por razones de poder asignar los valores mediante su reconocimiento en las tablas de potenciometros e integradores.

Los integradores 00, 01, 08, 03 representan la resolución de cada una de las ecuaciones diferenciales de plato.

Los sumadores 18, 05, 07, 13, representan la relación analítica de fracción molar líquido y vapor

Los inversores, como el 17, 12, . . . . ., están dados por requerimientos de signo de los diferentes términos de las ecuaciones diferenciales.

Los potenciometros 17, 01, . . . . ., representan los coeficientes de los términos de las ecuaciones diferenciales.

El Potenciometro 19, da el valor numérico de la alimentación.

La programación será el asignar valores a los potenciometros, de los coeficientes de las ecuaciones de un caso dado de estudio.



## ECUACIONES A CUALQUIER REFLUJO DE PRODUCCION

### PLATO SUPERIOR

$$\frac{dx_p}{dt} = \frac{V Y_{p-1}}{N_p B} - \frac{V Y_p}{N_p B} + \frac{V R}{(R+1)} \frac{Y_p}{N_p B} - \frac{V R}{(R+1)} \frac{X_p}{N_p B}$$

### PLATO DE RECTIFICACION

$$\frac{dx_r}{dt} = \frac{V}{N_r} \frac{Y_{r-1}}{B} - \frac{V}{N_r} \frac{Y_r}{B} + \frac{V R}{(R+1)} \frac{X_{r+1}}{N_r B} - \frac{V R}{(R+1)} \frac{X_r}{N_r B}$$

### PLATO DE ALIMENTACION

$$\frac{dx_a}{dt} = \frac{V}{N_a} \frac{Y_{a-1}}{B} - \frac{V}{N_a} \frac{Y_a}{B} + \frac{V R}{(R+1)} \frac{X_{a+1}}{N_a B} - \frac{(V R + F)}{R+1} \frac{X_a}{N_a B}$$

### PLATO DE EMPOBRECIMIENTO

$$\frac{dx_e}{dt} = \frac{V}{N_e B} Y_{e-1} - \frac{V}{N_e B} Y_e + (F + \frac{V R}{R+1}) \frac{X_{e+1}}{N_e B} - \frac{(V R + F)}{R+1} \frac{X_e}{N_e B}$$

### HERVIDOR

$$\frac{dx_h}{dt} = \frac{V}{N_h B} Y_h + (F + \frac{V R}{R+1}) \frac{X_{h+1}}{N_h B} - (F + \frac{V}{R+1}) \frac{X_h}{N_h B}$$

### 3.5 CHEQUEO ESTÁTICO

Dado que en el proceso de programación y diagramado existen numerosas oportunidades de error, es necesario detectar y corregir cualquier error para obtener una computación real.

El método usado a este fin es el llamado Chequeo Estático.

El chequeo estático presentado, está referido al programa y su desarrollo en tres partes.

Supuestos determinados valores para las diferentes variables se hacen los siguientes cálculos:

Cálculo del circuito del computador, cálculo de las ecuaciones matemáticas no escaladas y comparación de los cálculos del circuito y ecuaciones matemáticas.

Los valores asumidos para las diferentes variables son las siguientes:

Variables:	Características de columna
$X_1 = 0.90$	
$X_2 = 0.80$	$V = 5.28 \text{ lb-mol/minuto}$
$X_3 = 0.70$	$N_1 = 2.08$
$X_4 = 0.60$	$N_2 = 20.8$

Trabajando la columna a Reflujo Total.

a) Cálculos del circuito del computador.

Con los valores asumidos para las diferentes variables, podemos definir las salidas de los integradores y valores que toman los potenciómetros a dichas condiciones resultados mostrados en el diagrama.

Luego usando estos datos podemos hallar los valores de las salidas de los amplificadores y entradas a los integradores de la forma siguiente:

Amplificadores:

$$\begin{aligned}A_{12} &= 0.25 \times 0.9 \times 10 = 2.25 \\A_{05} &= 0.8 \times 0.015 \times 10 + 10 \times 0.084 \times 1 = 0.96 \\A_{06} &= 0.25 \times (-0.96) \times 10 = -2.4 \\A_{07} &= 0.7 \times 0.015 \times 10 + 10 \times 0.084 \times 1 = 0.945 \\A_{10} &= (-0.945) \times 0.25 \times 10 = -2.362\end{aligned}$$

$$A_{14} = 0.8 \times 0.25 \times 10 = 2$$

$$A_{13} = 0.6 \times 0.1 \times 1 + 10 \times 0.042 \times 1 = 1.48$$

$$A_{15} = (-1.48) \times 0.25 \times 1 = -0.12$$

$$A_{11} = 0.7 \times 0.25 \times 1 = 0.175$$

**Integradores :**

$$\begin{aligned} D_{00} &= X_1 P(01) \times 10 + A(05) P(05) \times 10 \\ &= 0.9 \times 0.25 \times 10 - 0.96 \times 0.25 \times 10 = -0.15 \end{aligned}$$

$$D_{01} = -A_{06} + A_{14} - A_{12} + A_{10} = -0.212$$

$$D_{08} = 10 A_{11} - A_{10} - A_{14} - 10 A_{15} = 0.912$$

$$D_{03} = A_{15} - A_{11} = -0.055$$

**b) Cálculo en las ecuaciones matemáticas no escaladas**

Las salidas de cada amplificador pueden ser halladas en base a las variables del problema. Utilizando los valores asumidos, podemos obtener sus correspondientes valores.

En el caso de nuestro problema dado que no existe escalamiento con respecto al tiempo ni magnitud, los amplificadores tendrán el mismo valor que en (a). En cuanto a las salidas de los integradores, tendremos que resolver las ecuaciones que las definen, usando las condiciones supuestas.

$$\begin{aligned} D_{00} &= \frac{d x_1}{d t} = - \frac{V}{N_1} Y_2 - \frac{V}{N_1} X_1 \\ &= - (0.25 \times 0.96 \times 10 - 0.25 \times 0.9 \times 10) = -0.15 \end{aligned}$$

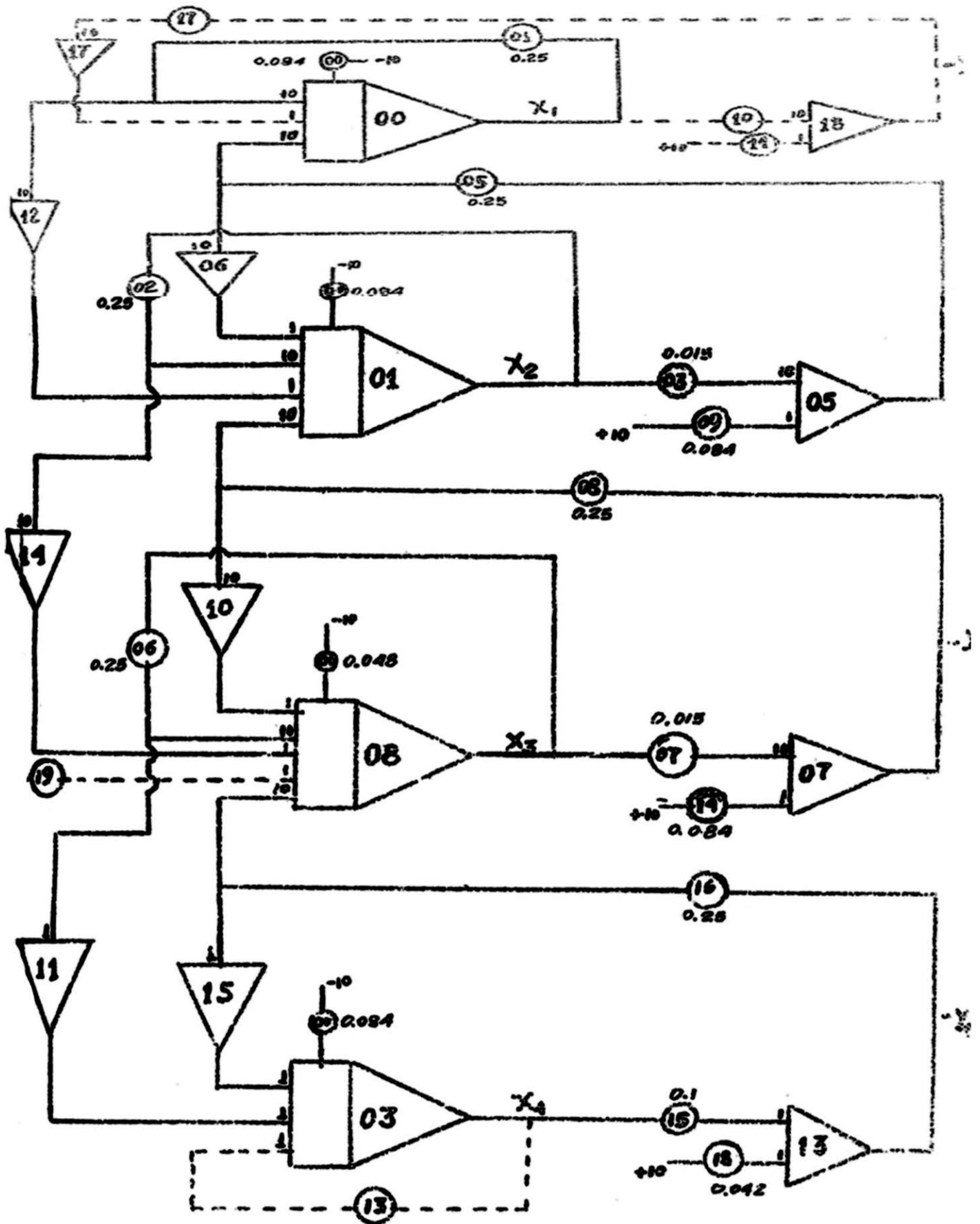
$$\begin{aligned} D_{01} &= \frac{d x_2}{d t} = - \frac{V}{N_1} Y_3 - \frac{V}{N_1} Y_2 + \frac{V}{N_1} X_1 - \frac{V}{N_1} X_2 \\ &= - (0.25 \times 0.945 - 0.25 \times 0.96 - 0.25 \times 0.9 - 0.25 \times 0.8) \\ &= - 0.212 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{08} &= - \frac{V}{N_1} Y_4 - \frac{V}{N_1} Y_3 + \frac{V}{N_1} X_2 - \frac{V}{N_2} X_3 \\ &= (2.5 \times 1.48 - 2.5 \times 0.945 + 2.5 \times 0.8 - 2.5 \times 0.7) \\ &= 0.912 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D03 &= - \frac{V}{N_2} Y_4 + \frac{V}{N_2} X_3 \\
&= - (0.25 \times 1.48 + 0.25 \times 0.7) \\
&= - 0.055
\end{aligned}$$

- c) Comparación de los cálculos del circuito y ecuaciones matemáticas.  
Comparando los valores de las salidas de los amplificadores e integradores de las partes a) y b) se tiene una igualdad de valores 100 %, lo cual demuestra que el programa realmente representa el problema.

PROGRAMA



# **CAPITULO IV**

## **INVESTIGACION**

## INVESTIGACION

### 4.1 INTRODUCCION

Definidas las ecuaciones de máquina y hechas las conexiones del diagramado en la computadora, estaremos listos para poder trabajar la computadora como si fuese una columna de destilación real. Variando convenientemente los valores de los potenciómetros según los valores que puedan tomar los coeficientes de las ecuaciones, podemos investigar las variaciones de concentración de la mezcla en la columna de destilación a diferentes condiciones de trabajo.

Mediante el uso de un elemento adicional a la computadora llamado "Vari-plotter", se pueden graficar los resultados obtenidos en cada caso. Incluímos además los gráficos correspondientes al método Mc. Cabe Thiele, método propio de la Ingeniería Química, que comparados con los obtenidos mediante la computadora, nos demostrarán la perfecta concordancia con la simulación realizada.

Los casos de estudio presentados, tienen la finalidad de poder ver como trabaja la columna cuando se varía la concentración de la alimentación, el reflujo y plato de alimentación para una columna de cuatro platos.

Estudios de este tipo nos darán como resultado la optimización del diseño de una columna, dado que un buen diseño de columna nos debe dar como resultado las concentraciones deseadas, tanto en el destilado como en el residuo. Para llegar a ello se deben conocer las condiciones adecuadas de operación; siendo las siguientes las principales:

1. Cantidad óptima de platos
2. Plato adecuado de alimentación
3. Razón óptima de reflujo

Las condiciones mencionadas son dependientes unas de otras; de tal manera que efectuar los ensayos en una columna de destilación, resultaría sumamente costoso y moroso.

El uso de la computadora analógica nos permite realizar diferentes combinaciones de estas condiciones con el fin de obtener las concentraciones deseadas (destilado y residuo), con un gran ahorro de tiempo y costo.

## OBSERVACIONES GENERALES

### 4.2 CONSIDERACIONES:

- Las curvas graficadas por la computadora nos darán la variación del valor de la concentración del líquido en cada plato con respecto al tiempo. El valor de las abscisas nos definen el tiempo de máquina de la computadora. El valor de las ordenadas nos indicarán la concentración del líquido.
  - El tiempo de abscisas es un tiempo relativo, no siendo el tiempo real de operación física. Dado que este último solo se conocería haciendo la operación en una columna de destilación real.
  - La concentración del líquido en los platos llega a condición estacionaria cuando las curvas se hacen paralelas al eje de las abscisas y son las que nos definen las condiciones normales de operación de la columna.
  - Las concentraciones de los vapores no han sido graficadas, no obstante son dadas por la computadora. Sus valores los hallamos para las condiciones estacionarias, tanto para conocer el valor de la concentración del destilado, como para poder compararlos con los obtenidos mediante el método de Mc. Cabe Thiele.
  - Para la operación de una columna de destilación en producción se debe trabajar la columna primera a reflujo total y luego al reflujo más conveniente, secuencia que hemos de considerar al operar con la computadora analógica.
  - Los gráficos de Mc. Cabe Thiele se obtienen de la información obtenida con la computadora, de la concentración del líquido en el hervidor. Es de notar que esta información es muy importante dado que es el único modo, a no ser que se realice la destilación física, de trazar las líneas de enriquecimiento y empobrecimiento usadas en la definición de los platos con el método de Mc. Cabe Thiele.
  - La comprobación de los resultados obtenidos mediante la computadora y el método de Mc. Cabe Thiele, se hará: comparando los valores de las concentraciones en cada plato mediante los gráficos de la computadora, estando las curvas definiendo los estados estacionarios, y los obtenidos en las respectivas gráficas de Mc. Cabe Thiele.
- A continuación mostramos un ejemplo del procedimiento seguido en la programación de un determinado caso de estudio.



### 4.3 EJEMPLO DE PROCEDIMIENTO SEGUIDO

Consideraremos el caso de que queremos operar la columna a las siguientes condiciones.

$$R = 0.3285 \quad (\text{Reflujo})$$

$$X_f = 0.48 \quad (\text{Concentración de alimentación})$$

Se quiere hacer la alimentación en el segundo plato. La columna, como se sabe, es una columna de destilación de cuatro platos (considerando al caldero como un plato).

Como se dijo anteriormente, se debe trabajar primero la columna a reflujo total, hasta alcanzar condiciones estacionarias, y luego al reflujo y condiciones de alimentación propuestas.

#### 4.3.1 OPERANDO LA COLUMNA A REFLUJO TOTAL

Refiriéndonos a las ecuaciones de máquina a reflujo total, dadas en el capítulo anterior, las cuales están definidas en función de las variables "X" e "Y", y de los parámetros; retención de líquido en el caldero y platos, y vapor constante, podemos definir las ecuaciones correspondientes.

Los valores numéricos de los parámetros son:

(N <sub>1</sub> )	retención de líquido en el plato	2.08 lb-mol.
(N <sub>2</sub> )	retención de líquido en el caldero	20.8 lb-mol.
	Vapor	5.28 lb-mol. ----- minuto
	Mezcla inicial de llenado	0.48 lb-mol.

Las ecuaciones serán:

$$\frac{d X_1}{d T} = \frac{V}{N_1 B} Y_2 - \frac{V}{N_1 B} X_1 = 2.5 Y_2 - 2.5 X_1$$

$$\frac{d X_2}{d T} = 2.5 Y_3 - 2.5 Y_2 + 2.5 X_1 - 2.5 X_2$$

$$\frac{d X_3}{d T} = 2.5 Y_4 - 2.5 Y_3 - 2.5 X_2 - 2.5 X_3$$

$$\frac{d X_4}{d T} = - \frac{V}{N_2 B} Y_4 - \frac{V}{N_2 B} X_3 = - 0.25 Y_4 + 0.25 X_3$$

Correspondiendo a los valores de fracción molar de vapor las siguientes rectas tentativas.

$$A) \quad Y_2 = Y_3 = 0.15 X - 0.84$$

$$B) \quad Y_4 = X - 0.42$$

que corresponden a los sumadores 05, 07, 13 respectivamente en el Diagrama.

Regulando los potenciómetros en base a este programa, y haciendo las conexiones convenientes para el graficado en el "Variplotter", a su vez que preparado este último a una escala conveniente, se procede a la graficación de las curvas de concentración de líquido en los platos. En el cuadro # 4.1 se da la relación de los potenciómetros con sus respectivos valores asignados a este caso de estudio y demás casos.

Graficadas las curvas hasta que se hagan paralelas al eje de las abscisas, los valores de concentración obtenidos se contrastan con los obtenidos mediante el método de Mc. Cabe Thiele, debiendo ser los mismos en ambos casos. Si los resultados no concordan, o los valores dados por la computadora no fueran coherentes, querría decir que no se han escogido convenientemente las rectas que definen la curva de equilibrio en los rangos apropiados.

En nuestro caso de estudio, se pueden leer los valores de concentración de platos, en las curvas dadas por la computadora en las condiciones antes mencionadas, Gráfico # 4.1 y compararlos con los obtenidos en el Gráfico # 4.2 usando el método de Mc. Cabe Thiele. Así se podrá comprobar el resultado satisfactorio de esta prueba tentativa.

En el Gráfico # 4.2 puede observarse que la recta (A) define la ubicación de tres platos y la (B) la de una.

#### 4.3.2 OPERANDO LA COLUMNA A OTRO REFLUJO

Estando la computadora programada a reflujo total y habiendo llegado al estado estacionario se la puede mantener en esas condiciones, al accionar un aditamento propio de la computadora. Estando de este modo dispuesta la computadora, se harán los cambios que sean necesarios para alimentarle el programa correspondiente a las condiciones de reflujo y alimentación que se quieran estudiar.

Para nuestro caso de estudio bajo las condiciones antes indicadas de reflujo y concentración de alimentación, las ecuaciones de máquina a otros reflujos

CONDICIONES: 1.- X inicial : 0.48  
 2.- R = ∅

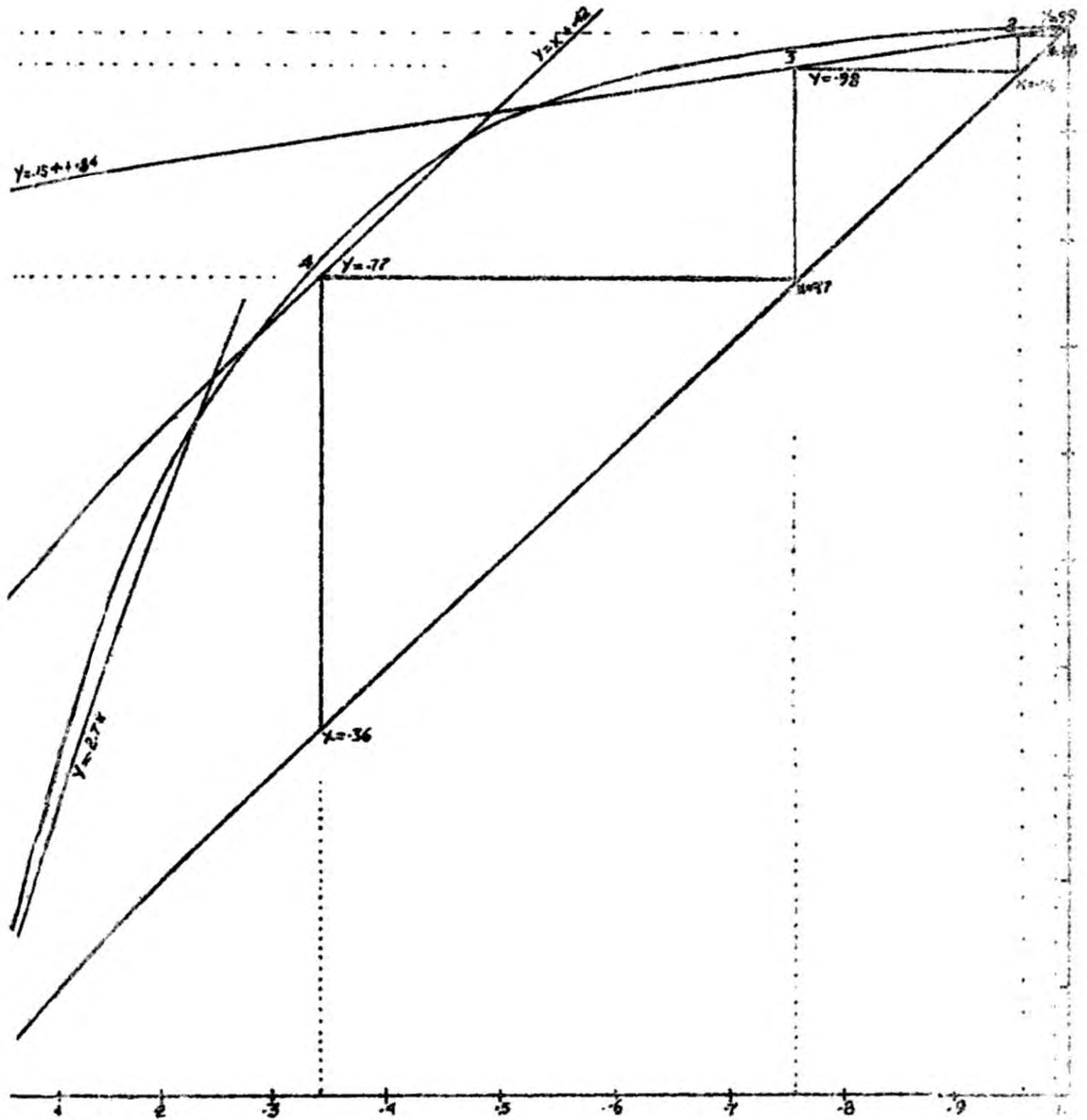


GRAFICO: 4.2

indicadas en el capítulo anterior toman la forma siguiente:

$$\frac{d X_1}{d T} = \frac{V}{N_1 B} Y_2 - \frac{V}{N_1 B} Y_1 + \frac{V R}{N_1 (R - 1) B} Y_1 - \frac{V R}{N_1 (R - 1) B} X_1$$

$$\frac{d X_1}{d T} = 2.5 Y_2 - 1.84 Y_1 - 0.66 X_1$$

$$\frac{d X_2}{d T} = 2.5 Y_3 - 2.5 Y_2 + 0.66 X_1 - 4.6 X_2 + 1.91$$

$$\frac{d X_3}{d T} = 2.5 Y_4 - 2.5 Y_3 + 4.6 X_2 - 4.6 X_3$$

$$\frac{d X_4}{d T} = -0.25 Y_4 + 4.6 X_3 - 0.27 X_4$$

Correspondiendo a los valores de fracción molar de vapor las siguientes rectas tentativas.

$$Y_1 = 0.15 X + 0.84$$

$$Y_2 = Y_3 = X + 0.42$$

$$Y_4 = 2.5 X$$

Que corresponden a los sumadores 13, 05, 07, 13 respectivamente en el diagrama.

El diagramado del programa de las ecuaciones planteadas, diferirá del de reflujo total en que se incluyen: el destilado, representado por "Y<sub>1</sub>"; el residuo, representado por "X<sub>4</sub>" y la alimentación 1.91. Estos valores son alimentados a la computadora mediante las nuevas conexiones en el diagrama con líneas discontinuas.

En el cuadro # 4.1 se da la relación de potenciómetros y valores correspondientes para este caso.

Las ecuaciones planteadas están referidas a la parte superior, plato de alimentación, zona de empobrecimiento y caldero.

Hechas las conexiones de destilado, residuo y alimentación y los cambios en los valores de los potenciómetros según sean los requerimientos del programa, se procede a operar con la computadora hasta que nuevamente las lavas que definen la concentración de líquido en los platos lleguen a un estado estacionario, que como se dijo, es el estado normal de operación de la columna.

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA Ac. Acético - Acetona

$X_e, Y_e, X_f$ : Fracciones Molares de la Acetona

1.-  $X_f = 0.48$

2.-  $R = 0.3285$

3.- Plato de Alimentación : SEGUNDO

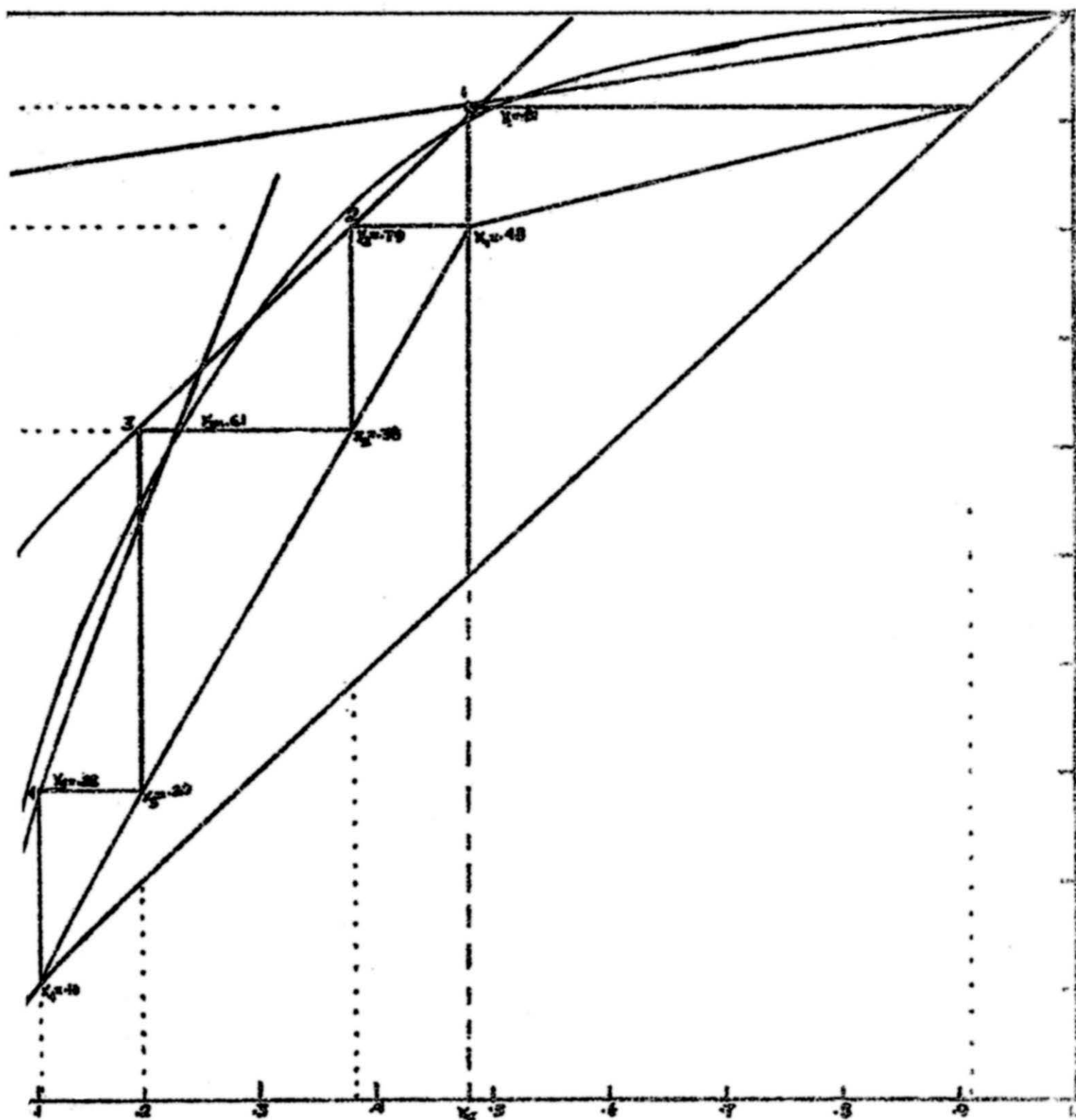


GRAFICO : 4.4

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA ACIDO ACETICO - ACETONA

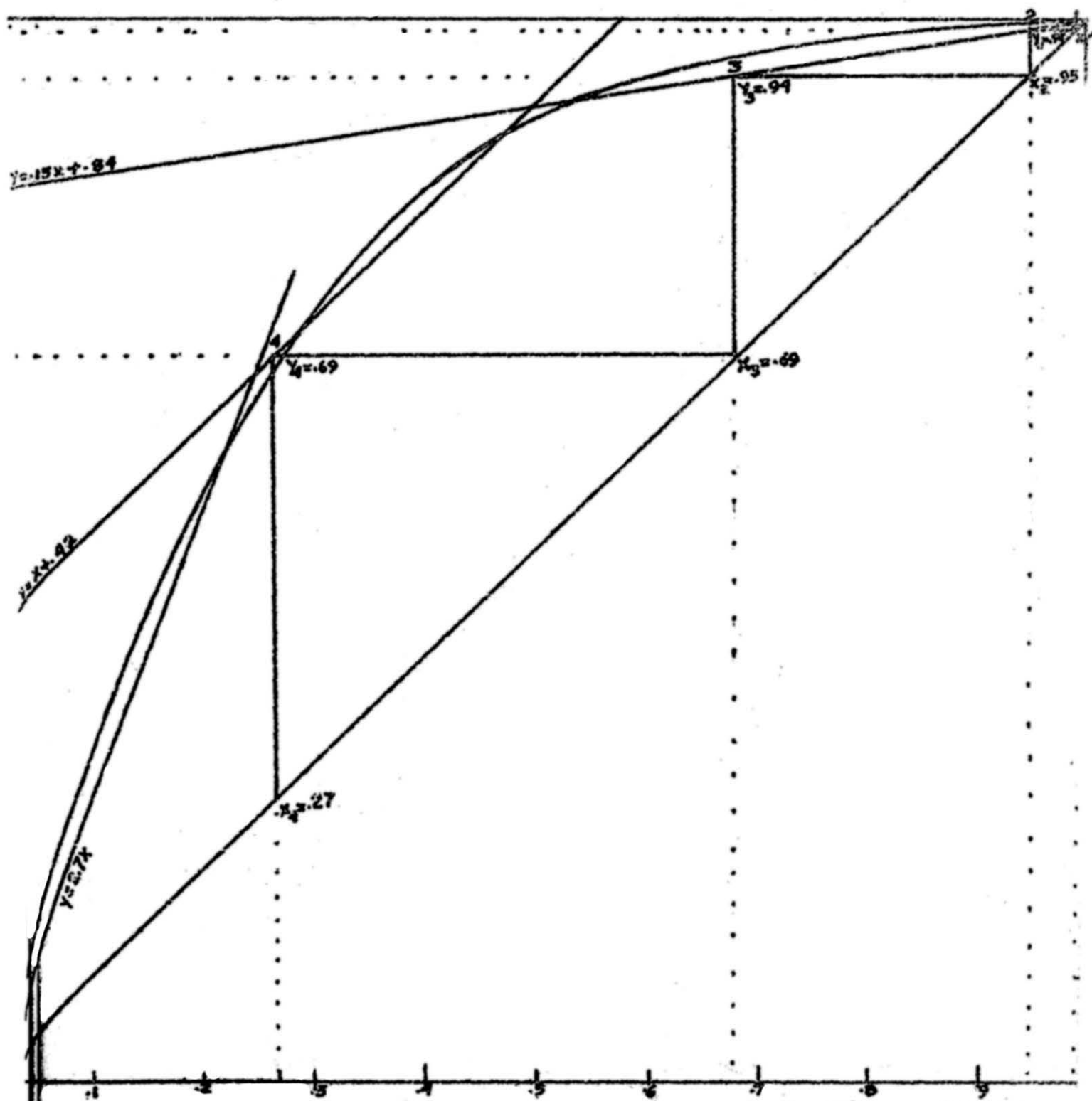
$X_e, Y_e, X_f$  : Fracciones Molares de la acetona

CONDICIONES:

1ª  $X_{inicial} : .40$

2ª  $R : 0C$

GRAFICO : 4.5



Nuevamente los resultados así obtenidos se comparan con los obtenidos por el método de Mc. Cabe Thiele. En nuestro caso el gráfico # 4.3 y el correspondiente de Mc. Cabe Thiele, gráfico # 4.4 dando un resultado satisfactorio.

El gráfico # 4.5 nos muestra un caso tentativo no satisfactorio bajo las condiciones mostradas en el mismo gráfico, no obstante nos ayuda para deducir que la alimentación debe hacerse en el tercer plato en lugar del segundo y que debe corregirse la ubicación de una recta.

#### 4.4 REFERENCIAS

- Con la finalidad de evitar la presentación de todas las ecuaciones para los distintos casos de estudio, dado que alargaría innecesariamente nuestro trabajo en exponer ecuaciones similares a las explicadas en el párrafo anterior, solo presentamos, en el cuadro # 4.1, la relación de potenciómetros y respectivos valores, los cuales representan los coeficientes de las ecuaciones.
- Las concentraciones del líquido y vapor en cada plato para cada caso de estudio, están tabulados en el cuadro de los correspondientes potenciómetros. Estos valores son dados por la computadora.

Los valores dados por los integradores 00, 01, 08, 03 corresponden a la fracción molar del líquido en el plato.

Los sumadores 18, 05, 07, 13 nos dan la concentración de los vapores.

#### 4.5 INVESTIGACION

En esta parte del trabajo, con seguridad lo más importante, vamos a presentar los resultados obtenidos mediante la computadora, ya sea en los gráficos obtenidos mediante el "Variplotter", como también los confeccionados mediante el Método Mc. Cabe Thiele. A su vez incluimos un comentario de los casos de estudio en forma genérica, delineando los conceptos más importantes, que harán que este trabajo resulte provechoso para entender el funcionamiento de la columna de destilación propuesta. Por otro lado, pensamos, que los gráficos son de por sí explícitos como para poder tomar cualquier observación.

Queremos hacer notar que en ciertos casos de estudio hemos omitido los gráficos dados por la computadora en el Variplotter y sólo presentado los obtenidos mediante el método de Mc. Cabe Thiele, que lógicamente han sido obtenidos de la información dada por la computadora y que muestran en forma

más explícita y descriptiva la distribución de los platos en la columna.

#### 4.5.1 REFLUJO TOTAL

En el gráfico # 4.1 de reflujo total y concentración inicial de llenado de 0.48 se puede observar:

- Las condiciones de concentración del plato de tope y fondo son 0.98 y 0.36 respectivamente, en condiciones estacionarias. Cualquier otra información, se puede obtener en el gráfico # 4.2.
- El caldero retendrá una mezcla de concentración menor a la de la alimentación, mientras que los otros tres platos con concentraciones mayores. Los gráficos # 4.5, # 4.6 muestran los resultados obtenidos al variar la mezcla inicial de alimentación de 0.40 a 0.60 respectivamente. El gráfico # 4.7 es el dado por la computadora para una mezcla de llenado de 0.60. Del estudio de los tres casos de reflujo total se podrá concluir que:
  - Las concentraciones de la mezcla de líquido en el fondo, son proporcionales a las concentraciones de las mezclas iniciales de llenado.
  - Las concentraciones de la mezcla del líquido en el tope es aproximadamente igual en todos los casos.

#### 4.5.2 DIFERENTES REFLUJOS

##### 4.5.2.1 Variando reflujo:

Los casos de estudio presentados a continuación, estarán referidos, a la ubicación del plato de alimentación con respecto al reflujo.

Iniciamos el estudio de la variación de concentración de líquido, en cada plato, para una concentración de alimentación de 0.48 y un reflujo cercano al mínimo igual a 0.2385.

En los gráficos # 4.2 y # 4.3, la alimentación es en el primer y segundo plato respectivamente, trabajando la columna en la forma que se conoce como empobrecimiento "striping". Refiriéndonos a los correspondientes gráficos # 4.9 y # 4.4, obtenidos por el método de Mc. Cabe Thiele, constatamos que los platos trabajan en la zona de empobrecimiento y sus resultados son los mismos, obtenidos por la computadora.

Haciendo la alimentación en el tercer plato, bajo estas mismas condiciones de reflujo y concentración de alimentación, observamos que la columna trabaja solo con tres platos. Lo que aparentemente nos indica que hay que



variar el reflujo, dado que uno de los platos deja de tener líquido. Aumentando el reflujo a 0.5 aún la alimentación es en el segundo plato como podemos observar en el gráfico # 4.10 no pudiendo realizarse la alimentación en el tercer plato bajo esta condición, dado que uno de los platos deje de tener líquido.

Para realizar la alimentación en el tercer plato el reflujo debe de ser de uno, como se muestra en el gráfico # 4.11 y observamos que los dos platos de la parte superior están en la zona de enriquecimiento y los otros dos en la zona de empobrecimiento, lo cual se muestra objetivamente en el gráfico # 4.12 de Mc. Cabe Thiele.

Si seguimos aumentando el reflujo, así por ejemplo para un reflujo de dos, la alimentación deberá realizarse en el cuarto plato, como se muestra en el gráfico # 4.13 de Mc. Cabe Thiele. En este caso observamos que tres platos se encuentran en la zona de enriquecimiento y uno en la zona de empobrecimiento.

Hemos de hacer notar que en el reflujo uno, el segundo plato con concentración  $X_2$ , sufre un salto pasándose de la concentración máxima permisible  $X = 1$  lo que explicamos de la siguiente forma: Dado que hemos definido la curva de equilibrio con tres rectas, las cuales la definen en tres rangos y al hacer el cambio de reflujo total al reflujo deseado, la computadora, por razones de circuito eléctrico, lee una de las curvas en un rango superior del que se le ha definido, no obstante esta anomalía, es corregida inmediatamente por la computadora, volviendo a su estado normal de graficación. Este error no habría tenido lugar si hubiéramos operado con un generador de funciones, el cual define exactamente la curva de equilibrio. Esta explicación de estos errores (saltos) lo queremos generalizar para todos los casos.

Del estudio de los reflujos podemos relacionar concentración del líquido con reflujo para los distintos platos, lo cual se muestra en el gráfico # 4.14, en este gráfico también hemos incluido, las zonas en la que para un determinado reflujo debe hacerse la alimentación en un determinado plato, así por ejemplo, para un reflujo comprendido entre 0.8 y 1.5, la alimentación se realizará en el tercer plato de tal modo que cualquier información al respecto se podrá obtener experimentalmente.

DIAGRAMA DEL SISTEMA ACIDO - ACETICO - ACETONA

$X_e, Y_e, X_f$  : Fracciones Molares de la Acetona

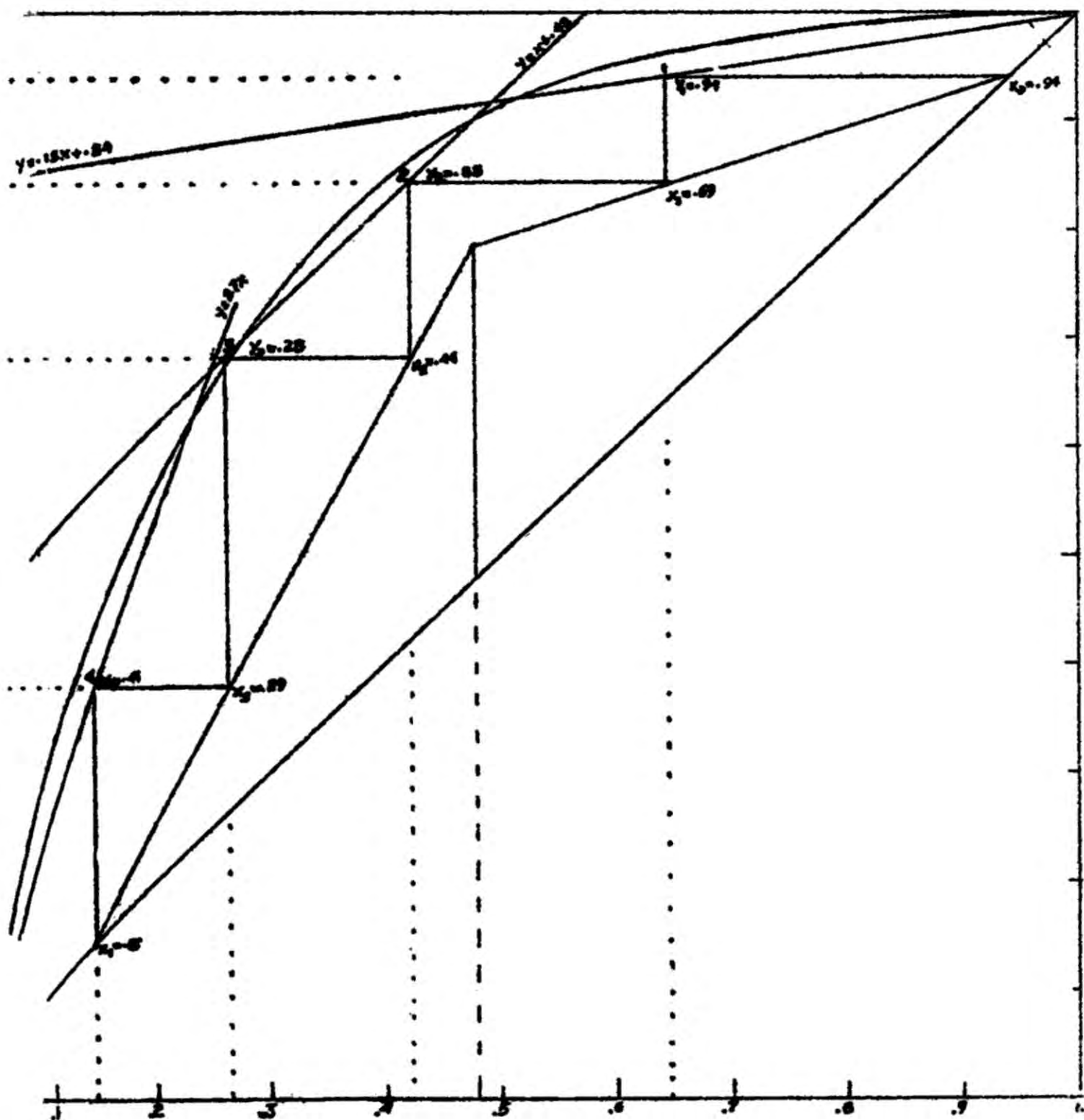
CONDICIONES:

1ª  $X_f$  : .48

2ª R : .5

3ª Plate de alimentación : SEGUNDO

GRAFICO : 4.10



Del estudio de la ubicación del plato de alimentación con respecto al reflujo, hecho anteriormente se concluirá que:

- A medida que se aumenta el reflujo, la ubicación adecuada del plato de alimentación, para que la columna trabaje con todos los platos, deberá ir bajando del plato superior al caldero.
- A medida que la alimentación se realice en los platos inferiores, las concentraciones del destilado y fondo aumentan.
- Cualquier caso de estudio mostrado podrá ser óptimo según los requerimientos deseados.

#### 4.5.2.2 Variando concentración :

Con la finalidad de definir el comportamiento de la columna y poder compararla con casos análogos, vamos a presentar dos casos de estudios de variación de la concentración de alimentación, permaneciendo constante el reflujo.

El gráfico # 4.15, # 4.16 y # 4.17 muestran los resultados obtenidos cuando la alimentación tiene una concentración de 0.6 y 0.4, debiendo hacerse la alimentación en el tercer y primer plato respectivamente, El reflujo usado es de 0.3285.

Comparando estos gráficos con los de alimentación con concentración de 0.48 y las mismas condiciones de reflujo, podemos concluir:

- A medida que la concentración de alimentación aumentan, para una misma condición de reflujo, la ubicación del plato de alimentación deberá ir bajando del plato superior al caldero.
- A menor concentración en el plato de alimentación, mayor será la concentración del destilado y el fondo.

#### 4.5.3 PERTURBACIONES

La importancia de estudiar estas perturbaciones es el de saber en que tiempo se establece el estado normal de trabajo en la columna. Habiendo establecido con anterioridad que el tiempo real de operación no es conocido vamos a suponer un tiempo real de operación con la finalidad de tener, una

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA Ac=ACETICO--ACETONA

CONDICIONES:

- 1.-  $x_f: 0.40$
- 2.-  $R : 0.3285$
- 3.- Plato de Alimentación : PRIMERO

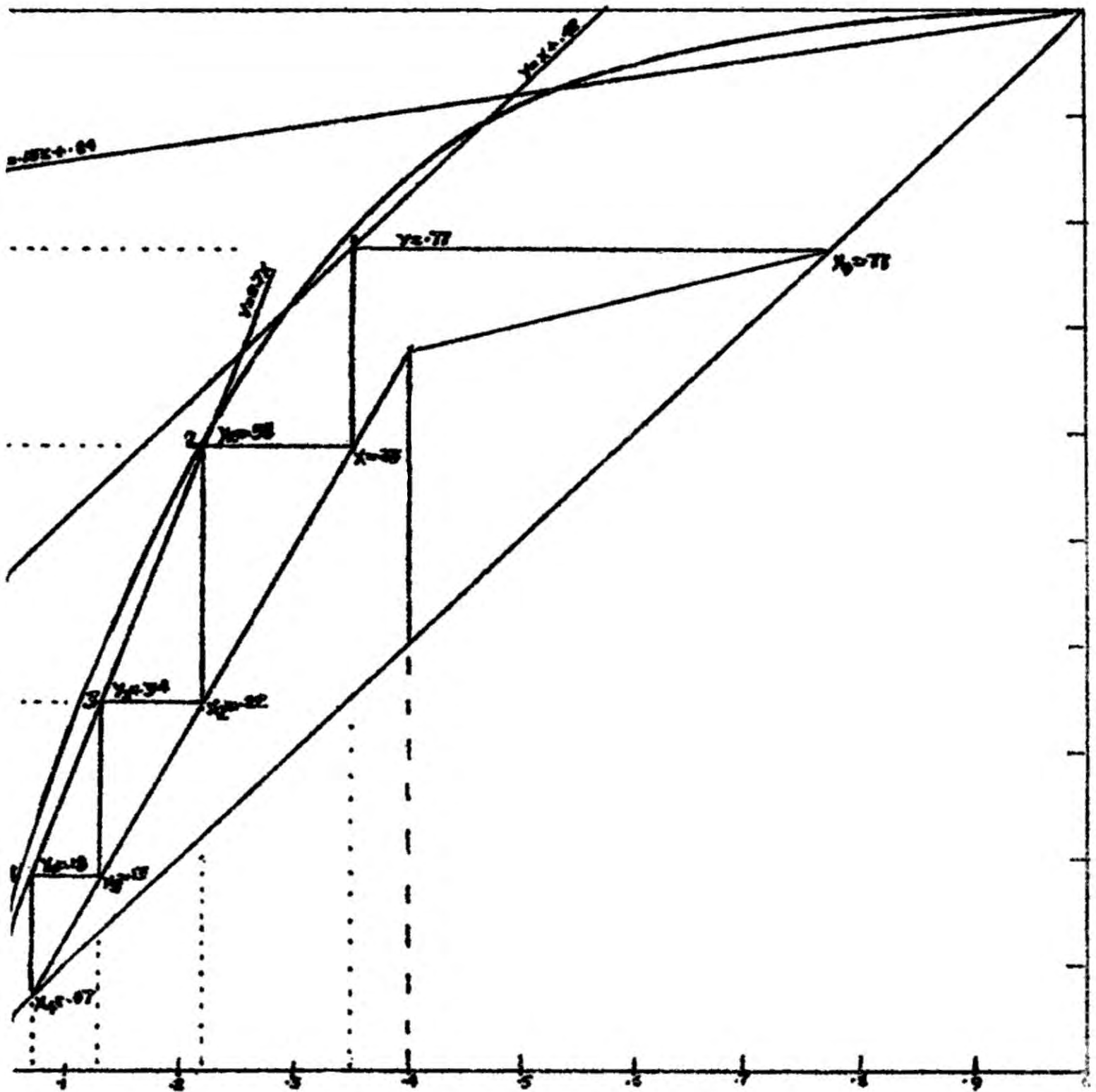


GRAFICO : 4.17

idea del tiempo que llevaría restablecer una perturbación.

En los casos que mostramos a continuación supondremos que las abscisas de los gráficos hechos por la computadora nos definen los tiempos reales de operación.

En el gráfico # 4.18 estudiaremos las perturbaciones del plato uno y cuatro cuando la fracción molar de alimentación disminuye de 0.6 a 0.5 en un tiempo de 32 minutos y cuando aumenta de 0.6 a 0.7 en un tiempo de 35 minutos.

Observamos en el gráfico para la disminución, anteriormente dicho, el tiempo de restablecimiento es de 46 minutos y 30 minutos para el primer y cuarto plato respectivamente.

Conclusiones similares podremos obtener para la otra perturbación.

En el gráfico # 4.19 estudiaremos el caso en que se corta la alimentación, en este gráfico observamos el tiempo en el que la retención del líquido en el plato se vuelve nulo y sería en un tiempo de 7 minutos, restableciéndose en un tiempo de 49 minutos.

La segunda perturbación en este mismo gráfico nos muestra, el caso en el que el vapor se cortase en el caldero, la concentración del líquido en el plato, caería de 0.81 a 0.39 en un tiempo de 18 minutos.

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

- El diseño de una columna como la presente, es factor importante para su apropiado funcionamiento.  
Este diseño debe estar sujeto a las condiciones a las que ha de trabajar la columna, y los datos de diseño se pueden obtener por métodos analíticos ó gráficos, en estos calculos una computadora puede jugar un papel muy importante.
- En la práctica se presentan varios tipos de problemas, cuando se trabaja una columna de destilación con una mezcla binaria.  
Por ejemplo cuando se tiene una determinada mezcla binaria por destilar y se desea ciertos productos de destilado. En este caso se trata de optimizar el número de platos y condiciones de diseño para elegir la columna apropiada. También cuando se tiene determinada mezcla binaria y una columna con un número definido de platos y condiciones de diseño. En este caso se debe trabajar la columna de modo de obtener los productos de destilación.  
Problemas de destilación como los indicados, pueden ser estudiados y resueltos satisfactoriamente por la computadora analógica, con las consiguiente ventaja de rapidez y mínimo costo.
- Los resultados obtenidos serán muy precisos si las ecuaciones matemáticas del sistema en estudio pueden ser fielmente interpretados por los elementos analógicos.
- El método gráfico de Mac Cabe- Thiele, usado en estudio de número de platos en la columna de destilación, es bastante útil en estudio de Ingeniería obstante tener limitaciones en ciertos casos.

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

UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING:

Mc Cobe - Smith.

PRINCIPIOS DE UNITET FERATIONS:

Foust, Venzel, Clumpous, Anderson.

DESTILACION PRINCIPIOS Y METODOS DE DISEÑO:

R. J. Hencstebeck

RESEÑAS DE LA COMPUTADORA DE LA E A I

INTRODUCTION TO ANALOG COMPUTATION:

Ashley, Robert.

BASIC ANALOG COMPUTATION:

Peterson, Gerald