19

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

ELABORACION DE MATERIAL DIDACTICO AUDIOVISUAL SOBRE EL TEMA:

"INTRODUCCION A LA OPERACION DE COLUMNAS DE DESTILACION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P r e s e n t a n

JAIME CARRASCO-ZANINI RINCON
ARMANDO MEZA MUNOZ
JESUS FELIPE SANCHEZ PADILLA

MEXICO, D. F. 1979

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

TESIS 1979
M. E. 57
FECHA
PROC

Jurado asignado originalmente según el tema:

Presidente, Prof. Rudi P. Stivalet Corral.

Vocal, Prof. Roberto Andrade Cruz.

Secretario, Prof. Antonio Frías.

1er. suplente, Prof. José Luis Herce Vigil.

2o. suplente, Prof. Jesús Torres Merino.

Sitio donde se desarrolló el tema: Didacta, A.C.

Sustentantes:

Jaime Carrasco-Zanini Rincón.

Armando Meza Muñoz.

Jesús Felipe Sánchez Padilla.

Asesor:

Prof. Rudi P. Stivalet Corral.

Supervisor técnico:

Prof. Rosa Martha Fernández.

I N D I C E .

	pág.
A.- ASPECTOS GENERALES.	1
1.- Introducción.	1
2.- Selección del tema.	1
3.- Trascendencia.	2
4.- Funcionamiento.	2
B.- DESARROLLO DEL TRABAJO.	4
1.- Actividades para obtener el producto - terminado.	4
2.- Objetivos terminales.	4
3.- Objetivos intermedios.	5
4.- Sinopsis.	6
5.- Estructuración del contenido académico.	7
6.- Determinación y evaluación de prerrequisitos académicos.	10
7.- Guión técnico.	23
- Primera parte.	24
- Segunda parte.	91
- Apéndice. Guía para la discusión sobre el caso de aumento de la entalpia de la alimentación.	216
8.- Secuencia de cálculos.	218
9.- Evaluación de la eficacia del material didáctico.	236
BIBLIOGRAFIA	241

A.- ASPECTOS GENERALES.

A.1.- Introducción.

Esta tesis se propone como meta la aplicación de los medios audiovisuales en un tema concreto de Ingeniería Química, partiendo de la base de que los medios audiovisuales pueden mejorar la enseñanza de ciertos temas de Ingeniería Química, sobre lo cual no se profundizará, por no ser el objetivo que se persigue en esta tesis; basta con agregar que presentan ciertas ventajas, como son:

- Poder abarcar en un tiempo relativamente corto aspectos que, dada su complejidad, llevarían más tiempo estudiarlos en una clase tradicional.
- Evitar las dificultades de movilización de un grupo numeroso al lugar que se requiera.
- Mejorar, en ciertos casos, el aprovechamiento que se tendría en una visita a una industria; ya que no siempre es posible apreciar adecuadamente la operación del equipo, por limitaciones de tiempo y acceso a algún punto de interés.

A.2.- Selección del tema.

Para escoger el tema al que la tesis se avocaría se siguieron varios criterios:

1.- Cumplir con una necesidad académica.

2.- Hacer una experiencia de enseñanza-aprendizaje con el uso de material audiovisual, en un tema que requiere abarcar los niveles superiores del proceso de aprendizaje, como son: el análisis, la síntesis y la aplicación de conceptos.

3.- Por ser un campo poco explorado, se optó por un tema en el que hubiera la suficiente disponibilidad académica.

Así, se escogió el tema de "Introducción a la Operación de Columnas de Destilación", ya que:

- Es una necesidad académica debido a que la clase de teoría se en-

cuentra orientada hacia el diseño, descuidando la operación. El Laboratorio de Ingeniería Química tampoco abarca la operación, consecuencia de que sus objetivos más bien están orientados a comprobar principios básicos vistos en la clase de teoría; además de haber limitaciones de equipo y de tiempo.

Por otra parte, es necesario que los alumnos se familiaricen con equipos instalados en planta, objetivo idóneo para ser cumplido usando medios audiovisuales.

- Este tema permite abarcar:
  * El nivel de análisis, al tener que analizar el modelo matemático que se emplea en este caso.
  * El nivel de síntesis, al sintetizar la interacción de las variables del modelo para comprender la operación.
  * El nivel de aplicación, al aplicar en ejemplos concretos de operación los criterios adquiridos mediante la síntesis.

A.3.- Trascendencia.

Aunque ya se mencionó implícitamente, se hará explícita la utilidad de esta tesis:

1.- Se va a elaborar un material que va a tener un uso concreto como auxiliar en la enseñanza de un tema específico como es la destilación.

2.- Da pié a que se elaboren materiales parecidos que traten otros temas.

A.4.- Funcionamiento.

A.4.1.- Asesoría académica. Tanto para la selección, como para el desarrollo del tema, se contó con la asesoría de maestros de esta Facultad.

A.4.2.- Asesoría pedagógica. Fué proporcionada por Didacta, A.C., comprendiendo:

- Determinación de objetivos.
- Determinación de prerrequisitos académicos.
- Estructuración pedagógica del contenido académico.

- Evaluación del material didáctico.

A.4.3.- Asesoría técnica. También se contó con Didacta, A.C., abarcando los siguientes aspectos:

- Método de trabajo.
- Elaboración del guión técnico.
- Producción del material audiovisual.

A.4.4.- Financiamiento. El personal, el material y el equipo necesarios para la producción fueron proporcionados por Didacta, A.C.

B.- DESARROLLO DEL TRABAJO.

B.1.- Actividades para obtener el producto terminado.

- Investigación y exhibición de películas relacionadas con el tema.
- Investigación bibliográfica en libros, revistas y tesis.
- Entrevistas con profesores que imparten la materia, para recabar opiniones acerca del tema y su utilidad académica.
- Fijar objetivos académicos que se pretenden cumplir con el trabajo, de acuero a la conducta terminal que se espera de los alumnos que tengan acceso al material audiovisual.
- Elaborar el contenido académico de acuerdo a dichos objetivos.
- Revisión del contenido académico por parte de profesores y un profesionista que trabaje en el área de operación.
- Fijar los requisitos académicos que deben tener los alumnos para poder comprender el material audiovisual.
- Evaluar dichos prerrequisitos entre los alumnos del nivel a que se dirige el material; y de acuerdo a esta evaluación hacer las correcciones necesarias al contenido académico.
- Encontrar la estructura y la forma adecuadas para exponer el el contenido académico, lo cual permite escoger los medios audiovisuales idóneos para presentar el tema.
- Hacer el guión técnico, es decir, transformar el contenido académico en imágenes y en sonido, de acuerdo con el medio audiovisual que se escogió.
- Supervisión académica en las diferenres etapas de producción (diseño, fotografía, sonido,...).
- Implementar medios que permitan la evaluación del aprovechamiento que los alumnos tengan del material didáctico.

B.2.- Objetivos terminales.

Este trabajo tiene como finalidad presentar con medios audiovi

suales aspectos básicos de la operación de columnas de destilación, de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Objetivo principal.- El alumno describirá la forma de contrarrestar el efecto de un cambio en la alimentación, a través del comportamiento de las variables de operación, según el modelo McCabe-Thiele, para que una columna de destilación opere dentro de condiciones preestablecidas.
- Objetivo complementario.- El alumno describirá la dimensión, localización y forma de una columna de destilación, así como de sus equipos auxiliares (condensador, rehervidor, tanque acumulador de condensados,...).

B.3.- Objetivos intermedios.

Para cumplir con el objetivo principal es necesqrio abarcarlos siguientes objetivos intermedios:

1.- Delimitación del campo de estudio. El alumno mencionará la causa de la selección de mezclas binarias, cuyo comportamiento se acerca al ideal, como campo de estudio.

2.- Presentación de las variables y sus relaciones, de acuerdo a las limitaciones del modelo McCabe-Thiele. El alumno enumerará las suposiciones que hace el modelo McCabe-Thiele, y de acuerdo a éstas, las variables y sus relaciones.

3.- Obtención de los grados de libertad. El alumno mencionará que para determinar el sistema de ecuaciones que describe la operación de una columna de destilación, es necesario fijar un determinado número de variables, número que será especificado por él, de acuerdo al modelo McCabe-Thiele.

4.- Clasificación de variables. El alumno diferenciará, de entre todas las variables, aquéllas que en la práctica interesa controlar, y mencionará la causa de tal selección.

5.- Presentación de un ejemplo de operación como marco de referencia para estudiar el comportamiento de las variables de operación. El alumno describirá las condiciones de operación del ejemplo propuesto como referencia, utilizando pa-

ra ello el diagrama McCabeThiele.

6.- Análisis del comportamiento de las variables de operación en una columna, al haber un cambio en las condiciones de - alimentación. El alumno describirá los cambios en los productos al producirse un cambio en la alimentación, en base a la interacción de las variables de operación y a través de la modificación de las líneas de operación del diagrama McCabe-Thiele.

7.- Análisis del comportamiento de las variables de operación en una columna, al efectuarse las correcciones necesarias. El alumno describirá los cambios en los productos al efectuarse las correcciones necesarias para que la columna opere en las condiciones preestablecidas, en base a la interacción de las variables de operación y a través de la modificación de las líneas de operación del diagrama McCabe--- Thiele.

B.4.- Sinopsis.

De acuerdo a los objetivos intermedios se elaboró el contenido académico, comprendiendo los siguientes puntos:

1.- Análisis de las variables de operación.

a) Justificación del uso de una mezcla binaria con un comportamiento cercano al ideal.

b) Presentación de las ecuaciones que relacionan a las variables.

c) Obtención de los grados de libertad.

d) Clasificación de las variables.

e) Identificación del modelo McCabe-Thiele.

2.- Cambios en las condiciones de operación y medios para contrarrestarlos.

a) Justificación del uso del modelo McCabe-Thiele.

b) Establecimiento de las condiciones de operación normal que sirvan de referencia.

c) Aumento en la composición de la alimentación.
   * Comportamiento de la torre sin hacer correcciones.
   * Correcciones para mantener la composición de productos adecuada.

d) Aumento en la entalpia de alimentación, a composición constante.
   * Comportamiento de la torre sin hacer correcciones.
   * Correcciones para mantener la composición de productos adecuada.

e) Aumento en el flujo de alimentación.
   * Comportamiento de la torre sin hacer correcciones.
   * Correcciones para mantener la composición de productos adecuada.

f) Resumen comparativo de las alteraciones, métodos correctivos y resultados de éstos.

B.5.- Estructuración del contenido académico.

Se planteó desarrolar el contenido académico como una experiencia de cátedra, que incluyera una parte de presentación audiovisual y otra de discusión de los alumnos, dirigidos por el maestro.

Para explicar lo anterior, a continuación se presenta la secuencia lógica de las etapas a seguir para comprender globalmente el contenido; y en base a esto, la causa de haber seleccionado una determinada forma audiovisual.

1.- Análisis de las variables de operación. En esta parte lo que se persigue es adoptar un modelo que permita el estudio del fenómeno, haciendo incapié en las limitaciones que éste tiene con respecto a la realidad; y en base a dicho modelo, mencionar las variables que involucra y las relaciones entre éstas, para poder así clasificar las variables y diferenciar aquéllas que son comúnmente controlables en la operación de una torre de destilación.

Para desarrollar esta primera etapa, se llegó a la conclusión de que era conveniente presentar las variables y sus relaciones ba-

sándose en imágenes de equipo real, donde aquéllas pueden ser ilustradas. El hacerlo de esta forma obedece a dos fines: uno, el de cumplir con el objetivo complementario (que el alumno observe las características externas del equipo industrial); y dos, el hacerle ver al alumno que partimos de la realidad para escoger un modelo, y que los resultados que a través de él se obtienen son aplicables en la realidad, sin perder de vista que en esta el fenómeno puede suceder de un modo más complejo.

En cuanto al tratamiento audiovisual, esta parte se ha desarrollado para ser presentada por medio de diapositivas de sonido sincronizado; esto quiere decir que se prescinde del movimiento, puesto que éste no es necesario para ilustrar el contenido.

2.- Cambios en las condiciones de operación y medios para contrarrestarlos. Una vez que se han diferenciado las variables que comúnmente son controlables, se analiza la interacción que existe entre las variables, al ser modificada alguna de éstas por cambios en las condiciones de la alimentación (cambios debidos a circunstancias externas a la torre de destilación); y en base a esta interacción, la forma en que han de ser modificadas las variables para poder controlar aquéllas comúnmente susceptibles de serlo. Más concretamente, primero se establece un marco de referencia que especifique las condiciones de operación normal de la columna; segundo, se explica el comportamiento de las variable de operación al producirse un cambio en las condiciones de alimentación (composición, entalpia, o flujo), con objeto de poder identificar y diferenciar las causas de los diversos comportamientos de la torre; y tercero, se busca la forma para contrarrestar éstas variaciones, y se deducen las consecuencias de esta acción.

Esta parte del material ha sido desarrollada para presentarse combinando medios audiovisuales en movimiento (televisión) con la discusión entre profesor y alumnos. Las razones para hacerlo de esta forma son varias:

- La discusión entre profesor y alumnos, intercalada durante - la transmisión, obedece a dos motivos. Primero, dar oportunidad de exponer y aclarar dudas al alumno que no haya comprendido alguno de los pasos de la secuencia lógica en que se desarrolla el contenido. Segundo, la necesidad de que el alumno aplique los conceptos y la metodología que se han desarrollado en el programa, para lo cual se plantea un problema -- con objeto de que sea discutido y resuelto por medio de la - discusión entre los alumnos, dirigida por el profesor.

  Una vez que se resolvió el problema en grupo, el alumno comprobará, por medio de las imágenes que se le presentan, -- los resultados; y verá la dinámica de la operación para reafirmar así la comprensión del problema.

- El uso de medios audiovisuales en movimiento es necesario -- por lo siguiente: la destilación no es un proceso estático, sino que, al haber una variación se produce un cambio continuo hasta llegar a un nuevo estado; ahora bien, el alumno generalmente no tiene una idea clara de la dinámica de la operación, debido a que siempre se manejan diagramas fijos, tanto en libros como en clase; así pues, el mostrar diagramas - en movimiento remarca al alumno esta dinámica. Además, el - emplear el movimiento facilita la comparación del estado inicial con el final.

  Dentro de la información para sentar las bases de la resolución de problemas, se presentará y explicará completamente el caso de variación de la composición de la alimentación; debido a que este es el caso en el que se puede apreciar, de una forma más directa, el comportamiento de las variables en el diagrama McCabe-Thiele.

  Para entrar a la discusión, dentro de la misma exposición audiovisual, se plantea como problema el deducir el comportamiento de la torre antes de efectuar correcciones, en -

el caso de aumento de la entalpia de la alimentación. Ya en la discusión, se da un tiempo para plantear y resolver dudas; una vez hecho esto, se procede a la discusión bajo la dirección del profesor. Los resultados a que se llegue en esta discusión deben ser sólo de carácter cualitativo, es decir, no se requiere efectuar ningún cálculo matemático para llegar a ellos.

En seguida, se reanuda la transmisión y se presentan los resultados a que se debieron llegar durante la discusión, ahora sí cuantificados. A continuación, se presenta el caso de variación en el flujo de alimentación y el resumen comparativo de las alteraciones, métodos correctivos y resultados de estos casos.

Esta experiencia de cátedra está diseñada para desarrollarse en dos sesiones. En la primera, se presenta la parte de análisis de las variables de operación. En la segunda, la parte de cambios en las condiciones de operación y medios para contrarrestarlos.

B.6.- Determinación y evaluación de prerrequisitos académicos.

El criterio que se empleó para fijar los prerrequisitos académicos, consistió en determinar los conocimientos necesarios para comprender el programa; conocimientos que ya habían sido estudiados en materias anteriores a la Ingeniería Química VI, o aquéllos que corresponden al programa de esta última materia, hasta el estudio del modelo McCabe-Thiele, inclusive.

B.6.1.- Población a la que va dirigida el material. Dicha población está principalmente constituída por alumnos de Ingeniería Química que están terminando el tema de destilación, dentro del curso de Ingeniería Química VI.

Es también posible que el material sea útil a profesionistas que tengan interés en el tema.

B.6.2.- Areas de conocimiento.

1.- Fisicoquímica.

- Mezclas binarias.
  * Entalpia de mezcla y calor de mezcla.
  * Equilibrio termodinámico y diagramas de composición vs. temperatura, y de composición del líquido vs. composición del vapor.
  * Concepto de capacidad calorífica y calor latente de vaporización de una mezcla.
- Concepto de grado de libertad.

2.- Destilación binaria.
- Ubicación de la operación.
  * Concepto de transferencia de masa y de calor.
  * Concepto de estado estacionario.
- Equipos usados en destilación (conocimiento teórico).
- Método McCabe-Thiele.
  * Concepto de rectificación y agotamiento.
  * Balances de materia y energía.
    + Líneas de operación.
    + Línea de alimentación.
  * Limitaciones del modelo.
  * Construcción del diagrama McCabe-Thiele.
- Concepto de eficiencia.
- Concepto de inundación.

B.6.3.- Cuestionario para la evaluación de prerrequisitos académicos.

INSTRUCCIONES: No es necesario que pongas nombre. Señala dentro del paréntesis si las opciones presentadas son verdaderas -- (V) o falsas (F), en las preguntas que así lo requieran.

1.- La entalpia total de una mezcla en estado gaseoso es función de las siguientes variables:

( ) a.- La temperatura.

( ) b.- La presión de vapor.

( ) c.- La viscosidad.

( ) d.- La presión.

( ) e.- La composición de la mezcla.

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: a, d, e.- (V); b, c.- (F).

Aceptable: a, d, e, b.- (V); c.- (F).

- Resultados.

Buen nivel: 48%.

Aceptable: 10%.

No aceptable: 42%.

- Conclusión: se observa que casi la mitad de los alumnos maneja claramente el concepto de entalpia, y sumados a los que lo manejan aceptablemente, dan la mayoría. En base a esto, y por tratarse de un concepto que se estudia desde los primeros semestres, no se incluye en la información que se da en el programa.

2.- Las condiciones para que se pueda considerar la entalpia de una mezcla independiente de su concentración, son:

( ) a.- Que la capacidad calorífica sea la misma para todos los componentes.

( ) b.- Que la presión de vapor sea la misma para todos los componentes.

( ) c.- Que la viscosidad sea la misma para todos los componentes.

( ) d.- Que los calores latentes de vaporización sean iguales para todos los componentes.

( ) e.- Que los puntos de ebullición sean iguales para todos los componentes.

( ) f.- Que el calor de mezcla sea despreciable.

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: a, d, f.- (V); b, c, e.- (F).

Aceptable: a, d.- (V); b, c, e, f.- (F).

- Resultados.

Buen nivel: 14%.

Aceptable: 7%.

No aceptable: 79%.

- Conclusión: se observa que los alumnos no dominan completa tamente el concepto de entalpia de mezcla, por lo que ocupa - un lugar especial en la información que se da en el programa.

3.- Las sustancias no polares generalmente presentan, al mezclar se, un mayor calor de mezcla que las polares.

( ).

- Criterio de evaluación.

Aceptable: (F).

- Resultados.

Aceptable: 56%.

No aceptable: 44%.

- Conclusión: Como la mayoría de los alumnos respondió de un modo aceptable, y por ser un criterio estudiado desde los -- no se va a explicar durante el programa.

4.- ¿Cuál es la condición para que un sistema esté en equili--- brio termodinámico?

- Criterio de evaluación.

Aceptable: Si se menciona que los gradientes de temperatura, composición y presión son cero; o bien, que el gradiente de energía libre de Gibbs es cero.

- Resultados.

Aceptable: 53%.

No aceptable: 47%.

- Conclusión: no se menciona el concepto puesto que la mayoría de de los alumnos lo respondió de modo aceptable.

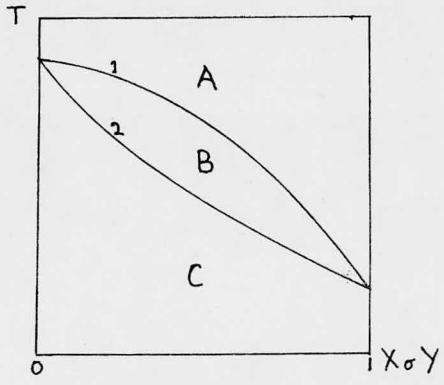
5.- A continuación se presenta el diagrama de temperatura vs. -- composición de una mezcla benceno-tolueno, basándose en él, responde lo siguiente:

a.- ¿A qué fase corresponde la región "A"?

b.- ¿A qué fase corresponde la región "B"?

c.- ¿Qué representa la línea 1?

d.- ¿Cómo construiría el diagrama de composición del líquido vs. composición del vapor, a partir del diagrama presentado?



- Criterio de evaluación.

  Buen nivel: si todas las respuestas están bien contestadas.

  Aceptable: si contesta bien todas las respuestas, excepto la de la pregunta "d".

- Resultado.

  Buen nivel: 52%.

  Aceptable: 37%.

  No aceptable: 11%.

- Conclusión: dado que la mayoría de los alumnos maneja el diagrama temperatura vs. composición a buen nivel, se puede emplear en el programa sin explicarlo.

6.- La capacidad calorífica de una mezcla es función de su composición.

( ).

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: (V).

- Resultado.

  Aceptable: 68%.

  No aceptable: 32%.

- Conclusión: no es necesario explicar este concepto ya que la mayoría respondió bien, y debido a que es tema de estudio en los semestres anteriores.

7.- El calor latente de vaporización de una mezcla es función de la composición de la mezcla.

( ).

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: (V).

- Resultado.

  Aceptable: 57%.

  No aceptable: 43%.

- Conclusión: como la mayoría de los alumnos respondió bien, no se va a explicar este concepto.

8.-¿Qué se entiende por grado de libertad?

- Criterio de evaluación.

  Buen nivel: si se responde que es el número de variables que hay que fijar para que un sistema de ecuaciones quede determinado.

  Aceptable: aquéllos casos en los que la respuesta no era lo suficientemente clara, aunque llevaba implícito el concepto.

- Resultado.

  Buen nivel: 20%.

  Aceptable: 32%.

  No aceptable: 48%.

- Conclusión: se debe mencionar este concepto debido a que es grande el porcentaje de alumnos que no lo manejan, y por ser un concepto indispensable para la comprensión del progra-

ma.

9.- En la destilación se prsentan los siguientes fenómenos:

( ) a.- Transferencia de masa.

( ) b.- Transferencia de calor.

( ) c.- Transferencia de momentum.

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: a, b, c.- (V).

Aceptable: a, b.- (V); c.- (F).

- Resultado.

Buen nivel: 45 %.

Aceptable: 41%.

No aceptable: 14%.

- Conclusión: no es necesario mencionar el concepto, debido a que un alto porcentaje lo respondió bien.

10.- ¿Cuál es la fuerza directora de la transferencia de masa?

- Criterio de evaluación.

Aceptable: el gradiente de concentración.

- Resultado.

Aceptable: 66%.

No aceptable: 34%.

- Conclusión: debido a que la mayoría de los alumnos maneja el concepto, no se menciona en el programa.

11.- Para que un equipo funcione en estado estacionario se re--- quieren las siguientes condiciones:

( ) a.- El sistema tiene que estar en equilibrio termodinámico.

( ) b.- Operar a régimen permanente.

( ) c.- Si el sistema tiene una perturbación se produce una alteración, pero al cesar la perturbación, el siste por sí sólo regresa a su estado original.

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: b, c.- (V); a.- (F).

Aceptable: c.- (V); a, b.- (F).

- Resultado.

Buen nivel: 19%.

Aceptable: 1%.

No aceptable: 80%.

- Conclusión: debido a que un gran porcentaje de alumnos no domina el concepto, se hace incapié en él dentro del programa.

12.- ¿Cuál es la función de los platos o del empaque en una to-- rre de destilación?

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: brindar una superficie de contacto grande entre las fases.

Aceptable: aquellos casos en los que la respuesta no sea lo suficientemente clara, pero que lleva im-- plícito el concepto.

- Resultado.

Buen nivel: 76%.

Aceptable: 18%.

No aceptable: 6%.

- Conclusión: No hay necesidad de mencionar el concepto debido a que un alto porcentaje de los alumnos lo domina a buen - nivel.

13.- ¿Cuál es la función del rehervidor en una torre de destilación?

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: dar la carga térmica necesaria para la vaporización de la mezcla.

Aceptable: aquellos casos en los que la respuesta no sea suficientemente clara, pero que lleva implícito el concepto.

- Resultado.

  Buen nivel: 33%.

  Aceptable: 23%.

  No aceptable: 44%.

- Conclusión: aunque la mayoría de los alumnos respondió de modo aceptable, es necesario mencionar este concepto, ya que se debe tener siempre presente en la operación y el control de una columna de destilación.

14.- En una torre de destilación, las funciones del reflujo son:

( ) a.- Aumentar la eficiencia en la separación.

( ) b.- Mantener el equilibrio termodinámico en la torre.

( ) c.- Mantener líquido en los platos de la sección rectificadora de la torre.

( ) d.- Que se pueda operar a régimen permanente.

- Criterio de evaluación.

  Buen nivel: a, c.- (V); b, d.- (F).

  Aceptable: a.- (V); b, c, d.- (F).

  c.- (V); a, b, d.- (F).

  a, c, d.- (V); b.- (F).

- Resultado.

  Buen nivel: 21%.

  Aceptable: 36%.

  No aceptable: 43%.

- Conclusión: no obstante que más de la mitad de los alumnos respondió bien, se menciona el concepto en el programa, debido a que, igual que en la pregunta anterior, este concepto es indispensable para estudiar la operación y el control de columnas de destilación.

15.- Las suposiciones que hace el modelo McCabe-Thiele son:

( ) a.- Que la temperatura se mantiene constante a lo largo de toda la torre.

( ) b.- Los flujos molares internos de líquido y vapor se -

mantienen constantes de plato a plato para cada -- sección de la torre.

( ) c.- Los flujos molares internos varían de plato a plato.

( ) d.- Las pérdidas de calor son despreciables a lo largo de toda la torre.

( ) e.- La entalpia de las mezclas es independiente de su - composición.

( ) f.- El flujo de vapor es igual al flujo de líquido.

- Criterio de evaluación.

Buen nivel: b, d, e.- (V); a, c, f.- (F).

Aceptable: b, d.- (V); a, c, e, f.- (F).
b, e.- (V); a, c, d, f.- (F).

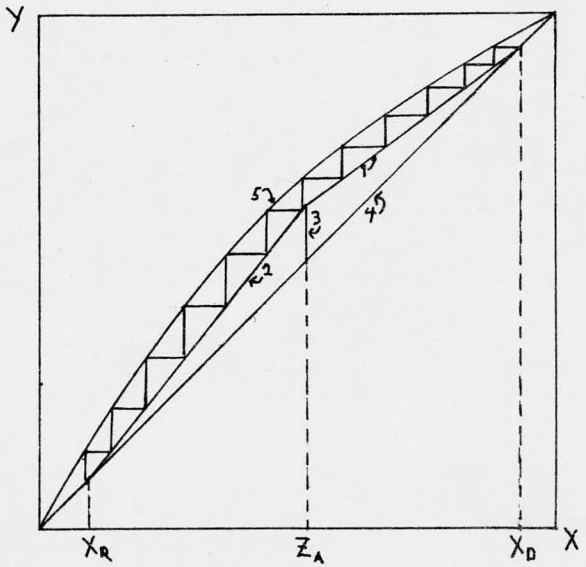
- Resultado.

Buen nivel: 6%.

Aceptable: 8%.

No aceptable: 86%.

- Conclusión: como una gran mayoría de los alumnos no conoce las suposiciones del modelo, y ser éstas un punto básico, se dedica a ellas buena parte del programa.



En el diagrama anterior:

16.- ¿Cuál es la línea de operación de la sección rectificadora?

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: línea 1.

- Resultado:

  Aceptable: 76%.

  No aceptable: 24%.

- Conclusión: no es necesario mencionarlo ya que la mayoría lo domina.

17.- ¿De dónde se obtienen las líneas de operación?

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: de balances de materia en ambas secciones de la columna.

- Resultado.

  Aceptable: 78%.

  No aceptable: 22%.

- Conclusión: No se menciona.

18.- ¿Cuál es la línea de alumentación?

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: línea 3.

- Resultado:

  Aceptable: 81%.

  No aceptable: 19%.

- Conclusión: no se menciona.

19.- La alimentación entra como:

( ) a.- Vapor sobrecalentado.

( ) b.- Vapor saturado.

( ) c.- Mezcla líquido-vapor.

( ) d.- Líquido saturado.

( ) e.- Líquido subenfriado.

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: d.- (V); a, b, c, e.- (F).

- Resultado.

  Aceptable: 45%.

  No aceptable: 55%.

- Conclusión: se debe mencionar la relación que existe entre la posición de la línea de alimentación y sus condiciones térmicas.

20.- ¿De dónde se obtiene la línea 5?

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: de los datos de equilibrio líquido-vapor de la mezcla.

- Resultado:

  Aceptable: 83%.

  No aceptable: 17%.

- Conclusión: no es necesario mencionarlo.

21.- La pendiente de la línea 1 está dada por:

( ) a.- La relación de fracción mol del líquido a fracción mol de vapor en la sección rectificadora.

( ) b.- La relación de flujo molar de destilado a flujo molar de vapor en la sección rectificadora.

( ) c.- La relación de flujo molar de vapor a flujo molar de líquido en la sección rectificadora.

( ) d.- La relación de flujo molar de líquido a flujo molar de vapor en la sección rectificadora.

( ) e.- La relación de flujo molar de destilado a flujo molar de alimentación.

- Criterio de evaluación.

  Aceptable: d.- (V); a, b, c, e.- (F).

- Resultado.

  Aceptable: 21%.

  No aceptable: 79%.

- Conclusión: como la mayoría de los alumnos no lo domina, - se debe mencionar.

22.- Explica el concepto de eficiencia, relacionado con una to-- rre de destilación.

- Criterio de evaluación.

  Buen nivel: es una medida de la capacidad de la columna para separar, en mayor o menor grado, los -- componentes de la mezcla.

  Aceptable: es la relación entre el número de etapas reales entre el número de etapas ideales.

- Resultado.

  Buen nivel: 12%.

  Aceptable: 34%.

  No aceptable: 54%.

- Conclusión: se debe mencionar el concepto.

23.- Explica el concepto de inundación en una torre de destila-- ción.

- Criterio de evaluación.

  Buen nivel: fenómeno que consiste en la acumulación de - líquido en alguna zona de la columna, debido al aumento o disminución excesiva del flujo de líquido o de vapor en la columna; y que trae como consecuencia una notable disminu-- ción en la eficiencia.

  Aceptable: aquellos casos en los que la respuesta no sea suficientemente clara, pero que lleva implíci to el concepto.

.- Resultado.

  Buen nivel: 6%.

  Aceptable: 27%.

  No aceptable: 67%.

- Conclusión: es necesario mencionar este concepto.

NOTA: este cuestionario fue aplicado a:

- 55 alumnos de Ingeniería Química VI que acababan de estudiar el modelo McCabe-Thiele.
- 30 alumnos de Ingeniería de Procesos que ya habían cursado Ingeniería Química VI.

B.7.- Guión técnico.

Ya se mencionó que el guión técnico es el desarrollo en imágenes y sonido del contenido académico. La forma gráfica que se escogió para presentar dicho guión, de modo que se facilite su lectura, fue la de mostrar, en su secuencia de desarrollo, un esquema de cada imagen, junto con la narración que la acompaña; y adjuntar en una hoja separada la explicación de cada una de las imágenes, que aclare su contenido.

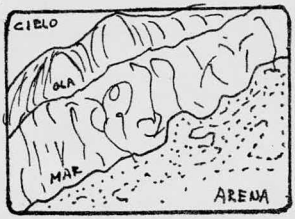
El guión técnico consta de dos partes; la primera, que se desarrolló para un audiovisual de diapositivas con dos proyectores simultáneos; y la segunda, que se planeó para presentarse en televisión (video-cassette).

GUION TECNICO

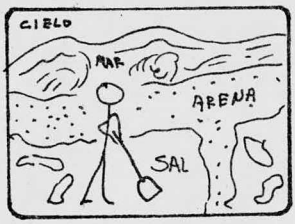
DE LA

PRIMERA PARTE.

	5
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3

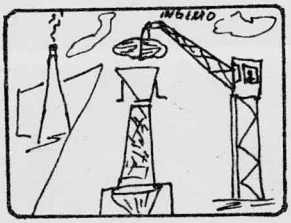


(PAUSA).

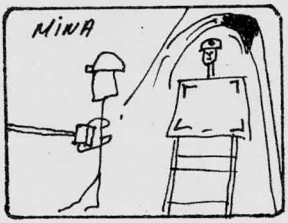


(PAUSA).

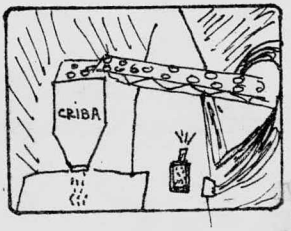
(PAUSA).



N.- Dentro de los procesos que se han desarrollado



para aprovechar los recursos naturales,



son importantes a-- quéllos que consisten

TOMA 1.
Vista general del mar; se debe ver la playa.

TOMA 2.
Toma general de una salina; se debe ver un hombre trabajando, paleando sal, y el mar al fondo.

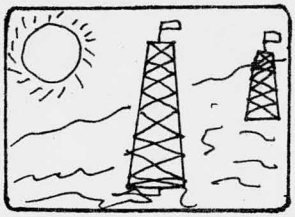
TOMA 3.
Toma de uno o varios cañeros cortando caña en un cañaveral, del cual debe verse una extensión relativamente grande.

TOMA 4.
Toma general de la zona de descarga de caña, en el batey del ingenio.

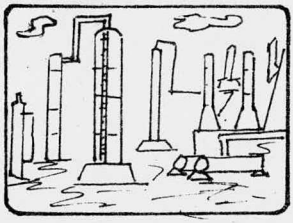
TOMA 5.
Toma de varios mineros trabajando en el interior de una mina.

TOMA 6.
Toma de una banda transportadora de mineral, que entra a alguna parte del proceso de separación.

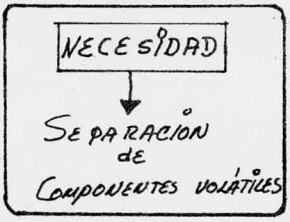
	3
8	3
	5
0	4
11	5
12	4



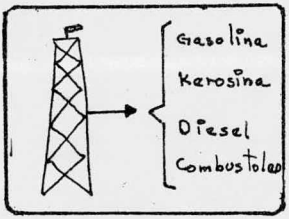
en separar ciertos componentes



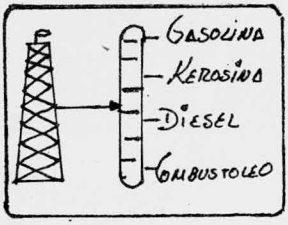
que se encuentran mezclados.



Cuando se ha necesitado separar -- mezclas constituidas por sustancias volátiles,



en sus componentes o en mezclas de diferente composición a la original;



se ha conformado, para tal fin, la operación unitaria que se conoce como destilación.

N.- Esta operación unitaria involucra fenómenos de transferencia

TOMA 7.
Full shot de una torre de perforación de un pozo petrolero.

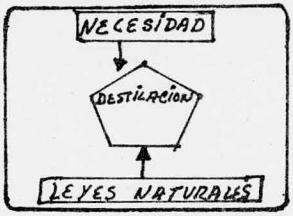
TOMA 8.
Plano general de una refinería.

TOMA 9.
Toma de un letrero que dice "NECESIDAD", encerrado en un rectángulo rojo; abajo del rctángulo, unido con una flecha está un letrero que dice "Separación de componentes volátiles". Todas las letras - también son rojas; el fondo es negro.

TOMA 10.
Toma con un pequeño esquema de una torre de perforación de petróleo que se relaciona con una flecha a una "llave" que comprende los siguientes letreros: "GASOLINA, QUEROSINA, DIESEL, COMBUSTOLEO". Todas las figuras y letras son de color rojo; el fondo es negro.

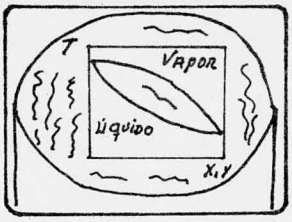
TOMA 11.
Toma parecida a la número 10, sólo que la llave es reemplazada por el esqema de una columna de destilación, del cual salen flechas hacia cada uno de los productos. El esquema de la columna es azul, lo mismo que las flechas que de ella salen.

TOMA 12.
En la parte superior del cuadro se encuentra el rectángulo de "NECESIDAD" igual al de la toma 9; abajo, unido por una flecha roja hay un pentagono azul que en su interior tiene un letrero que dice: "DESTILACION, operación unitaria", también de color azul. El fondo es negro.



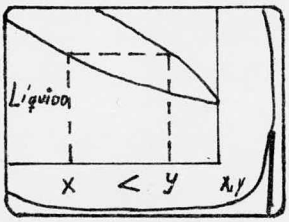
6

de masa y calor, que obedecen a la ley natural que consiste en que:



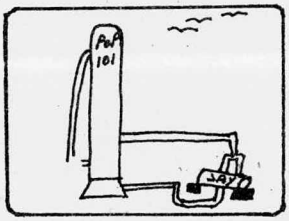
6

cuando una mezcla de componentes de diferente volatilidad, está en equilibrio líquido vapor,



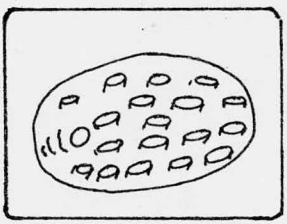
5

en la fase gaseosa, la proporción del componente más volátil es mayor que en la fase líquida.



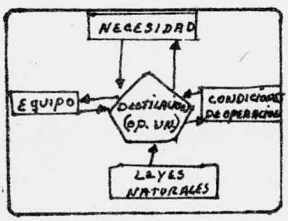
6

N.- De acuerdo a lo anterior, el equipo para llevar a cabo la destilación debe ser capaz de generar vapor



17 5

para -- proporcionar calor a la mezcla, y de -- mantener en contacto las fases líquido y vapor;



8 5

además de ser operado a unas - condiciones de temperatura y presión,

TOMA 13.
Toma parecida a la 12, sólo que ahora en la parte inferior del cuadro hay un rectángulo de color verde del cual sale una flecha también verde, que lo une con el pentágono. Dentro de dicho rectángulo está un letrero también verde que dice "LEYES NATURALES".

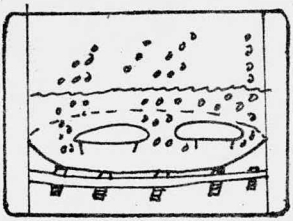
TOMA 14.
Full shot de un diagrama de equilibrio de temperatura vs. composición de líquido y vapor de una mezcla benceno-heptano; en superimposición con la imagen de la superficie en ebullición de un líquido transparente. El diagrama es de color verde.

TOMA 15.
Toma parecida a la anterior, sólo que ahora, hay un acercamiento del diagrama, hacia el eje de las abscisas, en el cual se localizan X y Y; con líneas punteadas se unen estos puntos en las abscisas con las líneas de equilibrio correspondientes. Se señala que X es menor que Y.

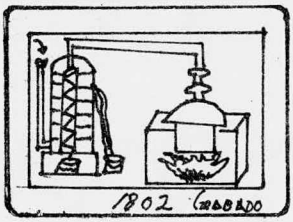
TOMA 16.
Full shot de una columna de destilación, en el que se vez el rehervidor.

TOMA 17.
Full shot de un plato de cachuchas de una columna de destilación.

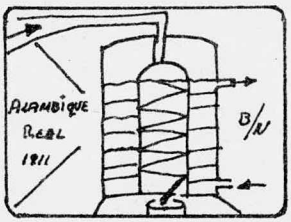
TOMA 18.
Toma parecida a la 13, sólo que ahora se agregan dos rectángulos más: uno de color amarillo que dice "EQUIPO", y otro de color violeta que dice "CONDICIONES DE OPERACION". Las flechas que salen de los rectángulos hacia el pentágono tienen el mismo color que el rectángulo de donde parten.



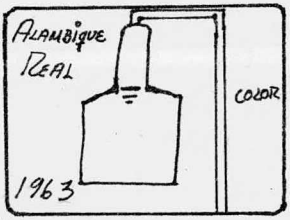
tales que permitan la coexistencia de - ambas fases.



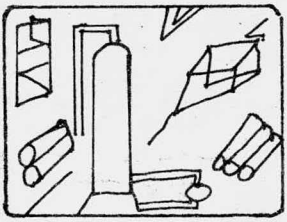
N.- Tradicionalmente, la destila-- ción se ha usado para separar



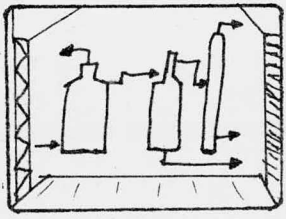
mezclas - alcohólicas y aceites esenciales.



En - la actualidad, se emplea en gran canti- dad de



separaciones. Así, en plantas - de procesamiento



de materiales, es fre- cuente encontrar columnas

TOMA 19.
Acercamiento a un"plato de vidrio" de la torre de destilación del Laboratorio de Ingeniería Química. Se deben notar las burbujas de vapor que salen de las cachuchas.

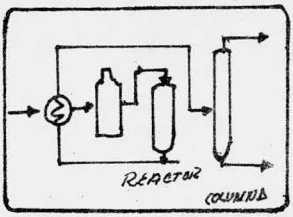
TOMA 20.
Toma de un grabado antiguo en el que se vea un alambique.

TOMA 21.
Foto antigua (blanco y negro o sepia) de un alambique, con alguna persona trabajando.

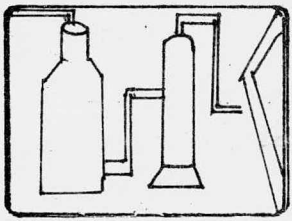
TOMA 22.
Fotografía de un alambique actual (en color).

TOMA 23.
Plano general de una planta en la que se ve alguna columna de destilación, que no sea ni refinería ni destilería.

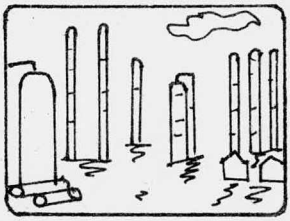
TOMA 24.
Plano general de la sección de torres de destilación de una destilería.



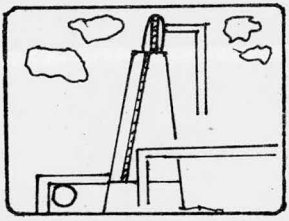
de destilación, ya sea en la etapa de preparación



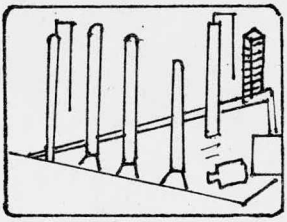
de la carga de un reactor, o en la de purificación,



después de la reacción; y es en la industria



del petróleo donde su aplicación es en mayor escala,



puesto que interviene en gran parte de sus procesos.

N.- A continuación, se va a estudiar la operación de columnas

TOMA 25.
Diagrama de flujo de un proceso en el que aparezca una columna de destilación antes o después de un reactor.

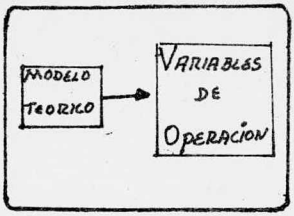
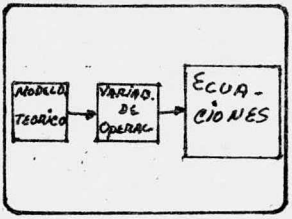
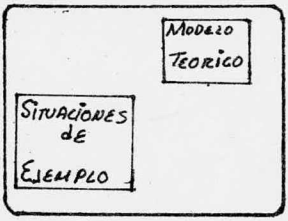
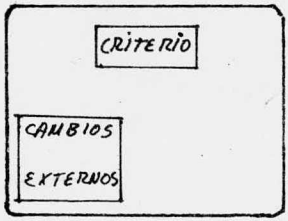
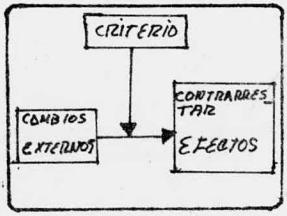
TOMA 26.
Full shot de un reactor que se encuentra junto a una columna de destilación.

TOMA 27.
Long shot de la refinería de Tula.

TOMA 28.
Full shot en contrapicada de una columna, para dar la impresión que es muy grande.

TOMA 29.
Plano general de la sección de torres de destilación de la refinería de Tula.

TOMA 30.
Toma en la que hay un letrero que dice "MODELO TEORICO", encerrado en un rectángulo. El interior del rectángulo es de color "durazno", el exterior es café. Las letras y las líneas son negras.

3	 de destilación; para lo cual, primero se establecerá
3	 el modelo teórico que se va a usar;
4	 y en segundo, se presentarán situaciones que ejemplifiquen la interacción
6	de las variables de operación, de acuerdo al modelo, para que ustedes adquieran elementos de criterio
4	 que les permitan contrarrestar, en situaciones similares,
4	 los efectos ocasionados por cambios debidos a circusntancias externas

TOMA 31.
Toma parecida a la 30 en la que se agrega un rectángulo que dice "VARIABLES DE OPERACION", al cual llega una flecha que viene desde el otro rectángulo.

TOMA 32.
Toma parecida a 31, pero se agrega un rectángulo para "ECUACIONES", también va unido por medio de una flecha que a él llega.

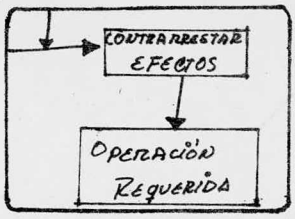
TOMA 33.
En la parte superior está el rectángulo de "MODELO TEORICO", en la parte inferior izquierda hay un rectángulo para "SITUACIONES DE EJEMPLO". Color igual a la toma 31.

TOMA 34.
Toma parecida a la 33, sólo que en la parte inferior hay un rectángulo que dice "CRITERIO". Hay una flecha vertical que une a "MODELO TEORICO" con "CRITERIO". Del rectángulo de "SITUACIONES DE EJEMPLO" parte una flecha horizontal que intercepata a la otra flecha.

TOMA 35.
En la parte superior del cuadro está el rectángulo de "CRITERIO", y en la parte inferior izquierda hay otro rectángulo para "CAMBIOS EXTERNOS". Mismo color que en la toma anterior.

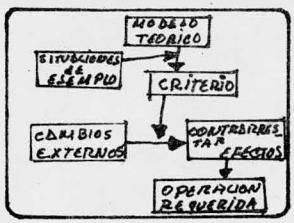
TOMA 36.
Toma parecida a 35, sólo que en la parte inferior derecha aparece un rectángulo para "CONTRARRESTAR EFECTOS". Una flecha horizontal une a "CAMBIOS EXTERNOS" con "CONTRARRESTAR EFECTOS"; una flecha vertical parte de "CRITERIO" e intercepta a la otra flecha.

4



a la co
lumna de destilación, a fin de que esta funcione

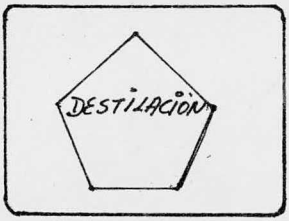
6



de acuerdo a los requerimientos establecidos.

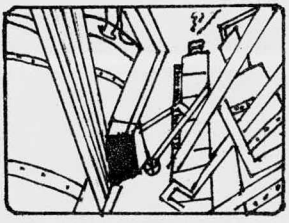
(PAUSA).

3



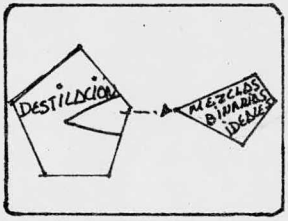
N.- Se va a considerar el caso

3



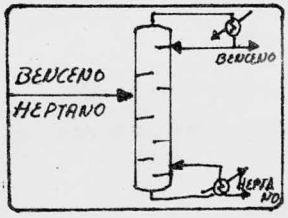
de
una columna de platos que separa

4



una --
mezcla binaria con comportamiento cerca no al ideal,

4



porque permite seleccionar un modelo lo suficientemente simplifica do,

TOMA 37.
En la parte superior derecha está el rectángulo de "CONTRARRESTAR EFECTOS", abajo de él hay un rectángulo para "OPERACION REQUERIDA", al cual llega una flecha que parte del otro rectángulo.

TOMA 38.
Toma en que aparecen unidos los rectángulos de las tomas 34, 36 y 37, en un solo esquema.

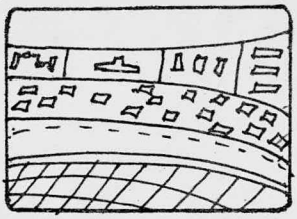
TOMA 39.
Pentágono cuya área es azul, con un letrero que dice "DESTILACION" (de color negro). El fondo es de color "durazno".

TOMA 40.
Toma de una columna en contrapicada, de composición extraña.

TOMA 41.
Toma parecida a la 39, sólo que ahora el pentágono tiene marcado un gajo, el cual se muestra agrandado al lado izquierdo; dentro del gajo dice "mezclas binarias ideales". El gajo también es azul.

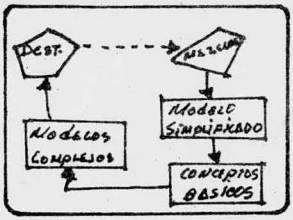
TOMA 42.
Full shot de un diagrama de una columna de destilación, en la alimentación dice "BENCENO-HEPTANO", en la salida del domo dice --- "BENCENO" y en la salida de base dice "HEPTANO". Las líneas y las letras son negras; el fondo es "durazno".

4



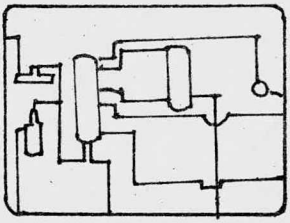
que facilite el análisis de la operación de equipos de destilación;

5



este modelo también servirá de introducción para comprender el fenómeno a través de modelos más complejos,

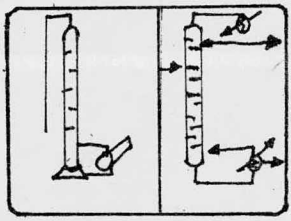
4



que lo expli quen de un modo más general.

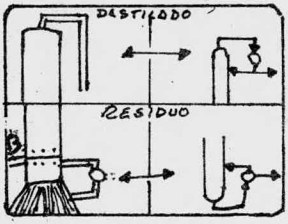
(PAUSA).

7



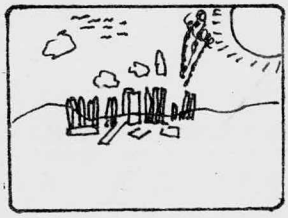
N.- Es importante no confundir el fenómeno con el modelo; sin embargo, se considera que un modelo es satisfactorio,

8



en la medida en que los resultados que se obtienen a través de dicho modelo, se ajustan a los resultados que provienen del fenómeno.

8 3



N.- A continuación, se presenta el modelo seleccionado

TOMA 43.
Plano general del cuarto de control de la refinería de Tula.

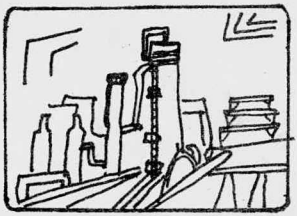
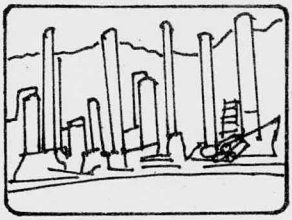
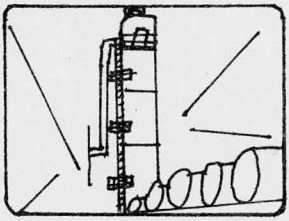
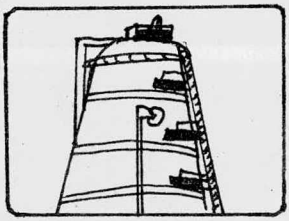
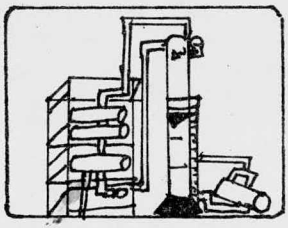
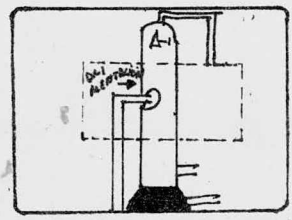
TOMA 44.
Toma parecida a la 41, pero agregando rectángulos para "Modelo simplificado", "Conceptos básicos" y "Modelos complejos"; los rectángulos van unidos entre sí por medio de flechas, su área interna es también de color "durazno". Todas las flechas y las letras son negras.

TOMA 45.
Acercamiento al diagrama de flujo de la planta fraccionadora de ligeros y pesados, del cuarto de control de la refinería de Tula.

TOMA 46.
Imagen dividida en dos; a la izquierda un full shot de una columna real; a la derecha un diagrama de la torre. El color del diagrama es amarillo, las líneas y las flechas son negras.

TOMA 47.
Imagen dividida en cuatro: en la parte superior, el domo de una columna; a la izquierda es una toma real y a la derecha, es un diagrama; en la parte inferior, la base de la columna, a la izquierda en imagen real, y a la derecha en esquema. Las tomas reales y los esquemas van relacionados por flechas que señalan en ambos sentidos. Los diagramas del mismo color que en la toma 46.

TOMA 48.
Long shot de la refinería de Tula.

	
3	para estudiar la operación de una columna,
	
3	con las limitaciones establecidas.
	
4	N.- Se comienza por analizar las relaciones que hay
	
3	entre las variables que implica el modelo.
	
4	N.- Primero, se efectúa el balance total de materia;
	
4 3	en el cual se considera una corriente de entrada,

TOMA 49.
Plano general de la sección de fraccionamiento de la refinería de Tula.

TOMA 50.
Long shot de la columna de destilación atmosférica.

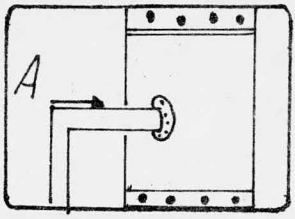
TOMA 51.
Full shot de la misma torre, en primer plano se ven los precalentadores.

TOMA 52.
Medium shot en contrapicada de la columna atmosférica.

TOMA 53.
Full shot de la columna deisopentanizadora, la cual servirá de referencia de aquí en adelante. Se deben poder apreciar los equipos auxiliares (rehervidor, condensadores y tanque acumulador de condensado).

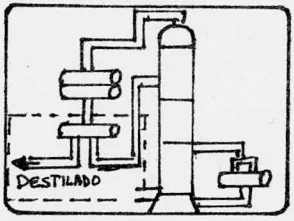
TOMA 54.
Full shot de la misma columna, cambiando de angulación para poder ver la entrada de la alimentación. En superimposición hay un recuadro que marca la zona de alimentación, señalando el lugar preciso con una flecha; hay un letrero que dice alimentación.

4



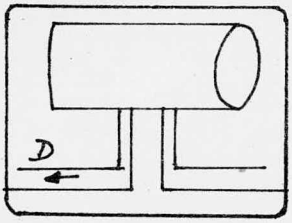
que es la alimentación, cuyo flujo molar se representa por "A",

3



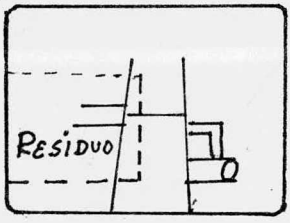
y dos corrientes de salida, una del domo,

4



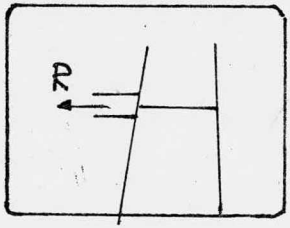
que es el destilado, en la que su flujo molar es representado por "D",

3



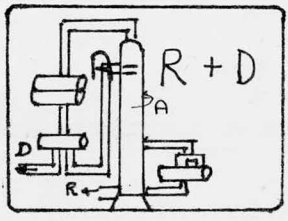
y otra que sale por la parte inferior de la columna, que es

4



el producto de base o residuo, cuyo flujo molar es "R".

6



Estas variables se relacionan en la ecuación de balance total de materia.

(PAUSA).

TOMA 55.
Acercamiento a la zona de alimentación de la misma columna. - en superimposición hay una flecha que indica la dirección del flujo y la letra "A".

TOMA 56.
Igual que toma 53, pero agregando en superimposición un recuadro que señale el tanque acumulador y sus salidas. Se coloca la palabra destilado cerca de la salida de este.

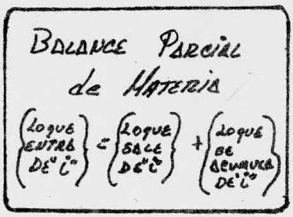
TOMA 57.
Full shot del tanque acumulador, donde se pueda ver el tubo de salidad de destilado. En superimposición hay una flecha que indica el flujo, y la letra "D".

TOMA 58.
Acercamiento a la base de la columna. En superimposición se - indica en un recuadro la salida del residuo en el cual se incluye - "RESIDUO".

TOMA 59.
Acercamiento al tubo de salida del residuo. En superimposición hay una flecha para indicar el flujo y la letra "R".

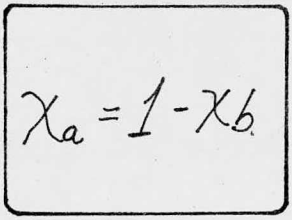
TOMA 60.
Igual que la toma 53, señalándose en superimposición las letras "A", "D" y "R" en el lugar que les corresponde, además la ecuación "A = D + R".

5



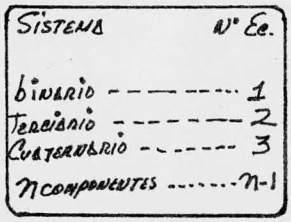
N.- Segundo, se prosigue con la ecuación de balance parcial de materia.

7



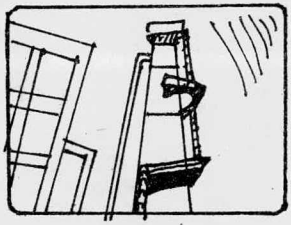
N.- Puesto que se tiene una mezcla binaria, basta conocer la concentración de un componente para saber la del otro,

7



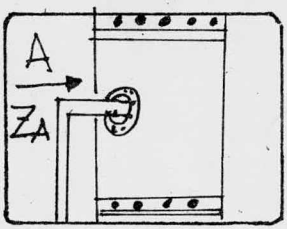
por tanto, sólo se necesita una ecuación para describir la composición en el sistema.

5



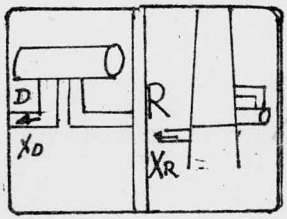
Con tal objeto, se establece la convención de usar la fracción mol del componente más volátil;

5



entonces, Z_A representa la fracción mol del componente más volátil en la alimentación;

6



X_D y X_R, representan las fracciones mol de dicho componente, en el destilado y en el fondo, respectivamente.

TOMA 61.
En la parte superior aparece como título "BALANCE PARCIAL DE MATERIA". Abajo y con letras se señala en forma general lo que es dicha ecuación: "LO QUE ENTRA DE "i" = LO QUE SALE DE "i" + LO QUE SE ACUMULA DE "i"". Cada término de la ecuación va encerrado en -- llaves".

TOMA 62.
Ecuación que dice: "$X_a = 1 - X_b$".

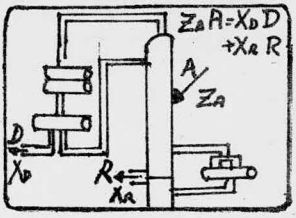
TOMA 63.
Tabla que tiene dos columnas verticales: en la de la izquierda se coloca el título de "SISTEMA"; en la de la derecha, el de "N°. Ec.". Abajo de la de "SISTEMA" se colocan: "binario, terciario, cuaternario y n componentes"; y en la de "N° de Ec.", correspondiendo con los renglones de la otra columna: "1, 2, 3 y n-1".

TOMA 64.
Plano americano de la columna de referencia. Al lado se puede observar parte de la estructura que sostiene a los condensadores y el tanque acumulador de condensado.

TOMA 65.
Misma toma que 55, sólo que ahora en superimposición se ve una flecha que indica el flujo de alimentación junto con las letras "A" y "Z_A".

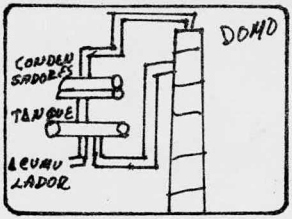
TOMA 66.
Imagen dividida en dos partes: a la izquierda, toma igual a la 57; y a la derecha, toma igual a la 58.

na	
7	7
8	4
9	3
0	4
1	7
72	7

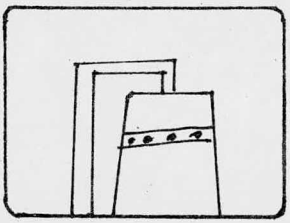


Tales variables - se relacionan en la ecuación de balance parcial de masa.

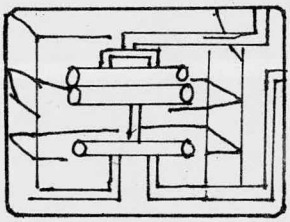
(PAUSA).



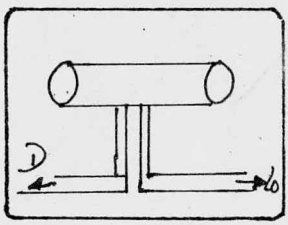
N.- Ahora, se considera la parte - superior de la columna



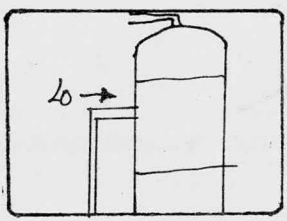
o domo, de donde sale vapor, el cual



pasa por un condensador, que en este caso es total; y se acumula en un tanque.



El condensado, - posteriormente, se divide en dos corrientes: una que es el destilado, y otra - que constituye el reflujo,



al recircular se a la columna, entrando a esta por la parte superior, con un flujo molar "L_o".

TOMA 67.

Toma igual a la 53; en superimposición aparecen: "Z_A, A, X_D, D, X_R y R"; en los lugares que les corresponden. También está la ecuación: "$Z_A A = X_D D + X_R R$".

TOMA 68.

Toma de la columna de referencia en la que se vean: el domo, el tubo de salida de vapor, los condensadores y el tanque acumulador de destilado; sin que aparezca la base de la columna. En superimposición se tienen lo letreros "DOMO", "CONDENSADOR" y "TANQUE ACUMULADOR".

TOMA 69.

Acercamiento al domo, en el que se vea la salida de vapor.

TOMA 70.

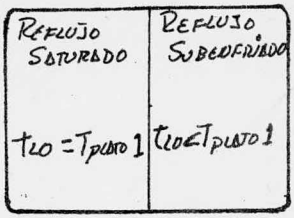
Acercamiento a los condensadores y al tanque acumulador.

TOMA 71.

Acercamiento al tanque acumulador en el que se vean las salidas de destilado y reflujo; en superimposición se señalan con las letras "D" y "L_o", usando flechas para indicar los flujos.

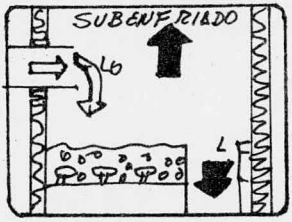
TOMA 72.

Acercamiento al domo, de modo que se vea la entrada del reflujo, la cual se señala con"L_o" y con una flecha, en superimposición.

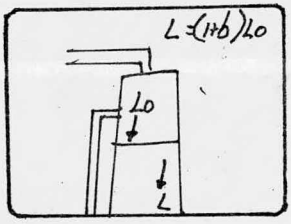


N.- El reflujo, al entrar al plato superior, lo puede hacer como lfquido saturado o subenfriado;

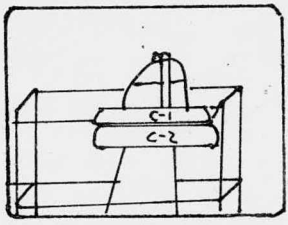
en el primer caso, no se afecta la cantidad de calor disponible, en el plato, para la vaporización,



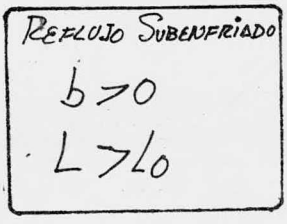
en cambio en el segundo, la cantidad de calor disminuye, lo que ocasiona un aumento del flujo del lfquido que baja de dicho plato; esta corriente



se representa por "L". La ecuación que implica a estas variables es la que se muestra.



"b" es un factor que depende de las condiciones térmicas a las que entra el reflujo;



los valores que puede tomar son: "b" mayor que cero, si el reflujo entra como lfquido subenfriado;

TOMA 73.

Imagen dividida en dos; del lado izquierdo, está el título "REFLUJO SATURADO", abajo del cual se indica que la temperatura del reflujo es igual a la temperatura del primer plato; del lado derecho, aparece el título "REFLUJO SUBENFRIADO", abajo se indica que la temperatura del reflujo es menor que la temperatura del primer plato. La mitad correspondiente al reflujo subenfriado es de color azul claro, la otra mitad es de color azul pero un tono más ascuro.

TOMA 74.

Esquema del plato superior de una columna de destilación; en la parte superior se tiene un letrero que dice "SATURADO", los flujos de vapor, de reflujo y de líquido que baja del plato se representan por medio de flechas, siendo la cantidad de flujo proporcional al grosor de estas flechas. La flecha del reflujo es del mismo color (azul oscuro)que la sección del líquido saturado de la toma anterior; las otras flechas son de color negro. El líquido que se encuentra en el plato también es del color del reflujo saturado.

TOMA 75.

Mismo diagrama de la toma anterior, pero desaparece el letrero de"SATURADO"; la flecha del reflujo es ahora del color del reflujo subenfriado(azul más claro).

Posteriormente, aparece el título "SUBENFRIADO", y la flecha de vapor disminuye su grosor en la misma proporción en que aumenta la del líquido.

TOMA 76.

Acercamiento del domo, en superimposición hay una línea punteada que representa el plato superior; con flechas se señalan los flujos de reflujo y de líquido, denotandose con las letras "L_o" y "L", respectivamente. También en superimposición está la ecuación: --- "$L = (1 - b)L_o$".

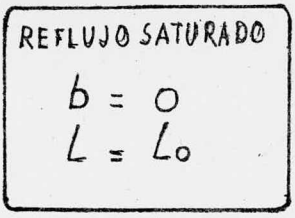
TOMA 77.

Toma en que se ven los condensadores, en primer plano, y el domo de la columna en segundo plano.

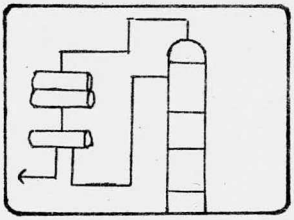
TOMAZ 78.

Toma en la que aparece como título "REFLUJO SUBENFRIADO", abajo del cual se indica "que "b" es mayor que cero" y "que "L" es mayor que "L_o"".

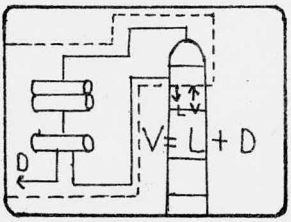
6	
7	
9	
10	
7	
7	



y "b" igual a cero, si entra como líquido saturado, que es lo que ocurre con mayor frecuencia.

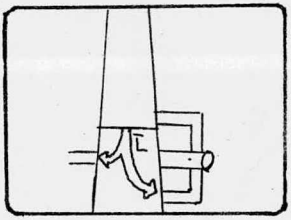


N.- Se realiza ahora, un balance de masa en el domo de la columna, haciendo un corte abajo del plato superior.

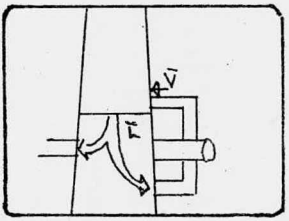


Si designamos el flujo molar de vapor, que entra a dicho plato, como "uvé", se obtiene la ecuación de balance.

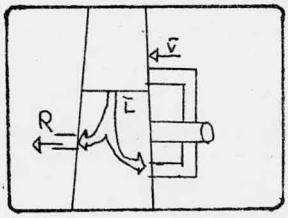
(PAUSA).



N.- Para efectuar el balance de masa en la base de la columna, se observa que el líquido que sale del fondo, con un flujo molar "L" tildada, se divide en dos corrientes; una, que va al rehervidor,



donde se vaporiza, y se recircula a la columna abajo del plato inferior, con un flujo "uvé" tildada.



La otra corriente, sale como líquido, constituyendo el producto de base, con un flujo molar "R".

TOMA 79.
Toma parecida a la anterior, pero ahora el título es "REFLUJO - SATURADO", abajo de el, se indica "b = 0" y "L = L_o".

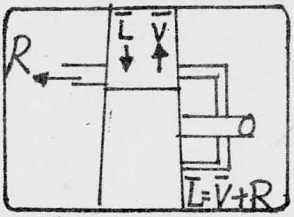
TOMA 80.
Igual a la toma 53.

TOMA 81.
Toma igual a la anterior, sólo que en superimposición hay una línea punteada que separa el domo de la columna, los condensadores y el tanque acumulador de condensado. También en superimposición están "V", "L" y "D", junto con flechas que indican estos flujos - en los lugares correspondientes. Así mismo, se ve la ecuación: - "V = L + D".

TOMA 82.
Toma de la base de la columna en la que se vea la salida de - líquido que va al rehervidor, la entrada de vapor a la columna y la salida del residuo. En superimposición se señala "L", junto con una flecha que indique su localización y sentido.

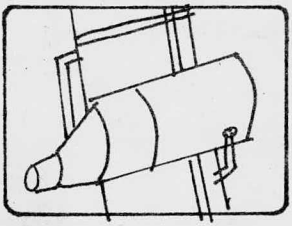
TOMA 83.
Misma que en la toma anterior, pero agregando la letra "$\bar{V}$"en - la entrada del vapor, con una flecha que indique el flujo.

TOMA 84.
Misma que la toma anterior, agregando "R" en la salida del residuo junto con una flecha que indique su flujo.

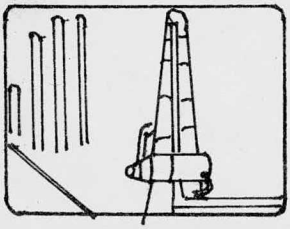


N.- La ecuación de balance se ob-- tiene haciendo un corte abajo del plato inferior.

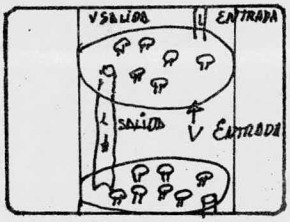
(PAUSA).



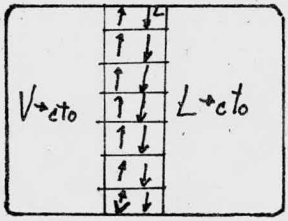
N.- Se ha de recordar, que el re-- hervidor, a través del vapor que produce, proporciona



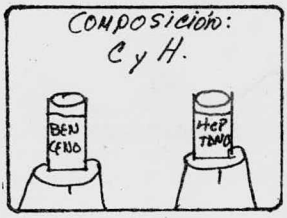
a la columna el calor - necesario para que se efectúe la vaporización del líquido en los platos.



N.- En cada plato existen cuatro - variables, constituídas por los flujos de entrada y salida de líquido y vapor.



Hay ciertos casos en los que se puede - considerar que estos flujos se mantienen constantes de plato a plato.



Esto se puede suponer para mezclas ideales, o - sea, mezclas de sustancias de composición química semejante, donde se puede considerar

TOMA 85.
Toma de la base de la columna, variando la angulación con respecto a la toma anterior. En superimposición están: "L", "V" y "R"; junto con flechas que indican la localización y dirección de sus flujos. También aparece: "L = V + R".

TOMA 86.
Toma de un rehervidor, en primer plano, y en segundo la columna a la que pertenece. El rehrvidor debe ser de la forma típica de calderín.

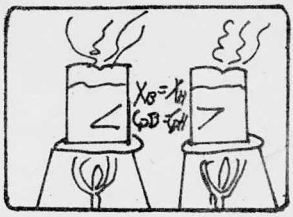
TOMA 87.
Toma con la misma angulación que la anterior, pero la columna debe verse en full shot.

TOMA 88.
Acercamiento a los dos platos de vidrio de la torre del Laboratorio de Ingeniería Química. En superimposición se señala: "V_{salida}" "$L_{entrada}$", "L_{salida}" y "$V_{entrada}$"; indicando la dirección de sus flujos con flechas.

TOMA 89.
Diagrama de una sección de la columna, esquematizando los platos. Con flechas se representan los flujos de líquido y vapor que entran y salen en cada plato. Se señala que L y V son constantes. El área interna de la columna es color "durazno", el área externa es café; las letras y flechas dentro de la columna son negras, y las letras fuera de la columna son blancas.

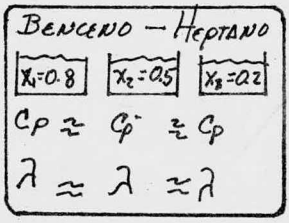
TOMA 90.
Toma de dos vasos de precipitados, colocados sobre tripiés; uno dice "BENCENO" y el otro "HEPTANO". Arriba de ellos, en superimposición aparece: "COMPOSICION: C y H".

1	7
2	5
3	8
4	8
5	7
6	13

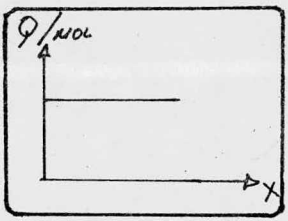


que sus calores latentes de vaporización y capacidades caloríficas molares son aproximadamente iguales,

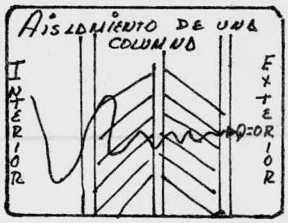
y además, el calor de mezcla es despreciable. Lo cual implica que estas propiedades



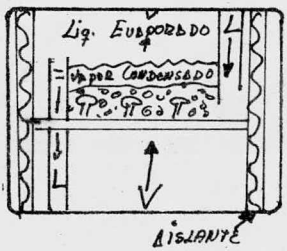
sean independientes de la composición para cualquier mezcla con dichas características; es decir, la cantidad de calor



que se necesita para evaporar una mol de líquido es aproximadamente igual para cualquier composición de mezcla.



En consecuencia, si las pérdidas de calor por radiación son despreciables, gracias a un aislamiento adecuado,



en cualquier plato de la columna, - cada mol de vapor que entra, al ponerse en contacto con el líquido y condensarse, provoca la evaporación de una mol; por lo tanto, el vapor que entra al plato es igual al que sale.

TOMA 91.

Toma parecida a la anterior, pero ahora abajo de cada vaso hay un mechero encendido; el contenido de los vasos está en ebullición. En superimposición aparece un letrero que indica que lambda del benceno es más o menos igual a la lambda del heptano, y otro que indica que la capacidad calorífica del benceno es más o menos igual que la capacidad calorífica del heptano.

TOMA 92.

Toma de un vaso de precipitados grande, sobre el cual se vierte el contenido de los dos vasos antes presentados. En superimposición se señala, sobre la superficie del líquido que el calor de mezcla es casi nulo; y en el seno del líquido aparece letreros para identificar la lambda y el Cp de la mezcla.

TOMA 93.

Toma de tres vasos de precipitados que contienen diferentes mezclas benceno-heptano, señalándose la composición diferente en cada vaso. En superimposición, y como título, aparece "BENCENO-HEPTANO"; abajo de cada vaso se observa que los Cp's y las lambdas de cada vaso son aproximadamente iguales.

TOMA 94.

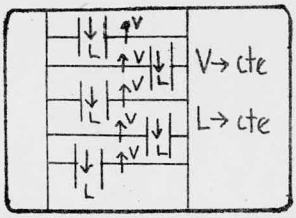
Full shot de una gráfica de Q/mol vs. composición del líquido. Las letras y las líneas son negras, el fondo es color "durazno".

TOMA 95.

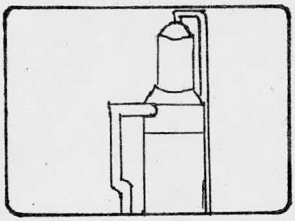
Esquema que representa el aislamiento de una columna; una flecha que representa el calor que atraviesa el aislamiento, va disminuyendo la intensidad de sus color (rojo), desde el interior hasta el exterior; en su extremo se indica que dicho calor es aproximadamente igual a cero. Las paredes de la columna son grises y las capas de aislante son amarillas. Hay letreros que señalan el exterior y el interior de la columna. El fondo es de color "durazno".

TOMA 96.

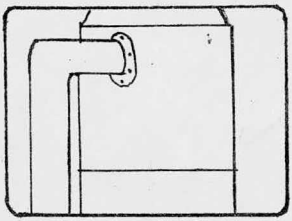
Acercamiento a un plato de vidrio de la torre del Laboratorio de Ingeniería Química, de tal forma que se aprecie completamente de perfil. En superimposición se señalan los flujos que entran y salen del plato; además hay un letrero que dice "líquido evaporado más o menos igual que el vapor condensado", localizado en la superficie del líquido en ebullición. Se debe ver el aislante en corte transversal.



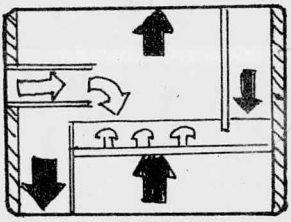
N.- Resulta entonces, que los flujos molares internos de vapor y de líquido se mantienen constantes de plato a plato. Esta es la principal suposición en que se fundamenta el modelo que se presenta.



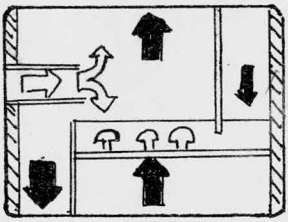
Sin embargo, en la zona del plato de alimentación,



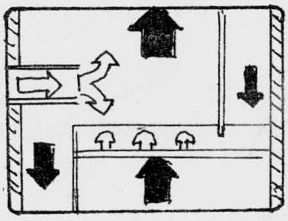
la corriente alimentada provoca que los flujos molares internos



sean diferentes arriba y abajo de este plato,



ya que, de acuerdo a las condiciones térmicas



a las que entra, los flujos molares de

TOMA 97.
Esquema de una parte de la sección rectificadora de una columna de destilación en la que se muestran los platos con sus bajantes, señalando en cada uno los flujos de líquido y de vapor. Se señala que dicho flujos son constantes. El interior de la columna es color durazno y el exterior es café.

TOMA 98.
Medium shot de una de las torres despuntadors, en la que se vea claramente la entrada del tubo de alimentación.

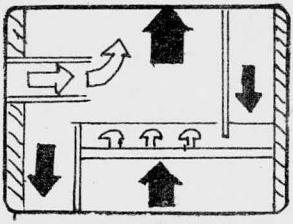
TOMA 99.
Acercamiento a la entrada del tubo de alimentación de la misma columna de la toma anterior.

TOMA 100.
Esquema del plato de alimentación, en el cual el grosor de las flechas se relaciona directamente con la magnitud de los flujos; -- así: la flecha del líquido que sale del plato tiene un grosor igual a la suma de las flechas de alimentación y del líquido que entra al plato; las flechas del vapor se conservan iguales. Todas las fle-- chas son negras excepto la de la alimentación, que es azul (tono intermedio), mismo color que tiene el líquido del plato.

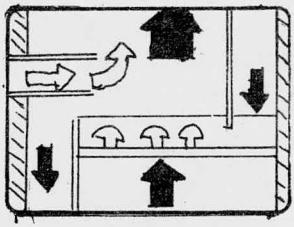
TOMA 101.
Mismo esquema que la toma anterior, sólo que la flecha de alimentación se divide en dos, una parte que va hacia arriba y otra que va hacia abajo.

TOMA 102.
Mismo esquema que 101. El grosor de la flecha del líquido que sale del plato es igual a la suma de la fracción líquida de la alimentación y el líquido que entra al plato. El vapor arriba de la - alimentación es la suma de la fracción de la alimentación que entra como vapor y del vapor que sale del plato.

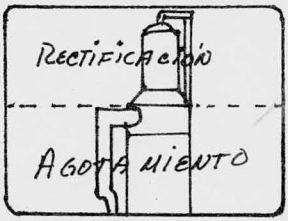
q	
3	2
4	3
5	8
06	10
7	8
08	6



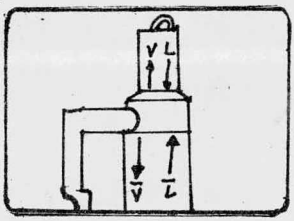
líquido y - vapor que salen de este plato se



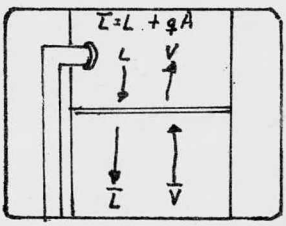
modifi- can con respecto a los que entran.



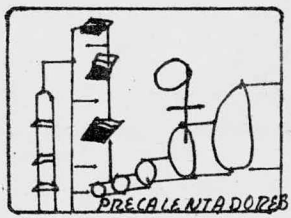
N.- Esto causa que la columna quede dividida en dos secciones: la de -- rectificación, arriba del plato de alimentación y la de agotamiento, abajo;



- entonces, los flujos molares internos son constantes en cada una de las secciones; así "L" y "uvé" son los flujos molares de líquido y vapor en la sección rectificadora, y "L̄" y "uvé" tildadas, los de la sección agotadora.



N.- Ahora bien, los flujos de am-- bas secciones se relacionan con las condiciones térmicas de la alimentación, - por medio de esta ecuación.



en la cual, los valores que puede tomar "q" depen-- den de las condiciones térmicas de la - alimentación;

TOMA 103.
Mismo esquema que en 102. Todas las flechas se mantienen iguales excepto la de la alimentación, que ahora se dirige hacia arriba.

TOMA 104.
Mismo esquema que 103. La flecha del líquido que sale del plato es igual a la del líquido de entrada. Al vapor que entra al plato se le suma toda la alimentación, para dar el vapor que sale.

TOMA 105.
Toma de la columna despuntadora, en la que se aprecia la diferencia entre las secciones rectificadora y agotadora. En superimposición hay una línea punteada que indica la división entre estas dos secciones, cada una de las cuales lleva su nombre.

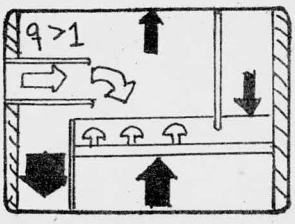
TOMA 106.
Igual que la toma 105. Pero ahora, en superimposición se señalan los flujos internos de las dos secciones.

107

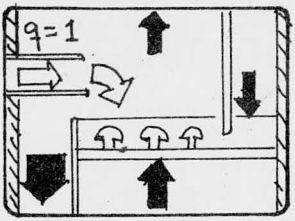
TOMA ~~98.~~
Acercamiento a la zona del plato de alimentación de la columna de referencia. En superimposición se indica el plato de alimentación con una línea punteada y los flujos que a él llega y de él salen; además se señala el flujo de alimentación. Aparece la ecuación: "L = L + qA".

TOMA 108.
Full shot de la torre atmosférica, en primer plano se ven los precalentadores. En superimposición se indica con un letrero "PRECALENTADORES", además se coloca una letra "q" sobre el letrero.

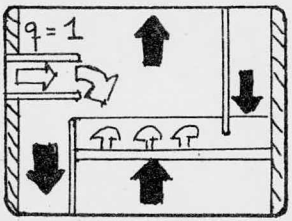
9	5
	2
	4
	2
3	4
	2



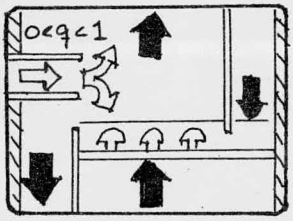
entonces, "q" es mayor que uno si la alimentación es líquido - subenfriado;



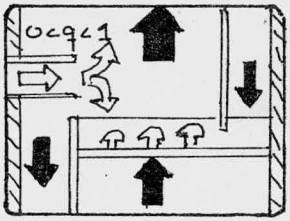
igual a uno,



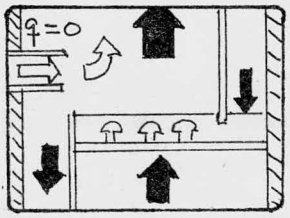
si es líquido saturado;



mayor que cero y menor -- que uno,



si es mezcla líquido-vapor;



igual a cero,

TOMA 109.

Mismo esquema que el de la toma 100. Se indica que la alimentación es líquido subenfriado por el color azul claro de la flecha de alimentación; junto a esa flecha se señala que "q" es mayor que uno. El grosor de "L" es mayor que la suma de "A" y "L". El grosor de "V" es menor que el de "V" en la misma proporción en que -- "L" es mayor que la suma de "A" y "L".

TOMA 110.

Igual que 109, sólo que el color de la flecha de "A" es azul - de tono intermedio, y el letrero de "q mayor que uno" ha desaparecido, siendo sustituido por el de "q = 1".

TOMA 111.

Igual que toma 100, agregando el letrero de "q = 1".

TOMA 112.

Igual que toma 101, añadiendo un letrero para indicar que "q" es mayor que cero pero menor a uno.

TOMA 113.

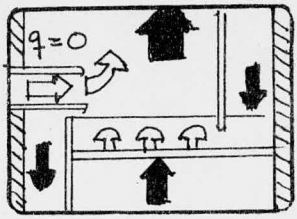
Igual que 102, agregando el mismo letrero que en 112.

TOMA 114.

Igual que 103, añadiendo "q = 0".

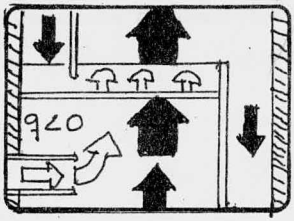
Toma

115 4



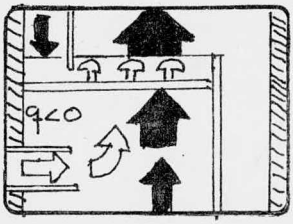
si entra como vapor saturado;

116 2



y menor que cero,

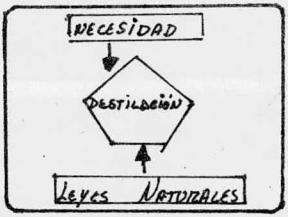
117 5



si es vapor sobrecalentado.

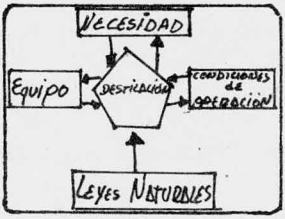
(PAUSA).

118 7



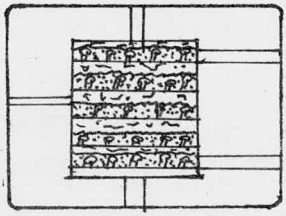
N.- Las ecuaciones que hasta ahora se han presentado, son balances que representan las leyes de conservación de materia y energía.

119 7



A continuación, se va a analizar, en el modelo, como afectan el diseño del equipo y sus condiciones de operación.

120 10



N.- Así pues, las composiciones de destilado y residuo dependen de la cantidad de contacto entre la fase líquida y la fase vapor, la cual es función de dos factores:

TOMA 115.
Igual que 104 añadiendo "q = 0".

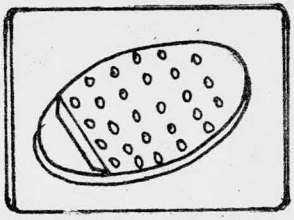
TOMA 116.
Esquema del plato que se encuentra arriba de la entrada de la alimentación. Los grosores de las flechas son iguales a los de la toma 115. La flecha de la alimentación es azul oscuro, junto a ella se indica que "q" es menor que cero.

TOMA 117.
Esquema igual al de la toma anterior. El vapor que entra al plato es la suma de V y A. V aumenta con respecto al vapor que entra al plato en la misma medida en que L es mayor que L.

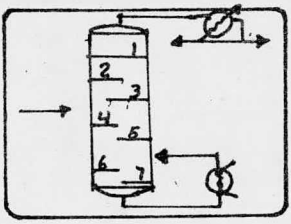
TOMA 118.
Igual a la toma 13.

TOMA 119.
Igual a la toma 18.

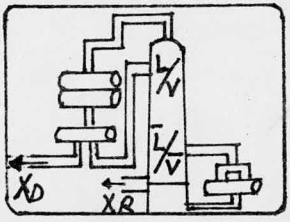
TOMA 120.
Fotografía de la animación del interior de una columna en la cual se ve, por medio de un cambio de coloración, como la alimentación se separa en sus componentes.



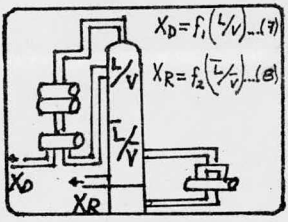
primero, de aspectos del diseño de la columna, tales como tipo



y número de platos, y localización del plato de alimentación;

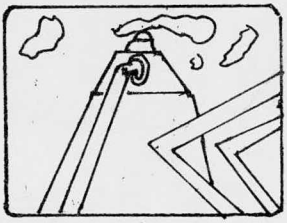


y segundo, de la relación entre los flujos de líquido y vapor en cada sección.

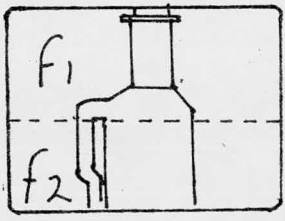


N.- Son dos las ecuaciones que expresan lo anterior.

N.- "f_1" y "f_2" son funciones que dependen de los aspectos de diseño mencionados;



los cuales se mantienen constantes, puesto que se trata de la operación de una columna ya diseñada.



N.- Entonces, es importante hacer notar, que al operar

OMA 121.
Full shot de un plato de cachuchas de una columna de destila-- ión.

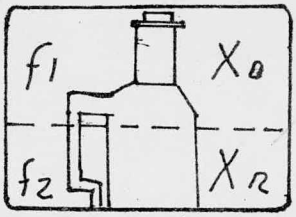
OMA 122.
Esquema de una columna de destilación en el que se señalan los latos, numerándolos. El fondo es de color "durazno"; las líneas y os números son negros.

OMA 123.
Igual que toma 53, pero en superimposición se señalan "X_D", - X_R", "L/V" y "L/V".

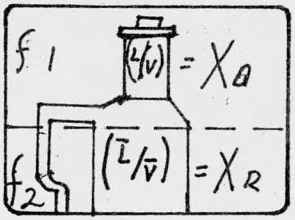
OMA 124.
Toma igual a la 123 añadiendo en superimposición: $X_D = f_1(L/V)$ $X_R = f_2(L/V)$.

OMA 125.
Toma en contrapicada de una columna, con composición llamativa.

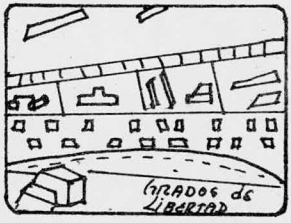
OMA 126.
Misma fotografía que la de la toma 105, sólo que en lugar de os letreros se observan las letras f_1 y f_2 para las secciones ago adora y rectificadora, respectivamente.



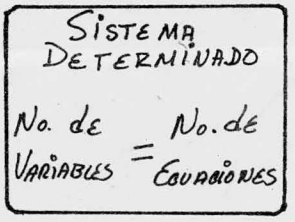
una columna de destilación, la composición de los productos depende



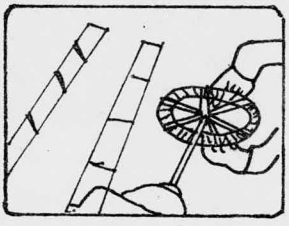
exclusivamente de la relación de flujos internos.



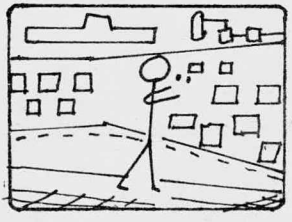
(PAUSA).



N.- Es importante obtener los grados de libertad, o sea, las variables que se tienen que fijar para determinar el sistema de ecuaciones



que representa la operación de la columna,



para establecer una clasificación que permita

TOMA 127.
Igual a la toma 126, agregando, en superimposición, "X_D" y "X_R", n la zona rectificadora y agotadora, respectivamente.

OMA 128.
Igual que la toma 127 agregando "(L/V)" y "$(\overline{L}/\overline{V})$", para comple ar así las ecuaciones de la toma 124.

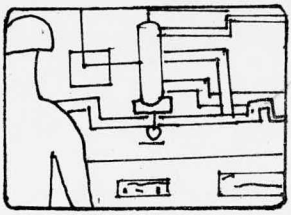
OMA 129.
Plano general del cuarto de control de la refinería de Tula. n superimposición, hay un letrero que dice: "GRADOS DE LIBERTAD".

OMA 130.
Toma que lleva como título "SISTEMA DETERMINADO", abajo de él e lee: "N° de variables = N° de ecuaciones".

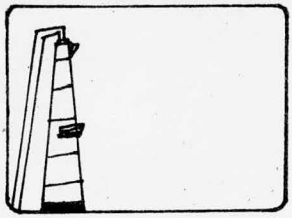
OMA 131.
Primer plano de un obrero accionando una válvula, en segundo - lano se ve una columna de destilación en full shot, en contrapica- a.

OMA 132.
Plano general del teblero de control, en un encuadre más cerra o que en la toma 129. Hay un operador ante él.

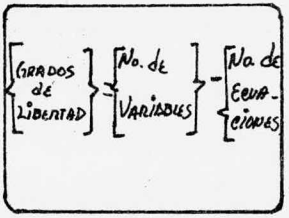
oma	
133	3
134	5
135	4
136	3
137	3
138	3



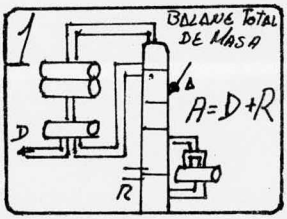
dis-- guir aquellas variables que pueden ser controladas.



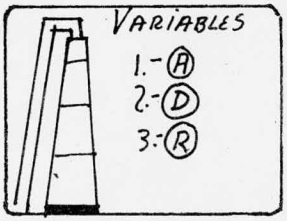
N.- Se procede entonces, a reali-- zar un recuento de las ecuaciones y variables involucradas,



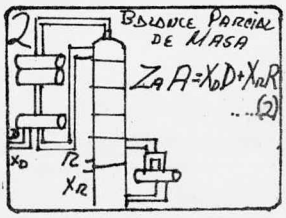
para encontrar los grados de libertad, al efectuar la dife- rencia entre ambas.



(PAUSA).



(PAUSA).



(PAUSA).

TOMA 133.
Toma sobre el hombro del operador de tal modo que se vea que - cciona alguno de los controles del tablero.

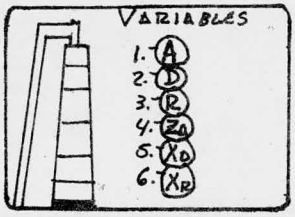
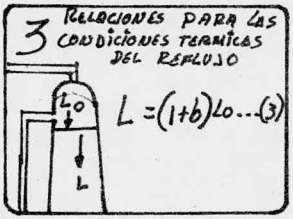
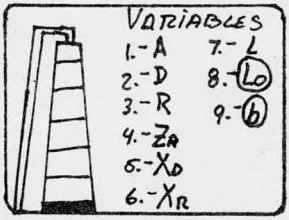
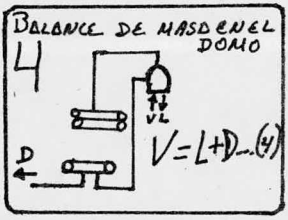
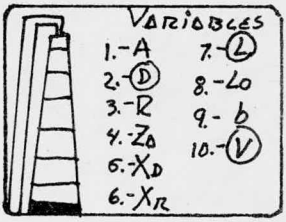
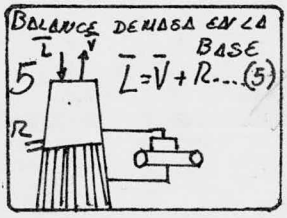
TOMA 134.
Plano americano de una columna de destilación más pequeña, a la ue llamaremos columna de referencia 2, en contrapicada y a izquier a de cuadro.

OMA 135.
Ecuación para la obtención de los grados de libertad; los tér- inos de la ecuación se denotan con su nombre completo. Las letras signos son de color negro; el fondo "durazno".

OMA 136.
Igual a la toma 60, agregando en superimposición: "1.- BALAN- E TOTAL DE MASA".

OMA 137.
Igual que la toma 134, pero en superimposición aparece debajo l letrero "VARIABLES", "1.- A", "2.-D" y "3.-R".

MA 138.
Misma que la toma 67, agregando en superimposición: "2.- BA-- NCE PARCIAL DE MASA".

	3		(PAUSA).
0	3		(PAUSA).
1	3		(PAUSA).
2	3		(PAUSA).
3	3		(PAUSA).
4	3		(PAUSA).

TOMA 139.
Toma igual que la 137, agregando: "4.- Z_A", "5.- X_D" y "6.- X_R".

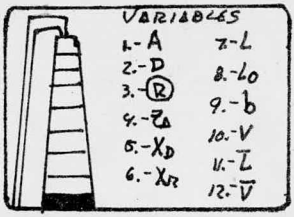
TOMA 140.
Igual que la toma 76, pero se añade en superimposición: "3.- RELACION PARA LAS CONDICIONES TERMICAS DEL REFLUJO".

TOMA 141.
Toma igual a la 139, pero se añade: "7.- L", "8.- L_o" y "9.- ".

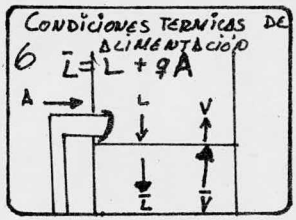
OMA 142.
Misma que la toma 81, pero en superimposición se añade: "4.- ALANCE DE MASA EN EL DOMO".

OMA 143.
Igual que la toma 141, agregando: "10.- V".

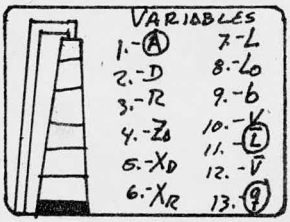
OMA 144.
Igual que la toma 85, pero se agrega en superimposición: "5.- ALANCE DE MASA EN LA BASE".



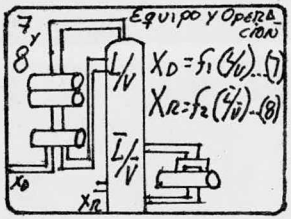
3 (PAUSA).



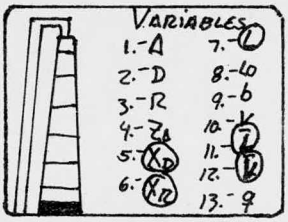
3 (PAUSA).



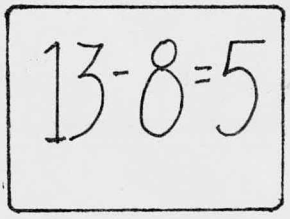
3 (PAUSA).



4 N.- "f_1" y "f_2" no intervienen en el recuento, puesto que, en una columna diseñada se mantienen constantes.



8 N.- Como se observa, hay trece variables en ocho ecuaciones; asf, resultan cinco los grados de libertad



3

TOMA 145.
Toma igual a la 143 agregando: "11.- $\bar{L}$", "12.- $\bar{V}$".

TOMA 146.
Toma igual a la 107 sólo que en superimposición se añade: "6.- CONDICIONES TERMICAS DE LA ALIMENTACION".

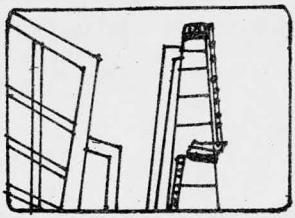
TOMA 147.
Misma que la toma 145, pero se añade: "13.- q".

OMA 148.
Toma igual a la 124, pero se agrega en superimposición: "7 y 8.- QUIPO Y OPERACION".

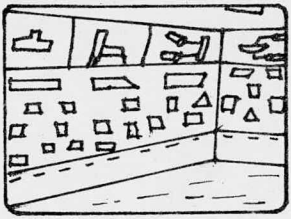
OMA 149.
Toma idéntica a la 147.

OMA 150.
Toma en que aparece la siguiente ecuación: "13 - 8 = 5".

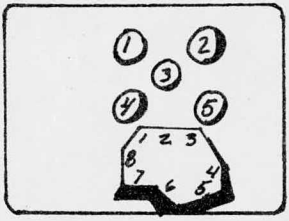
	3
	3
	3
	3
	3
	3



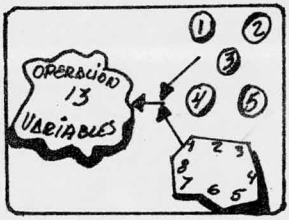
para la operación de una columna de destilación,



según el modelo desarrollado.

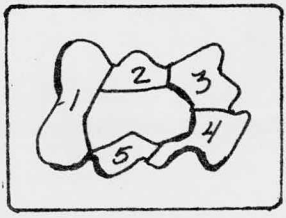


N.- De aquí surge una clasificación



de las variables de operación:

cinco - que se pueden fijar y ocho dependientes;



esto es, al fijar cinco variables,

TOMA 151.
Medium shot de la columna de referencia uno, en contrapicada, ograndose ver la estructura que sostiene a los condensadores y tan ue acumulador de condensado a la izquierda.

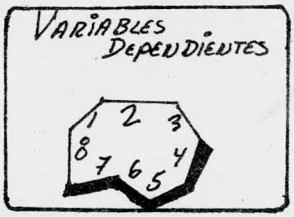
OMA 152.
Plano general del cuarto de control, diferente a los ya presen ados.

OMA 153.
Dibujo en el que se presentan en la parte superior cinco cfrcu os colocados en forma de "cinco de dado" y numerados del uno al cin o, que representan los grados de libertad. A bajo de estos cfrcu- os hay un octaedro irregular, cuyos lados se encuentran numerados; sta figura representa las variables dependientes. El área de las iguras es de color amarillo, el fondo es café.

OMA 154.
A las figuras de la toma anterior se agrega una figura irregu- ar y amorfa que tiene un letrero en su interior que dice "OPERA-- IONA, 13 VARIABLES", y que representa el sistema no determinado. sta figura también es de color amarillo.

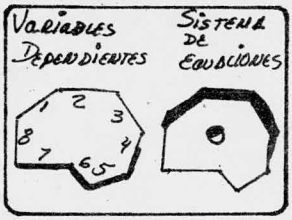
OMA 155.
Toma en la que aparece ocupando todo el cuadro la figura que - epresenta el sitema no determinado.

OMA 156.
Ahora la figura del sistema no determinado ha modificado su in erior, apareciendo dividido en seis porciones, cino periféricas -- ue están numeradas del uno al cino y representan los grados de li- ertad; y una porción central que es el octaedro irregular de las - ariables dependientes.



3

res
tan ocho incógnitas

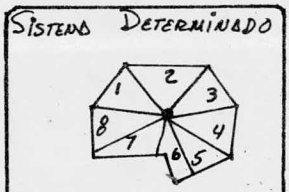


3

en un sistema de o-
cho ecuaciones

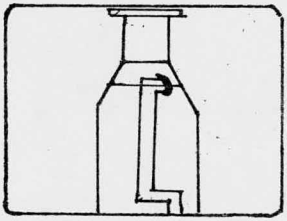
3

linealmente independien-
tes, para el cual



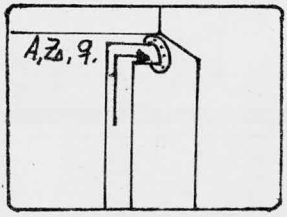
6

hay una solución úni-
ca, es decir, el comportamiento de la -
columna queda determinado.



4

N.- Es frecuente que las condicio-
nes de la alimentación,



4

o sea, flujo mo
lar, composición y condiciones térmicas,

OMA 157.
Toma en que aparece el octaedro de las variables dependientes, que lleva como título "VARIABLES DEPENDIENTES". El octaedro está ibujado en relieve.

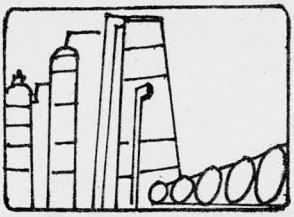
OMA 158.
A la figura anterior se le agrega la figura de un octaedro que está dibujado de manera que parece una cavidad, que tiene un punto ealzado en el centro. Arriba de esta figura dice "SISTEMA DE ECUA IONES". Se conserva el título de variables dependientes para la - rimera figura. El segundo octaedro es de color rojo.

OMA 159.
Toma que muestra que el octaedro en relieve se ha desplazado - ara embonar con el octaedro hueco. La zona en que los octaedros - ncíman es de color anaranjado.

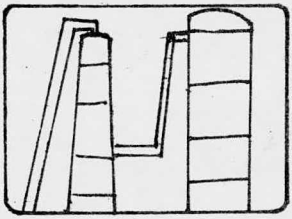
OMA 160.
Octaedro dibujado como plano anaranjado, de cuyo centro parten íneas a cada uno de los vértices, dividiéndolo en ocho secciones - ue se numeran. La imagen lleva como título "SISTEMA DETERMINADO".

OMA 161.
Contrapicada de la columna despuntadora, dando importancia al ubo de alimentación.

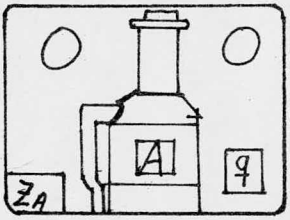
OMA 162.
Acercamiento al tubo de alimentación de la columna despuntadora. superimposición, se señalan "A", "Z_A" y "q", junto con una flecha e indica la dirección del flujo.



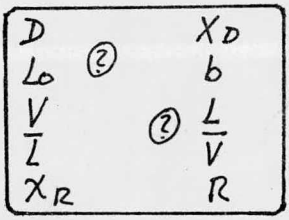
estén fijadas por circunstancias externas a la columna,



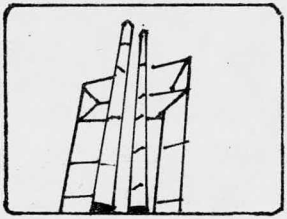
debido a que, en general, dependen de procesos anteriores a la destilación.



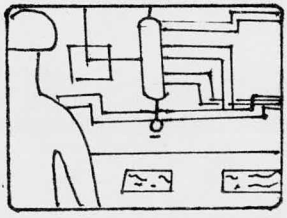
De esta forma, las condiciones de la alimentación consumen -- tres de los cinco grados de libertad,



quedando dos variables susceptibles de ser controladas, ya que su valor puede ser fijado según se requiera.



N.- Normalmente lo que interesa controlar



en la columna, es la calidad

FACULTAD DE QUIMICA - D.E.P. - U.N.A.M. - BIBLIOTECA

TOMA 163.
Toma igual a la 51.

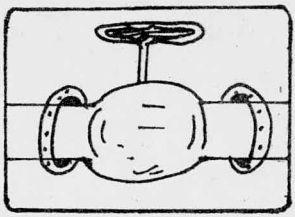
TOMA 164.
Medium shot del reactor de la planta de desintegración catalíti
a de la refinería de Tula, tal que en segundo plano aparezca la co-
umna de destilación que se encuentra junto a él.

TOMA 165.
Igual a la toma 105 pero se agrega en superimposición "A", "Z_A"
"q", encerradas cada una en un cuadro; además dos círculos vacios.
odas las figuras están distribuidas como un "cinco de dado". Los
os círculos indican los dos grados de libertad restantes que pueden
er aprovechados para el control.

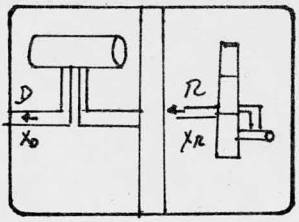
OMA 166.
Toma en que aparecen las variables dependientes dispuestas en
os columnas a los extremos de la imagen. Al centro están los dos
írculos con una interrogación en su interior.

OMA 167.
Full shot de la columna de referencia, con composición llamati
a.

OMA 168.
Toma igual que la 133.



y cantidad de los productos, o sea,



las composiciones y los flujos de destilado y residuo.

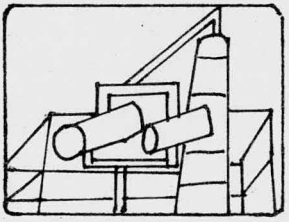
GRADOS DE LIBERTAD	
FIJOS	CONTROL
A	??
Z_A	
q	

Sin embargo, en este caso, sólo es posible controlar dos variables en forma simultánea;

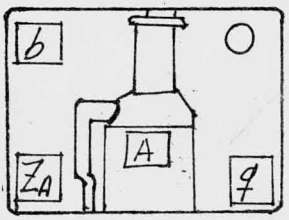
GRADOS DE LIBERTAD		
FIJOS	CONTROL	
A	X_D ó X_R	1
Z_A	D , R	2
q	X_D , D	3
	X_R , R	4

presentándose, por tanto, cuatro diferentes situaciones de control.

(PAUSA).



N.- A menudo, las condiciones térmicas del reflujo también se encuentran fijadas por circunsatancias externas a la columna;



que junto con las condiciones de la alimentación consumen cuatro de los cinco grados de libertad; en consecuencia, sólo una variable puede ser controlada.

MA 169.
Acercamiento a una válvula de control.

MA 170.
Toma igual que la toma 66.

MA 171.
Tabla clasificar los grados de libertad, cuando las variables
jadas por condiciones externas son las de la alimentación, dejan-
, la posibilidad de controlar dos variables.
El fondo de la imagen es color "durazno" y las líneas y las le
as son negras.

MA 172.
Misma tabla que en la toma anterior, pero aparecen cuatro posi
lidades diferentes para controlar la cantidad o calidad de los --
oductos.

MA 173.
Toma de los condensadores de la columna de referencia, en pri-
r plano; en segundo se debe ver el domo de la columna, en contra-
cada.

MA 174.
Toma parecida a la 165, pero el círculo superior izquierdo ha
do reemplazado por un cuadro que contiene a "b".

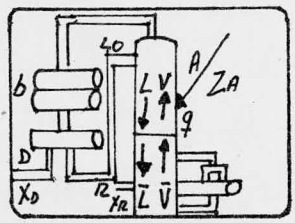
GRADOS DE LIBERTAD	
FIJOS	CONTROL
A, Z_A	?
q, b	

Así, existen cuatro posibilidades de controlar, ya sea

GRADOS DE LIBERTAD		
FIJOS	CONTROL	
A, Z_A	X_D	5
	X_R	6
q, b	D	7
	R	8

la calidad o la cantidad de uno de los productos.

(PAUSA).



(PAUSA).

N.- En la siguiente sesión, sólo se van a estudiar

GRADOS DE LIBERTAD		
FIJOS	CONTROL	
A, Z_A	X_D	5
	X_R	6
q, b		

los casos en que interesa controlar cualquiera de las composiciones de los productos,

		5
VARIABLES	FIJAS	A, Z_A q b
	CONTROL	X_D
	DEPENDIENTES	X_R, D, R, L V, $\bar{L}$, $\bar{V}$, L_0

para observar el comportamiento de las variables de operación.

(PAUSA).

		6
VARIABLES	FIJAS	A, Z_A q b
	CONTROL	X_R
	DEPENDIENTES	X_D, D, R, L V, $\bar{L}$, $\bar{V}$, L_0

(PAUSA).

MA 175.
Toma parecida a la 171, sólo que ahora las variables fijadas - r condiciones externas son cuatro, y por tanto sólo hay una varia e que puede ser controlada.

MA 176.
Tabla parecida a la de la toma anterior, mostrando las cuatro sibilidades de controlar la cantidad o calidad de un producto.

MA 177.
Misma toma que 53; en superimposición se señalan las trece va- ables del modelo, en el lugar que les corresponde.

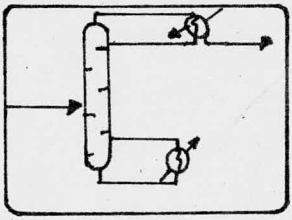
MA 178.
Misma tabla que la de la toma 176 sólo que no aparecen las po- ibilidades 7 y 8.

MA 179.
Tabla que muestra la clasificación de todas las variables en caso en que se controla la composición del destilado, siendo cua o las variables fijadas por condiciones externas.

MA 180.
Misma tabla que la toma anterior sólo que ahora es para el ca- en que se controla la composición del residuo.

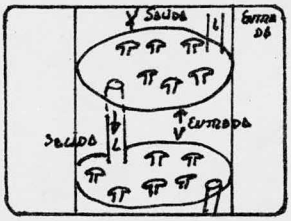
4

N.- Por último, se va a hacer



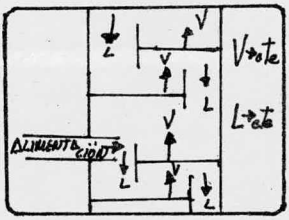
4

la recopilación de las suposiciones del modelo desarrollado.



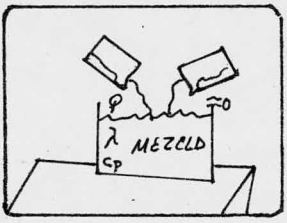
4

N.- Primero, los flujos molares internos de líquido y vapor no



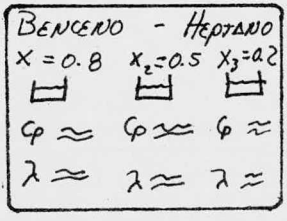
5

varían de plato a plato, en cada una de las secciones de la columna;



4

consecuencia de suponer que las entalpias de vaporización y las



4

cpacidades caloríficas son constantes para la mezcla considerada.

)MA 181.
Plano general de la refinería de Tula.

)MA 182.
Toma igual a la mitad derecha de la toma 46.

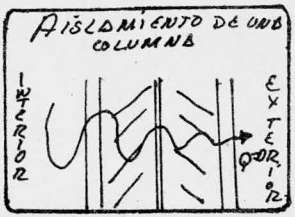
MA 183.
Toma igual que la toma 88.

MA 184.
Esquema igual al de la toma 97, agregando la entrada de la alimentación

MA 185.
Toma igual a la 92.

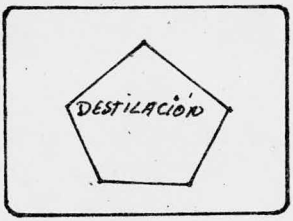
MA 186.
Toma igual a la 93.

4



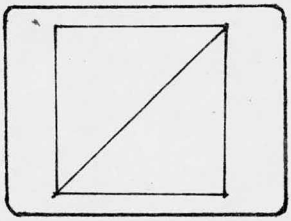
N.- Y segundo, las pérdidas de calor a través de la columna son despreciables.

4



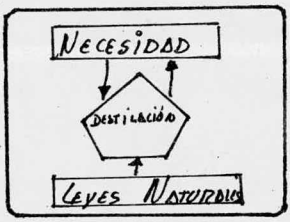
N.- Si no se ha reconocido a que modelo pertenecen estas suposiciones,

4



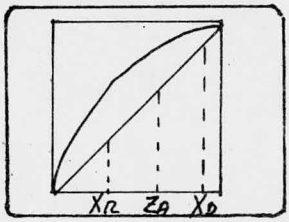
es conveniente hacer notar que se trata del McCabe-Thiele.

3



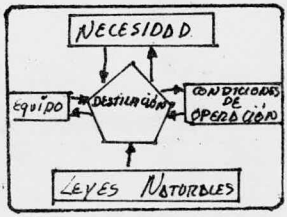
Puesto que es el modelo que se va a usar

4



para presentar las situaciones que ejemplifiquen

4



el comportamiento de las variables de operación,

)MA 187.
Mismo diagrama que el de la toma 95.

)MA 188.
Toma ifual que la toma 39.

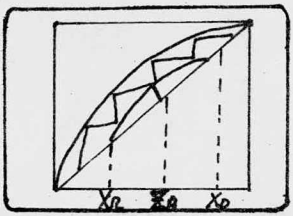
)MA 189.
Toma en la que sólo aparece la línea de 45° del diagrama McCabe
iele. Todo el fondo es azul (igual que el pentágono de destila--
ón) y las líneas son negras.

)MA 190.
Misma toma que 13.

MA 191.
A la toma 189 se le añade la línea de equilibrio, de color ver
(igual que el de LEYES NATURALES) y tres líneas punteadas que --
en la línea de 45° con la composición de la alimentación y los --
oductos en las abscisas, de color negro. También aparecen "X_D",
R" y "Z_A", de color rojo (igual al de NECESIDAD).

MA 192.
Toma igual a la 18.

8



en la siguiente sesión.

30

CONCLUSIÓN

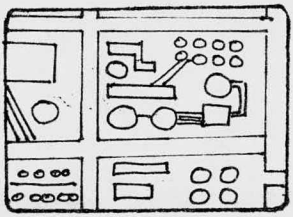
MA 193.

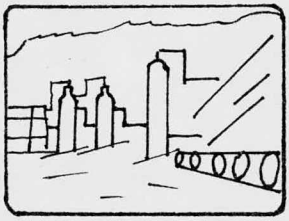
Al diagrama de la toma 191 se añaden: la línea que representa s platos, de color amarillo (igual al de EQUIPO), y las líneas de eración y alimentación de color violeta (igual al de CONDICIONES OPERACION)..

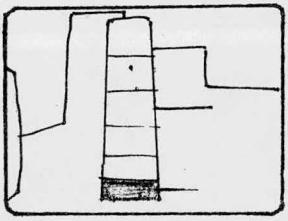
NCLUSION.

Serie de tomas que van desde un full shot de una columna de des lación hasta una panorámica de la refinería de Tula.

GUION TECNICO
DE LA
SEGUNDA PARTE.

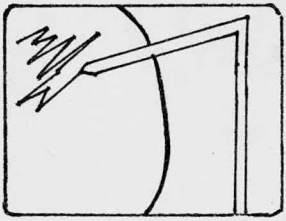






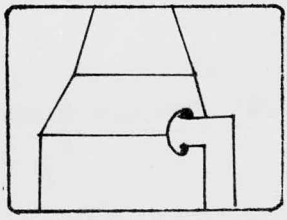
15

N.- En la primera parte se desarrolló el modelo McCabe-Thiele para la operación de una torre de destilación, con el fin de diferenciar las variables que han de ser controladas de las variables dependientes y las fijadas por condiciones externas a la columna.



6

N.- En esta segunda parte, se pretende que, después de estudiar un caso de cambios



8

en las condiciones de alimentación,

OMA 1.-
Toma aérea de la refinería de Tula (de una película del I.M.P.).
a dirección del movimiento es de izquierda a derecha.

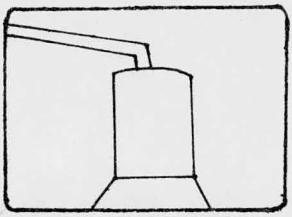
OMA 2.-
Travelling de izquierda a derecha, desde la planta reformadora
e naftas

hasta la planta combinada, deteniéndose enfrente de esta
ltima.

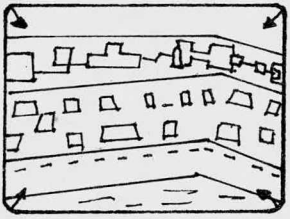
Zoom in lento hasta Full shot de una de las columnas des
untadoras.

OMA 3.-
Toma de un graficador de temperatura, en el que se aprecia el
ovimiento de la aguja.

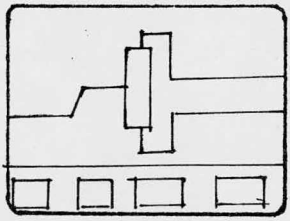
OMA 4.-
Acercamiento a la zona de alimentación de la columna despunta-
ora, con angulación de 3/4. Se hace una corrección hacia la dere-
ha de tal forma que se abarque a lo ancho el cuerpo de la columna;



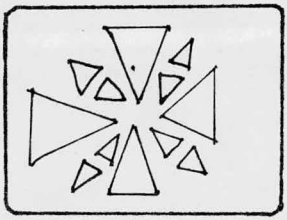
donde se analiza el comporta--- miento de las variables; ustedes tengan los elementos



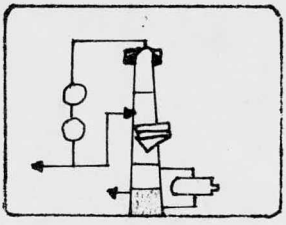
6 de criterio para deducir el comportamiento en otros casos.



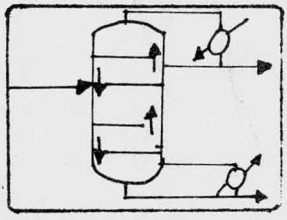
Con este objeto,



10 se interrumpirá la trans-- misión, dando lugar a que se efectúe -- una discusión en grupo, con ayuda del - coordinador, a fin de llegar a conclusiones al respecto.



2 (PAUSA, la narración comienza junto con la dislovencia).



6 N.- Una vez desarrollado el modelo que se va a usar, el McCabe-Thiele, es importante señalar

espués de lo cual, se hace un tilt up hasta que la salida de vapor
n el domo quede encuadrada (corte en movimiento).

OMA 5.
Zoom in (a la misma velocidad que el tilt up) del tablero de -
ontrol, tomado de frente y abarcando los diagramas de varios equi-
os,

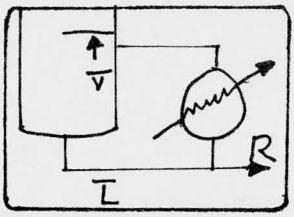
hasta que se vean solamente el diagrama de la torre atmosféri
a y sus instrumentos de control. El movimiento se detiene antes -
e cortar.

OMA 6.
Imagen abstracta, con algún efecto de movimiento para evitar -
a monotonía.

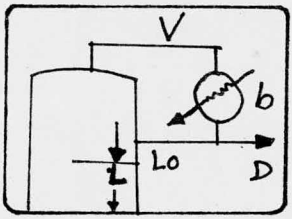
OMA 7.
Full shot de la columna de referencia. Disolvencia con la si-
uiente toma.

OMA 8.
Full shot del diagrama de una columna, en el cual aparecen los
os platos esquematizados y las flechas que indican los flujos in--
ernos; no hay literales.

8

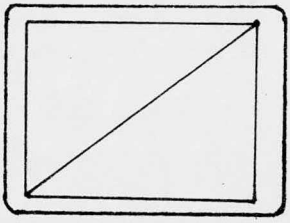


que si bien dicho modelo es poco exacto, permite

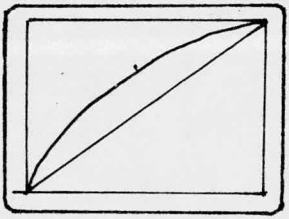


ilustrar con claridad el comportamiento de las - variables de operación,

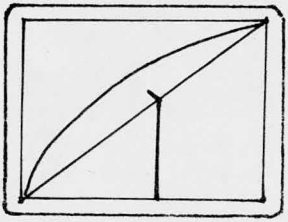
9



debido a qué,

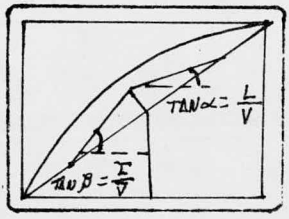


es fácil relacionar en el diagrama,



---

cualquier cambio



en los flujos internos

OMA 9.
Recorrido por el diagrama de la toma 8, empezando con un acer-
amiento del rehervidor,

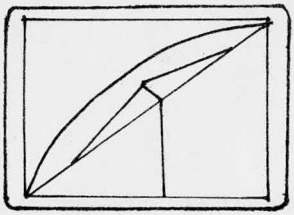
y terminando en un encuadre equivalente
el condensador. A diferencia del esquema de la toma 8, en este --
aso aparecen las trece variables en el lugar que les corresponde.

OMA 10.
Se va construyendo gradualmente el diagrama McCabe-Thiele (sin
atos); así: primero aparece la línea de 45°,

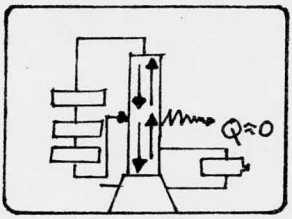
luego la línea de
quilibrio,

después la de la alimentación,

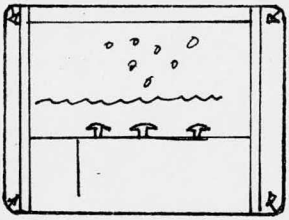
y por último, las de
peración. Al mismo tiempo que aparecen las líneas de operación --
os letreros indican: tan = L/V y tan = L/V. Posteriormente,



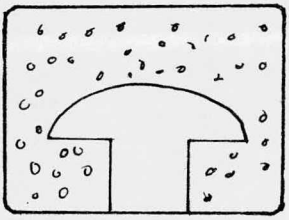
con variaciones en la posición de las - líneas de operación.



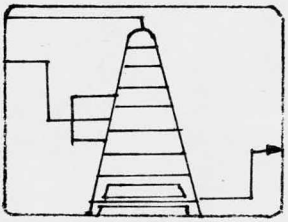
N.- Independientemente de las suposiciones que hace el modelo, es necesario especificar otra, que consiste en - que,



la columna es capaz de manejar los cambios en los flujos internos sin afectar la eficiencia de los platos.

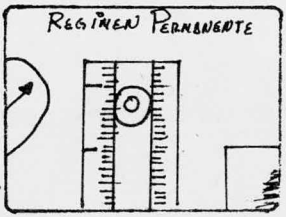


Es decir, sin modificar la capacidad de separación de los mismos.



(PAUSA).

N.- Se ha de aclarar así mismo,



que los efectos que se van a describir,

saparecen los letreros, y las líneas de operación se desplazan a
ra posición.

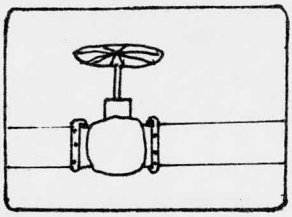
OMA 11.
Full shot de la columna de referencia (igual que en la toma 7).
superponen flechas que abarquen cada una de las secciones, indi-
ndo los flujos internos, para señalar que éstos son constantes.
demás, se ve una flecha roja que sale de la columna indicando en
extremo: $Q \approx 0$.

OMA 12.
Zoom in desde un full shot de un plato de vidrio de la torre -
l Laboratorio de Ingeniería Química,

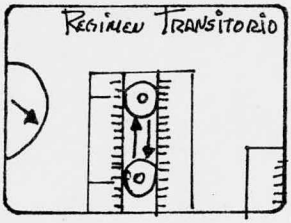
hasta un acercamiento de
a de las cachuchas del plato, de la cual salen burbujas.

OMA 13.
Toma del tablero de control de la columna del Laboratorio en -
que se vea principalmente un rotámentro, cuya lectura permanece
stable, y un letrero que diga: "REGIMEN PERMANENTE".

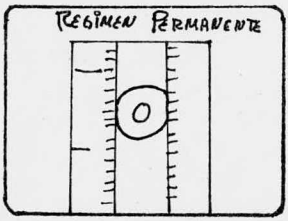
OMA 14.
Full shot en contrapicada de la columna del Laboratorio.



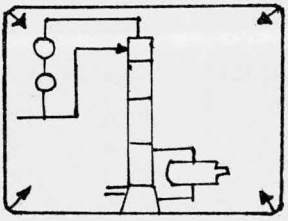
al ocurrir una perturbación,



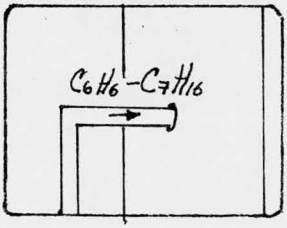
corresponden a los que se presentan cuando la columna operar de nuevo a régimen permanente; sin



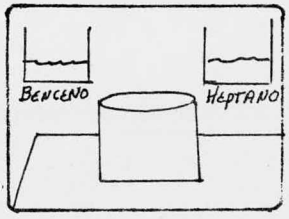
detenerse a analizar la operación a régimen transitorio.



N.- Para ejemplificar las diferentes situaciones a considerar,



se usa una una columna que separa una mezcla benceno-heptano;



mezcla en la que, dadas -- sus caracterfsticas,

OMA 15.
Acercamiento a una válvula que es movida por una mano (válvula equeña del Laboratorio).

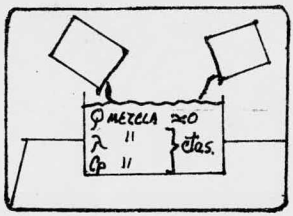
OMA 16.
Misma imagen que en la toma 13, pero el rotámetro, marca una -- ectura variable y el letrero dice: "REGIMEN TRANSITORIO".

OMA 17.
Acercamiento del rotámetro en el que se aprecia que su lectura stá fija, con un letrero que dice: "REGIMEN PERMANENTE".

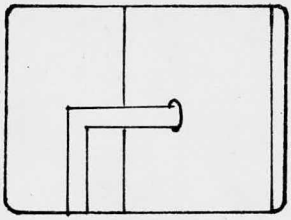
OMA 18.
Zoom in desde un full shot de la columna de referencia,

hasta
n acercamiento de la alimentación. Cuando se menciona "mezcla ben eno-heptano", aparece sobre la alimentación: "C_6H_6-C_7H_{16}", junto - on una flecha que indica la dirección del flujo.

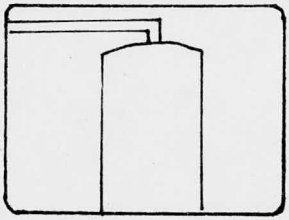
OMA 19.
Toma en la que se ve un vaso sobre la mesa y dos manos que sos ienen cada una un vaso (rotulados benceno y heptano, respectivamen e);



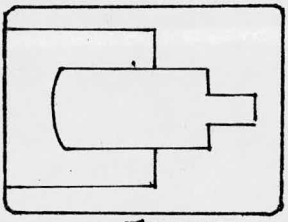
es posible aplicar el modelo McCabe-Thiele,



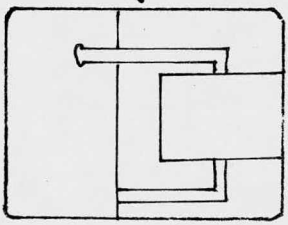
para describir lo que ocurre al ser destilada, y obtener así resultados que se ajustan a la realidad.



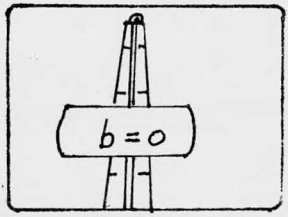
N.- La columna tiene catorce platos,



además de un rehervidor del tipo calderín,



que funciona como un plato más;



y un condensador total que funciona de tal manera que el reflujo es líquido saturado.

se vierte el contenido de ambos en el vaso de la mesa. En este momento aparece: "$Q_{mezcla} \approx 0$

$\left.\begin{matrix} \\ Cp_{mezcla} \end{matrix}\right\}$ ctes. "

TOMA 20.

Tilt up a partir de un acercamiento de la alimentación de la - columna de referencia,

hasta llegar al domo.

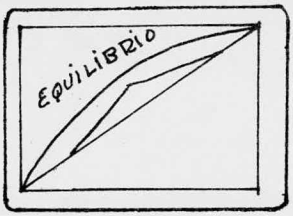
TOMA 21.

Panning desde el rehervidor de la columna de referencia,

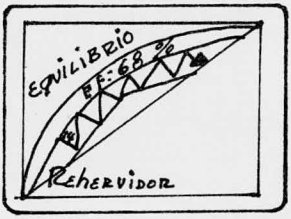
hasta la entrada de vapor a la columna (corrección en caso de ser necesaria).

TOMA 22.

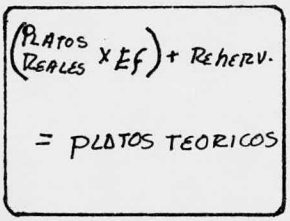
Toma del condensador de la columna de referencia, en primer -- plano; en segundo, el domo de la torre. Sobre el condensador dice: "b =0".



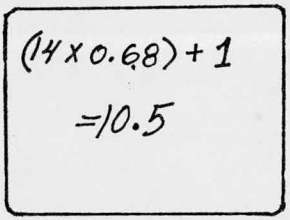
N.- Cuando la columna opera con la mezcla benceno-heptano, se ha observado una eficiencia total del sesenta y ocho por ciento;



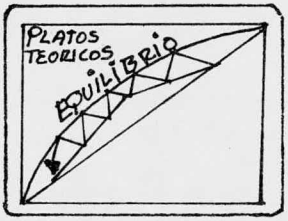
la cual se considera que -- permanece constante



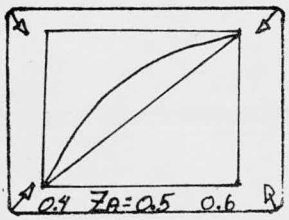
en diferentes situaciones de operación,



de acuerdo a la suposición que ya se mencionó.



N.- En consecuencia, el número de platos teóricos es diez punto cinco, a los que se hará referencia en lo sucesivo, para poder trabajar directamente -- con la línea de equilibrio en el diagrama.



N.- La alimentación llega a la columna con un flujo

TOMA 23.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele, en un principio sólo aparecen las líneas de 45°, de equilibrio y de operación. Se señala: "EQUILIBRIO".

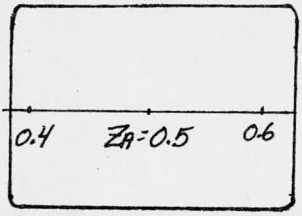
En seguida, se van construyendo los platos conforme la línea de 68% de eficiencia se va dibujando, señala-ndose a la mitad de esta línea: "Ef. = 68%". Se numeran los platos, indicándose: "REHERVIDOR", y continuando con el plato 14, siguiendo hasta el primero.

TOMA 24.
Ecuación que relaciona los platos reales con los platos teóricos.

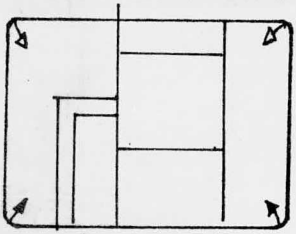
TOMA 25.
Ecuación de la toma 24 en la cual las literales han sido sustituidas por sus valores numéricos.

TOMA 26.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele en el cual se construyen los platos teóricos, empezando por arriba. Conforme van apareciendo se numeran. Hay un letrero que dice: "PLATOS TEORICOS".

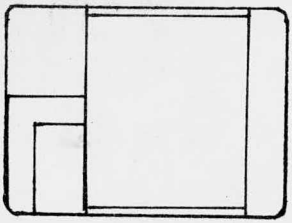
TOMA 27.
Zoom in comenzando en un full shot de un diagrama McCabe-Thiele que sólo tiene las líneas de equilibrio y de 45°,



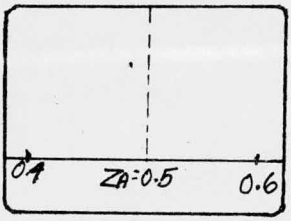
de cien moles por hora, y tiene una composición de cero punto cinco



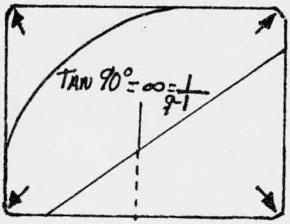
en fracción mol de benceno,



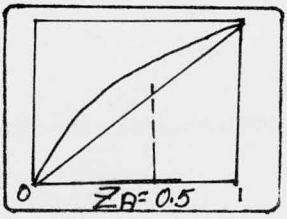
que es el componente más volátil,



y entra como líquido saturado;



entonces, el factor "q" es uno y la pendiente de la línea de alimentación infinito.



La alimentación se introduce a la columna

hasta un acercamiento al eje de las abscisas, que abarque desde 0.4 hasta 0.6; antes de comenzar el zoom aparece "$Z_A = 0.5$".

TOMA 28.

Zoom in (corte en movimiento) desde un encuadre abierto de la zona de alimentación de la columna de referencia,

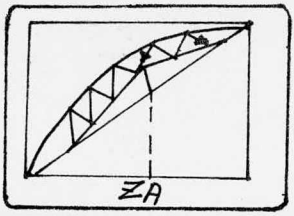
hasta llegar a un acercamiento del tubo de alimentación.

TOMA 29.

Tilt up en el diagrama McCabe-Thiele, desde el encuadre final de la toma 27 hasta llegar

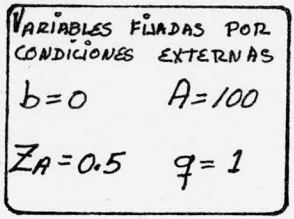
a la línea de alimentación (antes de comenzar el tilt, aparece la línea punteada que une 0.5 con la línea de 45°). Al detenerse el movimiento aparece la línea de alimentación junto con el letrero: "$\tan 90° = \infty = \frac{1}{q - 1}$".

Posteriormente, el letrero desaparece y se hace un zoom out (rápido) hasta tener el diagrama en full shot,



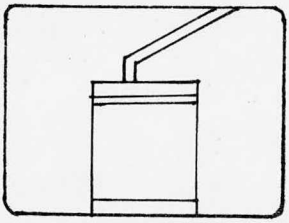
en el séptimo plato real, que corresponde al quinto plato teórico.

6



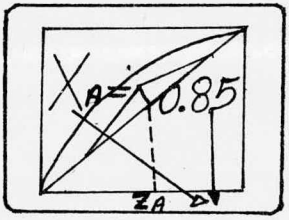
(PAUSA).

5

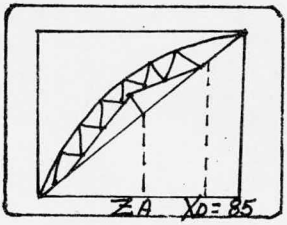


N.- En estas condiciones, se obtie en el domo

6

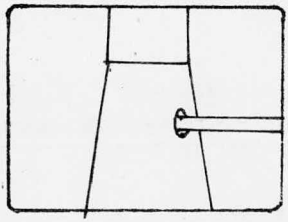


de la torre una composición de destilado de cero punto ochenta y -- cinco



en fracción mol de benceno,

3



y en el fondo, una composición

entonces se van cons
truyendo los platos y las líneas de operación en ambas secciones, a
partir de la alimentación.

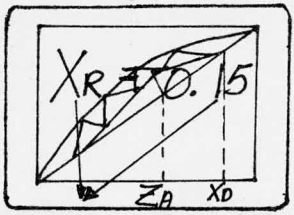
TOMA 30.
Letrero en el que se ve: "VARIABLES FIJADAS POR CONDICIONES -
EXTERNAS: b=0, Z_A= 0.5, A= 100, q= 1".

TOMA 31.
Acercamiento al domo de la columna de referencia.

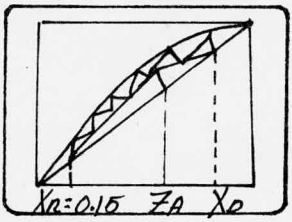
TOMA 32.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele, se ve una línea punteada
que llega a 0.85 en el eje de las abscisas. aparece un letrero,ocu
pando todo el diagrama y que dice"X_D= 0.85".

El letrero comienza -
a disminuir de tamaño y simultáneamente se va desplazando hasta que
dar en el lugar que le corresponde abajo del eje de las abscisas.

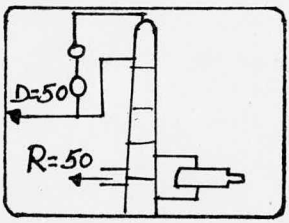
TOMA 33.
Acercamiento de la base de la columna en la que se vea la sali
da de líquido que va al rehervidor.



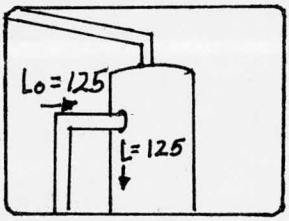
de cero punto quince.



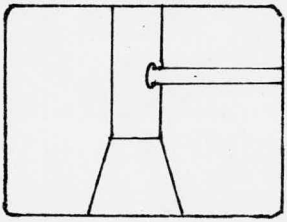
(PAUSA).



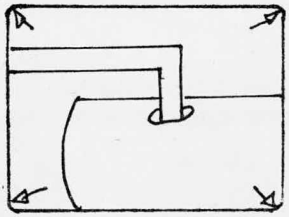
N.- Resulta un flujo de cincuenta - moles por hora para cada uno de los productos.



N.- El valor medido para el gasto - de reflujo es de ciento veinticinco moles por hora;



el líquido en la sección rectificadora tiene la misma lectura, - ya que el reflujo entra como líquido saturado.



Para el vapor que sale del rehervidor se observa un flujo de

TOMA 34.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele, igual al del final de la toma 32, sólo que ahora existe una línea punteada que relaciona la línea de 45° con 0.15 en la escala de las abscisas. Aparece un letrero, ocupando todo el diagrama, que dice: "X_R= 0.15.

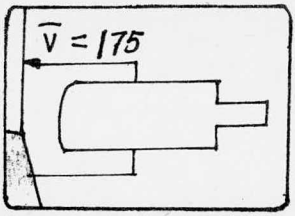
El se va - haciendo pequeño y simultáneamente se desplaza hasta ocupar el lu-- gar que le corresponde abajo del eje de las abscisas.

TOMA 35.
Full shot de la columna de referencia, de modo que se vean las salidas de productos, en las cuales se sobreimponen: "D= 50 y ---- R = 50".

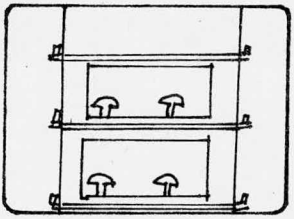
TOMA 36.
Tilt down desde un acercamiento al domo de la columna, en el - que se ve la entrada del reflujo,

hasta llegar a la base, donde - se sigue el tubo del vapor que sale del rehervidor,

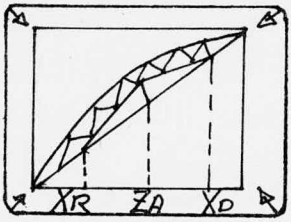
hasta llegar a este equipo.



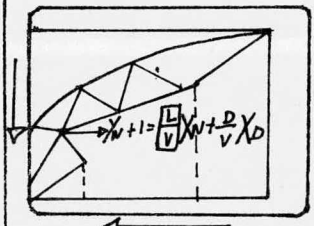
ciento setenta y cinco moles por hora, siendo igual en la sección agotadora.



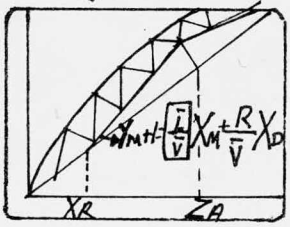
N.- Por otra parte, la manera en - que inciden los flujos internos en el - diagrama McCabe-Thiele, es por medio de de las pendientes de las líneas de operación;



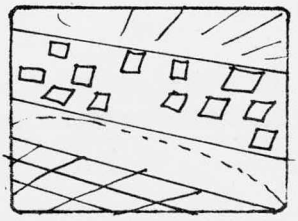
para comprender esto, basta con señalar sus ecuaciones.



En la sección rectificadora; que corresponde a la e--- cuación de una línea recta, cuya pen--- diente es "ele" entre "V";



y en la sec- ción agotadora: con pendiente "ele" -- tildada entre "V" tildada.



(PAUSA).

En este punto se abre el cuadro para obtener un full shot del rehervidor. Aparecen los valores: "L_o = 125, L = 125, -- = 175"; conforme se pasa por el lugar que les corresponde.

TOMA 37.
Toma de los dos platos de vidrio de la columna del Laboratorio de Ingeniería Química. Se hace disolvencia para pasar a la siguiente imagen.

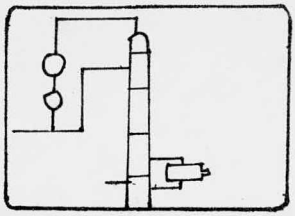
TOMA 38.
Toma del diagrama McCabe-Thiele en full shot;

se hace zoom in la parte que corresponde a la sección de rectificación, aparece - la ecuación que corresponde a esta sección, en la cual se señala la pendiente con un recuadro.

Se realiza un movimiento de cámara en diagonal, hasta abarcar la zona de agotamiento; aparece la ecuación correspondiente, en la cual se señala la pendiente con un recuadro.

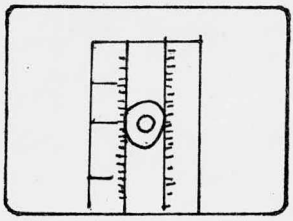
TOMA 39.
Vista general del cuarto de control de la refinería de Tula.

3



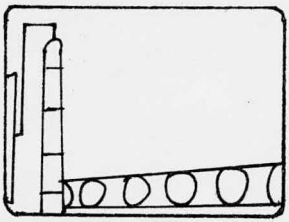
N.- Es común que al estar operando columna

2



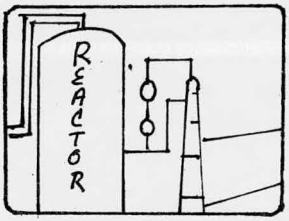
de destilación, haya cambios en las

2



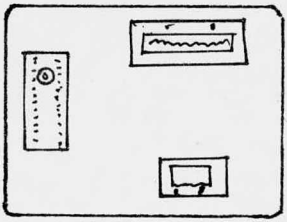
variables que dependen de circuns-- tancias

2



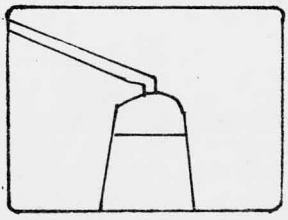
externas a ella.

3



Concretamente, se va a estudiar

3



el efecto producido en las composiciones de destilado

TOMA 40.
Full shot de la columna de referencia.

TOMA 41.
Acercamiento de un medidor de flujo cuya lectura permanece estática.

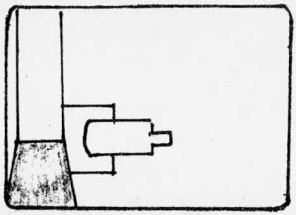
TOMA 42.
Toma de los precalentadores de la columna atmosférica, en primer plano; en segundo, la columna.

TOMA 43.
Toma de un reactor en primer plano y una columna de destilación en segundo plano (refinería de Tula).

TOMA 44.
Acercamiento a medidores del tablero de control (refinería de Tula).

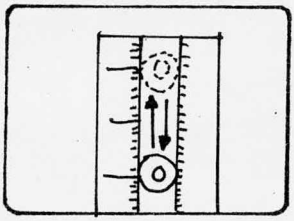
TOMA 45.
Acercamiento al domo de la columna de referencia.

2



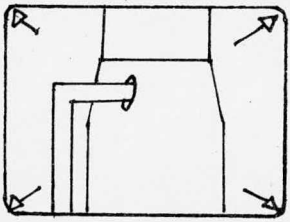
y residuo, al modificarse

3

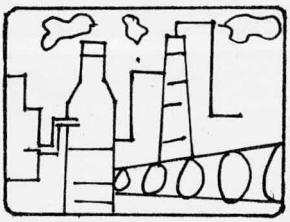


las condicio-- nes de la alimentación:

6

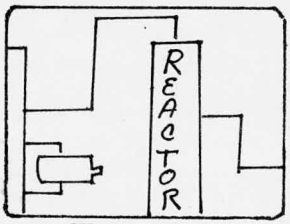


composición, condiciones térmicas y flujo.

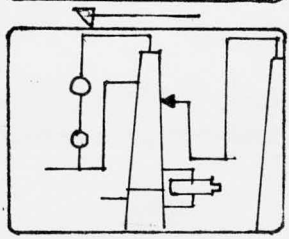


(PAUSA).

6



N.- La columna recibe ahora una alimentación



más rica en benceno, aumentándo su composición

OMA 46.
Acercamiento de la base de la columna de referencia en el que
e vea el rehervidor.

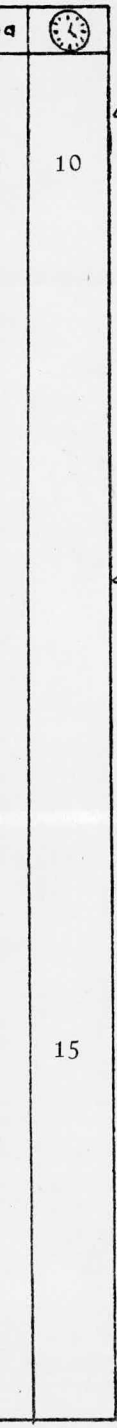
OMA 47.
Igual que 41 sólo que la lectura del medidor no permanece está
ica.

OMA 48.
Zoom out desde un acercamiento de la zona de alimentación de -
orre atmosférica,

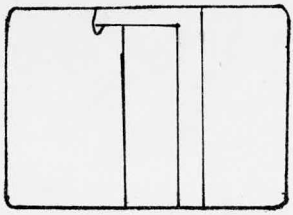
hasta un encuadre en el que se vea los precalen-
adores en primer plano y la columna en segundo.

OMA 49.
Panning de derecha a izquierda desde un full shot del reactor
de la toma 43, hasta

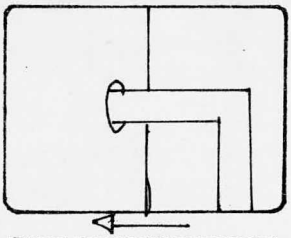
un full shot de la columna de destilación con-
tigua. Se hace corte en movimiento.



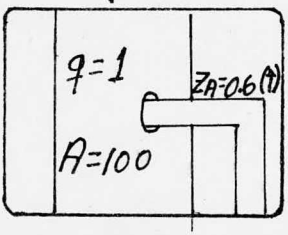
de cero punto cinco



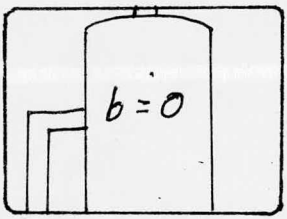
a cero punto seis,



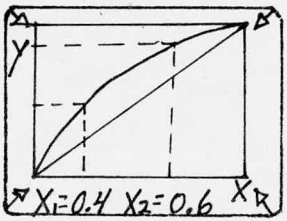
manteniéndose constantes, tanto sus condiciones térmicas como su flujo.



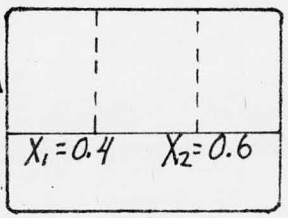
El reflujo se mantiene como líquido saturado.



N.- Haciendo referencia al diagrama



de composición líquido-vapor, se observa



OMA 50.
Tilt up siguiendo el tubo de alimentación en un encuadre cerra
o;

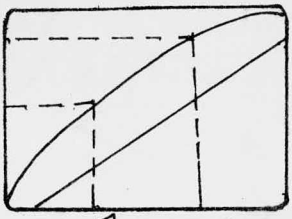
al llegar a la entrada de la alimentación se detiene la cámara,

e hace un pequeño panning hacia la derecha para abarcar todo el --
uerpo de la columna. Van apareciendo: "Z_A = 0.6(↑) (flecha roja),
= 1 y A = 100".

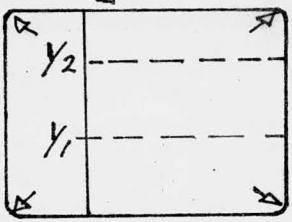
Se hace un tilt up (en barrido) hasta llegar a verse el reflu-
o. Aparece: "b = 0".

OMA 51.
Full shot del diagrama de composición del vapor vs. composición
el líquido;

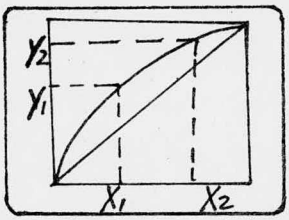
se hace un zoom in hasta abarcar X_1= 0.4 y X_2= 0.6.



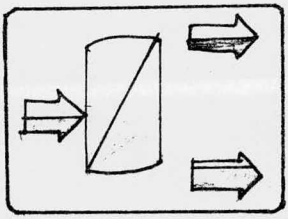
que al evaporar un líquido de una mayor composición de benceno,



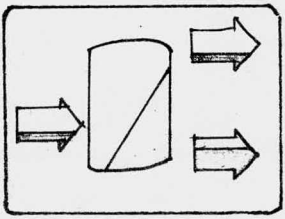
se obtiene un vapor también más rico en este componente.



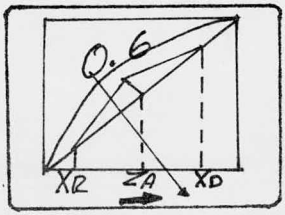
(PAUSA).



N.- Entonces, al haber una mayor cantidad debenceno con respecto a la de de heptano, entrando a la columna, en cada plato estarán en contacto líquidos y vapores



más ricos en benceno, por lo que es de esperarse, que tanto en el destilado como en el fondo aumente la concentración de benceno.



N.- Esto se puede comprobar directamente en el diagrama McCabe-Thiele:

20

32

or medio de un tilt up se llega hasta la línea de equilibrio, si-- uiendo las líneas punteadas.

Se hace un panning hacia la izquier a hasta llegar al eje de las ordenadas, también siguiendo las lí-- eas punteadas horizontales. Al detenerse el panning aparecen Y_1 y 2'

Se hace un zoom out hasta obtener el full shot del diagrama.

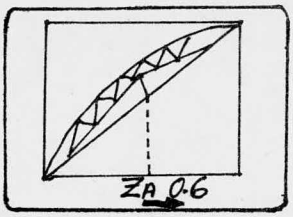
OMA 52.

Diagrama de una columna ancha y baja, una flecha gruesa repre- enta la composición de la alimentación, y es de dos colores: ama- illo la mitad de arriba y azul la de abajo. La columna está divi- ida diagonalmente en dos áreas: una amarilla y la otra azul (ben- eno-heptano). En el plato de alimentación el ancho de las franjas s el mismo; hacia arriba del plato de alimentación la franja de -- enceno se ensancha, y hacia abajo de este plato, la franja de hep- ano, también se ensancha. A la derecha, arriba y abajo de la co-- umna, hay dos flechas, que representan cada uno de los productos.

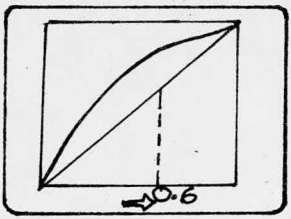
En animación simple se ve que la flecha de alimentación aumen- a la franja amarilla, inmediatamente después la diagonal se despla a hacia la derecha, aumentando la sección amarilla. Las flechas - e productos también aumentan sus secciones amarillas.

OMA 53.

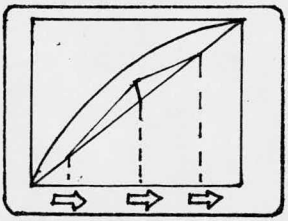
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación normal. parece una flecha roja abajo del ejede las abscisas que indica el ambio en la alimentación. Aparece 0.6 ocupando todo el diagrama.



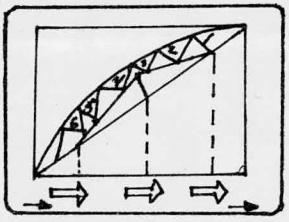
Como se observa, la composición de la alimentación se localiza más a la derecha que en el caso anterior,



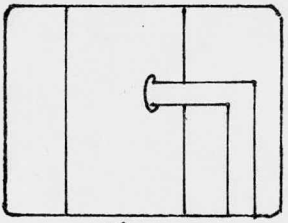
lo cual trae como consecuencia que los puntos - donde las líneas de operación cortan a la línea de cuarenta y cinco grados,



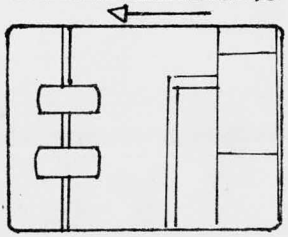
se desplacen también hacia la derecha, modificándose pendientes y ordenadas al origen, de tal forma que se conserve



el mismo número de platos con que cuenta - la columna en ambas secciones. Lo que es obvio para la operación de una torre de destilación.



N.-De este modo, debido al aumento que se tiene en la composición de la alimentación,



el destilado incrementa su fracción mol de benceno

El "0.6" se va haciendo pequeño, al tiempo que se desplaza -- asta ocupar su lugar en el eje de las abscisas.

Aparece una línea punteada que une 0.6 con la línea de 45°; - l mismo tiempo desaparecen los platos, las líneas de alimentación de operación.

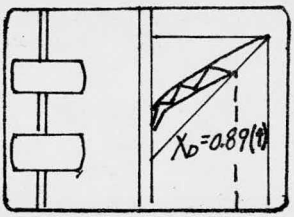
Aparece la línea de alimentación, e inmediatamente después, -- as dos líneas de operación. Desaparece el 0.6. En seguida apare- en líneas punteadas que unen la línea de 45° con la composición de os productos en las abscisas. Al mismo tiempo aparecen dos flechas ojas abajo de las abscisas, que indican el cambio en los productos.

Se van construyendo los platos a partir del plato de alimenta- ión, en ambos sentidos.

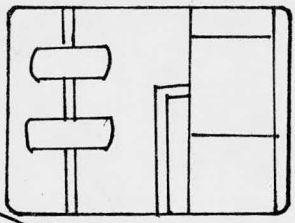
OMA 54.

Encuedre de la zona de alimentación de la columna de referencia esde el cual se hace un barrido

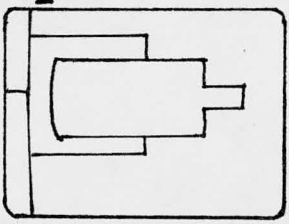
hasta el tanque acumulador de con- ensado y los condensadores (el encuadre debe ser tal que estos e-- uipos queden del lado izquierdo).



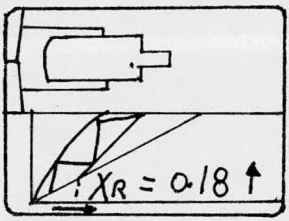
de cero punto ochenta y cinco a cero punto ochenta y nueve;



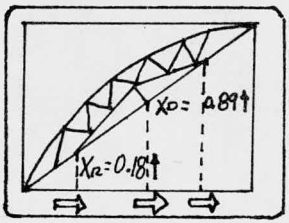
(PAUSA).



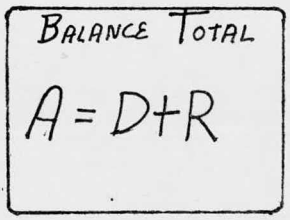
y el residuo también la incre-- menta



de cero punto quince a cero punto dieciocho,



como se había previsto en el razonaliento que se hizo.



N.- En estas condiciones, se obtiene un flujo de destilado

10

Se corta la pantalla a la mitad, verticalmente; del lado iz---
uierdo queda el condensador y el tanque acumulador, del lado dere-
ho, aparece la mitad derecha del diagrama McCabe-Thiele, señalándo
e: "X_D = 0.89(↑)(flecha roja)".

Desaparece la mitad derecha, abarcando la imagen de la torre -
oda la pantalla.

Se hace un barrido hasta el rehervidor (el encua
re debe ser tal que el rehervidor quede en la mitad superior del -
uadro).

La imagen se divide en dos, horizontalmente; en la parte de a-
ajo aparece la mitad inferior del diagrama McCabe-Thiele, señalán-
ose: "X_R = 0.18(↑)(flecha roja).

Desaparece la imagen del rehervidor y queda completo el diagra
a McCabe-Thiele.

TOMA 55.
Ecuación de balance total,

BALANCE TOTAL

$A = 59 + 41$

de cincuenta y nueve moles por hora y uno de resi-- duo de cuarenta y uno,

BALANCE TOTAL

$100 = 59 + 41$

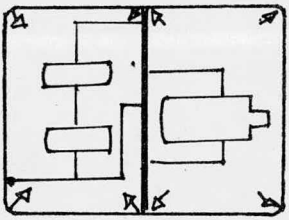
valores que - satisfacen las ecuaciones

BALANCE PARCIAL

$100(0.6) =$

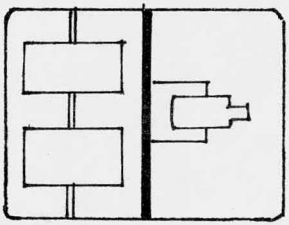
$= 59(0.89) + 41(0.18)$

de balance total y parcial.

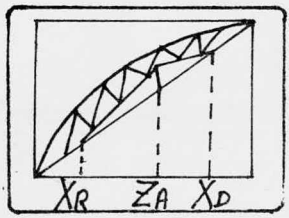


7

Ha de notarse, que el destilado aumentó



en detrimento del residuo, mientras que en el caso ante rior eran iguales.



4

N.- Existe un criterio que permi te, a partir del diagrama McCabe-Thie le,

en animación simple D se cambia --
por 59 y R por 41.

Después A es sustituido por 100. La imagen, en
animación simple, se desplaza hacia arriba,

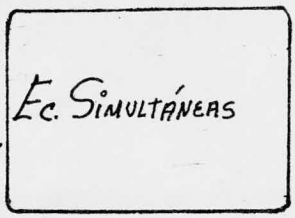
hasta que aparece el ba
lance parcial.

TOMA 56.
Aparece la pantalla dividida en dos: a la izquierda aparece -
el condensador y el tanque acumulador; a la derecha el rehervidor.
Ambas partes ocupan la misma área en la pantalla.

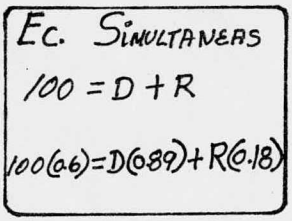
En la parte izquierda se hace un zoom in, y en la derecha, un
zoom out. Se hace disolvencia con la siguiente toma.

TOMA 57.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación correspon
diente al cambio de Z_A.

7

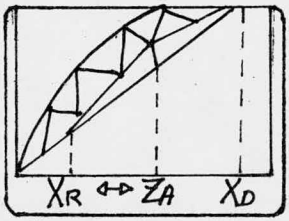


establecer comparativamente, que producto se obtiene en mayor cantidad,

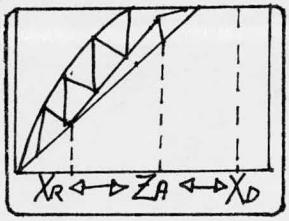


sin resolver las ecuaciones de balance;

10

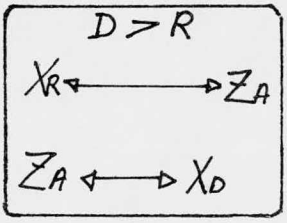


y - consiste en que, cuando la diferencia - entre la composición de la alimentación y la del residuo,

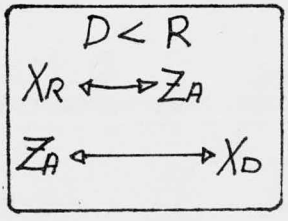


es mayor que la que - hay entre la del destilado y la de la alimentación,

8



entonces el flujo de destilado es mayor que el de residuo;



para - el caso contrario, el residuo es mayor que el destilado.

TOMA 58.

Imagen en la que se ve "ECUACIONES SIMULTANEAS", en la parte superior.

En seguida van apareciendo las ecuaciones de balance total y de balance parcial, en las cuales D y R tienen un color diferente que el resto de los números.

TOMA 59.

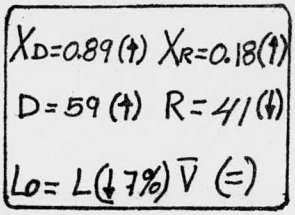
Toma del diagrama McCabe-Thiele, de tal modo que la escala de las abscisas cubra toda la pantalla. Va apareciendo una flecha de Z_A hasta X_R;

y luego va apareciendo otra flecha de Z_A a X_D.

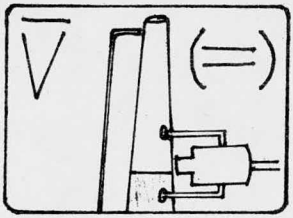
TOMA 60.

Imagen que indica que D es mayor que R, en la parte superior. Abajo, hay dos flechas acotadas que indican, respectivamente: --- X_R-Z_A y Z_A-X_D.

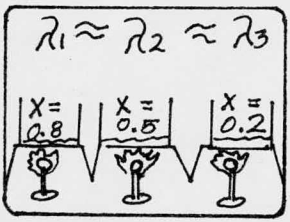
La flecha X_R-Z_A se contrae (animación simple), --- mientras que la flecha Z_A-X_D se alarga. Al mismo tiempo desaparece el signo de "mayor que" (>); cuando termina el movimiento de las -- flechas aparece en su lugar el signo "menor que" (<).



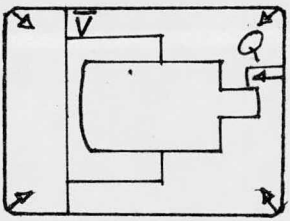
N.- Otros datos importantes que -- faltan de mencionar son: el reflujo - que disminuye siete por ciento y el -- flujo de vapor que permanece constante.



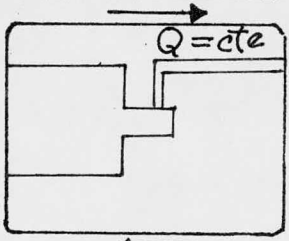
La explicación de que el flujo de va-- por no varíe, está en el hecho de que, cuando se destila



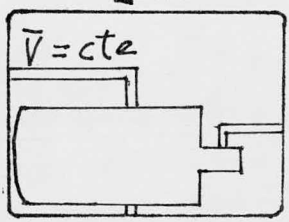
una mezcla en la que se necesita la misma entalpia para evaporar una mol de cualquier composición, sólo es posible



variar el vapor generado en el rehervidor mediante un cambio en el calor que se le suministra;



como en el presente caso, no se modifica la cantidad de calor que recibe el rehervidor,



el vapor que de él sale se mantiene constante.

OMA 61.
Tabla de datos. Se señala $X_D = 0.89(\uparrow)$, $X_R = 0.18(\uparrow)$, D = 59 ↑), R = 41(↓). Luego aparece $L_o = L$ (↓7%), y después $\bar{V}$ (=). Todas las flechas son de color rojo.

OMA 62.
Full shot de la columna de referencia, en primer plano se debe er el rehervidor. En superimposición aparece $\bar{V}$ (=).

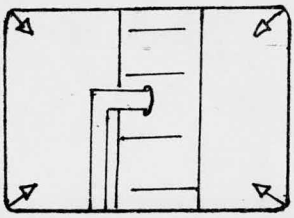
OMA 63.
Toma en la que se ven tres vasos de precipitados, calentados - or unos mecheros. Se señala la composición en cada vaso: $X_1 = 0.8$, $_2 = 0.5$ y $X_3 = 0.2$. En la parte de arriba se señala que las lamb- as de cada uno de los vasos son aproximadamente iguales.

OMA 64.
Full shot del rehervidor en el que se vea el tubo de vapor de alentamiento y el de entrada de vapor a la columna. Sobre estos - ubos aparecen en superimposición las letras"Q y $\bar{V}$"; las cuales au- entan y disminuyen de tamaño simultáneamente. Posteriormente desa arecen estas letras y se hace un zoom in

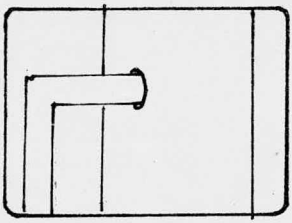
hacia el tubo de vapor de alentamiento. Aparece "Q = cte.", y luego desaparece. Se hace un anning

hacia el tubo de salida del vapor. Aparece "$\bar{V}$ = cte.".

5

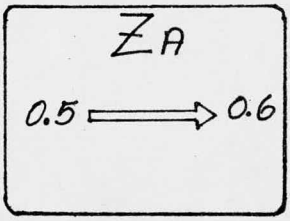


(PAUSA).



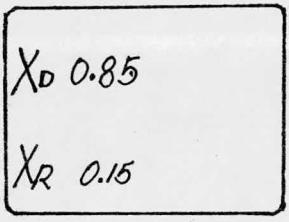
N.- Resumiendo, al haber

3

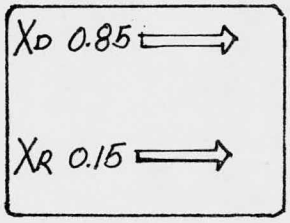


un aumento en la composición de la alimentación,

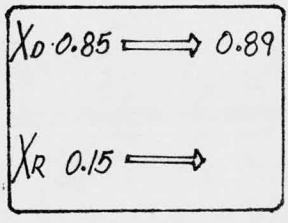
7



se incrementa



la composición de ambos productos, o sea,



el destilado se purifica

TOMA 65.
Zoom in rápido a partir de un encuadre no muy abierto de la zo
na de la alimentación, de la torre de referencia,

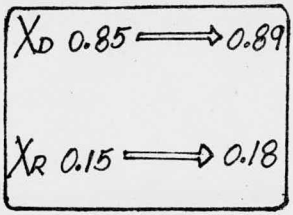
hasta un acerca--
miento a la entrada del tubo de alimentación.

TOMA 66.
Toma en la que se ve Z_A en la parte superior y abajo una flecha que va de 0.5 a 0.6.

TOMA 67.
Del lado izquierdo de la imagen y en columna, se ven: "X_D=0.85 X_R= 0.15".

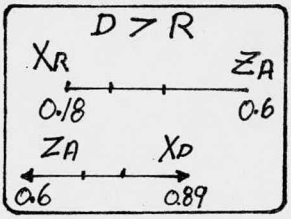
Se traza un par de flechas que parten de estos valo--
res y se dirigen a la derecha (animación simple).

Al final de la -
flecha superior aparece 0.89;



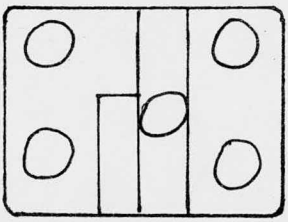
y el residuo se impurifica.

4

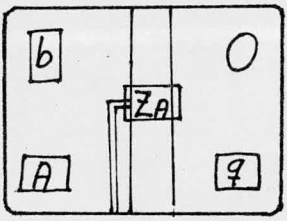


El flujo del destilado es mayor que el de residuo.

12

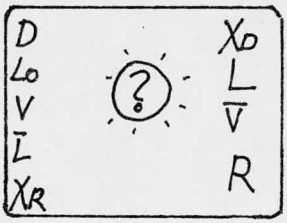


N.- Ha de recordarse que se tienen cuatro variables fijadas por condiciones externas a la columna: composición, flujo y condiciones térmicas de la alimentación,



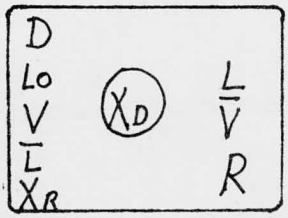
además de las condiciones térmicas del reflujo; que consumen cuatro de los cinco grados de libertad de la operación de la columna,

3



por tanto, sólo es posible controlar

2



una de las variables restantes.

en seguida, al final de la inferior a-
arece 0.18.

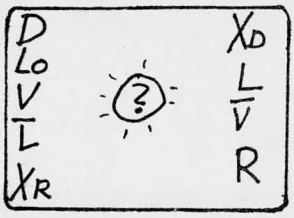
OMA 68.
Toma parecida a la 60, en la que se señalan los valores numéri
os para X_R, Z_A y X_D.

OMA 69.
Medium shot de la columna de referencia, en la cual se superpo-
en cinco círculos distribuidos como el "cinco"de un dado.

En ani-
ación simple, cuatro de los círculos cambian a cuadros. Aparece -
A en el cuadro del centro; posteriormente, aparece A en el cuadro -
nferior izquierdo, después q , en el cuadro inferior derecho, y por
ltimo, aparece b en el cuadro superior izquierdo.

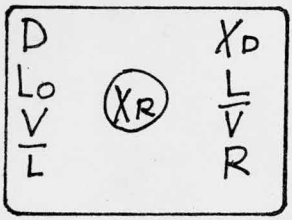
OMA 70.
En cuadro se ven dos columnas de variables, una a extrema iz--
uierda y otra a extrema derecha. En el centro del cuadro hay un -
írculo que contiene una interrogación. El círculo centellea.

OMA 71.
Imagen parecida a la toma 70, pero en el círculo del centro es-
á X_D, que no aparece en la columna de letras; el círculo no cente-
lea.



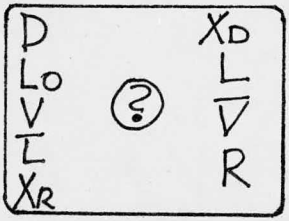
2

En este caso interesa controlar



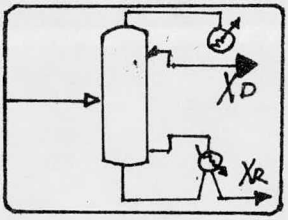
2

la composición de cualquiera



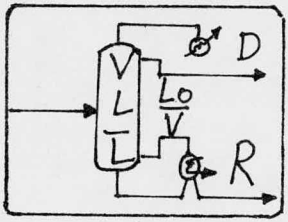
2

de los dos productos.

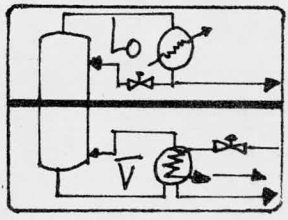


12

N.- Debido a que las composiciones



no pueden ser manejadas directamente, es necesario valerse de alguna otra variable que se preste para ser manipulada en la columna. Al revisar las variables que no han sido fijadas, o sea,



4

-- las dependientes, se ve que tan sólo -- dos de ellas presentan esta facilidad:

OMA 72.
Igual que la toma 70.

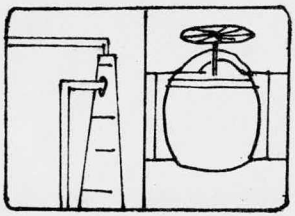
OMA 73.
Toma parecida a la 72, pero ahora X_R no está en la columna, si-
o que ocupa el círculo, el cual no centellea.

OMA 74.
Igual que la toma 70.

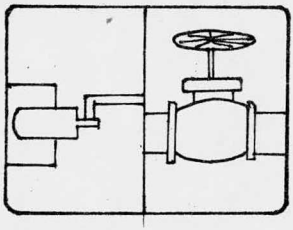
OMA 75.
Full shot de diagrama de una columna, X_D y X_R se localizan a -
a salida de los productos.

A continuación desaparecen X_D y X_R, y -
oarecen: "D, R, $\overline{L}$, L, V, $\overline{V}$, L_o",en sus lugares respectivos.

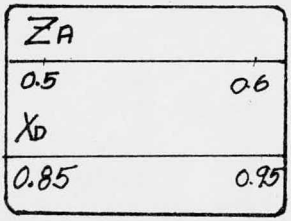
OMA 76.
Pantalla dividida en dos. En la parte superior aparece el domo,
l condensador y la válvula que controla el reflujo. Se señala L_o.
n la parte inferior de la imagen se ve el fonfo de la columna, el -
ehervidor y una válvula que controla el vapor de calentamiento. Se
eñala V.



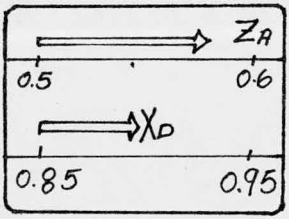
el reflujo, que se aumenta o disminuye mediante el uso de una válvula,



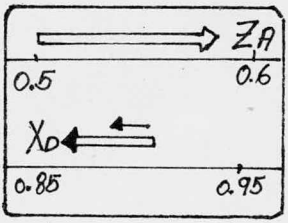
y el vapor que sale del rehervidor, que se modifica por medio del calor que se le suministra.



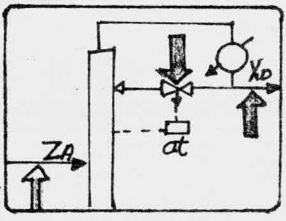
N.- Ahora, se va a analizar



el caso en que interesa controlar la composición del destilado,



cuando se tiene un aumento en la composición de la alimentación.



Por estudios de control se ha encontrado que para efectuar un ajuste en la composición del destilado, es mejor controlar directamente con el reflujo.

OMA 77.
Imagen dividida a la mitad; en la parte izquierda una toma en ontrapicada del tubo del reflujo, se ve el lugar en que entra a la olumna; a la derecha una válvula de control, que se mueve.

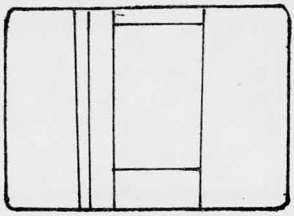
OMA 78.
Imagen dividida a la mitad: a la izquierda un full shot del re ervidor, con una angulación tal que en primer plano se observa el - ubo de vapor de calentamiento; a la derecha hay una válvula de con- rol, con una angulación diferente a la anterior válvula; la válvula e mueve.

OMA 79.
Hay dos escalas en cuadro, una en la parte superior y otra en - a parte inferior; la primera va de 0.5 a 0.6, sobre 0.5 está Z_A; la egunda va de 0.85 a 0.95, sobre 0.85 está X_D.

Aparece una flecha roja que empuja a Z_A hasta 0.6; al detenerse, $_D$ también es empujado por otra flecha roja, hasta 0.89.

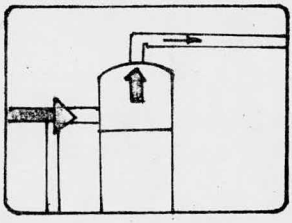
Entonces,
parece una flecha verde por la derecha de X_D, para regresarlo a --- .85.

OMA 80.
Toma de un diagrama de control de una columna de destilación, - ue abarque desde un poco más abajo de la alimentación hasta el domo. parece una flecha roja abajo de Z_A, apuntando hacia arriba; inmedia amente aparece otra flecha roja, abjao de X_D, también hacia arriba; luego, una flecha verde hacia abajo encima de la válvula de con--- rol, desapareciendo la flecha roja de X_D. (Las flechas aparecen en nimación simple).

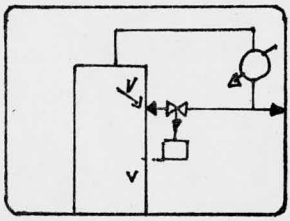


Esto se puede explicar de la forma siguiente:

7

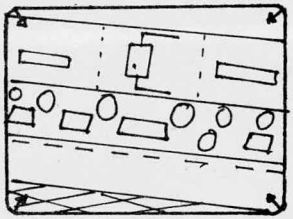


los cambios efectuados en - el reflujo se manifiestan rápidamente - en la composición del destilado,



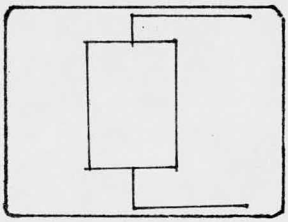
7

debido a la proximidad del punto donde se re-- gistra la variable a controlar, con el punto donde primero afecta el reflujo;

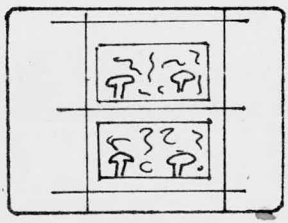


5

trayendo esto como resultado, mayor



-- precisión en el control.



15

N.- Como se sabe, la función del - reflujo es la de permitir el contacto - entre las fases, al mantener líquido en los platos;

OMA 81.
Tilt up por el cuerpo de la columna

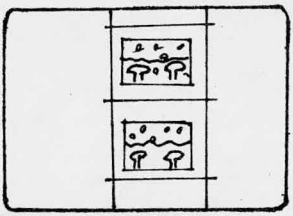
hasta llegar al domo. Se
en, el tubo del reflujo y el de salida de vapor. Aparece una fle
ha verde en la entrada del reflujo, y de inmediato otra, señalando
a salida del vapor.

OMA 82.
Acercamiento a la parte del domo en el diagrama de control. A
arece un asterisco verde señalando el punto donde se toma la tempe-
atura, y luego aparece, en animación simple, una flecha verde apun-
ando hacia abajo,en la entrada del reflujo.

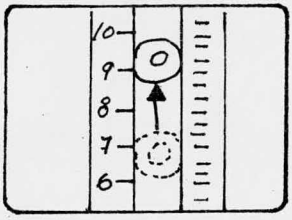
OMA 83.
Zoom in desde un enuadre abierto del tablero de control

hasta -
n acercamiento al diagrama de la columna atmosférica.

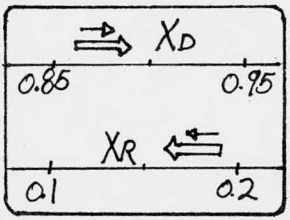
OMA 84.
Acercamiento a los platos de vidrio de la torre del Laboratorio
e Ingeniería Química, por los cuales está pasando vapor, pero no --
ay líquido;



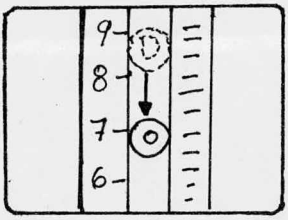
por tanto, al manipular el - reflujo, puede modificarse el grado de separación de los componentes en la columna.



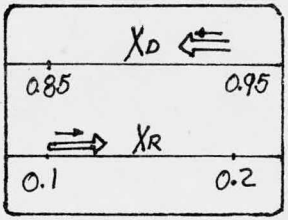
5 Entonces, al aumentar el reflujo se da oportunidad a que haya mayor - contacto entre las fases,



5 por lo que, se incrementa la separación de ambos -- componentes, es decir, se tienen productos más puros.

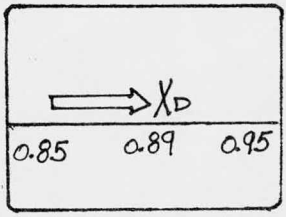


3 En la situación contraria, al disminuir el reflujo,



5 se impurifican el destilado y el residuo.

(PAUSA).



6 N.- Como en este caso, se quiere - que la composición del destilado

gradualmente se van llenando de líquido, primero el -
lato de arriba y luego el de abajo.

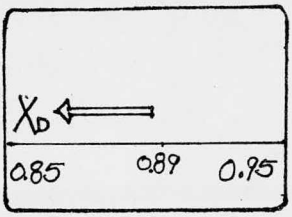
OMA 85.
Acercamiento a un medidor de flujo, cuyo indicador aumenta su
ectura; se mueve desde que comienza la toma.

OMA 86.
Hay dos escalas, la superior para X_D, de 0.85 a 0.95; la infe-
ior para X_R, de 0.1 a 0.2. Al empezar la toma hay una flecha ver-
e empujando a X_D a la derecha; al mismo tiempo otra flecha verde
mpuja a X_R hacia la izquierda (animación simple). Corte en movi
iento.

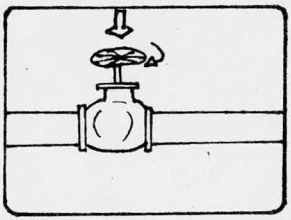
OMA 87.
Misma que 85, pero ahora el medidor disminuye su lectura. La
oma comienza y termina con el indicador en movimiento.

OMA 88.
Igual que la toma 86, sólo que ahora X_D es desplazado hacia la
zquierda y X_R hacia la derecha. Corte en movimiento.

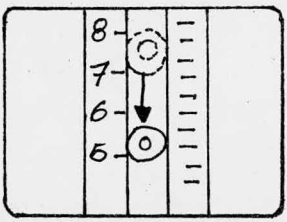
OMA 89.
Toma en la que sólo hay una escala para X_D, de 0.85 a 0.95. -
ay una flecha roja que parte desde 0.85 hasta 0.89, donde se encuen
ra X_D.



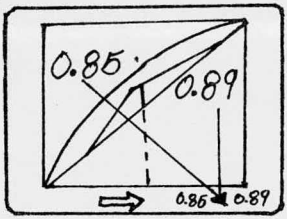
dis-
minuya de cero punto ochenta y nueve a cero punto ochenta y cinco,



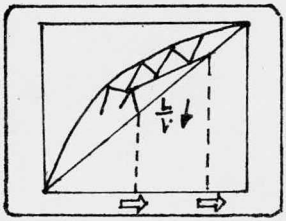
se debe re-
ducir el reflujo.



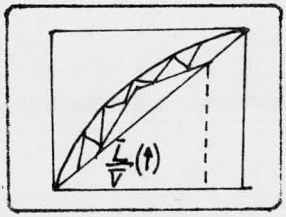
(PAUSA).



N.- En el diagrama, un cambio en el reflujo afecta



a la pendiente de la línea de operación rectificadora, puesto que se modifica la relación de flujos internos. Así, al reducir el reflujo, dicha pendiente disminuye y obviamente, la posición final de la línea rectificadora es tal que conserva el mismo número de platos en cada sección del diagrama.



N.- La variación en la línea rectificadora trae como consecuencia, que también la de agotamiento cambie su posición, de modo que se ajuste el número de platos en esta zona;

Va apareciendo una flecha verde que empuja a X_D hacia la - zquierda, haciendo desaparecer a la flecha roja; el movimiento ter ina cuando X_D se encuentra sobre 0.85 (animación simple).

OMA 90.
Acercamiento a una válvula de control, moviéndose. En superim osición hay una flecha verde que la señala, apuntando hacia abajo.

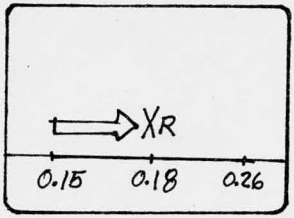
OMA 91.
Acercamiento al medidor de flujo, el indicador disminuye la -- ectura.

OMA 92.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele con la operación sin co-- regir, en las abscisas, abajo de la alimentación hay una flecha ro a que indica la variación en Z_A. Ocupando todo el diagrama, apare e una flecha verde que indica el cambio de X_D, de 0.89 a 0.85. Se educe el letrero y se lleva al lugar que le corresponde.

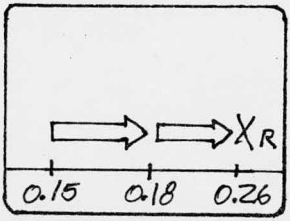
Se traza de golpe una línea punteada de 0.85 a la línea de 45°; aparece una flecha verde grande en lugar del letrero que indica - a disminución de 0.89 a 0.85. Se borran todas las líneas excepto a de la alimentación y la de rectificación. Se desplaza esta últi a línea hasta alcanzar su posición final. Aparece : "L/V(↓)(ver- e)", cerca de la línea rectificadora. Se trazan los platos de es- a sección, empezando desde 0.85 hasta la alimentación.

Aparece la línea de agotamiento y se desplaza a su nueva posi ión. Aparece"L/V(↑)(verde)", cerca de la línea agotadora. Se tra an los platos de esta sección partiendo de la alimentación hacia a ajo. Al llegar a la línea de 45° aparece una línea punteada que - lega a 0.26 en las abscisas.

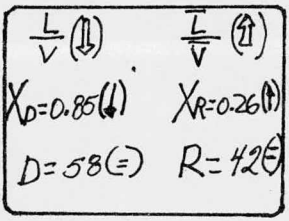
dando como resultado una composición de residuo de cero punto ventiseis.



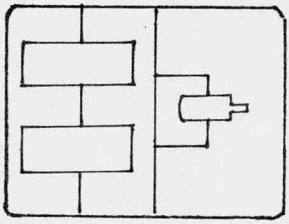
Ha de notarse que el residuo disminuye aún más su pureza,



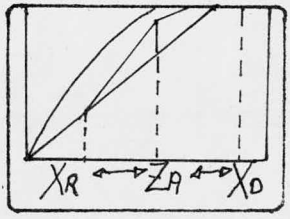
lo cual era de esperarse, puesto que al reducir el reflujo, la cantidad de contacto entre las fases es menor.



Los flujos de productos que se obtienen son, cincuenta y ocho moles por hora, para el destilado y cuarenta y dos para el residuo.



Como se ve, no se modifican al efectuar la corrección en estas condiciones.



Estos resultados van de acuerdo con el criterio que se mencionó,

Aparece: "$X_R = 0.26$", ocupando todo el diagrama, se va haciendo pequeño y se desplaza al mismo tiempo, hasta ocupar el lugar que le corresponde en las abscisas.

OMA 93.

Toma en la que se ve una escala de 0.15 a 0.26. Una flecha roja va de 0.15 a 0.18, donde se encuentra X_R.

Una flecha verde va apareciendo, de tal modo que se suma a la roja y empuja a X_R hasta .26 (animación simple).

OMA 94.

Tabla de datos que incluye: "$L/V(\downarrow)$, $\overline{L}/\overline{V}(\uparrow)$, $X_D = 0.85(\downarrow)$, -- $= 0.26(\uparrow)$(todas las flechas son verdes)". Después aparecen: -- $= 58(=)$ y $R = 42(=)$(los signos "=" entre paréntesis son verdes)".

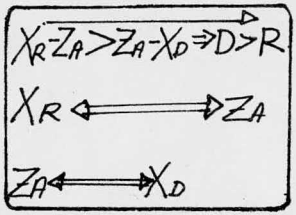
OMA 95.

Toma con el encuadre final de la toma 56.

OMA 96.

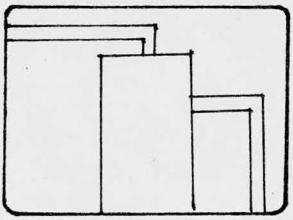
Acercamiento a la parte inferior del diagrama McCabe-Thiele, de modo que el eje de las abscisas ocupe todo el cuadro. Se trazan flechas de acotación, una de Z_A a X_R, y otra de Z_A a X_D.

9



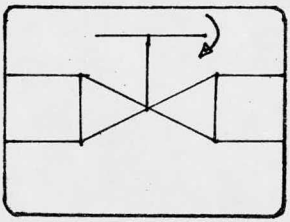
puesto que la diferencia entre la composición de la alimentación y la del residuo, es mayor que la que existe entre la composición de la alimentación y la del destilado.

2



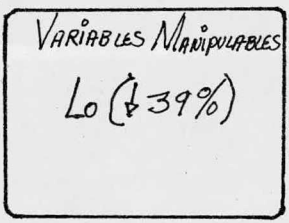
N.- El reflujo tuvo que ser

2



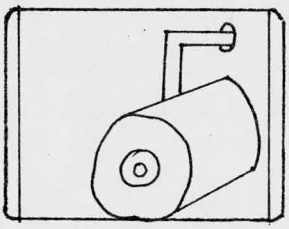
disminuido un treinta y nueve

4



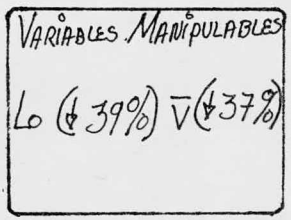
por ciento, para poder obtener la composición requerida de destilado.

2



El vapor que sale del rehervidor

3



tuvo también que disminuirse, un ventisiete por ciento,

OMA 97.
Toma en que se ven las flechas de acotación, una sobre otra.
n la parte superior del cuadro va apareciendo: "X_R-Z_A mayor que -
$_A$-X_D implica que D mayor que R".

OMA 98.
Acercamiento al domo de la columna, dando importancia al tubo
el reflujo y a la salida del vapor.

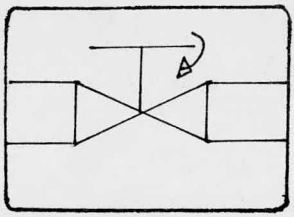
OMA 99.
Acercamiento a la válvula de control que corresponde al reflu-
o, moviéndose.

OMA 100.
Tabla de datos, para"variables manipulables", que contiene: --
L_o(↓39%)(verde)".

OMA 101.
Toma del rehervidor en primer plano, en segundo plano se ve el
ubo de vapor que entra a la columna.

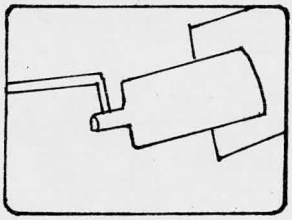
OMA 102.
Misma tabla de datos que en la toma 100, sólo que ahora también
parece: "$\bar{V}$(↓27%)(verde).

2



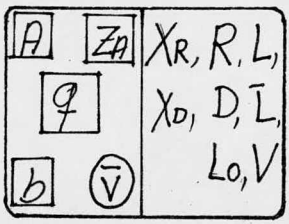
mediante la reducción

2

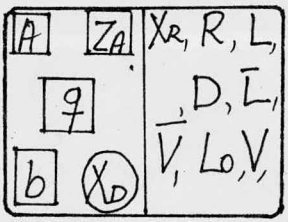


de la carga de calor.

6

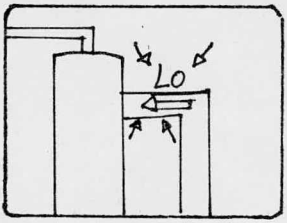


No es posible mantener constante este vapor - como sucedía antes de aplicar la corrección,



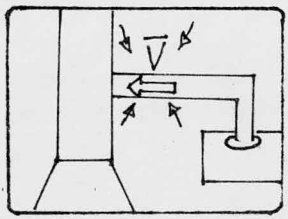
ya que se convierte en variable - dependiente al fijar la composición del destilado;

6



y su disminución se explica - puesto que, al reducir el líquido que - maneja la torre,

4



se necesita menos va-- por para estar en contacto con él.

OMA 103.
Acercamiento a la válvula de control del vapor de calentamien-
, la cual se mueve.

OMA 104.
Toma,en primer plano del tubo de vapor de calentamiento, y en
egundo plano, el rehervidor.

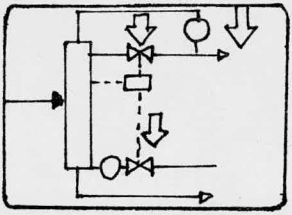
OMA 105.
Full shot de una tabla en que se muestra, del lado izquierdo y
stribuidos en forma de "cinco" de dado, los grados de libertad, y
el lado derecho, las variables dependientes, que corresponden a la
peración que se tiene cuando hay un cambio sin corregir, o sea, V
ertenece a los grados de libertad, y se encuentra encerrada en un
rculo rojo.

Posteriormente X_D pasa a ocupar el círculo que ahora
s verde, mientras que V pasa al grupo de las variables dependien--
es.

OMA 106.
Acercamiento al tubo de entrada del reflujo a la torre. En su
erimposición hay una flecha, que indica la dirección del flujo, y
. Ambos se reducen de tamaño.

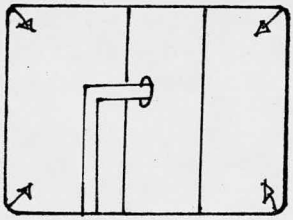
OMA 107.
Acercamiento al tubo de entrada de vapor a la torre. En super
nposición se tiene a V y una flecha que indica la dirección del --
ujo; ambos disminuyen de tamaño al comenzar la toma.

10

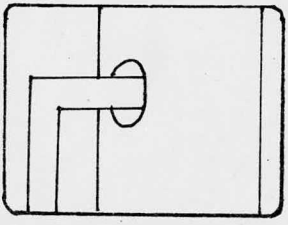


Como conclusión puede mencionarse que al controlar la composición del destilado, manipulando el reflujo, es indispensable ajustar la cantidad de vapor que sale del rehervidor.

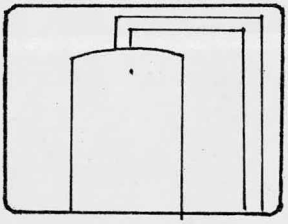
8



(PAUSA).

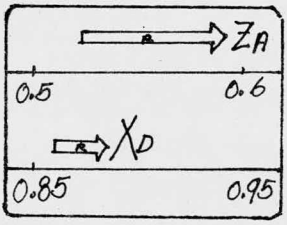


N.- Resumiendo, para contrarrestar el aumento en la composición de la alimentación

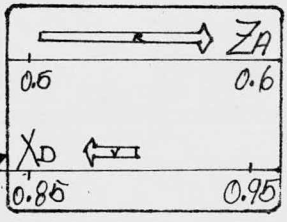


y obtener la requerida para - el destilado,

10



la columna debe operar



-- con un reflujo y una cantidad de vapor que sale del rehervidor

OMA 108.
Full shot del diagrama de control con el reflujo y ajuste auto
ático en el rehervidor. Se traza una flecha verde que apunta ha--
ia abajo y señala la salida del destilado; luego se traza otra fle
ha hacia abajo, indicando la válvula de control del reflujo; y fi-
almente, se traza otra flecha, hacia abajo, apuntando a la válvula
e control del vapor de calentamiento del rehervidor.

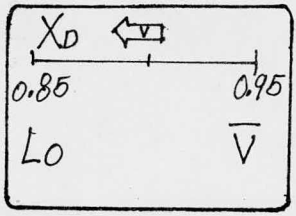
OMA 109.
Zoom in rápido desde un encuadre abierto de la zona de alimen-
ación

hasta un acercamiento de la entrada de la alimentación.

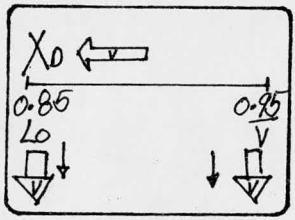
Se
ace un barrido en tilt up hasta el domo, se debe ver la salida de
apor.

OMA 110.
Aparecen dos escalas como en la toma 79, una para la alimenta-
ión y otra para el destilado. En la primera hay una flecha roja -
ue va desde 0.5 hasta 0.6, donde se encuentra Z_A; en la del desti-
ado hay otra flecha roja que abarca de 0.85 a 0.89, donde se en---
uentra X_D.

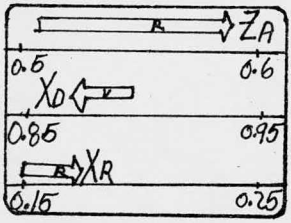
En seguida va apareciendo una flecha verde a la derecha
e X_D, que lo desplaza hasta 0.85, al mismo que su flecha roja va -
esapareciendo.



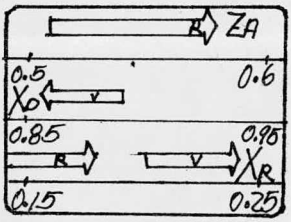
menores que aquéllos con los que operaba antes de producirse el aumento.



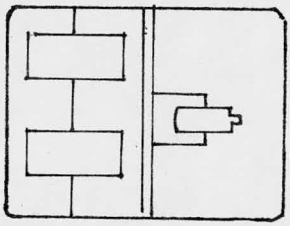
(PAUSA).



N.- Es importante notar, que si bien la composición del destilado se ajustó,

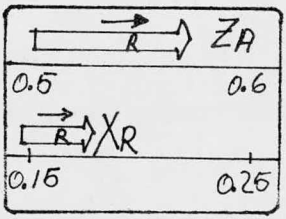


la del residuo aumentó, impurificándose así dicho producto;



sin embargo, el rendimiento de destilado se mantiene mayor que el de residuo.

(PAUSA).



N.- Al analizar ahora el control en la composición de residuo,

La tabla se desplaza hacia arriba hasta que la escala del destilado queda en la parte superior. Este movimiento descubre a L_o y V, que se encuentran abajo de la escala.

Posteriormente se trazan dos flechas verdes, partiendo de L_o y de V.

OMA 111.

Toma en la que hay tres escalas: en la parte superior una para la alimentación; en la parte media una para el destilado; y en la parte inferior una para el residuo. Las escalas de la alimentación y del destilado presentan la misma forma que la que tienen en la toma 110, cuando se aplica la corrección al destilado; en la escala del residuo hay una flecha roja que va de 0.15 a 0.18, donde se encuentra X_R.

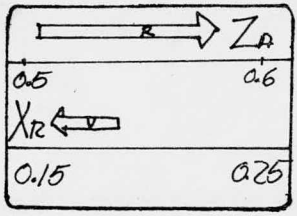
Posteriormente va apareciendo una flecha verde a la izquierda de X_R, desplazándolo hasta 0.26.

OMA 112.

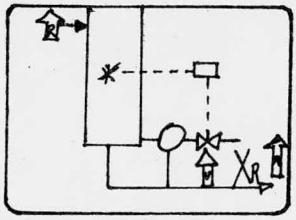
Toma igual que la 95.

OMA 113.

Toma de dos escalas, la de la alimentación en la parte superior y la del residuo en la parte inferior. En la escala de la alimentación se traza una flecha roja .que desplaza a Z_A desde 0.5 hasta 0.6. Inmediatamente después va apareciendo otra flecha roja en la escala del residuo, que empuja a X_R de 0.15 a 0.18.

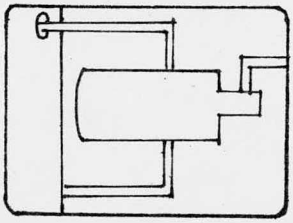


cuando se - tiene el mismo aumento en la composi--- ción de la alimentación,



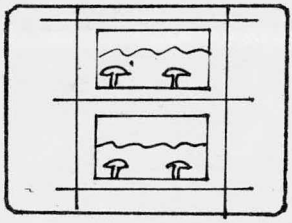
10

se encuentra - que resulta mejor controlar con la cantidad de vapor que sale del rehervidor, por razones análogas a las expuestas para el control de la composición del destilado.



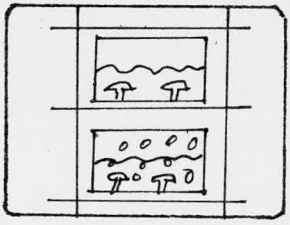
2

La función del rehervidor es

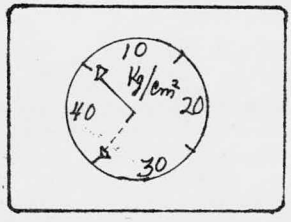


6

mantener vapor a lo largo de la columna,



permitiendo el contacto entre las fases, por tanto,



4

si se aumenta la cantidad de vapor que sale del rehervidor,

Posteriormente, en la escala del residuo, va apareciendo una - echa verde que regresa a X_R a 0.15, al mismo tiempo que su flecha oja va desapareciendo.

OMA 114.

Acercamiento al diagrama de control, de modo que se vea de la imentación hacia abajo. Se traza una flecha roja que señala la imentación, dirigida hacia arriba. En seguida se traza otra fle- a roja, hacia arriba que señala la salida del residuo. Después, arece un asterisco verde en el punto de medición de la temperatu- , y se traza una flecha verde que apunta hacia arriba, en la vál- la de control del vapor de calentamiento; al mismo tiempo la fle- a roja de X_R va desapareciendo.

OMA 115.

Toma del rehervidor en primer plano, en segundo plano se debe r el tubo de vapor que entra a la columna.

OMA 116.

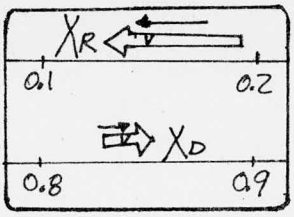
Toma de los dos platos de vidrio de la torre del Laboratorio, s cuales contienen líquido, pero no burbujean.

Se empieza a pa-- r vapor, de tal forma que se inicia el burbujeo en los platos.

OMA 117.

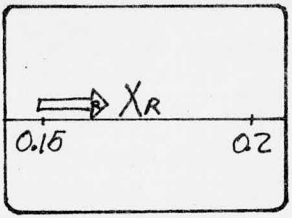
Acercamiento a un manómetro que indica que está aumentando la esión. Se hace corte en movimiento.

7

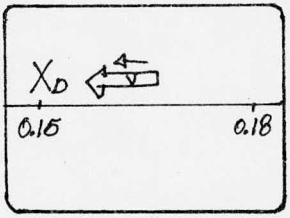


es ma-- yor el contacto interfacial, y como -- consecuencia ambos productos se purifi can.

6

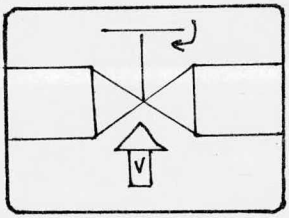


N.- En esta situación se requiere que la composición del residuo



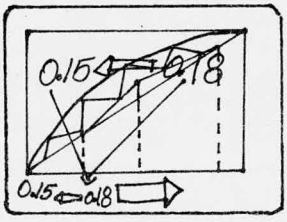
disminu ya de cero punto dieciocho a cero punto quince,

6

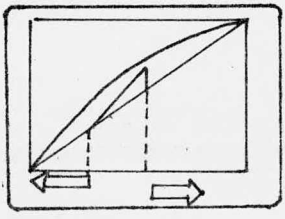


por lo que hay que aumentar el vapor que sale del rehervidor, por me-- dio de un incremento en la carga de calor.

30



N.- En el diagrama se puede apre-- ciar las consecuencias que esto tiene.



Un aumento en el vapor que sale del re- hervidor

MA 118.

Toma en que se ven dos escalas: la superior que va de 0.1 a - 2 y la inferior de 0.8 a 0.9. Al comenzar la toma se están mo--- endo dos flechas verdes: una en la escala superior desplaza a X_R cia la izquierda, y otra que en la escala inferior desplaza a X_D cia la derecha. Se hace disolvencia antes de que se detengan las echas.

MA 119.

Toma en que aparece una escala para el residuo, que va de 0.15 0.25. Hay una flecha roja que va de 0.15 a 0.18 donde se encuen- a X_R.

A continuación va apareciendo una flecha verde a la derecha de , que lo empuja hasta 0.15, haciendo desaparecer la flecha roja.

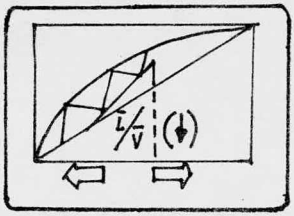
MA 120.

Acercamiento a la válvula de control del vapor de calentamien- la cual se mueve. En superimposición hay una flecha verde que unta hacia arriba.

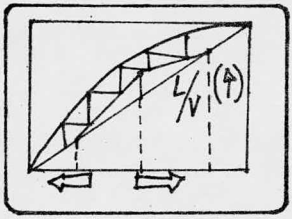
MA 121.

Full shot del diagrama McCabe-Thiele antes de corregir. Hay - flecha roja abajo de las abscisas, que indica el cambio en Z_A. arece un letrero que indica un desplazamiento de 0.18 a 0.15, ocu ndo todo el diagrama; el letrero se va haciendo pequeño y se des- aza hasta ocupar su lugar.

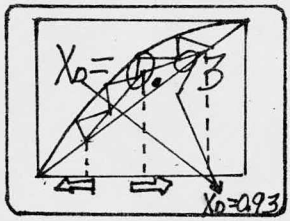
Se traza de golpe una línea punteada hasta cortar la línea de , partiendo de 0.15 en las abscisas. Se borran todos los datos epto la flecha roja de la alimentación. Al mismo tiempo aparece flecha verde que indica el cambio en el residuo. También que-- las líneas de alimentación y agotamiento.



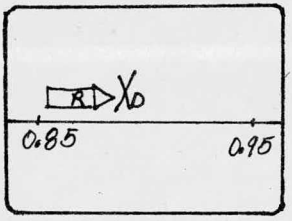
se refleja en la disminución - de la pendiente de la línea de operación en la sección de agotamiento.



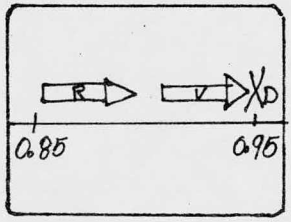
-- Construyendo el diagrama de modo de -- conservar el mismo número de platos,



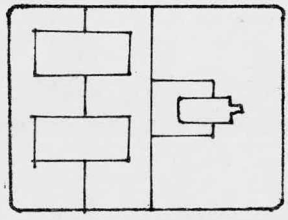
se observa una composición de destilado de cero punto noventa y tres;



lo cual - implica mayor pureza que la que se te-- nía antes de aplicar la corrección;



re- sultado que era de esperarse, puesto -- que al aumentar la carga de calor se incrementa el grado de separación de los componentes.



N.- Los flujos de productos siguen siendo cuarenta y uno para el residuo y cincuenta y nueve para el destilado;

La línea de agotamiento se desplaza hasta alcanzar la posición cesaria para que X_R sea 0.15. Aparece L/V (↓)(verde), cerca de - línea de agotamiento; este letrero después se borra, cuando se - azan los platos de la sección agotadora, empezando desde abajo -- sta la alimentación.

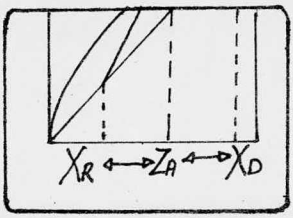
Aparece la línea de rectificación y se desplaza hasta su nueva sición. Aparece L/V(↑)(verde); el cual se borra cuando se trazan s platos de esta sección. Aparece una línea punteada desde la l a de 45° hasta 0.93 en la línea de las abscisas.

Aparece, ocupando todo el diagrama, X_D = 0.93; en seguida el - trero se va haciendo pequeño, al tiempo que se desplaza para ocu- su lugar en el eje de las abscisas.

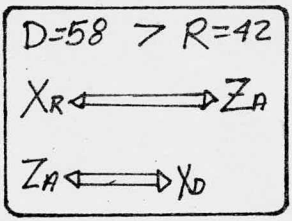
MA 122.
Toma en la que hay una escala de 0.85 a 0.95. Una flecha roja de 0.85 a 0.89, donde se encuentra X_D.

Una flecha verde va apa- iendo, para empujar a X_D hasta 0.93.

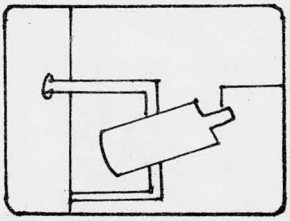
MA 123.
Igual a la toma 95.



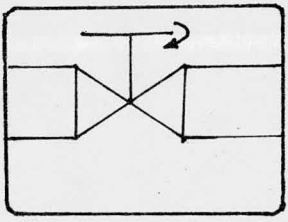
lo cual se observa en el diagrama, al apreciar que no se modifica significativamente la relación que existe entre las



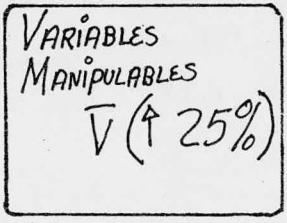
diferencias de lacomposición de la alimentación con las composiciones de destilado y residuo.



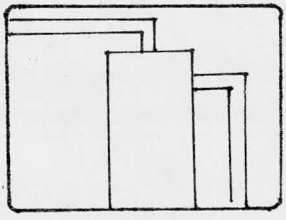
N.- La cantidad de vapor que sale del rehervidor



se tuvo que incrementar un veinticinco por ciento,



para poder obtener la composición requerida de residuo.



El reflujo también hubo de

OMA 124.
Acercamiento a la parte inferior del diagrama McCabe-Thiele.
e trazan flechas acotadas, abajo del eje de las abscisas, que van
e Z_A a X_R y de Z_A a X_D. Las flechas se trazan simultáneamente.

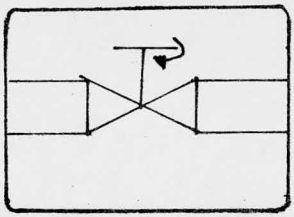
OMA 125.
Toma en que se ven las flechas acotadas, una sobre la otra. -
n la parte superior del cuadro se ve"D = 58 mayor que R = 42".

OMA 126.
Toma del rehervidor, en primer plano; en segundo se ve el tubo
vapor que entra a la torre.

MA 127.
Acercamiento a la válvula de control del vapor de calentamien-
, la cual se mueve.

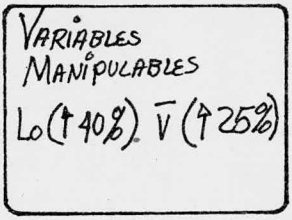
MA 128.
Tabla de variables manipulables en la que aparece $\bar{V}$(↑25%)(ver-
).

MA 129.
Acercamiento a la entrada del reflujo a la columna.



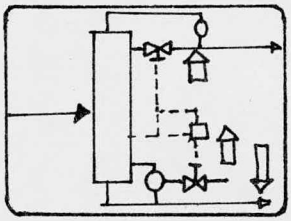
3

au--
mentarse un cuarenta por ciento,



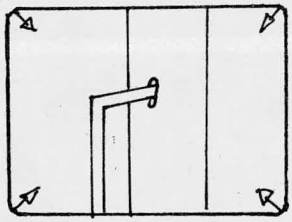
3

puesto
que es una variable dependiente.



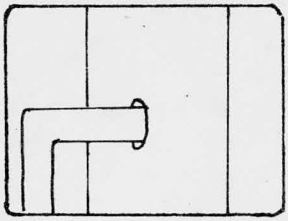
14

N.- Entonces, debe notarse que es - indispensable ajustar el reflujo en el caso de control de la composición del - residuo, mediante el manejo de la cantidad de calor en el rehervidor.

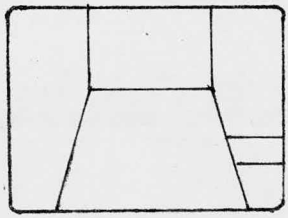


8

(PAUSA).



N.- Resumiendo, para contrarrestar el incremento en la composición de la - alimentación,



y obtener la de residuo - requerida,

MA 130.
Acercamiento a la válvula de control del reflujo, la cual se -
eve.

MA 131.
Tabla de variables manipulables, además de $\bar{V}$, ahora aparece:
$_0$(↑40%)(verde)".

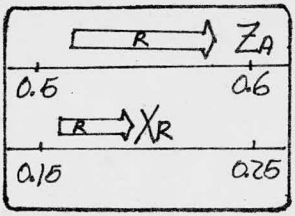
MA 132.
Full shot del diagrama de control.con el rehervidor y ajuste -
comático del reflujo. Va apreciendo una flecha verde que apunta
cia abajo y señala la salida del residuo; a continuación se traza
ra flecha verde, hacia arriba en la válvula de control del vapor
calentamiento. Finalmente, se traza otra flecha verde, hacia -
iba en la válvula de control del reflujo.

MA 133.
Zoom in rápido desde un encuadre abierto de la zona de alimen-
ción

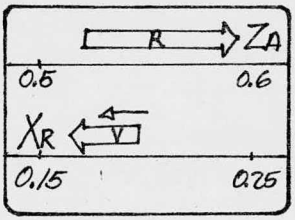
hasta un acercamiento de la entrada del tubo de alimentación.

ontinuación se hace un barrido, en tilt down, hasta la base de -
columna, donde se debe ver el tubo de salida del líquido.

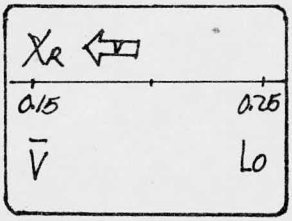
10



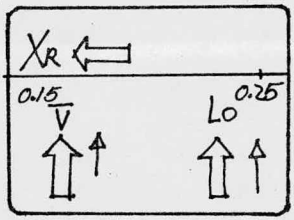
la columna debe operar



con una cantidad de vapor que sale del re-- hervidor

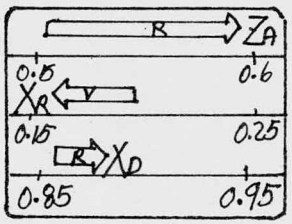


y un reflujo mayores que aquéllos con los que operaba antes de tal - aumento.

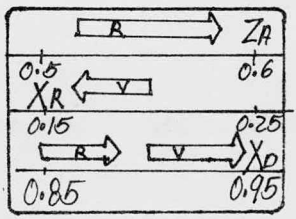


(PAUSA).

7



N.- Se observa que al ajustar la - composición del residuo, purificándolo,



el destilado también aumenta su pureza,

OMA 134.

Toma en la que hay dos escalas: una para la alimentación y o-
ra para el residuo; la de la alimentación tiene una flecha roja --
ue va de 0.5 a 0.6, donde se encuentra Z_A; la del residuo, tiene o
ra flecha roja que va de 0.15 a 0.18, donde está X_R.

En la escala del residuo va apareciendo una flecha verde que -
egresa a X_R a 0.15, haciendo desaparecer la flecha roja.

La tabla se desplaza hacia arriba, de tal modo que la escala -
l residuo queda en la parte superior; abajo de esta escala quedan
scubiertos V y L_o.

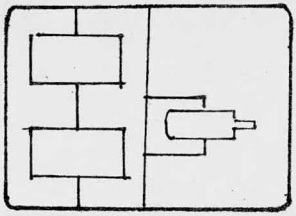
A continuación se trazan dos flechas verdes,
cia arriba, que llegan hasta V y L_o.

MA 135.

Toma en la que hay tres escalas, para la alimentación, el resi
o y el destilado, en orden descendente. Las escalas de la alimen
ción y del residuo son iguales a las de la toma 134, después de -
rregir el residuo. En la escala del destilado hay una flecha ro-
de 0.85 a 0.89, donde se encuentra X_D.

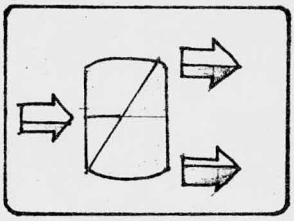
Posteriormente, a la izquierda de X_D va apareciendo una flecha
rde que lo desplaza hasta 0.93.

4

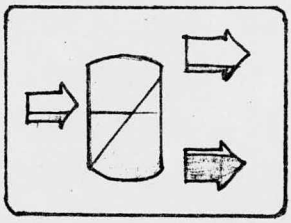


aunque el rendimiento del producto de base se conserva menor que él de domo.

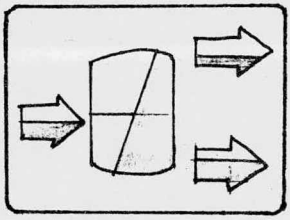
13



N.- Es interesante comparar los resultados obtenidos al controlar la composición de cada uno de los productos.

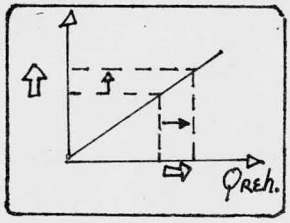


Cuando se quiere aumentar la pureza de alguno de ellos, se tiene como consecuencia el aumento de la del otro,



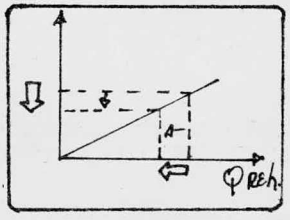
y viceversa, cuando se quiere disminuir la pureza de un producto se reduce la del otro.

10



Ahora bien, para aumentar la pureza de ambos productos es necesario incrementar el reflujo y la cantidad de calor en el rehervidor, lo que implica mayor costo de operación;

10



contrariamente, para reducir la pureza de los dos productos, se ha de disminuir el reflujo y la cantidad de calor en el rehervidor, resultando un costo menor.

OMA 136.
Toma igual a la 95.

OMA 137.
Diagrama de la columna igual que el del final de la toma 52.

l línea diagonal que divide a las dos zonas gira en sentido de las necillas del reloj, teniendo por centro la alimentación; las flechas se modifican en la misma proporción que el giro.

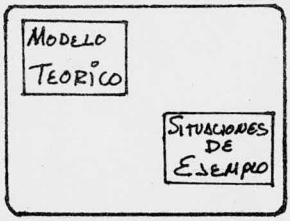
Después, la línea diagonal gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, hasta una posición que indica menor pureza que la del principio de la toma. Las flechas se modifican en igual proporción que el giro.

MA 138.
Toma de una gráfica de costo vs. calor en el rehervidor. Las líneas punteadas de costo y de calor se desplazan hacia arriba y hacia la derecha, respectivamente; desplazamientos que se marcan con unas flechas verdes en el eje de las ordenadas y en el eje de las abscisas.

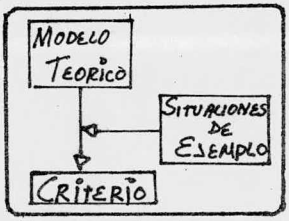
MA 139.
Toma igual a 138, sólo que ahora las líneas punteadas de costo de calor se desplazan en sentido contrario; los desplazamientos se señalan con flechas verdes en el eje de las ordenadas y en el de las abscisas.

(PAUSA).

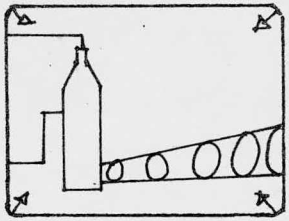
N.- Ya que han visto la interacción de las variables en el caso



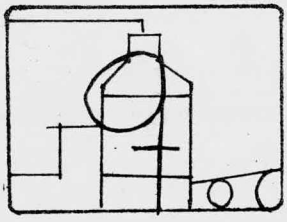
de un cam-- bio en la composición de la alimentación, tienen los elementos



de criterio necesa rios para deducir el comportamiento de las variables cuando se modifica alguna de las condiciones



a las que entra la - alimentación a la columna; entonces,



se va a considerar el caso en que se modi- fican

40.
nagen abstracta, puede ser una pintura de Vasarelli.

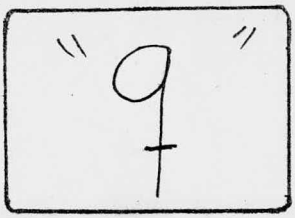
41.
cercamiento de un cuadro que dice: "MODELO TEORICO".

Se ha-
n out hasta abarcar otro cuadro que dice "SITUACIONES DE EJEM
el cual se encuentra abajo a la derecha, con respecto al pri-
adro.

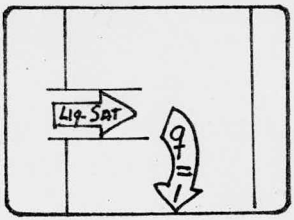
42.
oma en que aparecen los mismos cuadros de la toma 141, pero
o un espacio libre en la parte inferior del cuadro. Aparece
echa que sale del cuadro de "MODELO TEORICO" y se dirige ha-
ajo, rebasando el letrero de "SITUACIONES DE EJEMPLO"; de es
imo cuadro sale una flecha horizontal hasta llegar a topar -
flecha vertical. Finalmente aparece un cuadro que dice ---
RIO", en el extremo de la flecha vertical.

43.
ull shot de la columna atmosférica, en primer plano aparecen
ecalentadores.

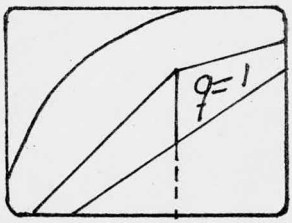
Se hace un zoom in lento hacia la torre. En
mposición aparece una "q" (grande y anaranjada).



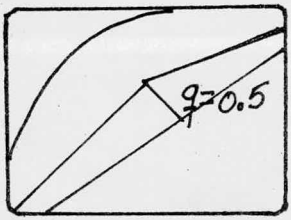
las condiciones térmicas de la alimentación.



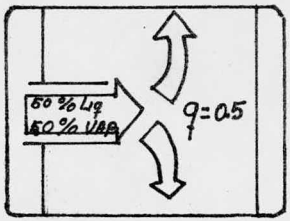
Así pues, la entalpia de la alimentación



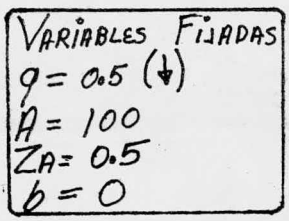
aumenta de tal forma -- que entra a la columna como una mezcla



cincuenta por ciento líquido y cincuenta por ciento vapor.



(PAUSA).



N.- El flujo y la composición de la alimentación no varían, al igual que las condiciones térmicas deñ refñujo.

Desaparece
magen de la columna atmosférica, y sólo queda la "q".

144.
Diagrama de la entrada de la alimentación a la columna. El --
o dentro del tubo de alimentación, se representa por una flecha
sa, que dice "LIQ. SAT.". El líquido que cae dentro de la co--
a se representa por una flecha gruesa y curvada hacia abajo, --
dice "q = 1".

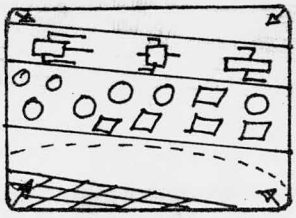
145.
Acercamiento a la zona de la línea de alimentación en el dia--
a McCabe-Thiele; sólo se ven las líneas de 45°, de alimentación
operación. Hay un letrero junto a la línea de alimentación --
dice "q = 1".

Este letrero se borra y la línea se desplaza has
na posición correspondiente a "q = 0.5", letrero que aparece --
do se acaba de desplazar la línea.

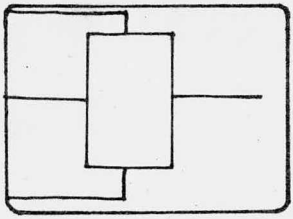
146.
Mismo diagrama que la toma 146, sólo que la flecha del tubo de
entación ahora dice: "50% liq.-50% vap.". La otra flecha se -
ividido en dos, una que va hacia arriba y otra que va hacia aba
entre ambas hay un letrero que dice "q = 0.5".

147.
Tabla de variables fijadas, que contiene: "q = 0.5(↓)(roja)".
ués aparecen: "A = 100, Z_A = 0.5, b = 0".

15

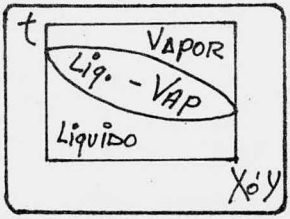


N.- A continuación, dispondrán de - quince minutos para deducir los efectos que este cambio tiene en la composición de productos, así como las correcciones necesarias



para ajustar la composición de productos requerida, describiendo es tos efectos en el diagrama McCab-Thiele.

5



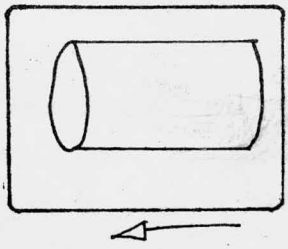
Como punto de partida, les puede ser útil emplear el diagrama que muestra el quilibrio líquido-vapor, en función de la temperatura.

18

Ha de aclararse que se buscan resultados cualitativos; es de-- cir, interesa describir el comportamien to de las variables en la columna sin - realizar cálculo alguno, para después - relacionarlo con el diagrama McCabe---- Thiele. Al reanudarse la transmisión - se presentarán los resultados en forma exacta.

DISCUSION EN GRUPO.
Se interrumpe la transmisión.

16



(PAUSA).

148.
Zoom in lento en la sala de control de la refinería de Tula, -
e un plano general

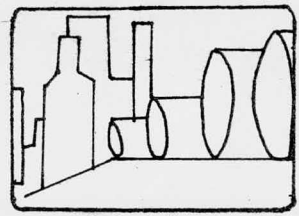
hasta un encuadre cercano del diagrama de la
mna en el tablero.

149.
Diagrama de temperatura contra composición de líquido y vapor.

150.
Efecto visual en el que haya movimiento.

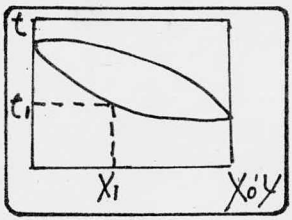
USION EN GRUPO. Véase instructivo adjunto para dirigir la dis-
ón. (apéndice 1).

151.
Fade in. Aparece en full shot uno de los precalentadores de -
ına atmosférica.

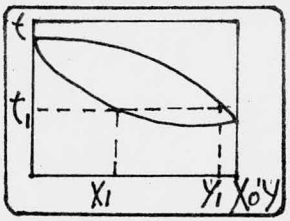


N.- Ya que ustedes han deducido el comportamiento de la columna en términos generales, veamos los resultados para que comprueben sus conclusiones.

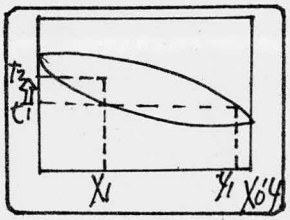
45



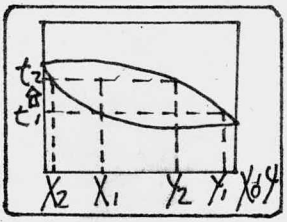
N.- En el diagrama de equilibrio - líquido-vapor, en función de la temperatura, se observa que cuando la alimentación entra como líquido saturado a una temperatura "T_1" y una composición "X_1",



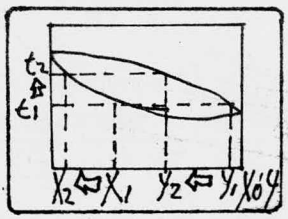
está en equilibrio con un vapor de composición "Y_1".



Ahora, al haber un aumento en la entalpia de la alimentación, tal que su temperatura se incrementa a "T_2",



Se obtiene una mezcla líquido-vapor en equilibrio, de composiciones "X_2" y "Y_2" , respectivamente.



Como se puede observar "X_1" es mayor que "X_2" y "Y_1" es mayor que "Y_2"; esto significa que se obtiene tanto un líquido como un vapor, con menor concentración del componente ligero.

Se hace panning hacia la izquierda hasta que se vea todo el -- de precalentadores en perspectiva, y la columna al fondo.

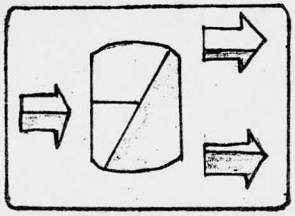
152.
Toma del diagrama temperatura vs. X ó Y. Aparecen X_1 y T_1 en escalas respectivas; con líneas punteadas se señala el punto -- correspondiente en la línea del líquido.

A continuación, la línea punteada que parte de T_1 se prolonga golpe hasta llegar a la curva de vapor. Inmediatamente aparece línea punteada que une a este punto con las abscisas; al mismo mpo aparece Y_1 abajo de las abscisas.

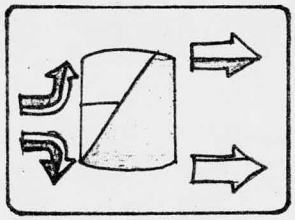
Aparece T_2 en las ordenadas, con una flecha roja que indica su ación con T_1. Al mismo tiempo aparecen líneas punteadas que lo- zan este punto en la zona líquido-vapor (líneas punteadas rojas). eguida

aparece una línea punteada roja que continúa la que vie- de T_2 hasta la línea de vapor. De inmediato aparecen dos líneas icales rojas que unen los puntos donde T_2 corta las líneas de - ido y vapor, con las abscisas. Abajo de las abscisas, al mismo mpo, aparecen X_2 y Y_2.

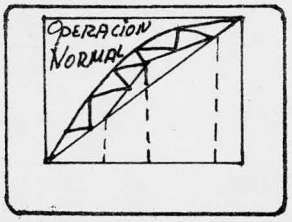
Posteriormente aparecen flechas rojas, abajo de las abscisas, indican el cambio de X_1 a X_2 y de Y_1 a Y_2.



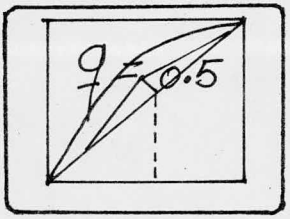
N.- Este efecto que ocurre en el - plato de alimentación, se transmite a - través de toda la columna,



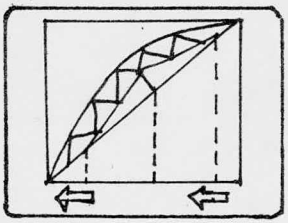
por lo que - se obtienen productos con menor concentración de benceno, es decir, el destilado se impurifica y el residuo se purifica.



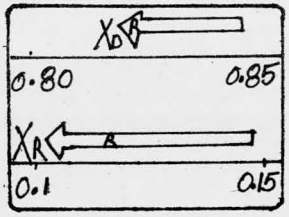
N.- En el diagrama McCabe-Thiele - la línea de alimentación



se inclina hacia la izquierda cuando la alimentación entra como una mezlca cincuenta por --- ciento líquido y cincuenta por ciento - vapor,



esto trae como consecuencia que las líneas de operación sufran un corrimiento en la misma dirección;



lo que implica que ambos productos disminuyan su composición en benceno.

153.
Diagrama de la columna igual al del inicio de la toma 52.

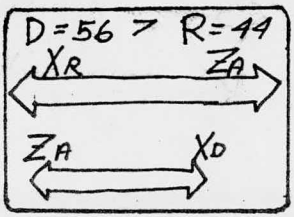
En
ación simple, la flecha de la alimentación se cambia por dos --
has, una hacia arriba y otra hacia abajo; la primera con mayor
orción de benceno y la segunda con mayor proporción de heptano.
ntinuación, la línea diagonal se desplaza a la izquierda. Des
, se modifican las flechas de los productos, ambas aumentan su
orción de heptano.

154.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación normal, -
un letrero que así lo indique.

Se borran todos los datos excepto las líneas de alimentación y
peración. Se desplazan las líneas de alimentación y de opera--
, hasta que la primera alcance la posición correspondiente a --
0.5, aparece un letrero que indica este valor.

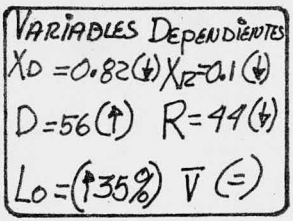
Desaparece "q = 0.5", y aparecen los platos de golpe. En se--
a aparecen líneas punteadas que señalan las composiciones de --
uctos en las abscisas, en donde aparecen flechas rojas que indi
el desplazamiento de los productos.

155.
Toma de dos escalas, la del destilado de 0.8 a 0.85, y la del
duo de 0.1 a 0.15. Van apareciendo dos flechas rojas que empu-
a X_D, de 0.85 a 0.82, y a X_R, de 0.15 a 0.1.



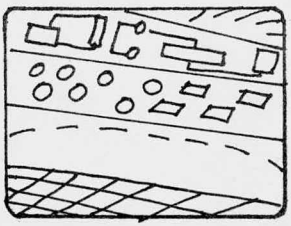
6

N.- El flujo de destilado aumenta de cincuenta a cincuenta y seis, en tanto que el residuo disminuye de cincuenta a cuarenta y cuatro.



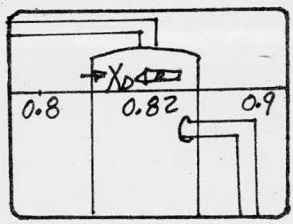
6

N.- El reflujo se incrementa un -- treina y cinco por ciento, y el vapor - generado por el rehervidor, es el mismo.



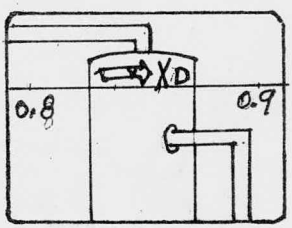
4

N.- Ahora veamos los resultados para el control.

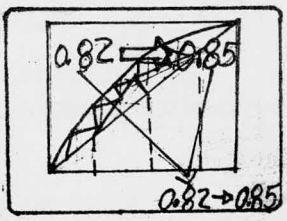


5

Para ajustar la composición de destilado



es necesario incrementar su fracción mol de cero punto ochenta y dos a cero punto ochenta y cinco;



25

o sea, hay que aumentar su pureza, para lo cual se necesita que haya mayor contacto entre las fases,

A 156.
Toma en la que hay dos flechas acotadas, una sobre la otra. - la parte superior del cuadro dice: "D = 56 mayor que R = 44".

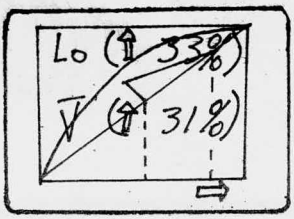
A 157.
Tabla de variables dependientes que contiene: "X_D = 0.82(↓), = 0.1(↓), D = 56(↑), R = 44(↓). En seguida aparecen L_o(↑35%) y =)(rojo)(flechas de color rojo).

A 158.
Plano general del cuarto de control de la refinería de Tula.

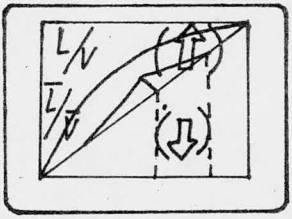
A 159.
Acercamiento del domo de la columna. En superimposición hay - escala de 0.8 a 0.9. Sobre esta escala hay una flecha roja que de o.85 a 0.82, donde se encuentra X_D.

Va apareciendo una flecha verde a la derecha de X_D, y lo desza hasta 0.85, la flecha roja va desapareciendo.

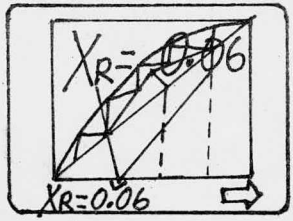
A 160.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación sin corre (al cambiar q). Aparece, ocupando todo el diagrama, un letrero indica el cambio de 0.82 a 0.85 (verde), el letrero se va ha--- ndo pequeño, al tiempo que se desplaza para ocupar su lugar en - abscisas.



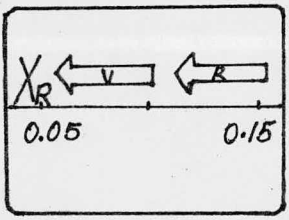
lo que se logra aumentando el reflujo un treinta y tres por ciento y el vapor producido en el - rehervidor un treinta y uno por ciento.



(PAUSA).

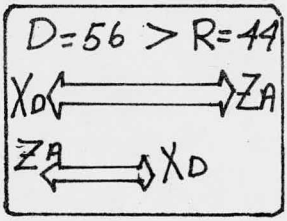


N.- La corrección del destilado -- trae como resultado una composición de de residuo de cero punto seis,

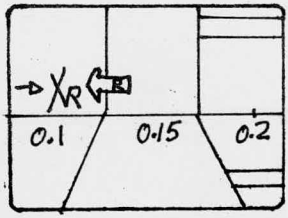


o sea, - se purifica.

(PAUSA).



N.- El rendimiento de los produc-- tos no cambia.



N.- Para ajustar la composición de residuo es necesario

A continuación, se borran los platos y la línea agotadora, al
no tiempo que aparece una línea punteada desde 0.85 en las absci
hasta la línea de 45°. El letrero que indica el cambio de 0.82
85 se cambia por una flecha verde. Al mismo tiempo aparecen:
↑33%) y V(↑31%)(flechas verdes). La línea de rectificación se
laza a su posición final, y se borran los letreros.

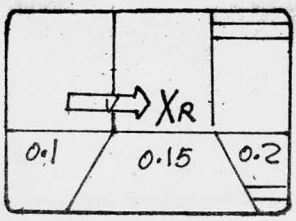
Aparece: "L/V(↑)(verde)". Posteriormente aparece la línea a-
dora en su posición final y al mismo tiempo aparece: "L/V(↓)"-
de).

Aparecen los platos y al mismo tiempo se borran las pendientes.
ién aparece una línea punteada que baja al 0.06 de las abscisas.
ece, ocupando todo el diagrama, "X_R = 0.06"; letrero que se ha-
equeño y se desplaza hasta colocarse en las abscisas.

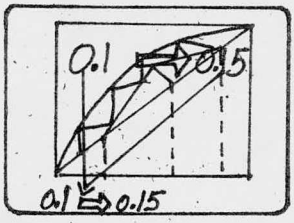
161.
Toma en la que hay una escala de 0.05 a 0.15. Hay una flecha
de 0.15 a 0.1, en donde está X_R. Va apareciendo una flecha --
e que empuja a X_R hasta 0.05.

162.
Toma en la que hay dos flechas acotadas, una arriba, de X_R a -
y otra abajo de Z_A a X_D. Como título dice: "D = 56 mayor que
44".

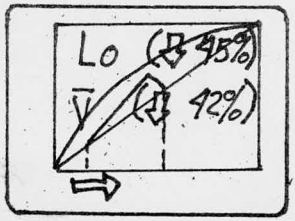
163.
Acercamiento de la base de la columna. En superimposición hay
escala que va de 0.1 a 0.2. Hay una flecha roja de 0.15 a 0.1,
onde se encuentra X_R.



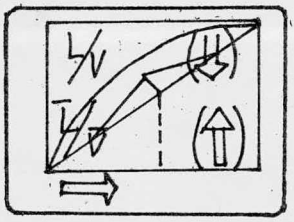
incrementar su --- fracción mol de cero punto uno a cero - punto quince;



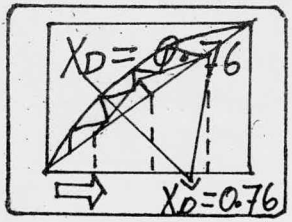
o sea, hay que impurificarlo.



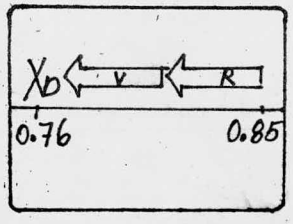
con tal fin se disminuye el vapor generado en el rehervidor, cuarenta y dos por ciento, y el reflujo, cuarenta y cinco por ciento.



(PAUSA).



N.- Al corregir el residuo, la composición del destilado cambia a cero punto setenta y seis,



es decir, se impurifica.

(PAUSA).

Va apareciendo una flecha verde que empu
a X_R hasta 0.15; la flecha roja va desapareciendo.

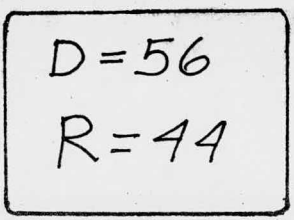
164.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación sin corre
(al cambiar q). Aparece, ocupando todo el diagrama un letrero
indica el cambio de 0.1 a 0.15; el letrero se hace pequeño y se
oca en el lugar que le corresponde abajo de las abscisas.

Se borran todos los platos y la línea rectificadora, al tiempo
aparece una línea punteada desde 0.15 hasta la línea de 45°. -
etrero que indica el cambio de 0.1 a 0.15 es reemplazado por --
flecha verde; al mismo tiempo aparecen "V(↓42%) y L_o(↓45%)"(ver
.

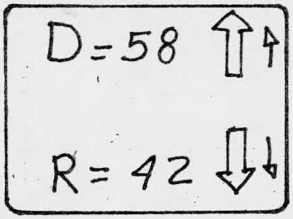
La línea de agotamiento se desplaza a su posición final, en es
momento se borran V y L_o y aparece"$\overline{L}/\overline{V}$(↑)"(verde). En seguida a
ce la línea rectificadora en su posición final, junto con "L/V-
(verde).

Aparecen de golpe todos los platos, y una línea punteada que -
a 0.76 en las abscisas. Se borran las pendientes y aparece o-
ndo todo el diagrama: "X_D = 0.76"; letrero que se hace pequeño
desplaza hasta ocupar su lugar en las abscisas.

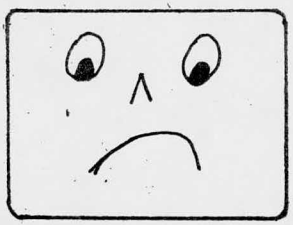
165.
Toma en la que hay una escala de 0.75 a 0.85. Sobre ella está
flecha roja que va de 0.85 a 0.82, donde está X_D. Va aparecien
na flecha verde que empuja a X_D hasta 0.76.



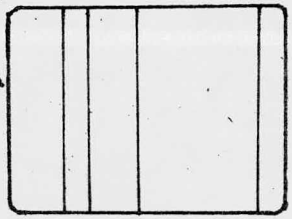
N.- El flujo de destilado aumenta



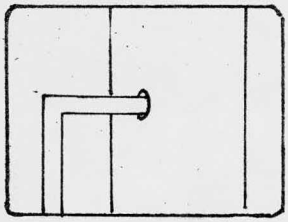
ligeramente y el de residuo, disminuye.



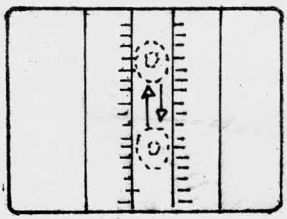
(PAUSA).



N.- A continuación, se va a analizar la última de las situaciones de cambio en las condiciones



de alimentación, que corresponde a la variación en el flujo de alimentación.



Así, se va a considerar el caso en el que dicho flujo aumenta un cuarenta por ciento.

166.
Toma en que aparecen: "D = 56" y "R = 44".

aparecen dos fle-
verdes, una hacia arriba, para D, y otra hacia abajo para R.
eguida "el 56" se cambia por "58" y "el 44" por "42".

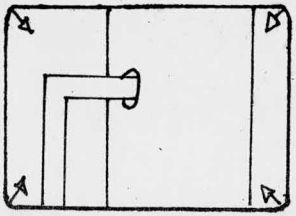
167.
Efecto visual con movimiento, para remarcar la separación en--
los dos casos.

168.
Tilt up, ya en movimiento, que sigue el tubo de alimentación,
n encuadre tal que se alcance a ver todo el ancho de la columna,

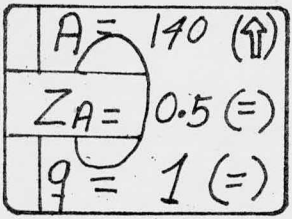
a llegar a la zona de alimentación.

169.
Acercamiento al medidor de flujo de la alimentación, el indica
se mueve.

4

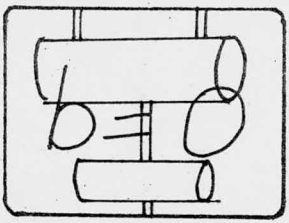


La composición



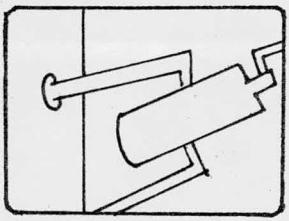
y las condiciones térmi-- cas de la alimentación, permanecen constantes,

3



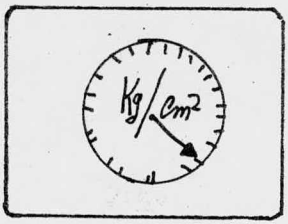
al igual que las condiciones - térmicas del reflujo.

4



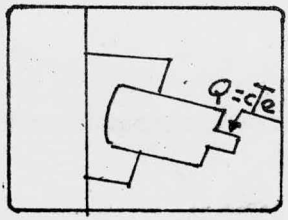
N.- Es importante no perder de vista que el vapor generado

4



en el rehervidor permanece constante, ya que no se - modifica

3



la carga de calor antes de efectuar las correcciones.

170.
Zoom in desde el final de la toma 168 hasta un

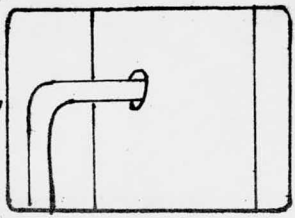
acercamiento -
a entrada de la alimentación. En superimposición aparecen: --
= 140(↑)(roja), Z_A = 0.5(=), q = 1(=)".

171.
Full shot de los condensadores, en superimposición está "b= 0".

172.
Full shot del rehervidor, de tal forma que el tubo de salida -
apor esté en primer plano y en segundo el rehervidor.

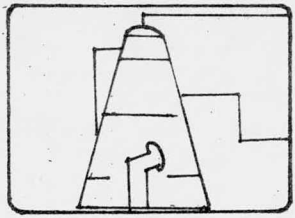
173.
Acercamiento a un manómetro, su indicador permanece estático.

174.
Full shot del rehervidor, en el que se vea en primer plano el
de vapor de calentamiento. En superimposición está "q es cte.".



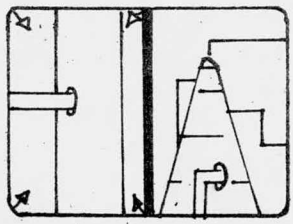
4

Por tanto, al aumentar la cantidad de líquido saturado que se alimenta,



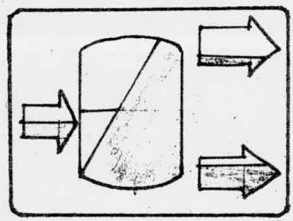
2

no hay el vapor necesario para



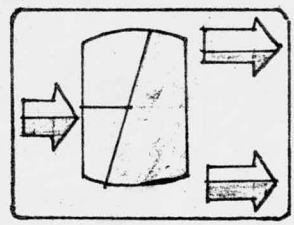
4

mantener la misma cantidad de contacto entre las fases.

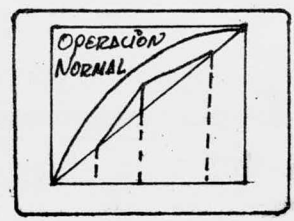


9

En consecuencia, al ser menor el contacto interfacial, ambos productos se impurifican,



es decir, el destilado disminuye su concentración de benceno mientras que el residuo, la aumenta.



30

N.- En el diagrama McCabe-Thiele no es posible apreciar directamente un cambio en el flujo de alimentación,

175.
Tilt down a partir de la alimentación, en un encuadre parecido
e la 168, sólo que se cambia la angulación para que no se sien-
ue se baja por el tubo. Corte en movimiento.

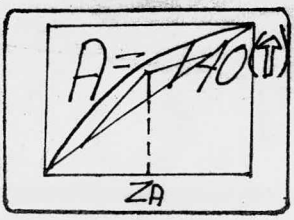
176.
Toma en contrapicada en la que se vea en primer plano el tubo
apor que entra a la columna, y en segundo, la torre.

177.
Imagen dividida en dos, a la izquierda, un acercamiento de la
de alimentación, igual al del inicio de la toma 175, se hace -
in. A la derecha hay una toma parecida a la 176. Corte en mo
ento.

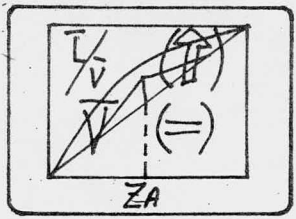
178.
Esquema de la torre como el del inicio de la toma 52.

La línea
onal gira en sentido contrario a las manecillas del reloj. Las
has de productos indican que éstos se han impurificado, al cam-
la relación de las zonas de colores.

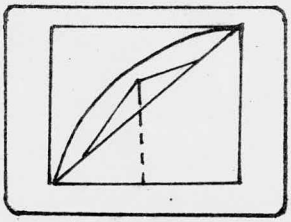
179.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación normal; -
un letrero que así lo indica.



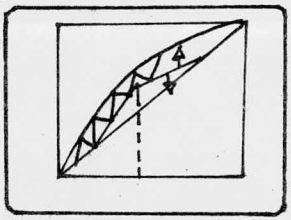
sin - embargo, sí se pueden observar sus efectos, por medio de la posición de las líneas de operación.



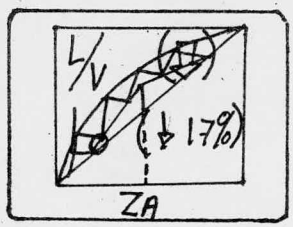
De este modo, la línea de agotamiento aumenta su pendiente, debido a que también aumenta el líquido alimentado, mientras el vapor permanece constante.



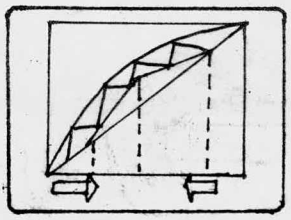
(PAUSA).



N.- La línea de rectificación disminuye su pendiente de modo que se ajuste el número de platos en esta sección.



Esto implica que el reflujo se reduce - diecisiete por ciento;



reducción que - tiende a compensar el aumento de líquido en la sección agotadora.

N.- Ambos productos se impurifican,

Aparece, ocupando todo el diagrama "A = 140(↑)"(flecha roja). mismo tiempo, se borran los platos y las líneas punteadas de los ductos. En seguida el letrero se hece pequeño hacia el centro - diagrama, y termina por desaparecer.

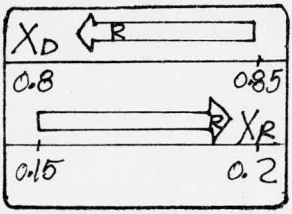
A continuación, se mueve la línea agotadora hasta su posición al. Aparecen"$\underline{L}/\overline{V}$(↑) y $\overline{V}$(=). Aparecen los platos de la sección tadora

mientras desaparecen $\overline{L}/\overline{V}$ y $\overline{V}$.

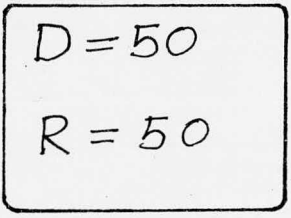
Después se mueve la línea ectificación hąsta alcanzar su posición final.

Aparecen"L/V(↓) y L_o(↓17%)"(flechas rojas).

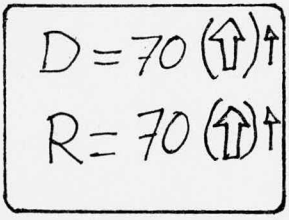
Por último apare- los platos de la sección rectificadora, las líneas punteadas de s productos, y un par de flechas rojas que señalan el desplaza- to de los productos, abajo de las abscisas.



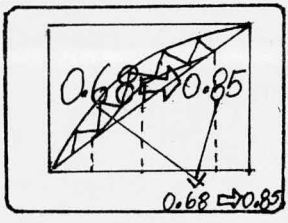
siendo cero punto dos la fracción mol - del residuo y cero punto ocho la del -- destilado.



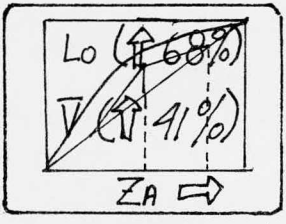
Los flujos de productos aumentan en igual proporción.



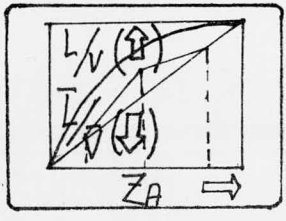
(PAUSA).



N.- Para ajustar la composición -- del destilado al valor requerido,



hay - que incrementar el contacto entre las - fases, para lo cual se aumenta el reflujo y el vapor producido en el rehervi-- dor;



(PAUSA).

MA 180.
Toma en que hay dos escalas, una de 0.8 a 0.85 y otra de 0.15
0.2. Una flecha roja va de 0.85 a 0.8, donde está X_D; otra va de
15 a 0.2 donde se encuentra X_R.

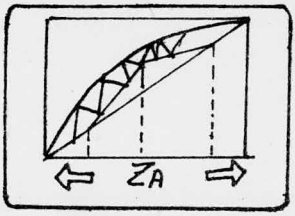
MA 181.
Toma en la que aparece "D = 50" y "R = 50".

Junto a los npume
s se trazan flechas rojas hacia arriba, al mismo tiempo que los -
ncuentas" se cambian por "setentas".

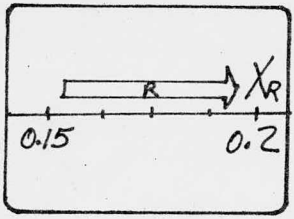
MA 182.
Full shot del diagrama McCabe-Thiele de la operación sin corre
, al cambiar el flujo de alimentación. Aparece, ocupando todo -
diagrama, un letrero que indica el cambio de 0.8 a 0.85; el le--
ero se hace pequeño hasta colocarse en el lugar que le correspon
en las abscisas.

Aparece una flecha verde que sustituye al letrero del desplaza
nto de 0.8 a 0.85. Aparece una línea punteada que une a 0.85 --
la línea de 45°. Se borran los platos y la línea punteada del
iduo. Aparecen "L_o(↑68%)" y"$\bar{V}$(↑41%)(verdes)".

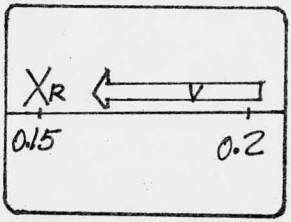
Desaparecen L_o y $\bar{V}$, y las líneas de operación se desplazan has
su posición final. Aparecen"L/V(↑) y L/V(↓)" (verdes).



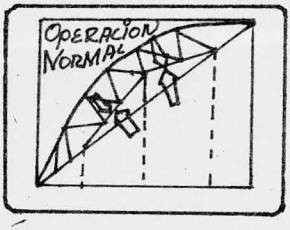
(PAUSA).



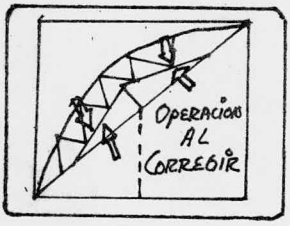
En este caso, la corrección del - destilado trae como consecuencia



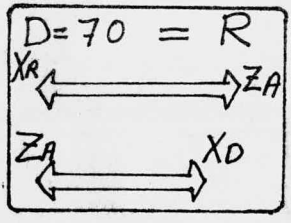
que la composición de residuo se ajuste a su - vez al valor requerido.



N.- Se observa entonces, que el -- diagrama resulta ser el mismo que el -- que se tenía



, antes de aumentar el flujo de alimentación, esto indica que en ambos casos las relaciones de flujos in-- ternos son iguales.



Los flujos de productos no sufren variación al corregir.

Aparecen los platos y desaparecen las pendientes. Aparece la línea punteada del residuo junto con una flecha verde que indica el cambio en este producto.

TOMA 183.

Toma en la que se encuentra una escala de 0.15 a 0.2. Hay una flecha roja de 0.15 a 0.2, donde está X_R.

Va apareciendo una flecha verde que empuja a X_R hasta 0.15. Desparece la flecha roja.

TOMA 184.

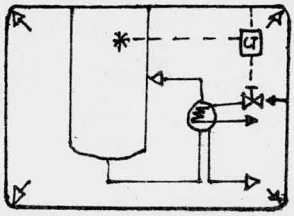
Se conserva el mismo diagrama McCabe-Thiele del final de la toma 182, pero con el título de "OPERACION NORMAL". A ambos lados de cada línea de operación, en sus partes medias, aparece un par de flechas, que apuntan en sentido opuesto y son perpendiculares a las líneas.

El letrero se cambia por operación al corregir.

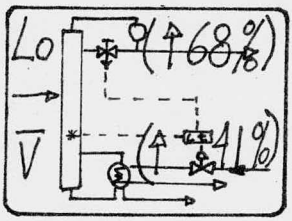
TOMA 185.

Toma en la que hay un par de flechas acotadas, de igual tamaño, una para X_R-Z_A y otra para Z_A-X_D. Como título dice: "D = 70 = R".

9

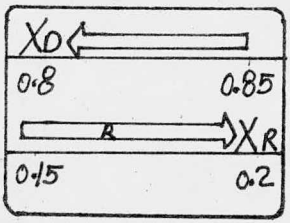


N.- Ahora bien, cuando se corrige tomando como referencia el residuo, se debe aumentar el vapor del rehervidor y el reflujo;

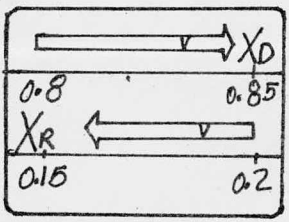


se observa que estos aumentos son iguales a los que fueron necesarios para ajustar el destilado.

7

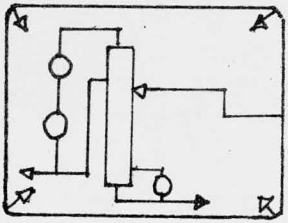


obviamente, se obtienen resultados idénticos en ambos casos, es decir,

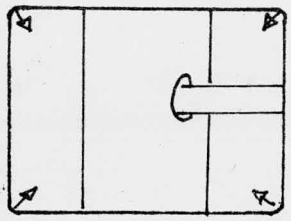


se ajustan los dos productos simultáneamente; y por supuesto, el diagrama McCabe-Thiele es el mismo.

5



(PAUSA).



N.- Por último,

TOMA 186.

Acercamiento a la parte inferior del diagrama de control con - el rehervidor y ajuste automático del reflujo.

A continuación, se hace zoom out para descubrir todo el diagrama; en superimposición - aparecen: "L_o(↑68%)" y "V(↑41%)".

TOMA 187.

Toma de dos escalas, una de 0.15 a 0.2 y otra de 0.85 a 0.8. En la escala superior, la del destilado, hay una flecha roja de --- 0.8 a 0.85, donde está X_D. En la escala inferior, la del residuo, hay una flecha roja de 0.15 a 0.2 donde se encuentra X_R.

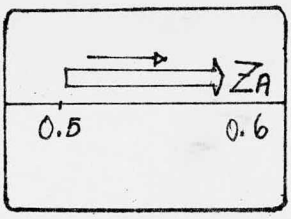
Dos flechas verdes van apareciendo, para desplazar a X_R hasta 0.15 y a X_D hasta 0.85; al mismo tiempo las flechas rojas van desapareciendo.

TOMA 188.

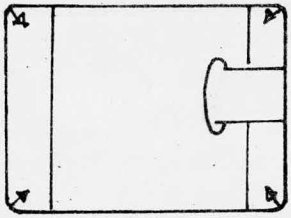
Full shot de la columna, se hace un zoom in

hacia la zona de alimentación. Se hace corte en movimiento.

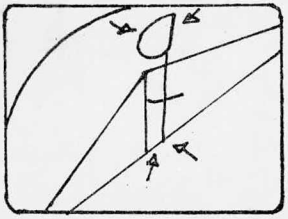
3	
3	
4	
2 3	
3 3	



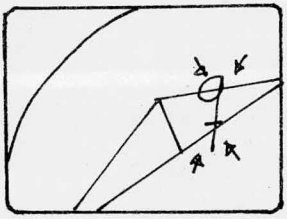
resulta útil realizar



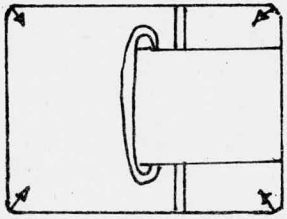
la comparación de lo que sucede en los tres



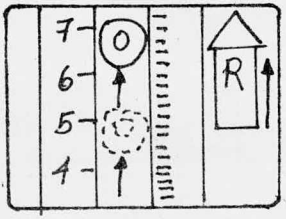
casos de variación



en las condiciones



de alimentación.



(PAUSA).

OMA 189.
Toma de la escala de composición de la alimentación, en la que na flecha roja se mueve entre 0.5 y 0.6, desplazando a Z_A.

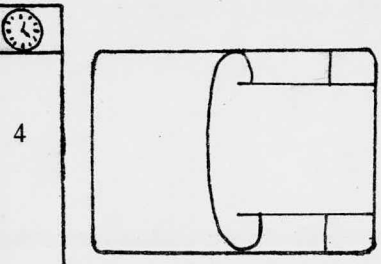
OMA 190.
Se continúa el zoom in de la toma 188. Se inicia y se corta - n movimiento.

OMA 191.
Acercamiento a la zona de la línea de alimentación. En super- mposición está "q".

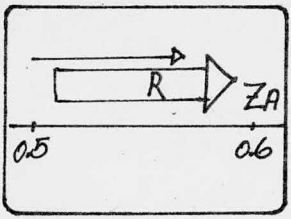
La línea de alimentación gira en sentido con- rario a las manecillas del reloj, desplazando a las líneas de ope- ación; al mismo tiempo, la "q" se hace pequeña. Se inicia y se -- orta en movimiento.

OMA 192.
Se continúa el zoom in de la toma 190. Inicio y corte en movi iento.

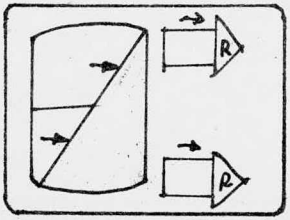
OMA 193.
Acercamiento a un medidor de flujo que aumenta su lectura. En uperimposición se mueve una flecha roja en la misma dirección que a lectura. Inicio y corte en movimiento.



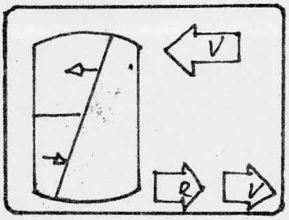
4 (PAUSA).



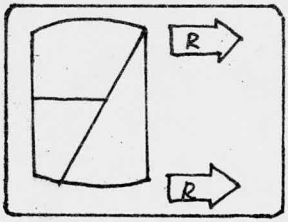
3 N.- Al haber un aumento en la composición de la alimentación,



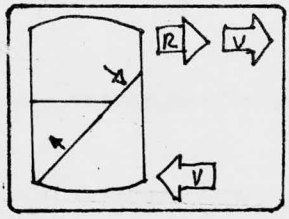
12 se obtiene un destilado y un residuo de mayor y menor pureza, respectivamente.



Al corregir por medio de la disminución del reflujo y del calor en el rehervidor, de tal modo que se ajuste la composición del destilado, el residuo disminuye aún más su pureza.



8 Cuando se corrige aumentando el calor en el rehervidor y el reflujo,



para ajustar la composición del residuo, el destilado se purifica aún más.

TOMA 194.
Se termina el zoom in de la toma 192, hasta un acercamiento -- del tubo de alimentación. Inicio en movimiento, corte con la imagen fija.

TOMA 195.
Toma de una escala de 0.5 a 0.6, una flecha roja desplaza a Z_A de 0.5 hacia 0.6. Corte en movimiento.

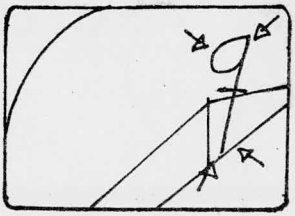
TOMA 196.
Diagrama de la columna similar al de la toma 52. En este caso no aparecen las flechas de alimentación y de productos. Inmediatamente que empieza la toma, la diagonal que se encuentra en la posición normal, se desplaza hacia la derecha, al mismo tiempo, van apareciendo dos flechas rojas hacia la derecha, para cada producto.

Después, la diagonal gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, y una flecha verde desplaza a la roja del destilado; mientras que en el residuo una flecha verde se suma a la roja.

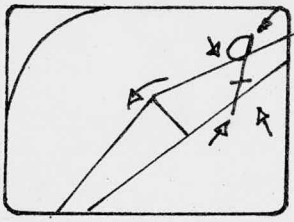
TOMA 197.
Igual que la toma 196 antes de corregir el destilado.

Ahora la diagonal gira en el mismo sentido que las manecillas del reloj, al mismo tiempo, a la flecha del destilado se le suma una flecha verde, mientras que en el residuo una flecha verde desplaza a la roja.

3

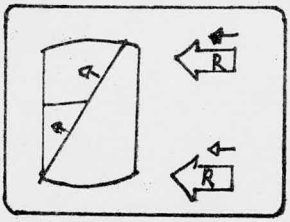


N.- En caso de aumentar

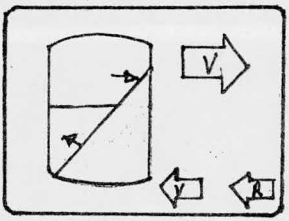


la ental-- pia de la alimentación,

9

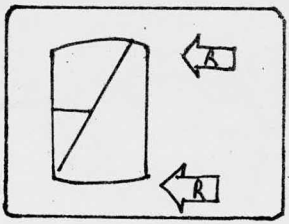


se obtiene un - destilado menos puro y un residuo más - puro.

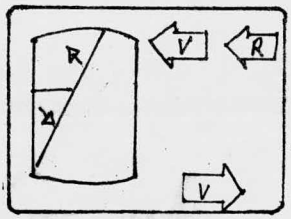


Si se corrige aumentando el re-- flujo y el calor en el rehervidor, con objeto de ajustar la composición del -- destilado, el residuo que se obtiene es aún más puro.

7



En caso de disminuir el calor en el rehervidor y el reflujo,



para ajustar la composición del residuo, el destilado se impurifica aún más.

TOMA 198.
Toma igual

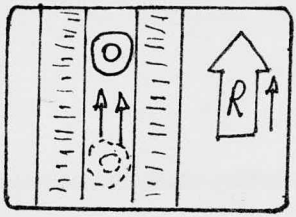
a la 191.

TOMA 199.
Diagrama de la columna como en la toma 52 para la operación nor
nal. Inmediatamente que empieza la toma la línea diagonal se despla
za a la izquierda, al mismo tiempo van apareciendo dos flechas rojas
que apuntan hacia la izquierda, para cada producto.

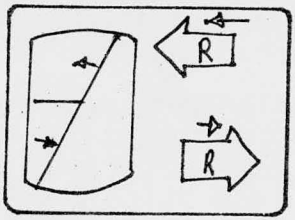
En seguida, la
línea diagonal gira igual que las manecillas del reloj; va aparecien
do una flecha verde que desplaza a la roja en el destilado, y una -
flecha verde que se suma a la roja en el residuo.

TOMA 200.
Diagrama igual al de la toma 199 antes de corregir el destila-
do.

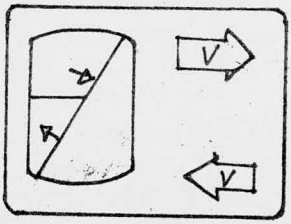
Ahora, la diagonal gira en sentido contrario al de las maneci-
llas del reloj; al mismo tiempo, una flecha verde se suma a la roja
en el destilado, y una flecha verde desplaza a la roja en el resi--
duo.



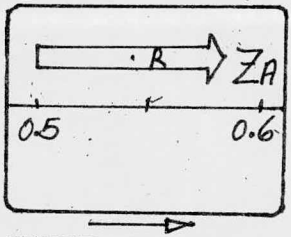
N.- Si ocurre un aumento del flujo de alimentación,



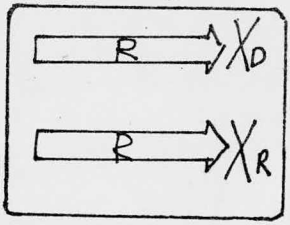
se impurifican ambos - productos.



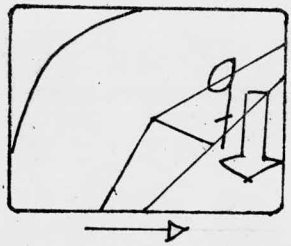
Para ajustar la composición de uno de los productos se aumenta el - reflujo y el calor en el rehervidor; la composición del otro producto se ajusta también.



(PAUSA).



(PAUSA).



N.- Es importante notar que tanto un aumento en la composición, como uno - en la entalpia

TOMA 201.
Toma igual a la 193.

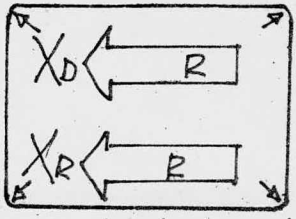
TOMA 202.
Diagrama similar al de la toma 52, para la operación normal. Inmediatamente que comienza la toma, la línea diagonal gira en sentido contrario a las manecillas del reloj, y van apareciendo dos -- flechas rojas, una hacia la izquierda para el destilado y otra hacia la derecha para el residuo.

En seguida, la diagonal gira conforme a las manecillas del reloj, hasta la posición inicial; van apare--- ciendo dos flechas verdes que desplazan a las rojas.

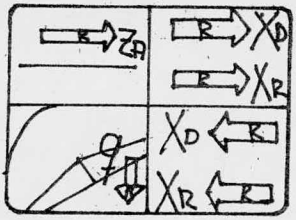
TOMA 203.
Toma igual a la 189, sólo que Z_A ya se encuentra sobre 0.6.

La imagen se desplaza hacia la izquierda hasta descubrir dos flechas rojas que van hacia la derecha, con X_D y X_R en sus extremos.

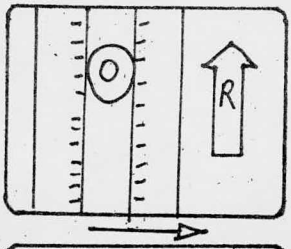
TOMA 204.
Toma parecida a la 191, sólo que ahora la línea de alimenta--- ción se encuentra fija, en la posición que corresponde a q = 0.5. La "q" también permanece estática; al lado de ella hay una flecha roja que apunta hacia abajo.



de la alimentación, provo
can que un producto se purifique mien
tras que el otro se impurifique,

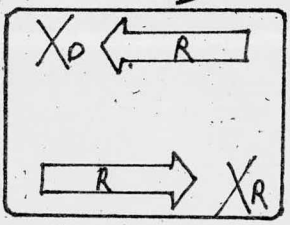


es -
decir, ambas composiciones aumentan o
ambas disminuyen.

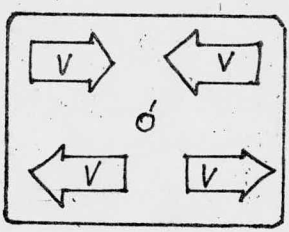


9

N.- Diferente a los casos ante--
riores es el del aumento en el flujo
de alimentación, debido a que ahora

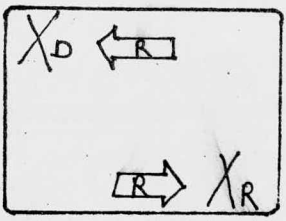


ambos productos disminuyen su pureza;
es decir, la composición del destila-
do disminuye, mientras que la del re-
siduo aumenta.



5

N.- Recuérdese que al corregir,
ambos productos se purifican o ambos
se impurifican.



Así, al aumentar el
flujo de la alimentación,

6

La imagen se desplaza hacia la izquierda, para descubrir dos flechas rojas que apuntan hacia la izquierda, en cuyos extremos están X_D y X_R.

Se hace zoom out hasta abarcar los cuatro cuadros anteriores, en una sóla tabla.

TOMA 205.

Igual que la toma 193, pero el medidor permanece estático, al igual que la flecha roja.

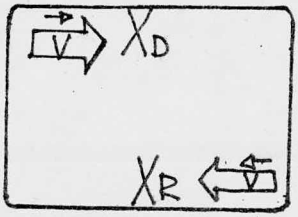
La imagen se desplaza hacia la izquierda para descubrir dos flechas rojas; una que se dirige hacia la izquierda, con X_D en el extremo; y otra, hacia la derecha, con X_R en su extremo.

TOMA 206.

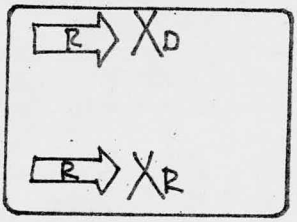
Toma en la que hay cuatro flechas verdes; del lado derecho, las que corresponden a una disminución en el destilado y un aumento en el residuo; del lado izquierdo las flechas que corresponden a un aumento en el destilado y una disminución en el residuo.

TOMA 207.

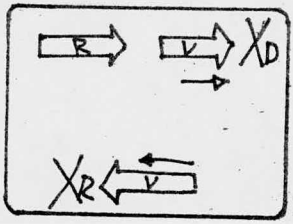
Aparecen dos flechas rojas, una para el destilado, hacia la izquierda, y una para el residuo, hacia la derecha; se señalan X_D y X_R en sus extremos. Las flechas parten de la mitad del cuadro hacia los extremos de éste.



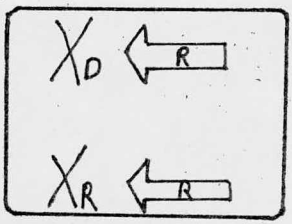
se puede a-- justar la composición de ambos productos a la vez.



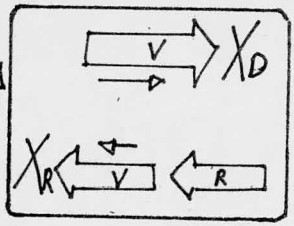
En cambio, en los otros casos, al ajustar la composición



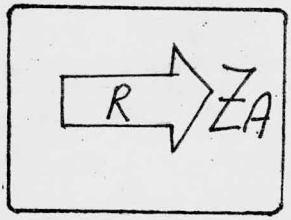
de uno de los productos, la del otro se aleja aún más del valor requerido.



(PAUSA).



(PAUSA).



N.- Hasta ahora sólo se han presentado los casos de aumento

Posteriormente, un par de flechas verdes
an apareciendo, de modo que contrarresten a las rojas.

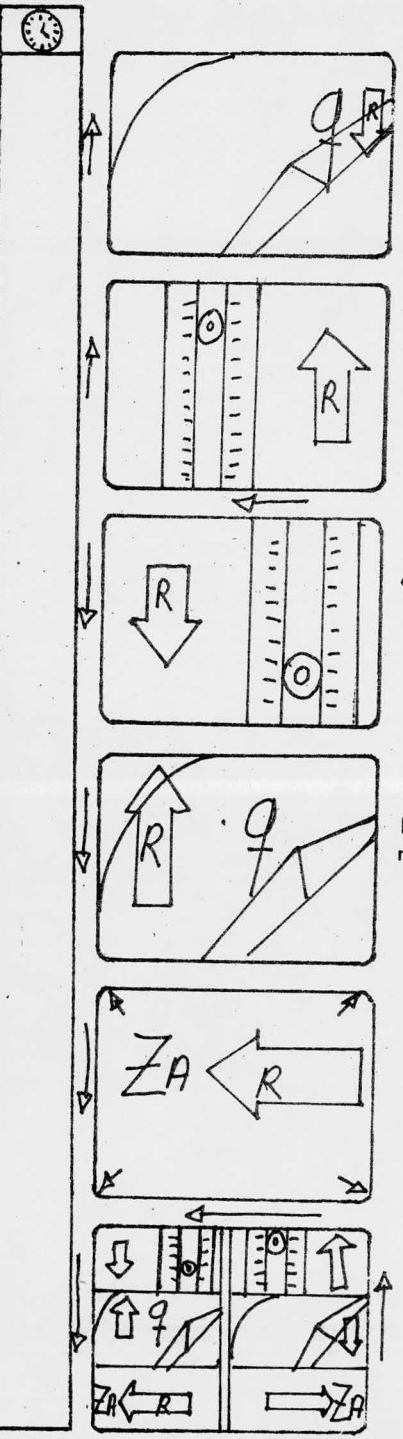
OMA 208.
Toma en la que hay dos flechas rojas apuntando hacia la dere--
ha, con X_D y X_R en sus estremos; las flechas llegan hasta la mitad
el cuadro.

Después, aparecen dos flechas verdes, una que se suma
la de X_D y otra que contrarresta a la flecha de X_R.

OMA 209.
Toma en la que hay dos flechas rojas apuntando hacia la izquier
a, en sus extremos están X_D y X_R; las flechas llegan hasta la mitad
el cuadro.

Después, van apareciendo dos flechas verdes, una que
ontrarresta a X_D y otra que se suma a la de X_R.

OMA 210.
Toma en la que hay una flecha roja hacia la derecha, en cuyo -
xtremo está Z_A.



de alguna de las condiciones de la alimentación.

(PAUSA).

No es necesario extenderse a los casos de disminución, puesto que se siguen los mismos criterios en ambas situaciones.

(PAUSA).

(PAUSA).

La imagen se desplaza hacia abajo, para descubrir una imagen igual a la del inicio de la toma 204 (disminución de la entalpia de alimentación). El movimiento es lento.

La imagen se sigue desplazando hacia abajo, para llegar a una imagen igual a la de la toma 205. Se detiene el movimiento descendente de la imagen.

Posteriormente, la imagen se desplaza hacia la derecha, para descubrir una imagen parecida a la anterior, sólo que ahora la flecha roja se encuentra del lado izquierdo, e indica una disminución de flujo.

La imagen se desplaza hacia arriba para descubrir un acercamiento a la zona de la línea de alimentación en el que la "q" va acompañada de una flecha roja ascendente. La línea de alimentación forma un angulo menor de 90° con la horizontal.

El movimiento de ascenso continúa lentamente hasta descubrir una flecha roja que se dirige hacia la izquierda, en cuyo extremo se encuentra Z_A. Se detiene el movimiento.

Inmediatamente se hace un zoom out para descubrir una tabla que incluye todas las imágenes de esta toma.

60

SECUENCIA FINAL.

(PAUSA).

N.- Se espera que con esta experiencia, ustedes hayan adquirido elementos básicos de criterio en cuanto a la operación y control de columnas de destilación, que a su vez les sirvan de punto de partida para tratar estos temas a -- través de modelos más complejos, que permitan abarcar casos más generales.

ECUENCIA FINAL.

Se trata de hacer una serie de tomas en las que, por medio de n movimiento de cámara, se encuadre una columna de destilación, -- artiendo de un accesorio u otro elemento. Las tomas van evolucio- ando, de tal modo que primero se hacen desde un punto de vista en l que se obtenga una composición "extraña" con la columna; y poste iormente, estos puntos de vista son más descriptivos. Los últimos ovimientos de cámara terminan en full shots de la columna.

La secuencia se arma con una sucesión de movimientos en senti- o contrario, uniéndose las tomas con corte en movimiento. Se co-- ienza con un tilt up que termina en una pronunciada contrapicada - e una columna; se sigue con tilt down...

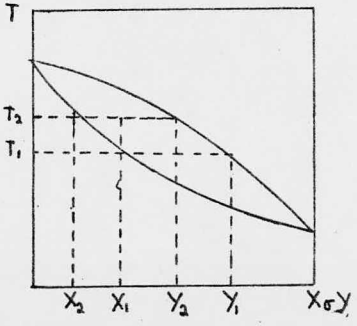
Se trata de dar una serie de tomas en las que se va descubrien o, las columnas, cada vez con más claridad, es decir, apreciándolas ejor en su conjunto.

En la última toma se hace un zoom out, con objeto de abarcar - na sección de la planta donde está integrada la última torre.

Apéndice 1. Guía para la discusión sobre el caso de aumento de la entalpia de la alimentación.

Sugerimos que el profesor dirija la discusión de tal forma, -- ue los alumnos lleguen al siguiente razonamiento:

Un aumento en la entalpia de la alimentación trae como conse-- uencia que ésta aumente su temperatura, lo que hace que el equili- io líquido-vapor se desplace, resultando un líquido y un vapor -- n una concentración menor del componente más volátil; esto se pue ver claramente en el diagrama de composición vs. temperatura.



Así pues, cuando la alimentación entra como líquido saturado a , está en equilibrio dicho líquido, de composición X_1, con un va- r de composición Y_1. Al haber un aumento de entalpia en la alimen ación, tal que su temperatura se incrementa a T_2, se obtiene una - quido-vapor en equilibrio, de composiciones X_2 y Y_2, respectiva-- nte. Como se puede observar, X_1 es mayor que X_2, y Y_1 mayor que ; esto significa que se obtiene, tanto un líquido, como un vapor n menor componente ligero, este efecto que ocurre en el plato de imentación se transmite a cada uno de los platos de la sección -- ctificadora y agotadora, por lo que se obtendrán un destilado y - residuo con menor concentración de componente ligero, es decir, destilado se impurifica y el residuo se purifica.

Los resultados obtenidos pueden ser visualizados en el diagrama Cabe-Thiele, de la siguiente forma: al entrar la alimentación co

o una mezcla líquido-vapor, el valor de "q" queda comprendido entre no y cero, por lo que la línea de alimentación se inclina hacia la zquierda, con una pendiente que corresponde al segundo cuadrante. sto provoca que todo el diagrama tenga un corrimiento hacia la iz- uierda, dando composiciones de productos con menor concentración - e benceno.

- Correcciones.- dado que se requiere aumentar la pureza del estilado, para ajustarla al valor requerido, es necesario incremen ar la efectividad de la separación, aumentando el reflujo. En con ecuencia, la cantidad de vapor que se genera en el rehervidor tam- ién debe ser incrementada, por requerirse más vapor al aumentar el fquido que maneja la columna. Este incremento en el contacto entre as fases se refleja también en el residuo, que se purifica aún más. sta corrección se comprende fácilmente en el diagra ama McCabe-Thie e, ya que para compensar el desplazamiento que ha sufrido la compo sición del destilado es necesario modificar la posición de las lí-- neas de operación, aumentando la pendiente de la línea de rectifica ción.

Ahora bien, para ajustar la composición del residuo, se requie re disminuir su pureza, es decir, reducir la efectividad en la sepa ración; lo que se logra con un decremento del vapor producido en el rehervidor, acompañado de una disminución del reflujo, por manejarse menos vapor en la columna, resultando el destilado menos puro que - antes de hacer la corrección. Esta corrección significa en el dia- grama, que las líneas de operación cambien su posición de tal forma que se compense el corrimiento experimentado por la composición del residuo, para lo cual se aumenta la pendiente de la línea agotadora.

NOTA: este documento debe ser entregado al profesor que solicite - el material audiovisual.

8.- Secuencia de cálculos.

Para obtener los diagramas McCabe-Thiele, en los que se muestra
operación de una columna al haber un cambio en las condiciones -
alimentación y al corregir los efectos ocasionados por dicho cam
io, se siguieron las secuencias de cálculo que se presentan a con-
inuación. Cada una de las secuencias de cálculo se acompaña de su
orrespondiente diagrama McCabe-Thiele con los resultados indicados.
s necesario aclarar que dichos resultados son aproximados, ya que,
ara facilitar su lectura en el programa, fueron redondeados a ci--
ras exactas.

Nomenclatura.

A - flujo molar de alimentación.

D - flujo molar de destilado.

R - flujo molar de residuo.

Z_A - fracción mol de benceno en la alimentación.

X_D - fracción mol de benceno en el destilado.

X_R - fracción mol de benceno en el residuo.

L_o - flujo molar de reflujo.

L - flujo molar de líquido en la sección rectificadora.

$\overline{L}$ - flujo molar de líquido en la sección agotadora.

V - flujo molar de vapor en la sección rectificadora.

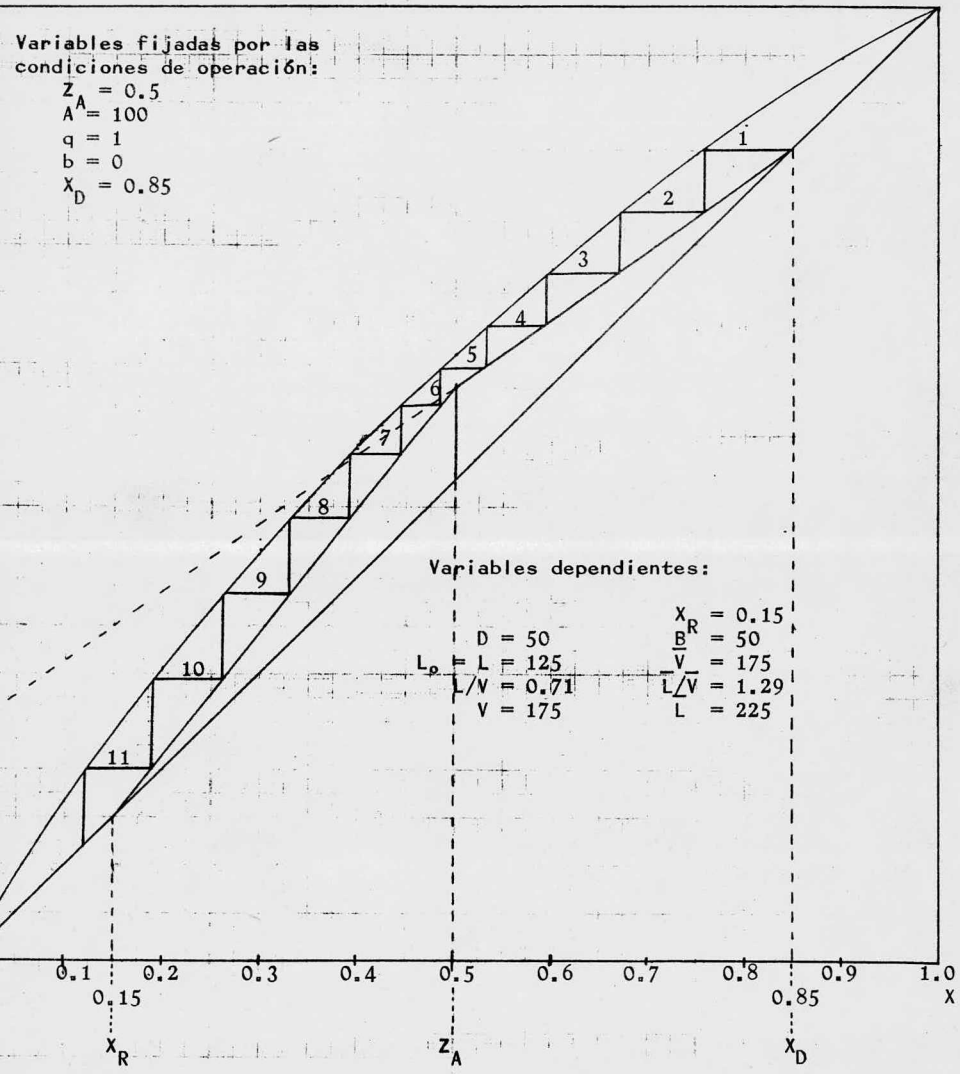
$\overline{V}$ - flujo molar de vapor en la sección agotadora.

N - número de platos teóricos de la sección rectificadora.

$\overline{N}$ - número de platos teóricos de la sección agotadora.

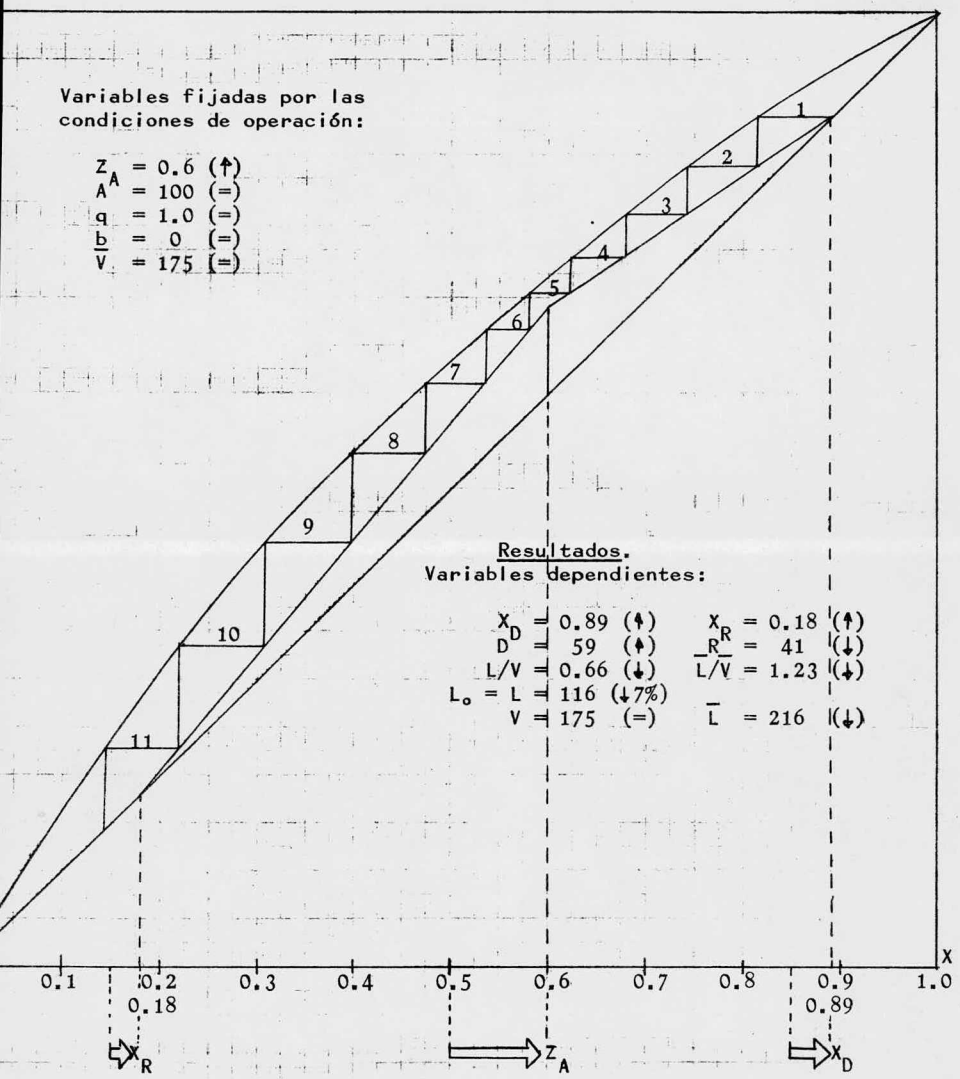
o.o. - ordenada al origen de la línea de rectificación.

B.8.1.- Operación normal (de referencia).

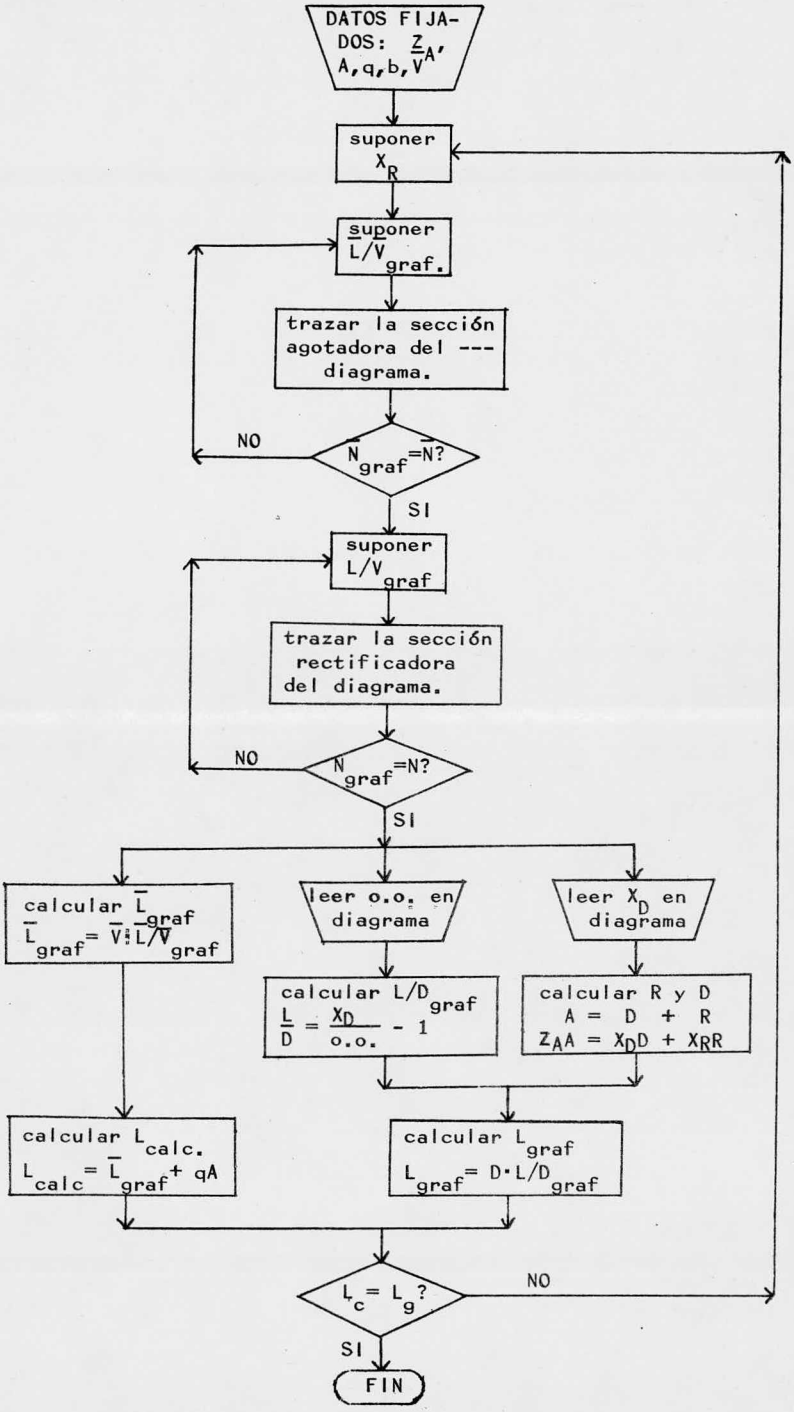


B.8.2.- Aumento en la composición de la alimentación.

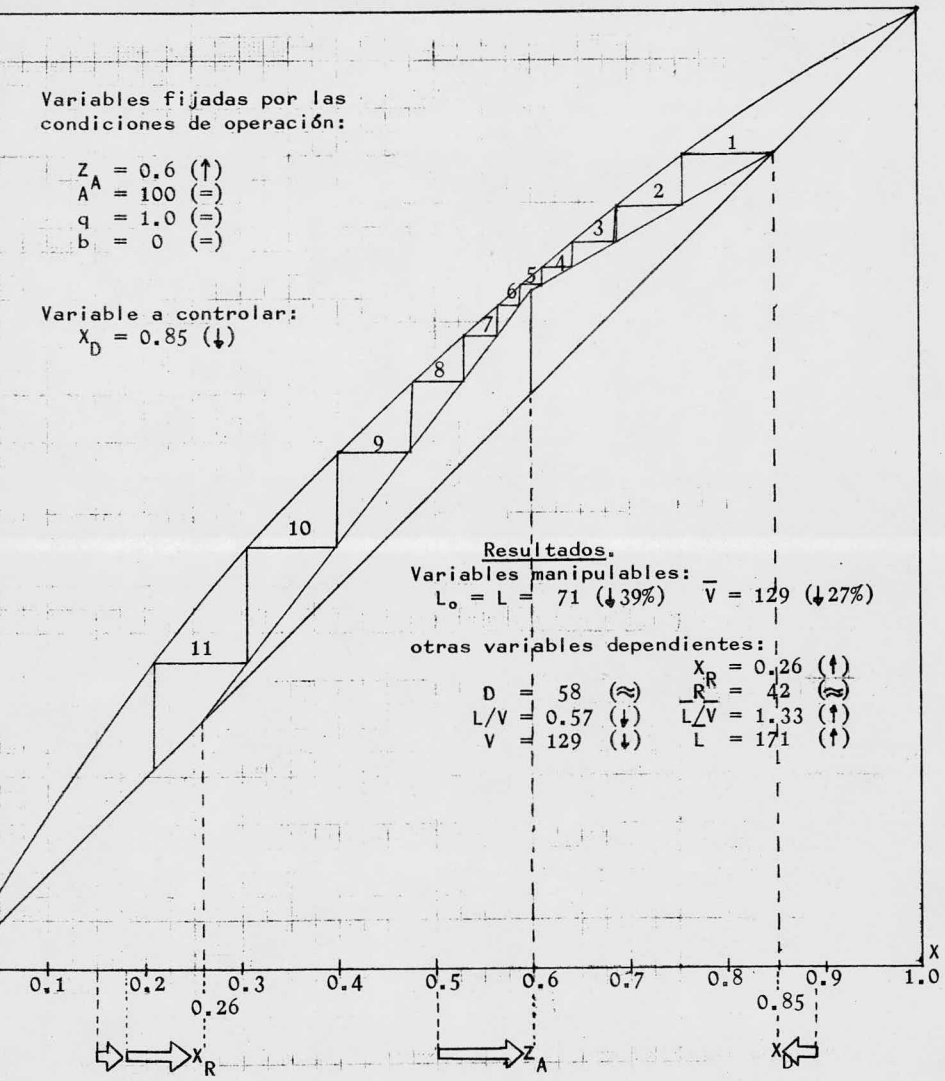
B. 8.2.1.- sin corrección.



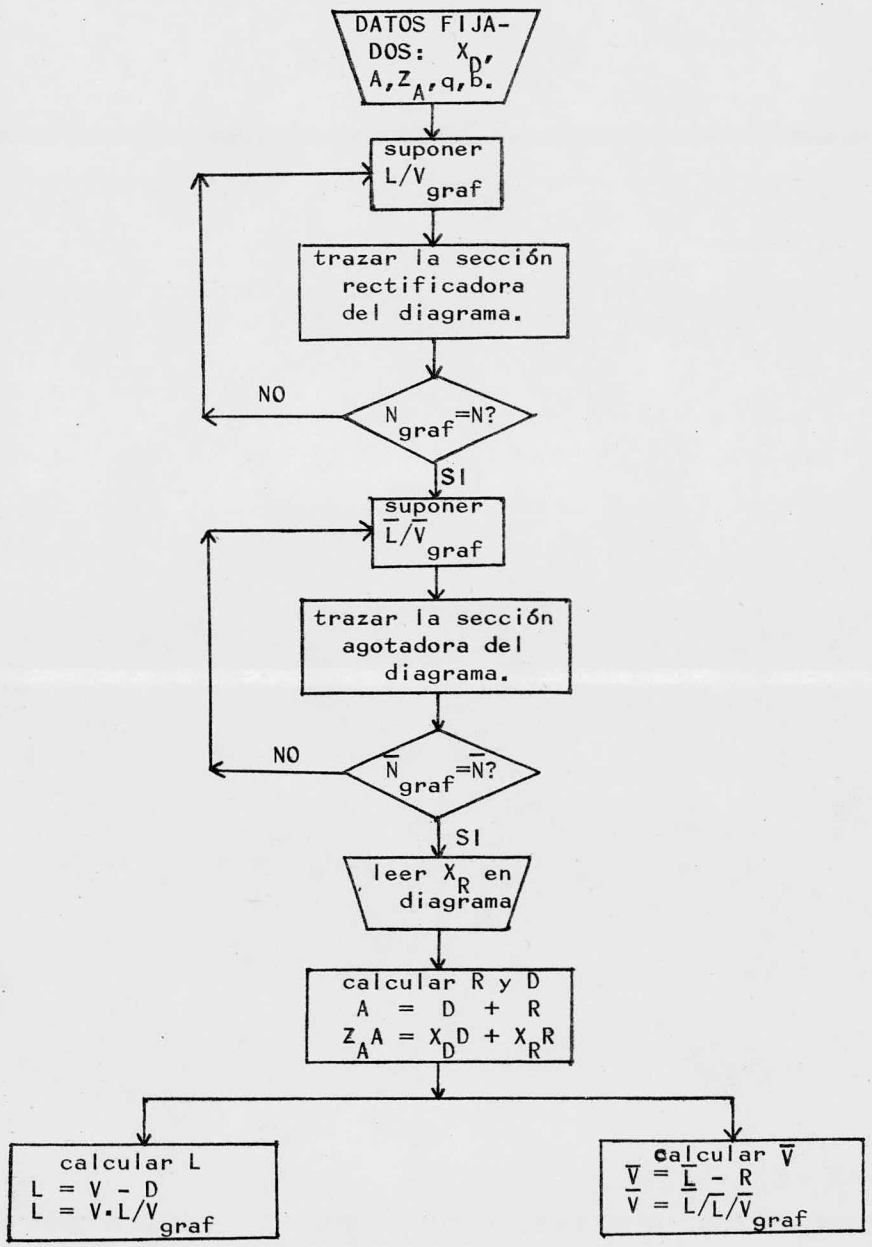
B.8.2.1.- Aumento en la composición de la alimentación sin corrección.



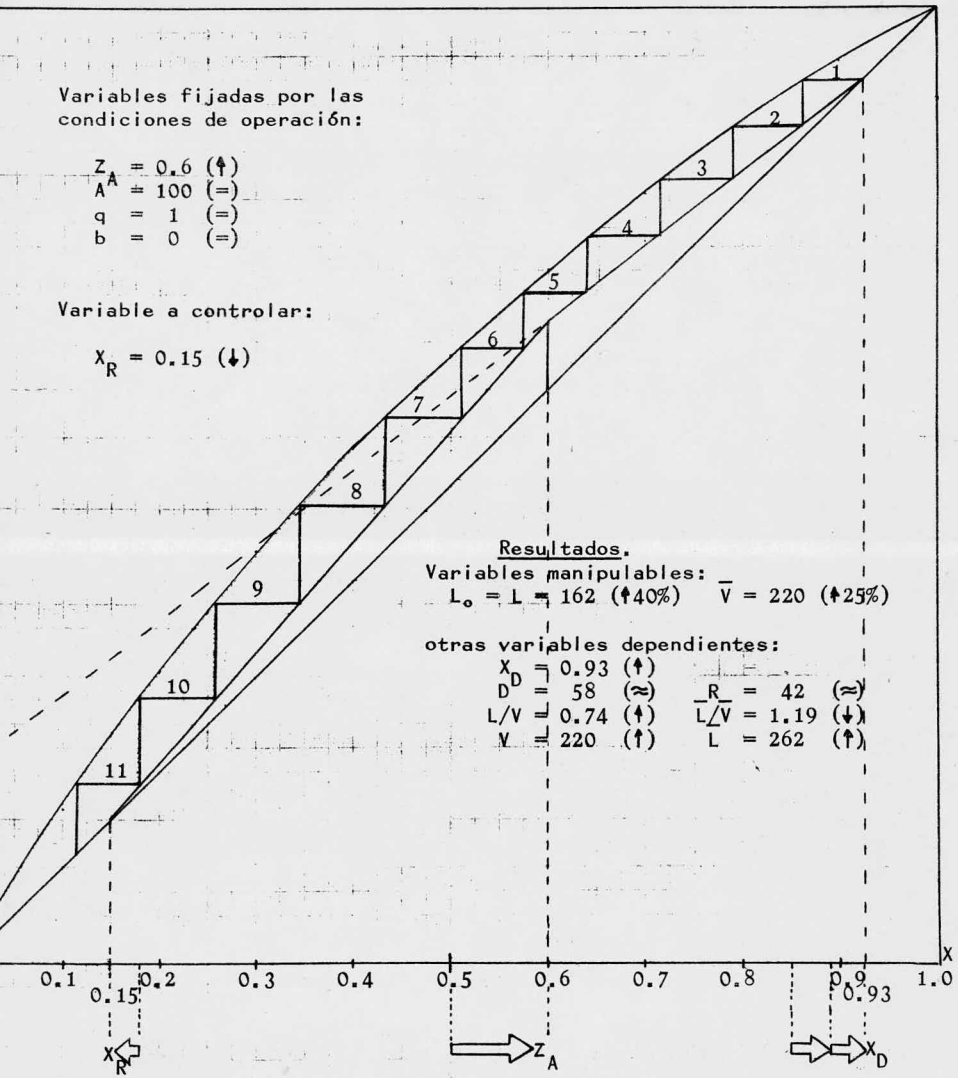
B.8.2.2.- Aumento en la composición de la alimentación. Ajuste de la composición del destilado.



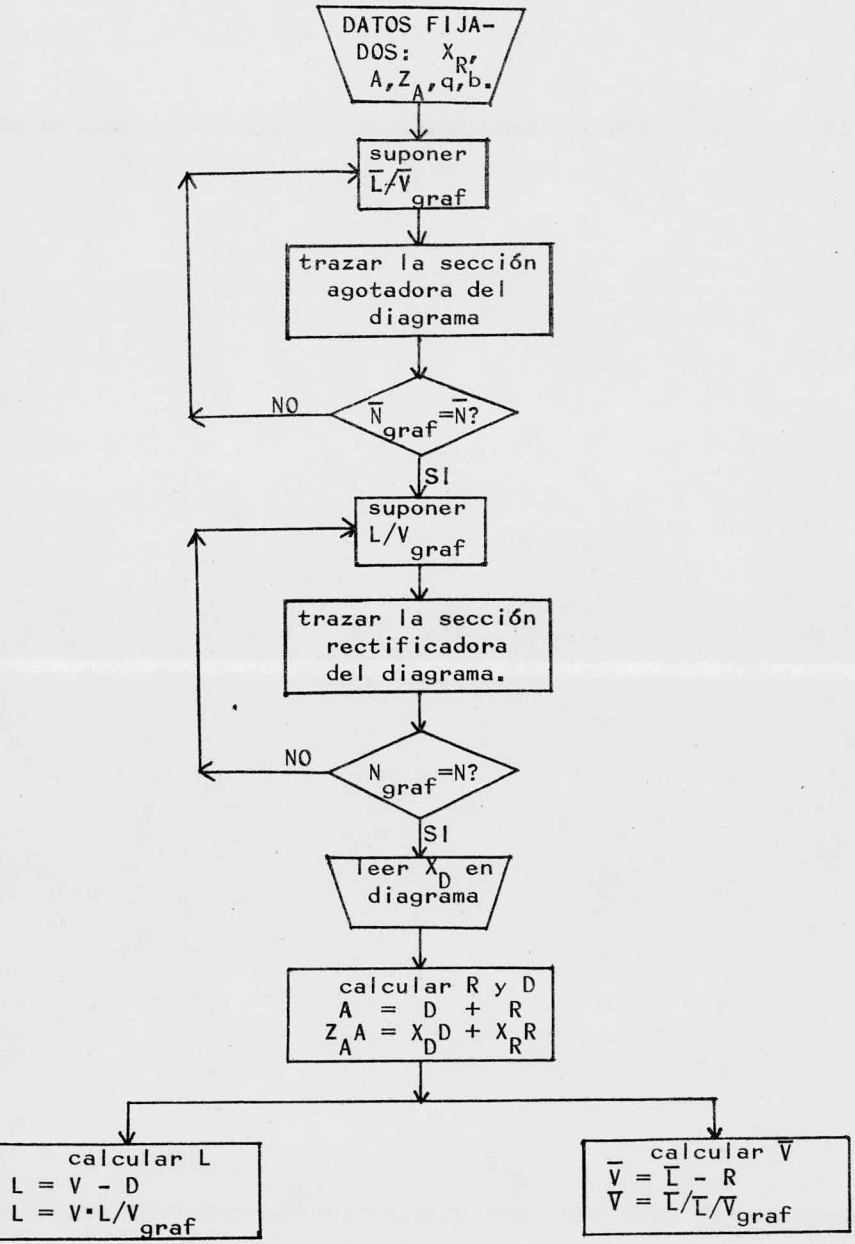
B.8.2.2.- Aumento en la composición de la alimentación. Ajuste del destilado.



B.8.2.3.- Aumento en la composición de la alimentación. Ajuste de la composición del residuo.

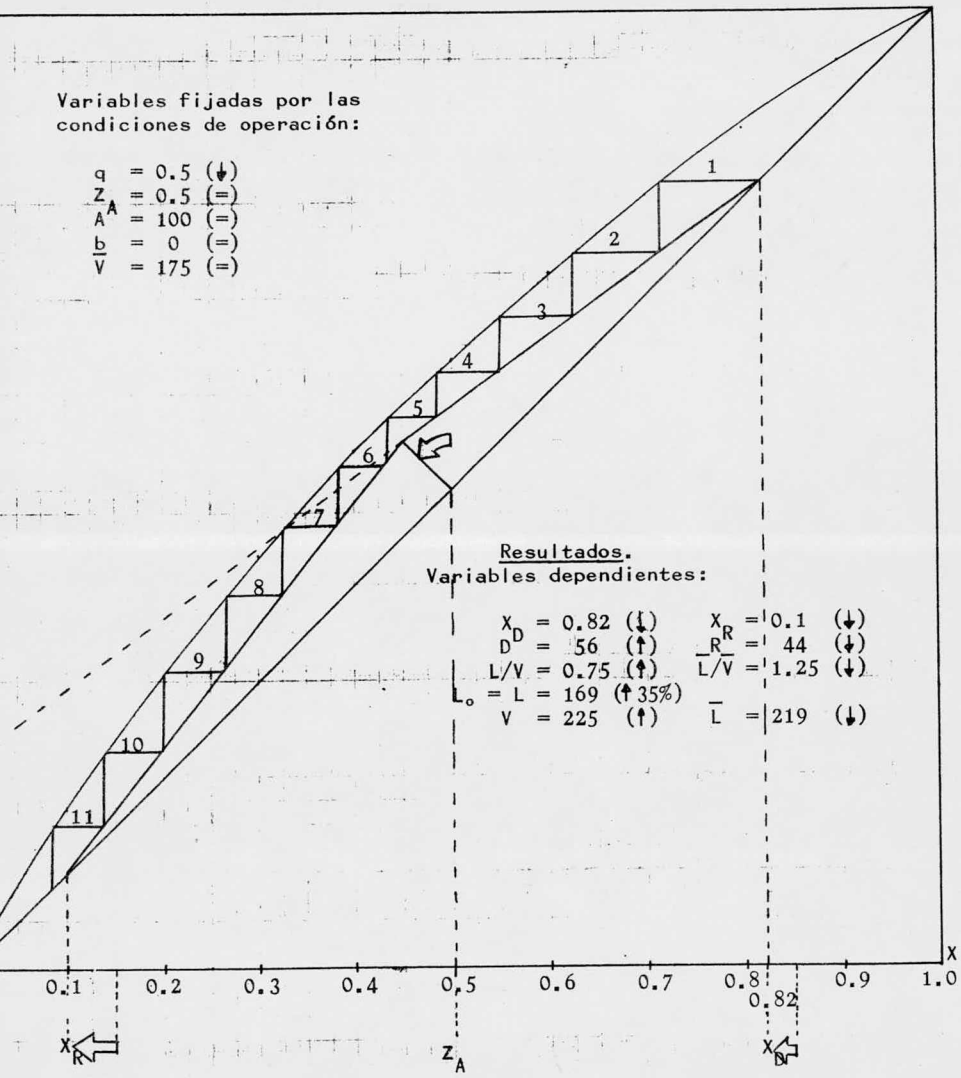


8.2.3.- Aumento en la composición de la alimentación. Ajuste del residuo.

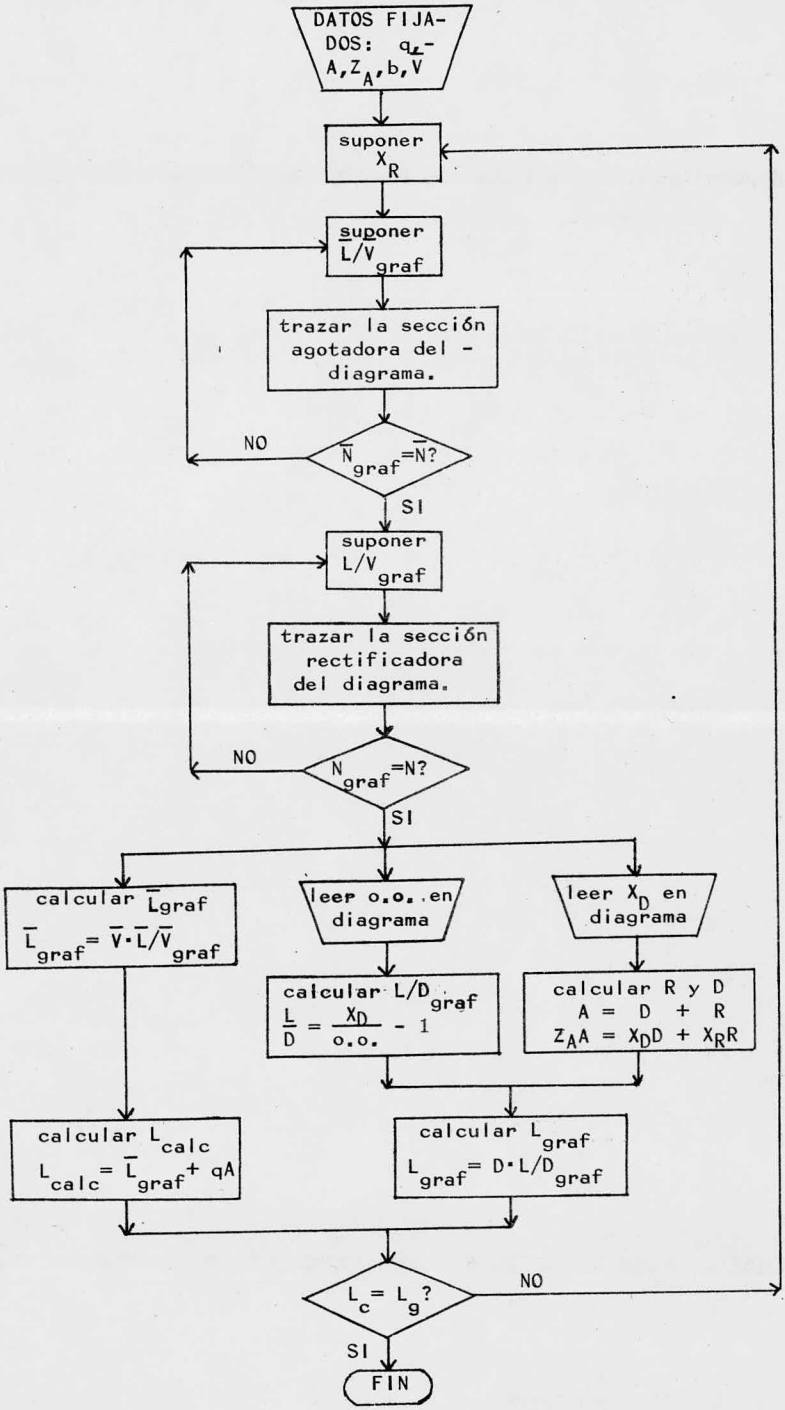


B.8.3.- Aumento en la entalpia de la alimentación.

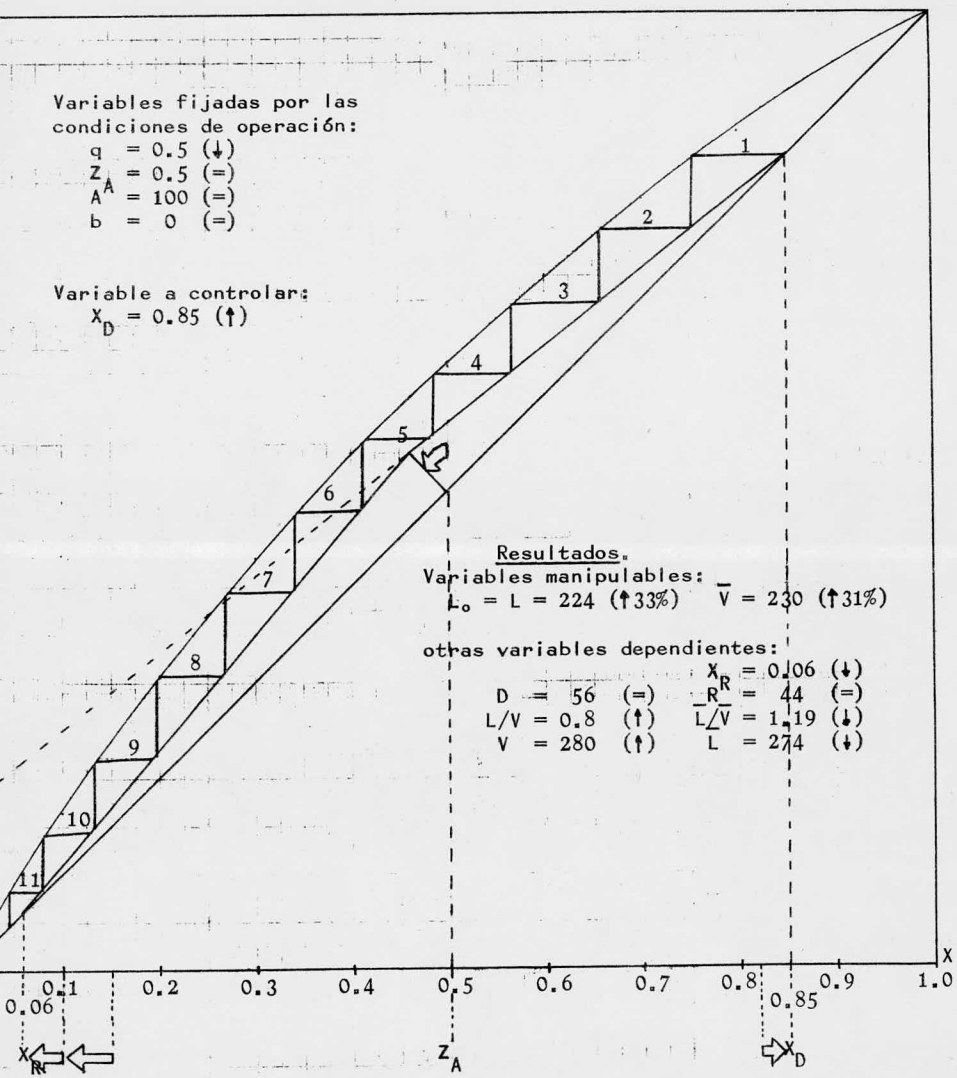
B.8.3.1.- sin corrección.



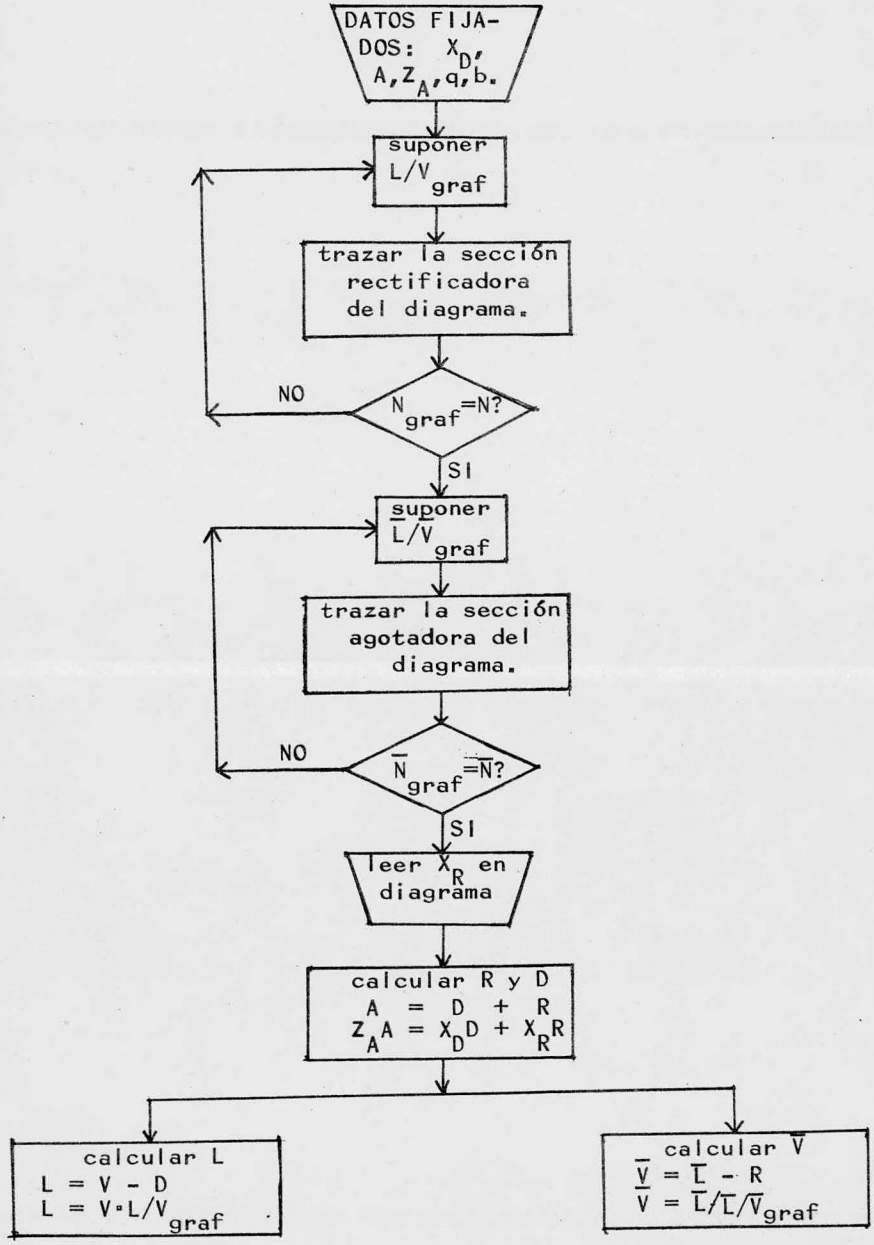
B.8.3.1.- Aumento en la entalpia de la alimentación sin corrección.



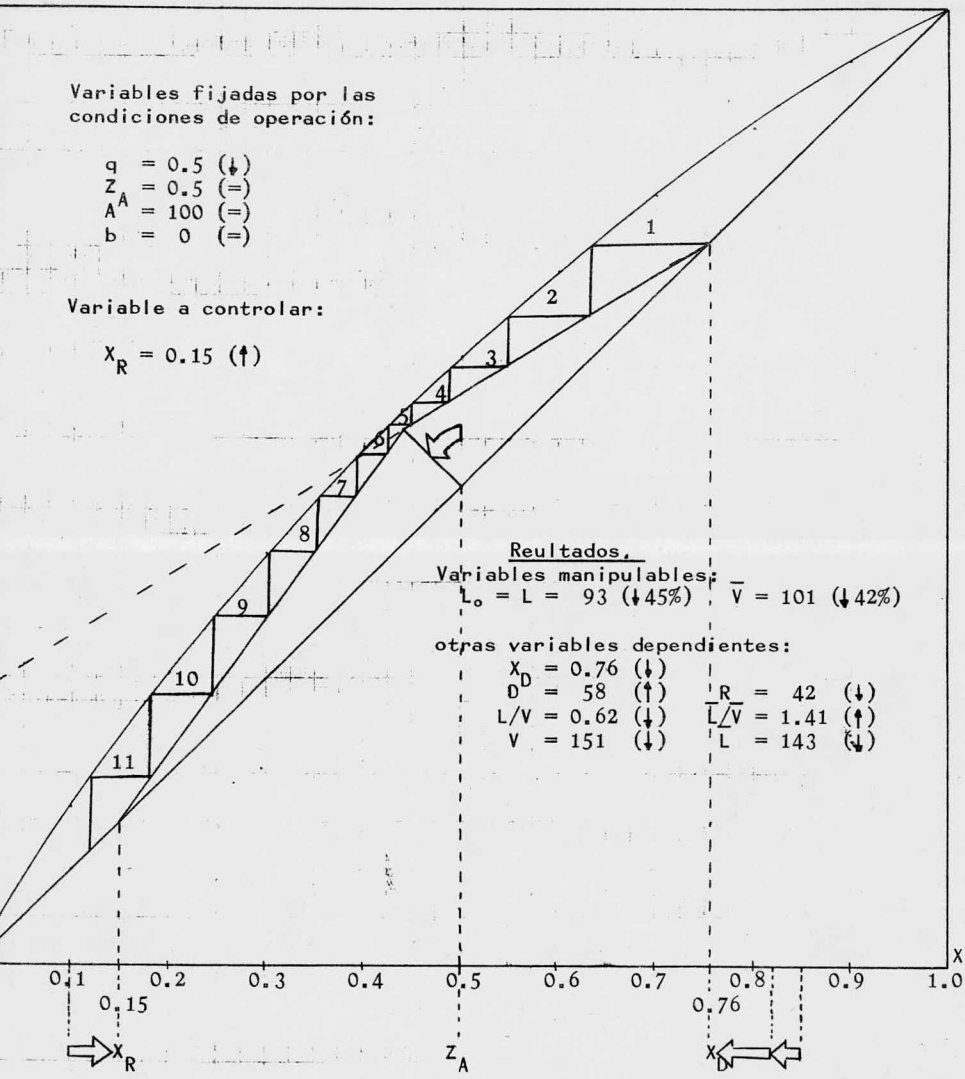
B.8.3.2.- Aumento en la entalpia de la alimentación. Ajuste de la composición del destilado.



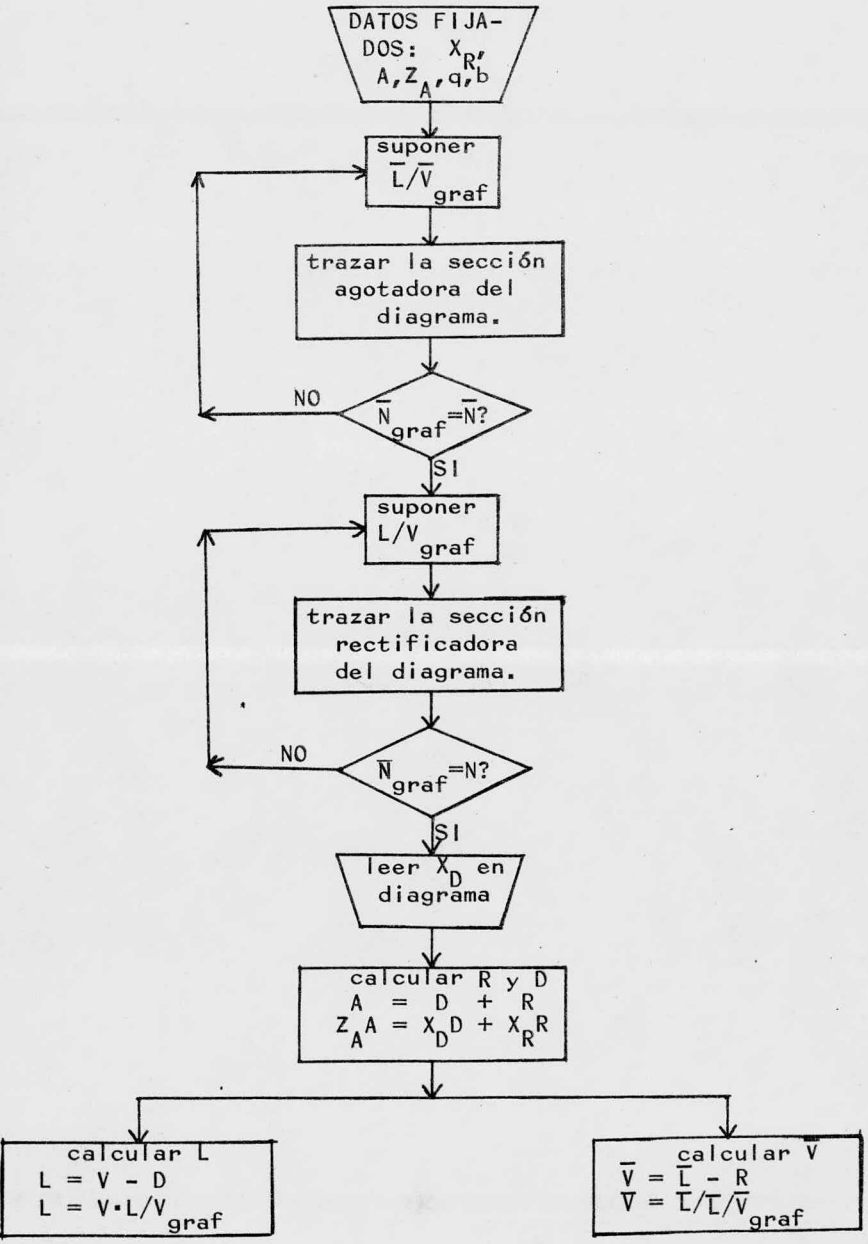
B.8.3.2.- Aumento en la entalpia de la alimentación. Ajuste del destilado.



B.8.3.3.- Aumento en la entalpia de la alimentación. Ajuste de la composición del residuo.

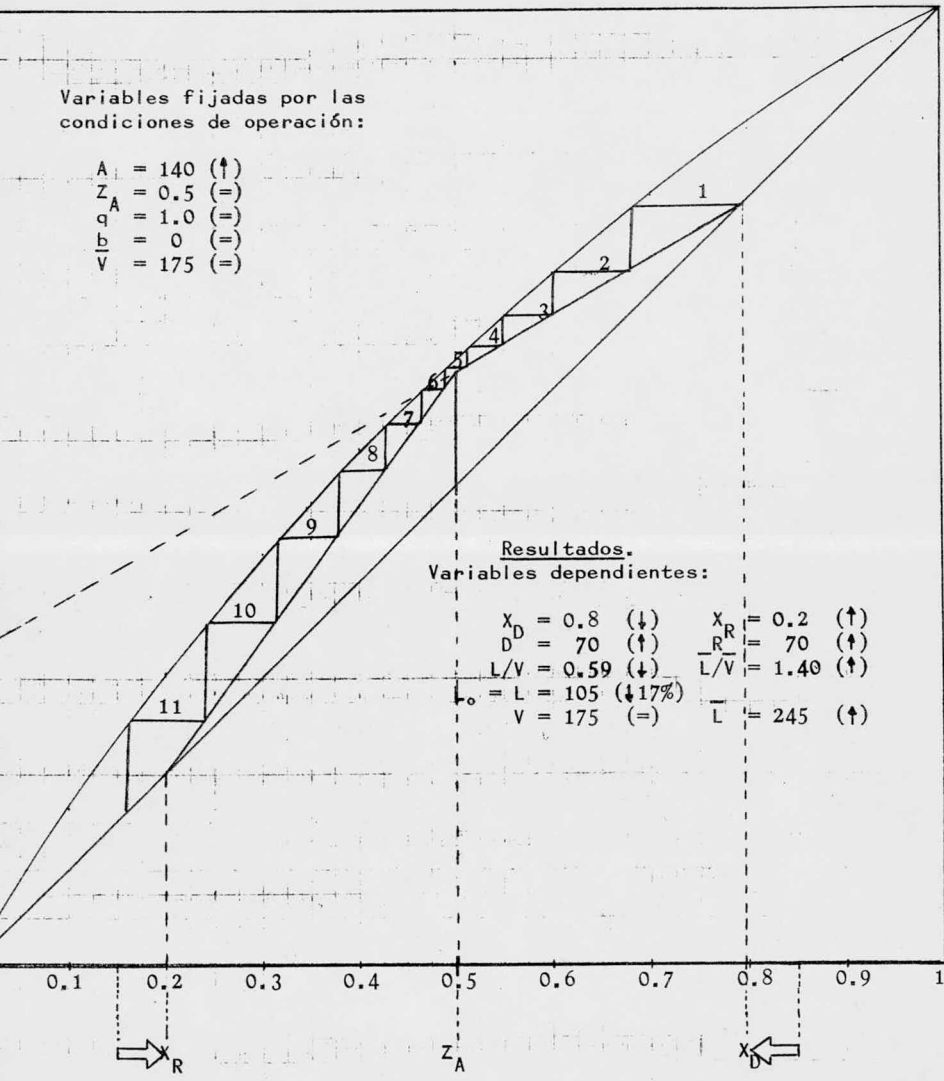


.8.3.3.- Aumento en la entalpia de la alimentación. Ajuste del residuo.

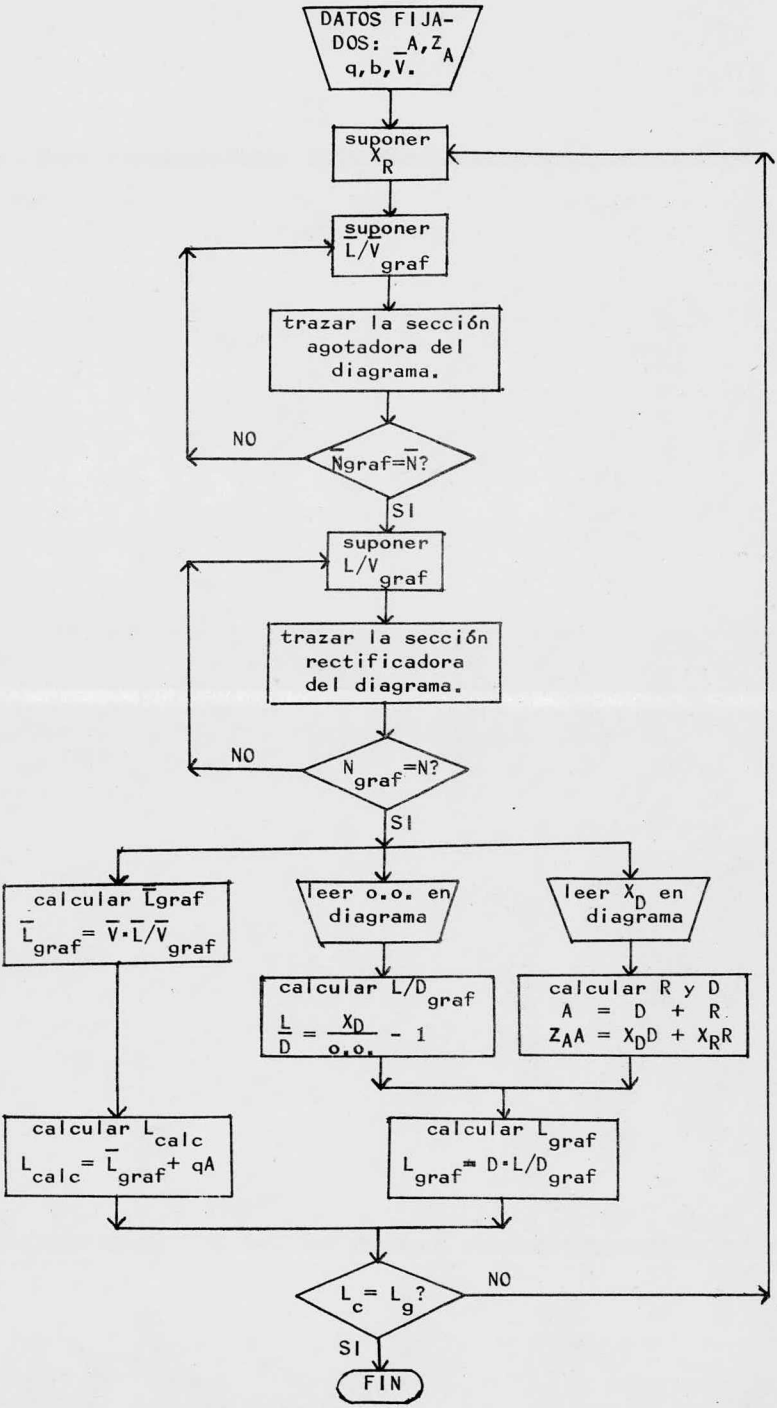


B.8.4.- Aumento en el flujo de alimentación.

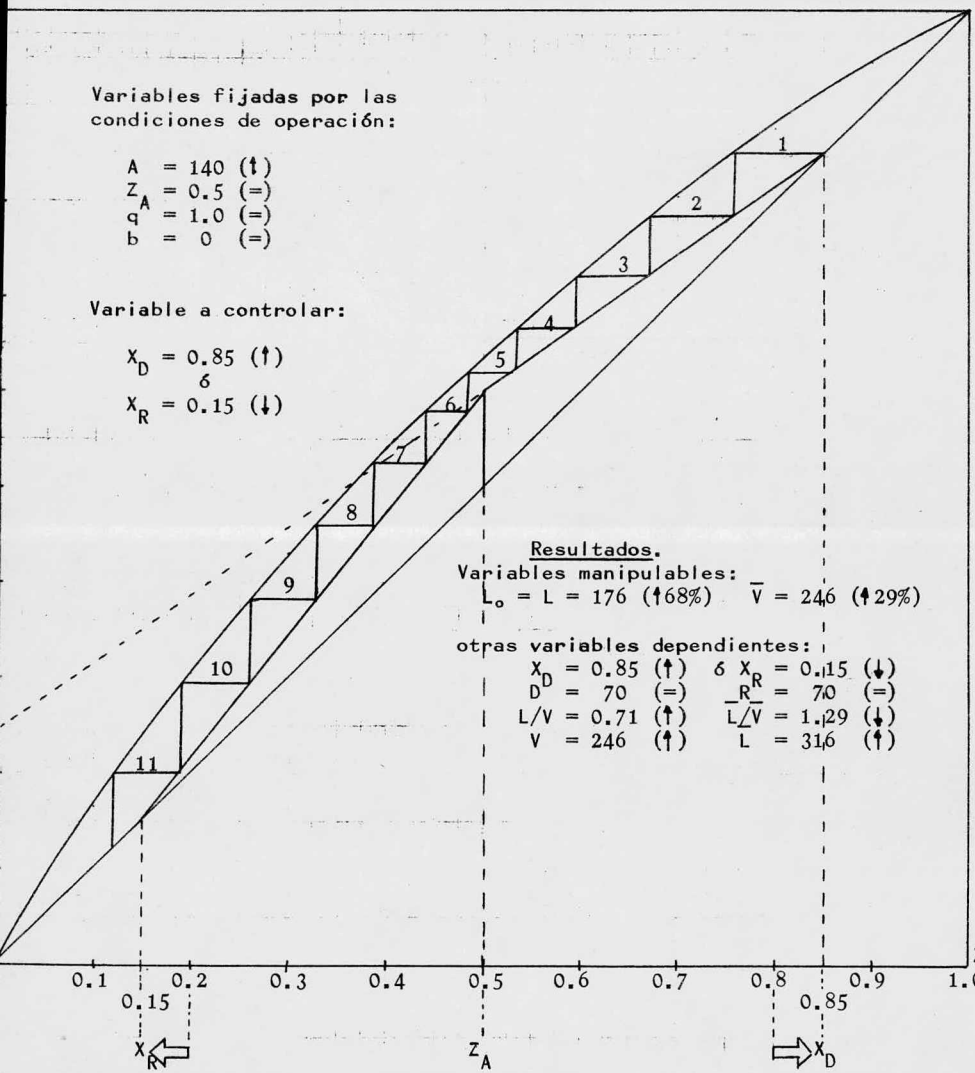
B.8.4.1.- sin corrección.



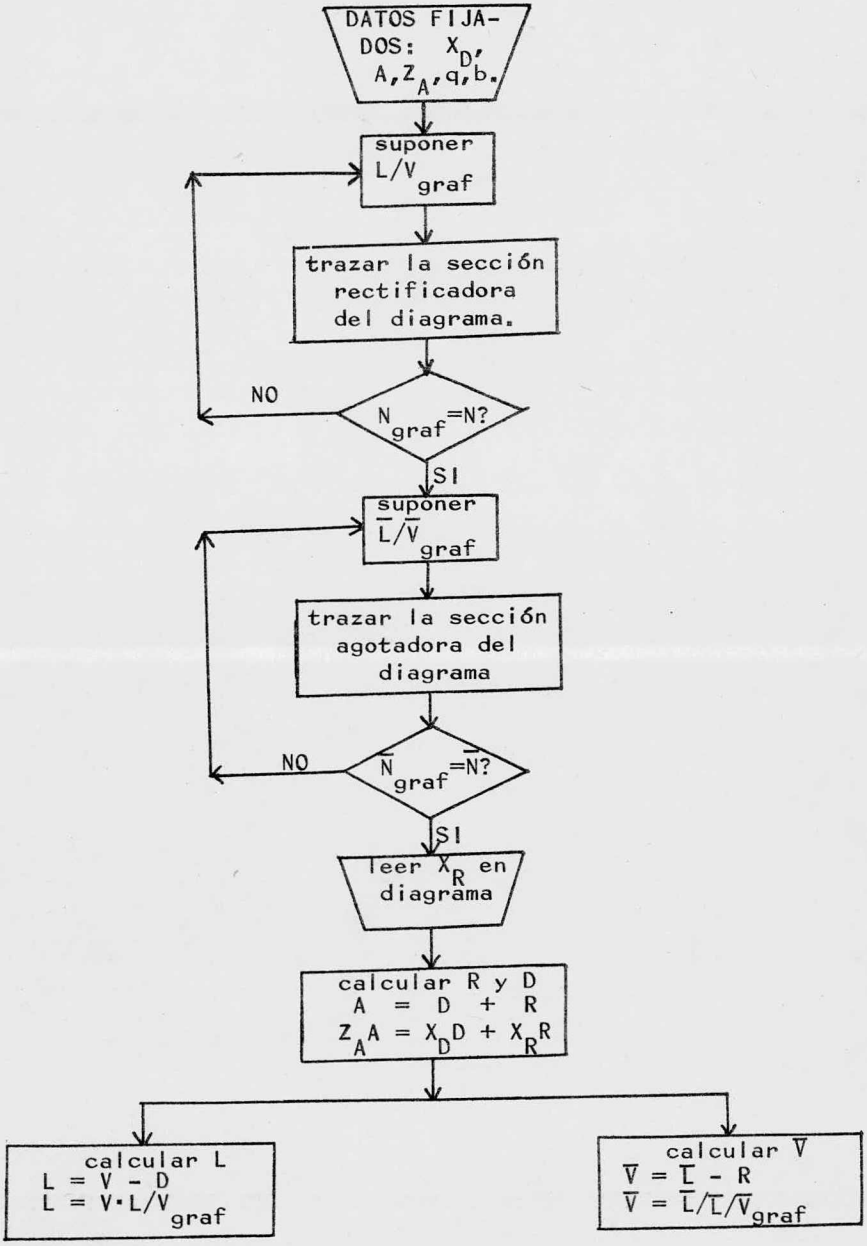
B.8.4.1.- Aumento en el flujo de la alimentación sin corrección.



B.8.4.2.- Aumento del flujo de alimentación. Ajuste de las composiciones de destilado y residuo.



B.8.4.2.- Aumento del flujo de la alimentación. Ajuste del destilado y del residuo.



B.9.- Evaluación de la eficacia del material didáctico.

Para determinar el grado de aprovechamiento que los alumnos obtienen de esta experiencia, se ha elaborado un cuestionario para -- ser resuelto por los alumnos después de la proyección del programa. Las preguntas han sido formuladas para detectar hasta que grado el material didáctico cumple con los objetivos que se propuso.

El cuestionario se ha diseñado para evaluar cada una de las -- dos secciones de que consta el programa; así pues, al final de cada sección se aplica la parte correspondiente del cuestionario.

Cuestionario de la primera parte.

- Objetivo 1: delimitación del campo de estudio.

1.- ¿Por qué se seleccionaron las mezclas binarias, con comportamiento cercano al ideal, como campo de estudio?

2.- Señale las características que presentan las mezclas ideales.

a.- Capacidades calorfficas semejantes de todos los componentes.

b.- Calores de vaporización semejantes de todos los componentes.

c.- Viscosidades semejantes de todos los componentes.

d.- Presiónes de vapor semejantes de todos los componentes.

e.- Calor de mezcla despreciable.

f.- Puntos de ebullición semejantes de todos los componentes.

3.- Debido a éstas características, la entalpia de las mezclas ideales es:

a.- Dependiente de la composición.

b.- Independiente de la temeperatura.

c.- Independiente de la composición.

- Objetivo 2: presentación de las variables y sus relaciones de acuerdo a las limitaciones del modelo McCabe-Thiele.

4.- ¿Qué suposiciones hace el modelo McCabe-Thiele con respecto a los flujos internos? Relaciónela con las características

de las mezclas ideales.

5.- ¿Qué ecuación relaciona el líquido en la sección rectificadora (L) con el líquido de la sección agotadora ($\overline{L}$)?

6.- ¿Qué ecuación relaciona el reflujo (L_o) con el líquido en la sección rectificadora (L)?

7.- Las ecuaciones $X_D = f_1(L/V)$ y $X_R = f_2(\overline{L}/\overline{V})$ expresan que la composición de los productos es función de la relación de -- flujos internos; explique de qué factores depende dicha función.

- Objetivo 3: obtención de los grados de libertad.

8.- ¿Por qué es indispensable conocer los grados de libertad para poder controlar una columna de destilación? En el caso concreto de la operación de acuerdo al modelo McCabe-Thiele --- ¿Cuántos son los grados de libertad?

- Objetivo 4: clasificación de las variables.

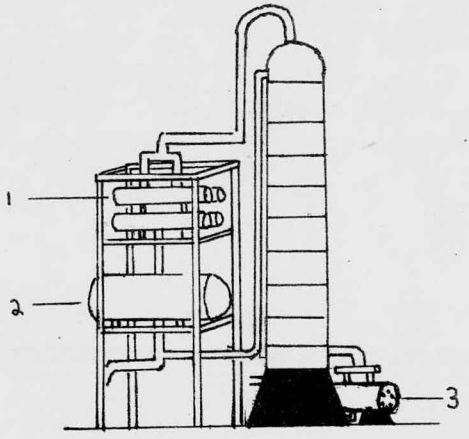
9.- ¿Qué variables, normalmente, están fijadas por condiciones - externas a la columna?

10.- ¿Qué variables interesa controlar generalmente?

11.-¿Cuáles son las variables que se pueden manipular para con-- trolar la operación de la columna?¿Por qué?

- Objetivo terminal complementario.

12.- El siguiente esquema representa una de las columnas que se mostró en el programa; identifique los equipos numerados.

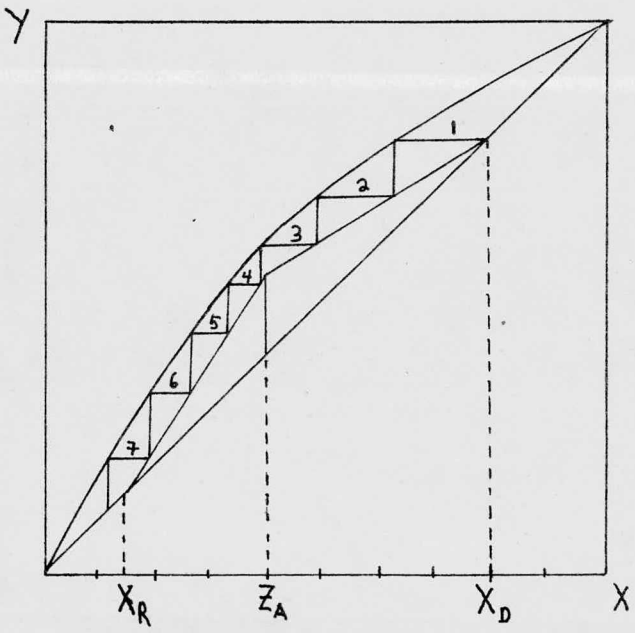


13.- En la misma columna del esquema de la pregunta anterior, explique dónde se localiza el tubo de salida del residuo.

Cuestionario de la segunda parte.

- Objetivo 6: análisis del comportamiento de las variables de operación en una columna, al haber un cambio en las condiciones de alimentación.
- Objetivo terminal principal: el alumno describirá ña forma de contrarrestar el efecto de un cambio en la alimentación, a través del comportamiento de las variables de operación, según el modelo McCabe-Thiele, para que una columna de destilación opere dentro de condiciones preestablecidas.

Planteamiento del problema: una columna de destilación separa una mezcla benceno-heptano; su operación teórica está representada por el siguiente diagrama:



En un momento dado la temperatura de la alimentación disminuye, xe toma una muestra de la misma y se analiza en el refractómetro, observándose que el índice de refracción ha permanecido constante, o sea, la composición de la alimentación (Z_A) no ha - ha variado.

Preguntas:

1.- ¿Cuál es el caso que corresponde a esta disminución de temperatura en la alimentación?

a.- Aumento en el flujo de alimentación.

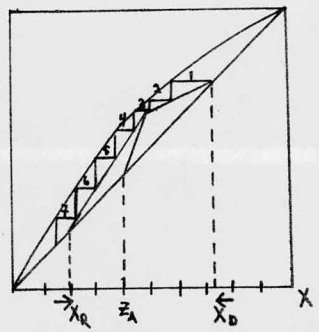
b.- Disminución del flujo de alimentación.

c.- Aumento de la entalpia de alimentación.

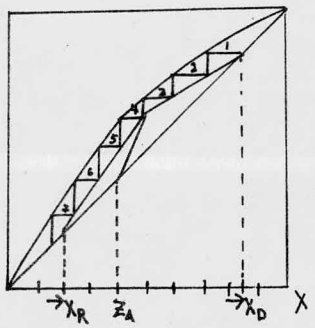
d.-.Disminución de la entalpia de alimentación.

2.- ¿Cuál es el diagrama McCabe-Thiele que respresenta esta va-- riación?

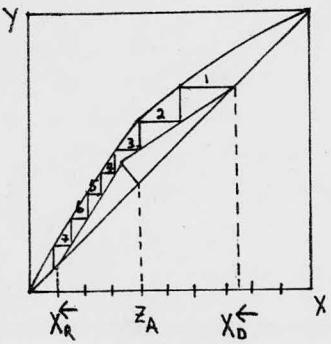
a)



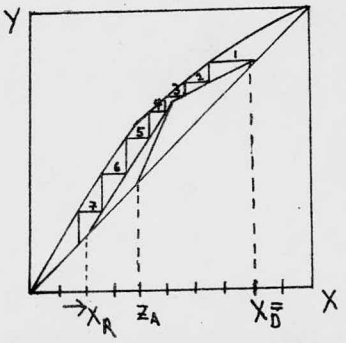
b)



c)



d)



3.- ¿Qué variables manipularía para corregir la composición de - productos?

4.- Suponga que le interesa ajustar la composición del destilado (X_D) al valor que se tenía en la operación normal. ¿Deberán ser aumentadas o disminuidas las variables manipuladas? Explique por qué.

5.- En tal caso, ¿qué pasaría con la composición de residuo (X_R)? ¿aumenta o disminuye con respecto al valor de X_R que se tenía antes de ajustar X_D?

6.- Si ahora le interesa ajustar X_R al valor que se tenía en la operación normal, ¿qué haría para lograrlo?

7.- ¿Qué pasa en este caso con X_D? ¿aumenta o disminuye con respecto al valor que se tenía antes de ajustar X_R?

8.- Suponga ahora, que en el presente caso, además de disminuir la temperatura de la alimentación aumenta Z_A. ¿Qué efecto tiene esto sobre X_D y X_R, con respecto al caso en que sólo disminuye la temperatura de la alimentación?

a.- Disminuyen X_R y X_D.

b.- Aumentan X_R y X_D.

c.- Aumenta X_R, mientras X_D disminuye.

d.- Disminuye X_R, mientras X_D aumenta.

BIBLIOGRAFIA.

- Foust, A.S.; Wenzel, L.A; Clump, C.W.; Maus, L; Andersen, L.B. - PRINCIPLES OF UNIT OPERATIONS. 2a. ed. (1960). John Wiley & Sons Inc. y Toppan Company, LTD. Tokio, Japón.

- Mager, R.F. LA CONFECCION DE OBJETIVOS PARA LA ENSEÑANZA. 1a. - ed. (1970). Ministerio de Educación de Cuba. La Habana, - Cuba.

- McCabe, W.L.- Smith, J.C. UNIT OPERATIONS OF CHEMICAL ENGINEERING. 2a. ed. (1967). McGraw-Hill Kogakusha, LTD. Tokio, Japón.

- Treybal, R.E. MASS TRANSFER OPERATIONS. 1a. ed. (1955). McGraw-Hill Kogakusha, LTD. Tokio, Japón.

- Van Winkle, M. DISTILLATION. 1a. ed. (1967). McGraw-Hill Book Co. Nueva York, E.U.

- Bertrand, L.- Jones, J.B. CONTROLLING DISTILLATION COLUMNS. --- Chem. Eng. vol. 68, febrero 20, 1961. págs. 139-144.

- Chan, A.L.-Talbot, F.D.F. CONTROL SCHEMES FOR BINARY DISTILLATION. Instr. Tech. vol. 16, junio, 1969. págs. 48-51.

- Coates, J- Pressburg, B.S. ANALYZE MATERIAL AND HEAT BALANCES FOR CONTINUOUS DISTILLATION. Chem. Eng. vol. 68, febrero 20, - 1961. págs. 145-150.

- Forman, E.R. CONTROL SYSTEMS FOR DISTILLATION. Chem. Eng. vol. 72, noviembre 8, 1965. págs. 213-218.

- Haines, H.W. DISTILLATION, THE PRACTICAL ASPECTS. Ind. & Eng. - Chem. vol. 52, núm. 8, agosto, 1960. págs. 662-670.

- Hausch, D.C. HOW FLOODING CAN AFFECT TOWER OPERATION. Chem. Eng. Prog. vol. 60 núm. 10, octubre, 1964. págs. 55-59

TESIS
Tesis por computadora
único sistema en el país
URGENTES
Arquitectura No. 49 Local B
Tel. 548-36-02 Ciudad Universitaria