

La Serie Universitaria de la Fundación Juan March presenta resúmenes, realizados por el propio autor, de algunos estudios e investigaciones llevados a cabo por los becarios de la Fundación y aprobados por los Asesores Secretarios de los distintos Departamentos.

El texto íntegro de las Memorias correspondientes se encuentra en la Biblioteca de la Fundación (Castello, 77. Madrid-6).

La lista completa de los trabajos aprobados se presenta, en forma de fichas, en los Cuadernos Bibliográficos que publica la Fundación Juan March.

Estos trabajos abarcan las siguientes especialidades: Arquitectura y Urbanismo; Artes Plásticas; Biología; Ciencias Agrarias; Ciencias Sociales; Comunicación Social; Derecho; Economía; Filosofía; Física; Geología; Historia; Ingeniería; Literatura y Filología; Matemáticas; Medicina, Farmacia y Veterinaria; Música; Química; Teología. A ellas corresponden los colores de la cubierta.

Edición no venal de 300 ejemplares, que se reparte gratuitamente a investigadores, Bibliotecas y Centros especializados de toda España.

Este trabajo fue realizado con una Beca en el Extranjero, 1974, Departamento de Química.

Fundación Juan March



FJM-Uni 2-Mul
Estudio del control y regulación me
Mulet Pons, Antonio.
1031779



Biblioteca FJM

Fundación Juan March (Madrid)

SERIE UNIVERSITARIA



Fundación Juan March

Estudio del control y regulación, mediante un calculador numérico, de una operación de rectificación discontinua

Antonio Mulet Pons

FJM
Uni
2
Mul

2

Calculador en una operación de rectificación discontinua / A. Mulet

Fundación Juan March
Serie Universitaria

2

ESTUDIO DEL CONTROL Y REGULACION,
MEDIANTE UN CALCULADOR NUMERICO,
DE UNA OPERACION DE RECTIFICACION DISCONTINUA

Antonio Mulet Pons



Fundación Juan March
Castelló, 77. Teléf. 225 44 55
Madrid - 6

Fundación Juan March (Madrid)

Depósito Legal: M - 16091 - 1976
Ibérica, Tarragona, 34 - Madrid-7

Fundación Juan March (Madrid)

I N D I C E

I	INTRODUCCION INSTALACION PILOTO	1
II	ENLACE CALCULADOR INSTALACION PILOTO	15
III	PROGRAMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ORDENADOR EN CONEXION CON LA INSTALACION PILOTO DE REC- TIFICACION DISCONTINUA.	22
IV	PUESTA A PUNTO DE LA INSTALACION Y ANALISIS DE . SU FUNCIONAMIENTO	29
V	ESTABLECIMIENTO DE LAS REGULACIONES NUMERICA Y ANALOGICA	36
VI	CONCLUSIONES	46
VII	BIBLIOGRAFIA	48

INTRODUCCION

El crecimiento de la industria química española ha sido espectacular, ocupando actualmente un lugar privilegiado en la economía nacional. Dicho crecimiento viene a situarse en un contexto de crisis económica mundial. En estas circunstancias las innovaciones tecnológicas que supongan un incremento de la competitividad resultan fundamentales, así como todo análisis de un proceso en vistas a su optimización de funcionamiento.

La rentabilidad de una operación de rectificación está estrechamente ligada al coste de la energía y este ha sido uno de los imponderables de la industria en los últimos tiempos; en este contexto, el estudio del funcionamiento y optimización cobra especial relieve. Para abordar este estudio es necesario poder realizar un control de la marcha de la instalación, una regulación de las variaciones que determinan su funcionamiento, así como tener acceso a realizar la medida de temperaturas, caudales y concentración a lo largo de toda la operación.

Alcanzar estos objetivos requiere aparatos adecuados capaces de efectuar medidas precisas y de un modo contínuo (o casi contínuo) para poder descubrir e identificar las posibles anomalías existentes en la instalación, así como disponer de un órgano capaz de coordinar y realizar las diferentes medidas, realizando a partir de su explotación el control y la regulación de la instalación.

Dos tipos de control, analógico y digital, pueden presentarse. El digital ha sido tradicionalmente considerado como más costoso; sin embargo, con la construcción de ordenadores más fiables y de menor costo, hoy en día en plantas de un tamaño razonable resulta competitivo, tal como se desprende de un estudio reciente de Nisenfeld⁽¹⁾ (para seis columnas de destilación). En plantas de gran tamaño la utilización de ordenadores puede resultar más adecuada debido a que el costo disminuye con el número de regulaciones mientras que en el tipo analógico se mantiene constante.

Para el estudio de optimización a menudo se realizan costosos estudios sin obtener, sin embargo, diferencias sustanciales con las marchas clásicas. A este

respecto Robinson⁽²⁾ pone de manifiesto, a partir del porcentaje de carga inicial (H.U.) retenida en la columna, el número de platos (N), la volatilidad relativa (α) y la pureza deseada del producto (\bar{X}_D), tres zonas

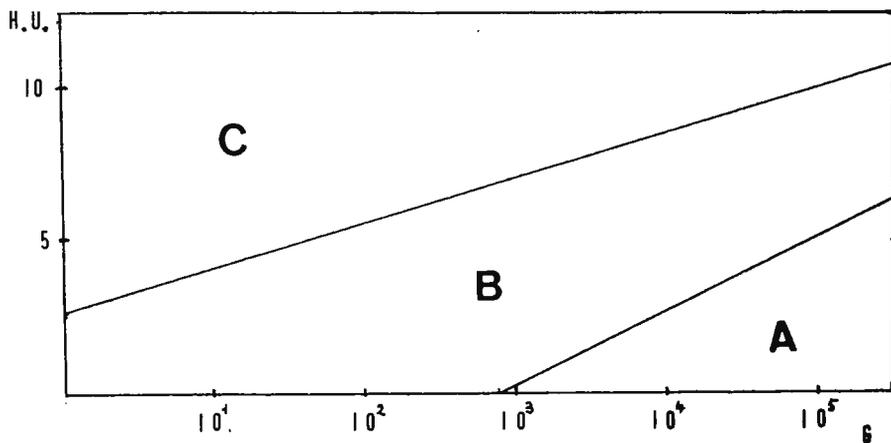


Figura 1

$$\text{Siendo } G = \frac{\alpha^{N+1} (1 - \bar{X}_D)}{\bar{X}_D}$$

La ruta óptima en la zona

A - coincide con la de concentración de cabeza constante

C - coincide con la de razón de reflujo constante

B - presenta una cierta diferencia con los anteriores.

Si suponemos que en una columna industrial la carga inicial es grande, el porcentaje de retenida será generalmente pequeño, y si el número de platos es grande nos encontramos dentro ó muy cerca de la zona A. En el caso en que la carga retenida sea relativamente grande, cosa frecuente .pues en una columna discontinua se destilan normalmente cantidades pequeñas, una marcha a razón de reflujo constante podría ser la adecuada. Ambos casos son probables, pero desde el punto de vista de regulación, el problema se reduce fundamentalmente a obtener un esquema que proporcione una razón de reflujo, la cual que se mantendrá constante (zona C), se variará continuamente el punto de consigna a fin de obtener una concentración en cabeza constante (zona A), ó se seguirá una marcha calculada como óptima (zona B).

En el presente trabajo se estudia la puesta a punto de una operación de rectificación discontinua con la ayuda de un calculador numérico, para ello se establecen las funciones a realizar por el ordenador y se ponen a punto los programas adecuados. Seguidamente, con los programas anteriores se realiza la unión calculador instalación piloto. Con la ayuda de los pro

gramas de adquisición se estudia la regulación numérica y a continuación se propone un sistema analógico equivalente. Se muestra que tal como dice Nisenfeld la mayor parte de la inversión económica se sitúa a nivel del "soft" de base, de forma que la adición de nuevas regulaciones no supone un gasto suplementario considerable.

I.- INSTALACION PILOTO

1. Columna de rectificación

La columna se compone de cuatro platos perforados, espaciados a 150 mm. La capacidad del calderín es de 40 l. y el sistema de calefacción se compone de tres resistencias sumergidas en el líquido, siendo la potencia total de 7 kW. Dos condensadores aseguran la condensación total de los vapores.

La circulación por gravedad del líquido condensado necesita que los vapores condensen a suficiente altura, a fin de disponer de la presión requerida y poder así realizar la regulación del caudal con la válvula neumática. La circulación por gravedad requiere también que todos los puntos altos estén a la misma presión.

El destilado después de ser enfriado se almacena en un recipiente que dispone de paletas agitadoras a fin de homogeneizar el contenido.

El reflujo se calienta a su temperatura de ebullición antes de ser introducido en la cabeza de la columna.

En la figura 2 se muestra un esquema de la instalación.

2. Platos perforados

Los platos, contruidos en acero inoxidable, tienen un diámetro de 100 mm y un espesor de 2 mm. Disponen de 127 perforaciones de un diámetro de 2,5 mm, dispuestas en malla triangular de 6 mm de paso, lo que produce una porosidad del 8%. Cada uno de ellos está provisto de un rebosadero de 22 mm de altura y 12 mm de diámetro en la bajada.

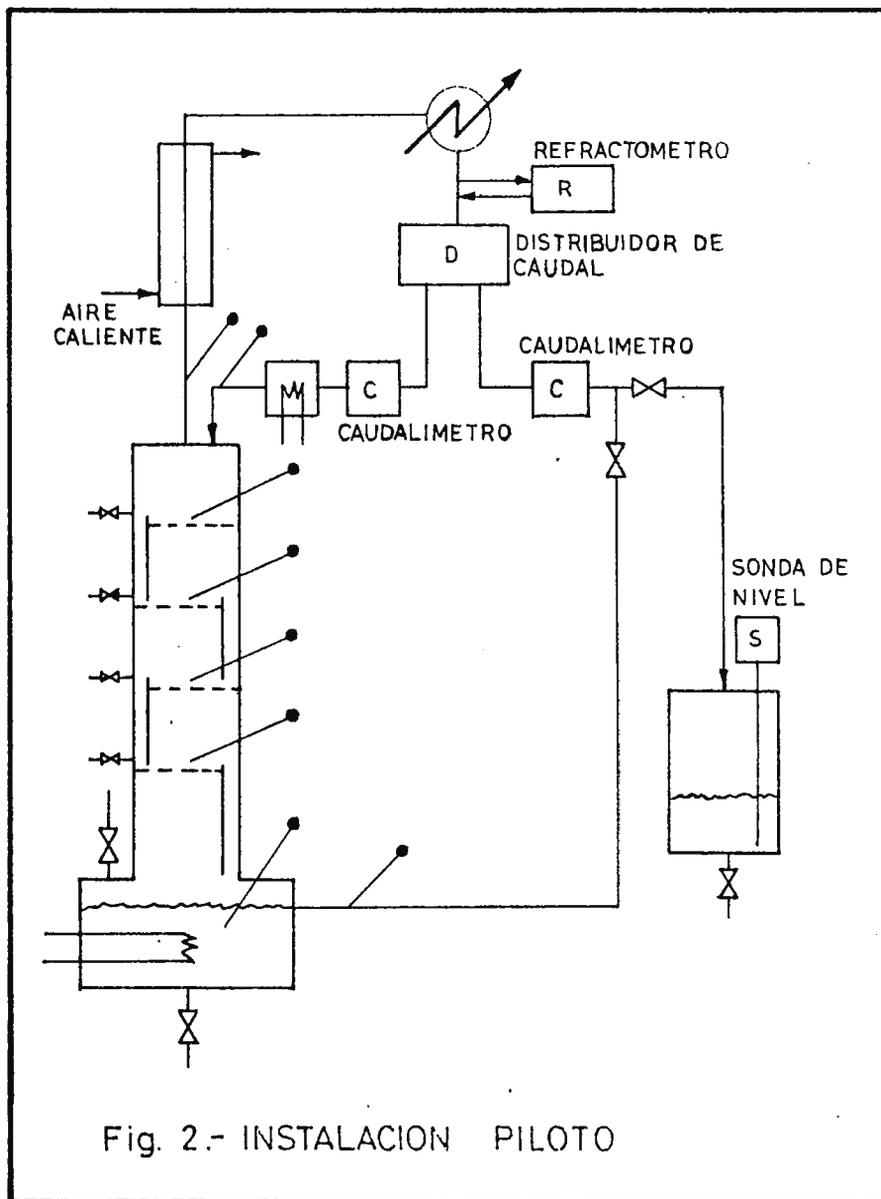
En cada plato hay situados:

- una funda de termopar sumergida en el líquido
- una toma de muestra de líquido

3. Medidas sobre el proceso

El control del proceso necesita el conocimiento de los valores que toman las variables. Las diferentes medidas se observan en el panel de la instalación y se transmiten al calculador, por medio del convertidor analógico-numérico.

Se consideran tres tipos de variables a medir: temperaturas, caudales y concentraciones.



3.1. Temperaturas

Las medidas de temperatura se realizan por intermedio de termopares Hierro-Constantan. Los termopares están situados en: el calderín, cada plato, vapores de cabeza y reflujo.

Las señales obtenidas, del orden de milivoltios son amplificadas por el convertidor.

En el panel, un registrador MECI de 12 vías (SPEEDOMAX tipo E) imprime las temperaturas.

3.2. Caudales

La medida de los caudales se realiza mediante diafragmas medidores cuyas dos cámaras manométricas están ligadas a un captador de presión con transformador diferencial (SCHLUMBERGER, tipo 3440 H) que dispone de un circuito de extracción de raíz cuadrada.

La señal de salida es pues proporcional al caudal, ya que

$$D = K\sqrt{\Delta P}$$

Se controla continuamente el caudal de reflujo y destilado con los dos captadores. Se ha efectuado un calibrado de los mismos, en las condiciones experimen-

tales, observándose muy poca dispersión de las medidas.

La señal de los caudalímetros se puede medir manualmente con dos mili-amperímetros situados en el panel.

3.3. Concentraciones

Utilizándose como mezcla binaria la de ciclohexano-tolueno, la concentración puede ser medida fácilmente a través del índice de refracción pues existe una gran diferencia de esta propiedad entre los dos componentes.

La medida de la concentración de las muestras tomadas se efectúa con un refractómetro discontinuo. Un refractómetro diferencial (AMAGOR, modelo 50) permite la medida en continuo de la concentración, utilizándose diferentes patrones a fin de cubrir toda la gama de concentraciones.

4. Controles sobre la instalación

Se han considerado tres variables de control: temperatura de reflujo, potencia calefactora y caudal de reflujo.

4.1. Regulación de la temperatura del reflujo

El reflujo interno y el perfil de concentraciones de la columna dependen de la temperatura del reflujo, cuya entalpía es un parámetro importante para el funcionamiento del proceso. El control de la temperatura del reflujo necesita un bucle de regulación cuyo punto de consigna fija la temperatura del líquido. Hemos optado por introducir el líquido a su temperatura de ebullición.

Como el punto de ebullición varía continuamente, la regulación debe disponer de una información sobre la temperatura de ebullición del líquido. Hemos observado que dicha temperatura es prácticamente igual a la medida por el termopar situado en una funda dentro de los vapores de cabeza, por esto se ha utilizado esta medida como representativa.

La regulación puesta a punto en los laboratorios del I.G.C., es del tipo proporcional integral, utilizándose dos termistencias para la medida de temperaturas, lo que facilita la labor pues no se necesita amplificación de la señal. Dicha regulación prevee el que la calefacción se inicie sólo cuando el recipiente

se encuentra lleno, y que se interrumpa la calefacción si el caudal que circula es inferior a un cierto umbral. En la puesta a punto ha sido necesario sustituir las resistencias sumergidas en el líquido por otra arrollada alrededor del recipiente, pues existían vaporizaciones debido a que la pequeña superficie calefactora hacía necesarias altas temperaturas para calentar el líquido.

4.2. Mando de la potencia calefactora aplicada en el calderín

La carga del calderín se calienta mediante tres unidades de resistencias sumergidas en el líquido, cada una de ellas se compone de tres resistencias independientes de 1 kW, $\frac{2}{3}$ kW y $\frac{2}{3}$ kW.

El circuito de mando se compone de relés cuyas bobinas son excitadas por salidas numéricas lentas cuyo estado condiciona la apertura ó el cierre de los relés de potencia que conectan las resistencias calefactoras de la caldera.

La potencia de calefacción varía en valores discretos desde 0 a 5 kW. Las resistencias conectadas por

este sistema son tres de 2/3 kW y tres de 1 kW.

Las conmutaciones automáticas son observadas so - bre el panel de mando mediante indicadores luminosos. Por otro lado, una acción manual permite paliar, en to do momento, un defecto del circuito de mando numérico.

A esta acción todo o nada se añade un montaje a base de tiristores (BRM, tipo BTH 3 K) que permite pro porcionar una potencia variable continuamente entre 0 y 2 kW, con lo cual se puede suministrar cualquier potencia entre 0 y 7 kW. La tensión de mando, comprendida entre 0-10 voltios es suministrada por el convertidor analógico o por una alimentación eléctrica.

4.3. Mando del caudal de reflujo

El caudal de reflujo se regula con la ayuda de una válvula neumática accionada, por el intermediario de un convertidor electroneumático, a partir del calcu lador o de una fuente de tensión 0-10 voltios. La re gulación se efectúa a partir de la medida del caudalímetro.

El convertidor electroneumático (Bailey, tipo EP 2) permite convertir una señal eléctrica de mando de 10-50 mA en una señal neumática. La tensión 0-10 vol -

tios debe ser, pues, convertida en intensidad. En esencia, la conversión electroneumática se efectúa por fuga, en una cámara, controlada por el desplazamiento de un eje que cierra el orificio de fuga.

II.- ENLACE CALCULADOR INSTALACION PILOTO

El enlace calculador instalación piloto está materializado por una serie de cables (de unos 150 metros de longitud), que ligan al calculador con el piloto, transitando las señales analógicas a través de un convertidor. Los enlaces numéricos se realizan directamente.

Un ordenador trabaja con "números" mientras que de la instalación se reciben diferencias de potencial (señal analógica). Para asegurar el enlace hace falta una conversión analógico-numérica y viceversa. El convertidor se encuentra bajo el control del ordenador que impone (mediante un programa adecuado) la vía que debe ser conectada, así como la ganancia de entrada antes de la conversión (caso de señales débiles, como la de los termopares).

En la figura 3 se representa el proceso de adquisición de informaciones y transmisión de órdenes.

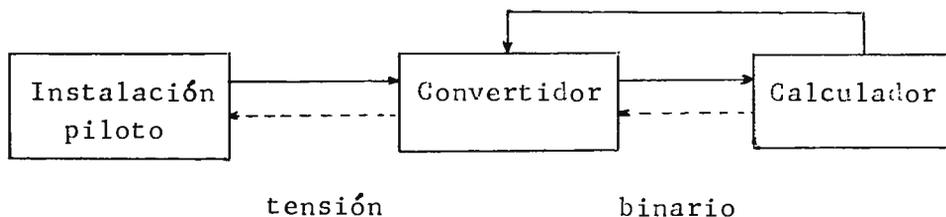


Figura 3

Se dispone de dos convertidores para realizar el enlace. El convertidor REDCOR 632 A/D dispone de 32 vías de entrada mientras que el DIGITAL dispone de 16 vías de entrada y otras tantas de salida. Las señales que vienen de la instalación deben estar comprendidas entre 0-10 voltios; las emitidas tienen iguales características debiendo ser transformadas, a nivel de la instalación, para su uso. La transmisión se efectúa sin amplificación desde la instalación piloto y ésta sólo se efectúa para aumentar la precisión de la con - versión numérica.

Las señales que se miden tienen una serie de señales parásitas de débil amplitud frente a la magnitud a medir, el filtrado se realiza con un filtro analógico o numérico.

Completa el enlace operador-calculador-piloto la posibilidad de dialogar con el ordenador a través de

la máquina de escribir, con lo que el operador puede introducir nuevos datos o modificar los puntos de consigna de operación. El ordenador puede "pedir" una decisión si el camino a seguir es ambiguo o existe una anomalía.

Para realizar estas operaciones y comprobar el corrcto funcionamiento de los diferentes órganos que operan en tiempo real se han puesto a punto una serie de programas.

Se describe en primer lugar el sistema en tiempo real.

II. 1. Calculador e interfase

El sistema que permite la adquisición y el tratamiento de informaciones en tiempo real está constituido por

- una unidad central (C.A.E. 510) cuyas principales características son

- . capacidad 3192 x 2 palabras de 18 bits
- . ciclo de base (lectura, escritura, memoria):

6 μ s

- máquina de escribir emisora-receptora (15 caracteres/seg)
 - a partir de ella se pueden cursar órdenes, dialogar con la máquina y recibir instrucciones o alarmas.
- unidad de cinta magnética
 - sirve para almacenar los programas así como las adquisiciones
- perforadora de cinta de papel (60 caracteres/seg)
 - proporciona un medio para almacenar los datos
- lectora de cinta de papel (300 a 1000 caracteres/seg)
- conjunto de entradas-salidas numéricas
 - permiten la recepción o emisión de niveles lógicos (todo ó nada), lo cual puede ser utilizado para hacer bascular los relés en la instalación o realizar una lectura codificada
- conjunto de entradas/salidas analógicas
 - permiten, previa conversión, la lectura o la emisión de una diferencia de potencial comprendida entre 0-10 V
- línea de interrupción
 - permite recibir señales jerarquizadas

- reloj numérico
 - . da la hora en decimal codado binario.

II. 2. Sistema FORTRAN en tiempo real

Un sistema puesto a punto por G. Muratet⁽³⁾, permite programar en FORTRAN el funcionamiento en tiempo real del calculador. Este sistema permite escribir tres programas independientes que residen simultánea - mente en la memoria y que son ejecutados por orden de prioridad.

Como el tratamiento es secuencial, los cambios de programa se producen como consecuencia de la llegada de señales exteriores, ligadas a la línea de interrupciones (18 bits). Esta línea está jerarquizada en dos niveles, I (6 primeros bits) y II (bits 7 al 18).

En ausencia de una orden exterior el calculador ejecuta el programa de fondo, programa que puede ser suspendido y ejecutarse otro si una señal exterior lo impone. Una vez ejecutado, el control vuelve al programa primitivo. Las interrupciones de clase I llaman a un subprograma SPIT 1 y las de clase II a SPIT 2. El esquema de tratamiento de interrupciones se muestra en la figura 4.

La detección de una interrupción prioritaria interrumpe el tratamiento en curso; si no es prioritaria, dicha señal es memorizada. El tratamiento dentro de una clase (I ó II) se hace por programa.

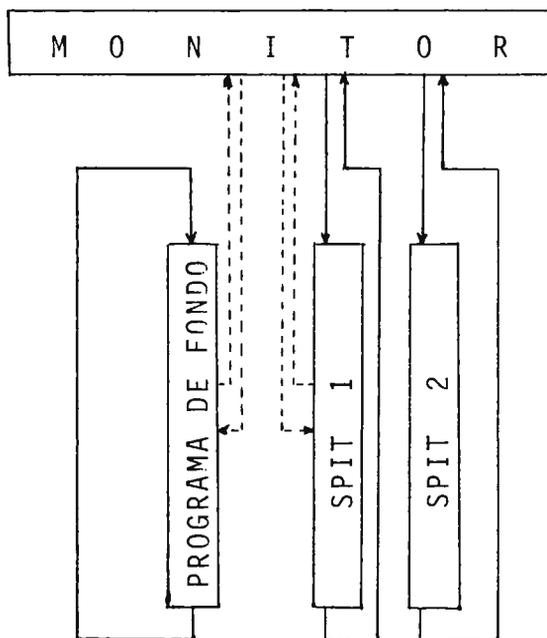


Figura 4

Todo conjunto de programas en tiempo real que se diseñe para este sistema debe disponer obligatoriamente de SPIT 1 y SPIT 2.

El sistema FORTRAN tiempo real comporta los siguientes subprogramas especiales.

- Lectura de una línea de entrada numérica
- Salida a través de la línea rápida
- Salida por una línea de relés (salida lenta)
- Lectura de las líneas de entrada analógica
- Supresión de interrupciones

II. 3. Programas puestos a punto

A fin de completar el "soft" existente, se han puesto a punto los siguientes programas.

- Salida analógica (convertidor DIGITAL)
- Entrada analógica (convertidor DIGITAL)
- Entrada analógica (convertidor REDCOR)
- Diálogo con el ordenador (a través de la máquina de escribir)
- Test de la línea de entrada numérica
- Test de entrada/salida numérica
- Test de las interrupciones
- Test del reloj numérico
- Test de los relés del piloto
- Test de las entradas analógicas (REDCOR)

Con esta serie de programas se puede abordar el estudio del funcionamiento en tiempo real del conjunto calculador-piloto.

III.- PROGRAMAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ORDEÑADOR EN CONEXION CON LA INSTALACION PILOTO DE RECTIFICA CION DISCONTINUA

Para el funcionamiento en tiempo real del calculador conectado a la instalación piloto, se han puesto a punto diferentes programas.

III. 1. Calibrado de las líneas de enlace

Para materializar el enlace del calculador con la instalación se necesitan dos elementos: un cable blindado que permita la transmisión de información y un "convertidor" que adecue la información recibida y pueda ser de este modo "leída" por el calculador. Al conjunto cable-convertidor lo llamamos línea de enlace.

A partir de los subprogramas de salida y entrada se han realizado experiencias para estudiar esta transmisión de información. Si consideramos que el convertidor trabaja con 10 bits, el error se cifra en el último bit; si se utiliza entre 0-10 volts. a este bit corresponde una tensión de 10 mili-volts. En cualquier caso, si la tensión a medir es pequeña, se puede utilizar una ganancia superior a la unidad y disminuir de

este modo el error relativo.

Los resultados obtenidos con el convertidor REDCOR y los medidos con un voltímetro numérico de alta precisión concuerdan bien. Si ordenamos por programa el enviar una tensión a través de una determinada línea, la concordancia es menos satisfactoria. Las medidas realizadas utilizando el convertidor DIGITAL en entrada nos muestran la necesidad de efectuar una co - rrección de las mismas.

Considerando que la instalación piloto se encuentra relativamente lejos del calculador, la corrección de estos errores es indispensable. No siendo un enlace algo fijo, pues sus características pueden cambiar, es necesario disponer de un medio para realizar rápidamen te estas correcciones. Se ha comprobado que es adecuada una corrección lineal.

El programa de test y calibrado deberá poseer las siguientes características:

- Ser de fácil manejo para un operador desconocedor del programa. El programa dará las oportu - nas instrucciones al operador.
- Comprobar que las órdenes han sido bien ejecuta das (por el operador y por los aparatos).

- Automatizar al máximo dicha operación.

Para iniciar el calibrado se necesita una referencia exterior a la del propio aparato, para ello se ha utilizado un voltímetro numérico a fin de realizar la lectura de diez medidas (0-10 Volts) y a partir de aquí efectuar los otros calibrados.

La puesta en práctica de este programa tropezó con una dificultad imprevista que fue la diferencia de rapidez de los dos convertidores. El problema radica en el tiempo necesario para la carga del condensador que almacena la medida (REDCOR); el dispositivo se esquematiza en la figura 5.

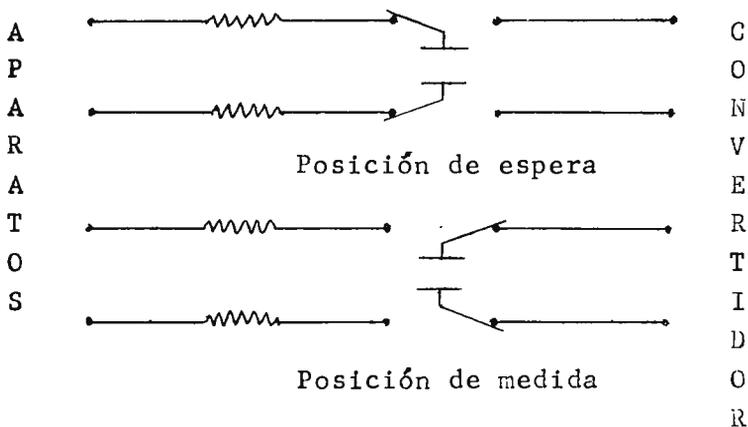


Figura 5

Este sistema de medida del convertidor REDCOR es adecuado, a pesar de este inconveniente (lentitud), ya que filtra el ruido de la línea y evita los problemas de modo común; si se trata de un proceso con variaciones bruscas se debe utilizar el convertidor DIGITAL pues deja pasar, sin ninguna dificultad, 1 kHz.

III. 2. Sistema de adquisición de datos en tiempo real

Este sistema consta de dos partes

III. 2.1. Programas de adquisición

Los objetivos que se han propuesto son:

- 1 - Facilidad de utilización
- 2 - Estructura sencilla
- 3 - Facilidad en la elección de las vías a escrutar
- 4 - Elección de la ganancia de las vías (nivel al to 0-10 volts, bajo 0-10 mvolts)
- 5 - Elección del período de adquisición
- 6 - Creación y gestión de un sistema de ficheros sobre cinta magnética
- 7 - Posibilidad de impresión simultánea de las ad

quisiciones en la máquina de escribir.

Esta última posibilidad ha de ser utilizada prudentemente pues, dada la estructura del programa, se corre el riesgo de perder ciertas medidas ya que se da prioridad a la impresión.

Los ficheros son de tipo secuencial a causa de la naturaleza del soporte. Se trata de un sistema relativamente rígido pues solo se dispone de una unidad de banda magnética. Se utilizan dos marcas (soft), una para indicar el principio de un nuevo fichero y otra para indicar el final del conjunto. En la misma cinta se han incluido dos "principios físicos" de la misma para no destruir el compilador y el programa objeto.

Las instrucciones al operador aparecen en la máquina de escribir y todos los datos necesarios son proporcionados a través de la misma.

III. 2.2. Recuperación de las medidas

Se ha escrito un programa que permite extraer el contenido de los ficheros sobre cinta magnética, imprimiéndolos con la máquina de escribir o perforándolos sobre cinta de papel.

III. 3. Trazado de las adquisiciones

En las adquisiciones en tiempo real se almacena una gran cantidad de informaciones en forma numérica. Una observación gráfica de estas informaciones es necesaria a fin de poder obtener una visión de conjunto o percibir anomalías. Se realizó, a tal efecto, un programa que prevee la posibilidad de acción desde "el exterior" sobre el mismo (forma conversacional) para imponerle una elección en un determinado momento. El diálogo con el programa se realiza a través de la máquina de escribir mediante el subprograma adecuado.

Sobre el mismo gráfico se pueden trazar cuantas medidas se deseen (concentración, caudal...). En el trazado, dos informaciones numéricas sucesivas de la misma magnitud (adquiridas en una sola vía de entrada) se unen por una línea recta. El tratamiento secuencial de las vías permite disminuir considerablemente el tiempo de trazado.

Hemos elegido el representar las informaciones en voltios (o milivoltios si se trata de termopares) a fin de dar generalidad al programa y representar las informaciones tal como llegan al ordenador, evitando así los posibles errores debidos al tratamiento de la

información.

El eje de abscisas, tiempo, se ha dejado con esca
la variable en función de la densidad de información,
a fin de obtener una representación de toda la informama
ción evitando el filtrarla con el trazado.

IV.- PUESTA A PUNTO DE LA INSTALACION Y ANALISIS DE SU FUNCIONAMIENTO

La puesta a punto de la instalación ha consistido en el calibrado y puesta a punto de los diferentes sistemas de medida a fin de realizar una lectura correcta con el ordenador, así como en el acondicionamiento hidrodinámico de la instalación piloto.

La utilización del calculador numérico para la puesta a punto del piloto ha permitido:

- a - el test de los programas de tiempo real
- b - el disponer de valores numéricos fácilmente utilizables para posteriores tratamientos
- c - la posibilidad de realizar simultáneamente todas las medidas necesarias, disponiendo así de una "imagen" global de la instalación.

IV. 1. Medida de temperatura

La utilización de termopares para realizar la medida de temperaturas presenta dos problemas, uno es la débil tensión suministrada por el termopar y otro es la necesidad de corregir la "soldadura fría" a fin de poder utilizar las tablas standard. El primer problema

ha sido resuelto sin necesidad de amplificación para la transmisión de la señal. La corrección de soldadura fría se ha realizado midiendo la tensión de un termo - par sumergido en un baño, a temperatura constante y conocida.

Se ha observado que la utilización del registra - dor produce perturbaciones en la señal enviada al ordenador. Una muestra gráfica, con una amplificación de 10^3 , se da en la figura 6; esta gráfica ha sido obtenida con el convertidor DIGITAL que posee una mayor banda pasante.

IV. 2. Medida de la concentración

Para observar la calidad de la medida se ha realizado un montaje que permite cambiar bruscamente la concentración a medir.

Los resultados obtenidos son los típicos de las medidas de concentraciones, se muestran en la figura 7. De su análisis se deduce

- un retraso, por transporte, en la medida de unos 36 segundos,
- el tiempo de respuesta del sistema se cifra en unos 94 segundos,

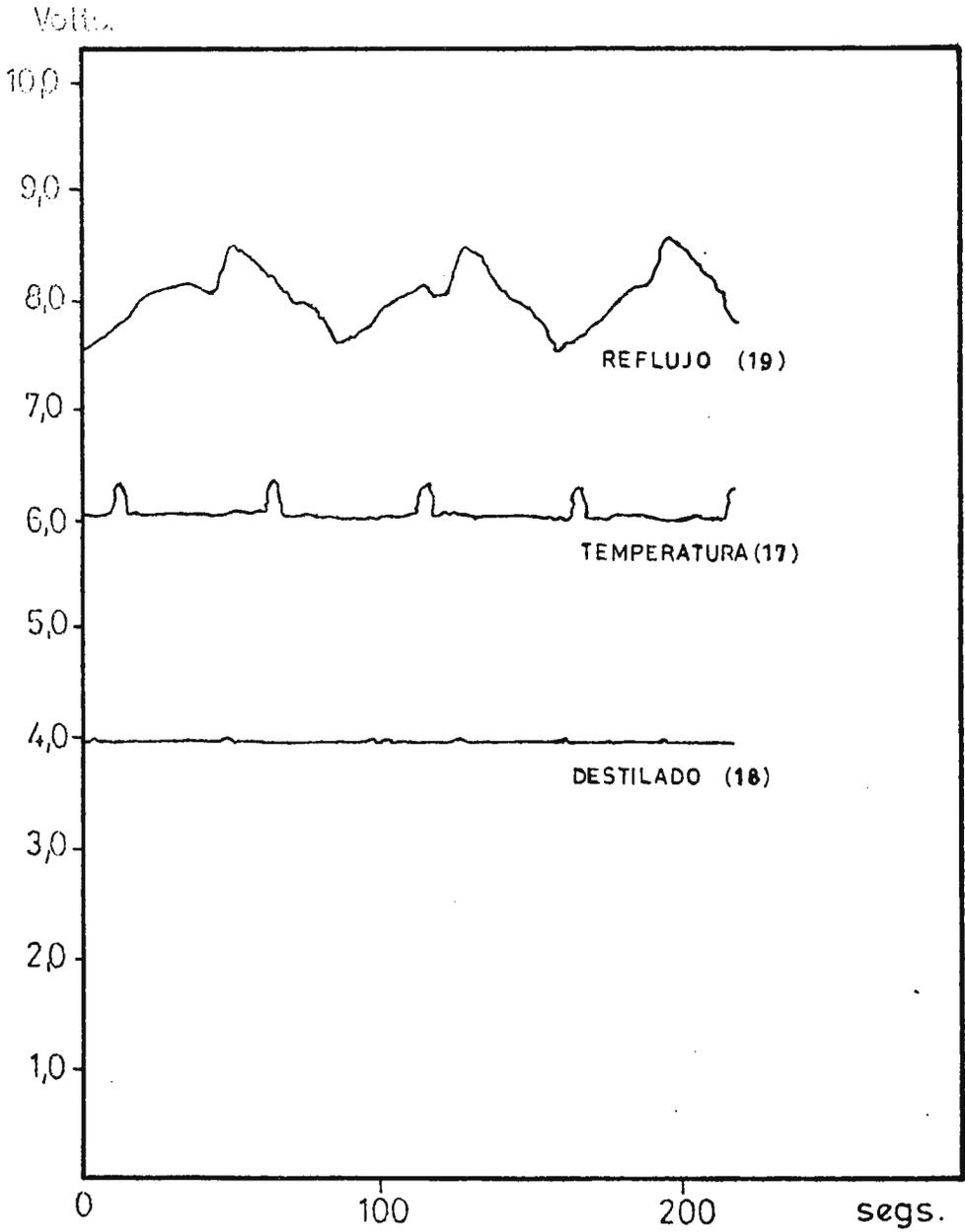


Fig. 6.- ADQUISICIONES NUMERICAS

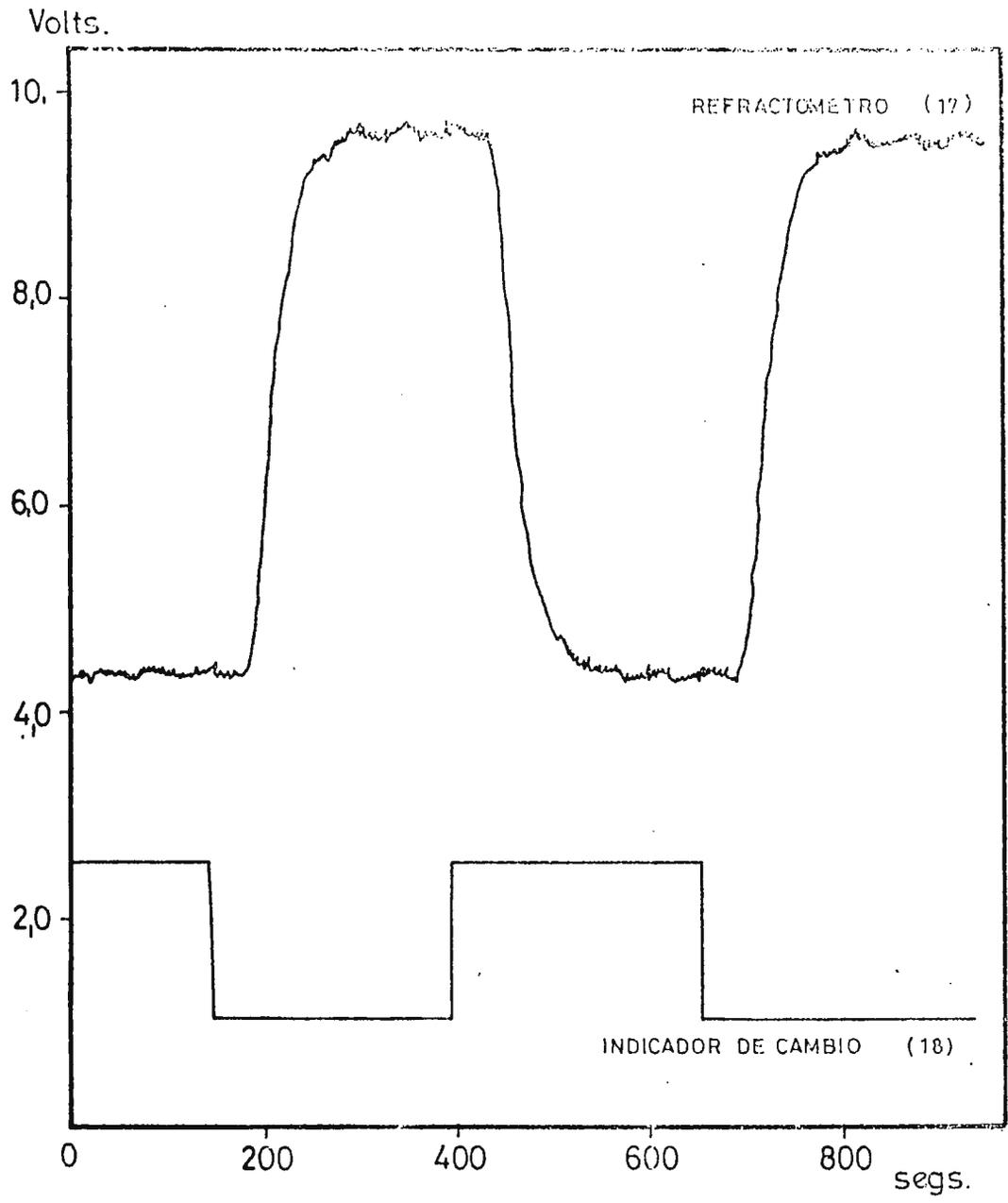


Fig 7.- TEST DEL REFRACTOMETRO
Fundación Juan March (Madrid)

- las oscilaciones parásitas suponen 0.008, en fracción molar, en amplitud total (\pm 0.004),
- de una experiencia a otra la línea de medida se desfasa debido a la impurificación de la mezcla que se mide.

IV. 3. Medida de caudales

La medida y trazado de los caudales nos ha permitido identificar dos fenómenos

1 - La presencia de burbujas en las canalizaciones (forman un punto alto) de transmisión de presión. Se ha adoptado el dejar a la atmósfera estos puntos altos a fin de eliminar las burbujas.

2 - Variaciones de caudal al cabo de un cierto tiempo de funcionamiento, se han identificado como provenientes de una mala igualación de presión debido a la condensación de vapores. Las perturbaciones, sobre el reflujo, se muestran en la figura 6.

IV. 4. Regulación de la calefacción del reflujo

Para evitar perturbaciones del estado de la columna se introduce el reflujo a su temperatura de ebullición.

Como esta regulación no necesita transformaciones de las medidas, se ha realizado un montaje electrónico para asegurar esta función.

A fin de realizar el test de la instalación se la ha sometido a una serie de escalones de potencia, a reflujo total, los resultados se muestran gráficamente en la figura 3. Se observa un funcionamiento completamente normal.

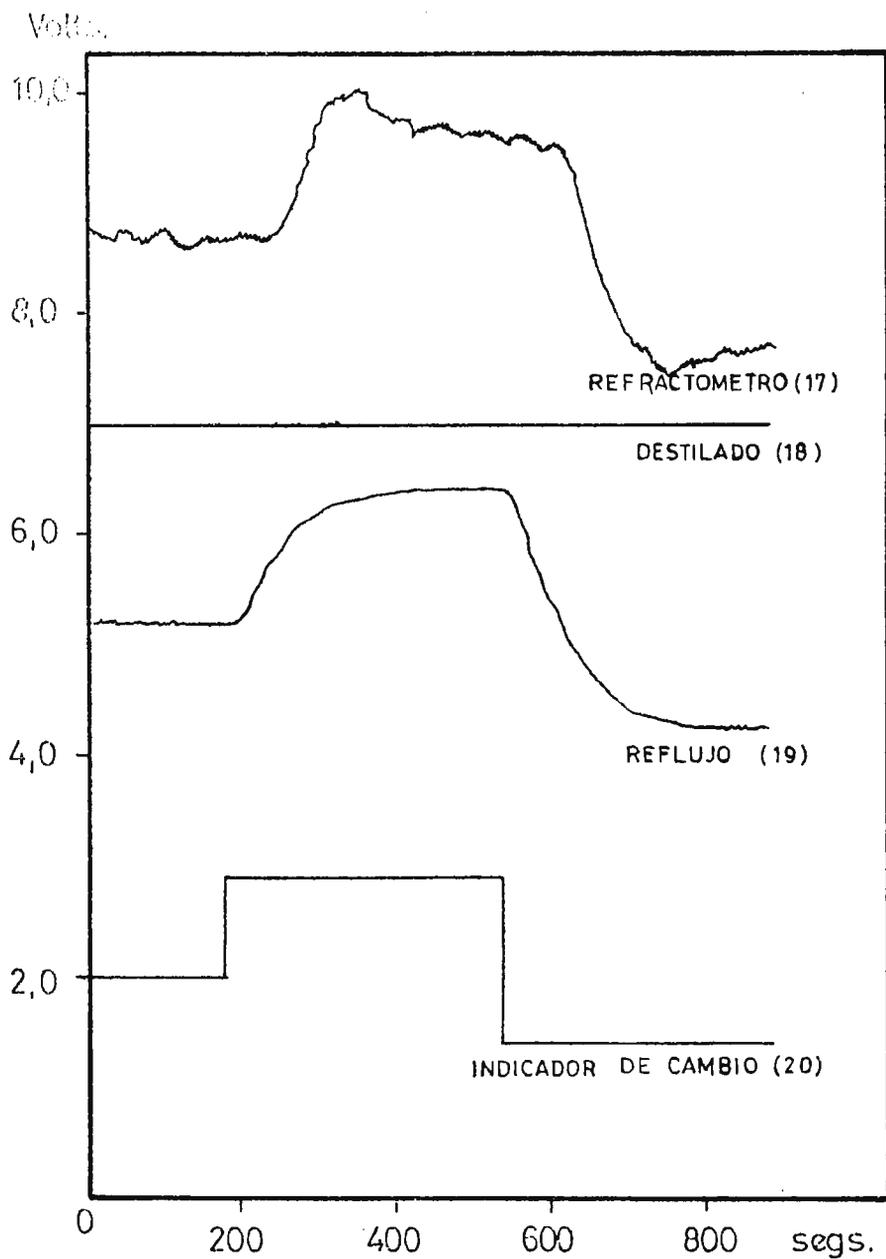


Fig. 8.- ESCALONES DE POTENCIA

V.- ESTABLECIMIENTO DE LAS REGULACIONES NUMERICA Y ANALOGICA

La conducción de la operación de rectificación puede responder a varios criterios.

Como la variable sobre la que se puede actuar es la razón de reflujo, si se pretende mantener la concentración de cabeza constante, se puede seguir una trayectoria de razón de reflujo; previamente calculada a este efecto y variable con el avance de la rectificación. Otra solución puede ser el ajuste, a partir de un modelo, de la razón de reflujo, a medida que avanza la operación. Esta segunda posibilidad presenta la ventaja de no necesitar cálculos previos pero supone una complicación suplementaria de los programas.

Una simplificación notable se obtiene al no considerar un modelo para la instalación, dado que el aparato existe y el ordenador permite realizar a bajo coste diversas regulaciones por simple modificación de programas.

El estudio directo proporcionará una regulación, adaptada a esta instalación, pero el esquema de regula

ción así como el modo de establecerla es de aplicación general.

Dado que la variable de acción es el destilado, se pretende establecer una regulación adecuada para obtener rápidamente la razón de reflujo deseada, actuando sobre la válvula neumática. Para realizar la elección de la regulación se estudia la respuesta, las señales de los aparatos de medida, de la instalación a un cambio brusco de la razón de reflujo. Se realiza un cambio de reflujo total (válvula con la tensión máxima de mando) a una razón de reflujo finita. En esta regulación se deben evitar por un lado las oscilaciones y por otro que el sistema esté demasiado amortiguado ya que ello aumenta el tiempo de respuesta. El ajuste de la ganancia se realizará empíricamente pues dada la facilidad de cambiarla resultará lo más rápido y económico.

Para realizar esta regulación es necesario poner a punto un nuevo programa, dicho programa tendrá acceso a las otras informaciones pero debe poder ser ejecutado a una frecuencia propia. Se utiliza el sistema puesto a punto para las adquisiciones, el subprograma JMIT 2 podrá realizar las funciones de regulación pues

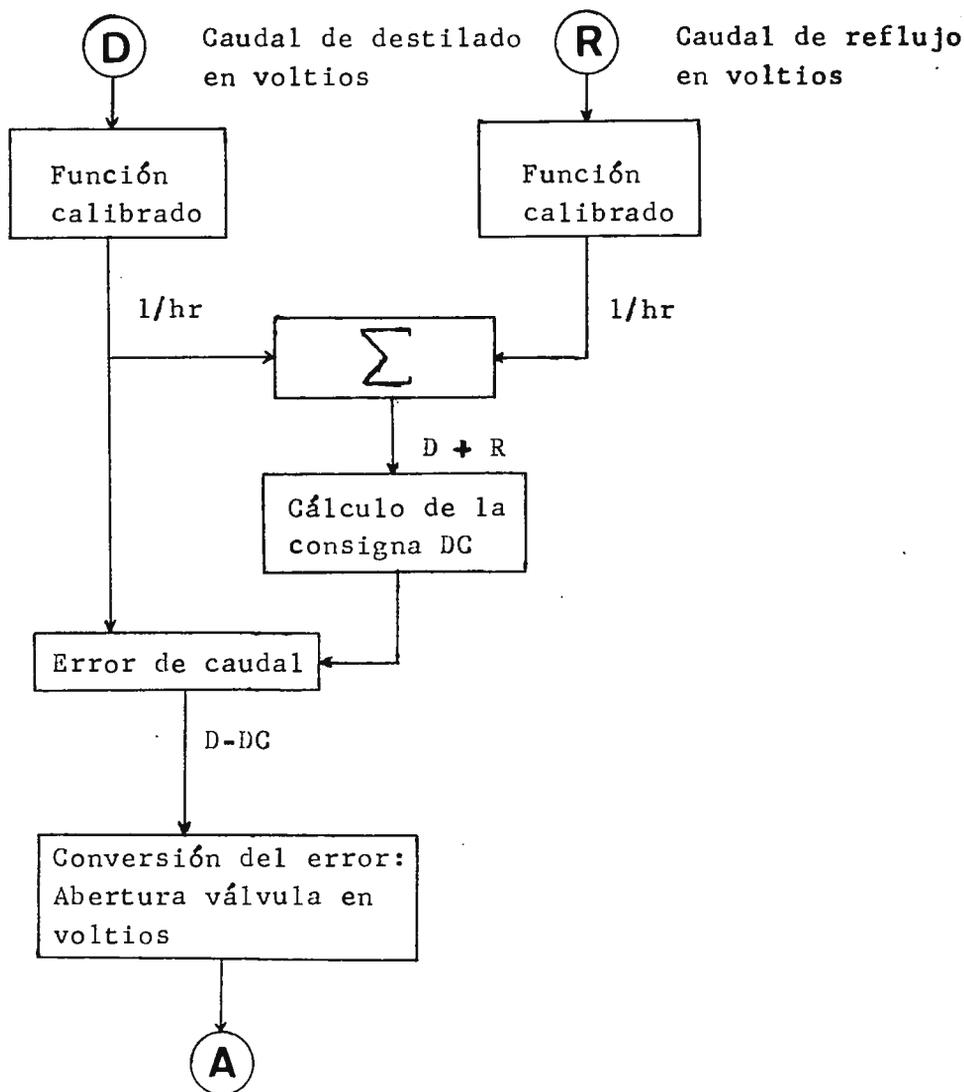
en dicho sistema no se le ha confiado ninguna tarea. El no utilizar SPIT 1 no supone ningún problema pues no realizando más que una función lógica no retrasa la ejecución de SPIT 2, en cambio es necesario⁽⁴⁾ utilizar SPIT 1 para el contador puesto que con él se mide el tiempo real en la ejecución.

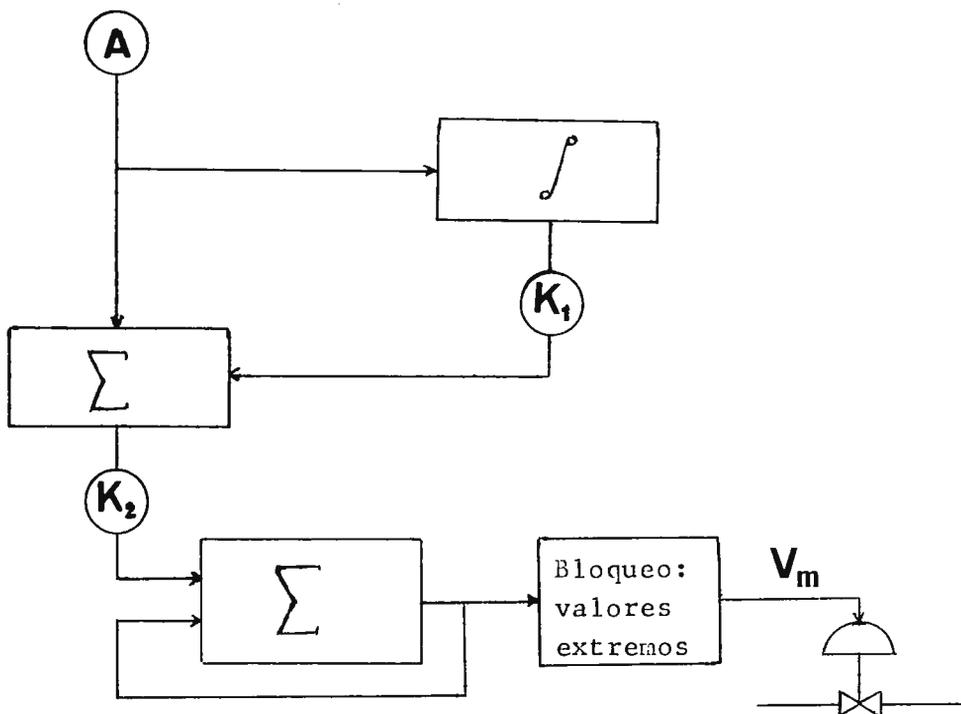
En la bibliografía se encuentran diferentes algoritmos de regulación^(5,6,7,8) numérica, en general se desaconseja la traducción numérica de los algoritmos clásicos⁽⁹⁾ (como el PID). Una regulación sofisticada presenta muchas veces un interés indiscutible pero a menudo es más interesante el realizar regulaciones simplificadas pues de este modo se pueden realizar muchas más regulaciones con el mismo calculador o dedicarlo a tareas más complejas⁽¹⁰⁾. Un problema en el control digital es el del tiempo de muestreo, un sistema discontinuo de información supone una fuerte no linealidad lo que dificulta el tratamiento teórico, la frecuencia de muestreo debe ser tal que permita seguir la evolución del proceso sin ambigüedades.

V. 1. Establecimiento de la regulación numérica

En opinión de ciertos autores una parte derivada

no es necesaria en un control de concentración de cabeza, lo cual supone una simplificación notable de la regulación. Se ha ensayado para el control de la razón de reflujo, una regulación solamente proporcional e integral. El esquema adoptado se da en la figura 9.





\mathcal{E} representa la variación de tensión de mando de la válvula

Figura 9

Se han realizado experiencias con diferentes ganancias y regulaciones. Después del exámen de los resultados se ha llegado a la conclusión de que la regulación tipo proporcional integral es adecuada. En la figura 10 se han representado los resultados obtenidos, con el trazador (CALCOIMP) mediante el programa adecuado, con una ganancia que no produce un amortiguamiento suficiente. Los resultados de la misma regulación con

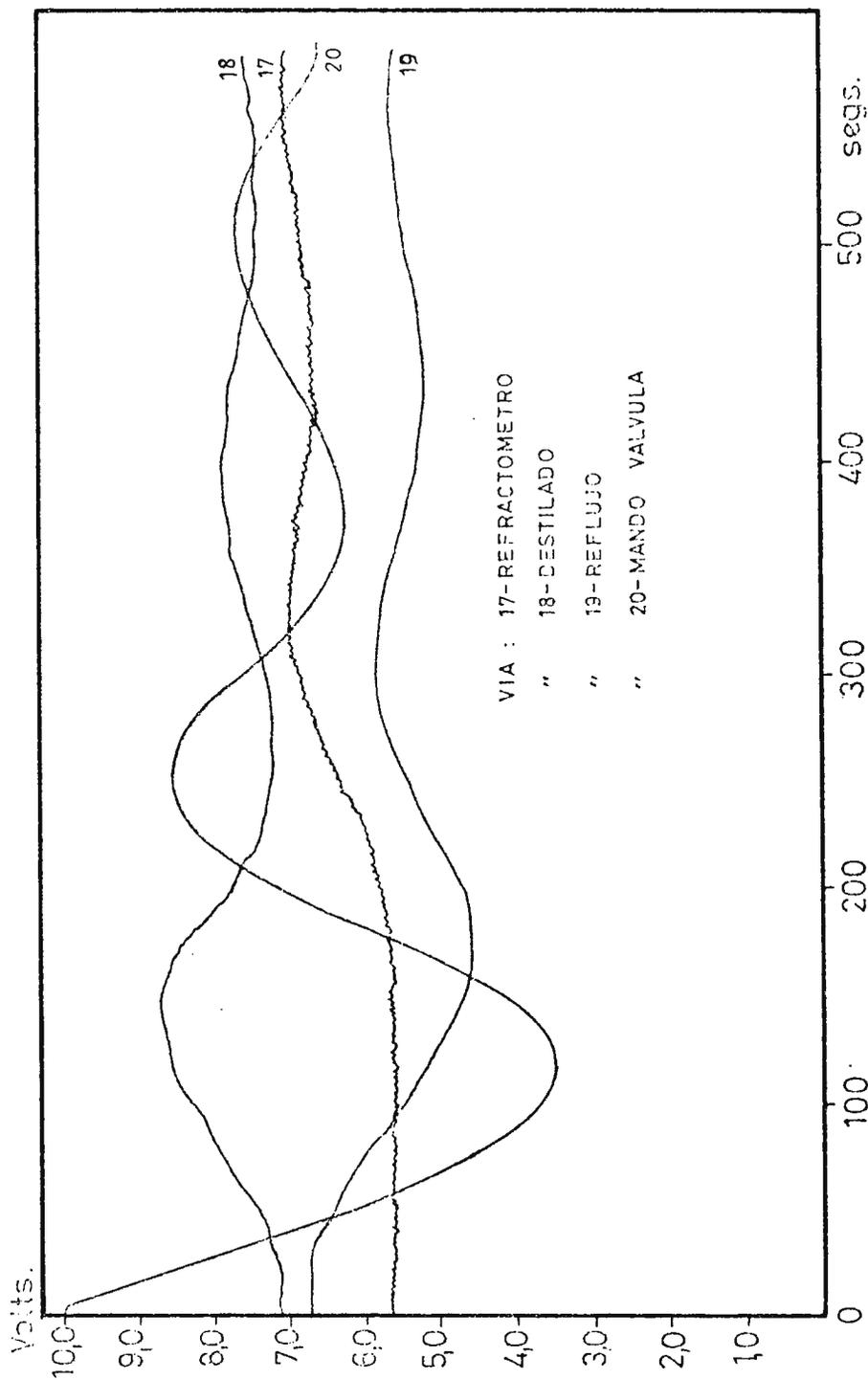


Fig. 10.- REGULACION POCO AMORTIGUADA

mayor amortiguamiento se muestran en la figura 11 en esta gráfica se observa que a pesar de estar la válvula sobrecargada se consigue la respuesta en un tiempo de unos cincuenta segundos, que es del orden al necesario para poder apreciar una variación de concentración. Con esta regulación mantener la concentración de cabeza constante no presenta mayores problemas.

V. 2. Regulación analógica

Con la información adquirida en la regulación numérica se ha realizado un esquema de regulación para calculador analógico. El esquema analógico es semejante al numérico de la figura 9. En la figura 12 se da este esquema, consignándose los valores de los potenciómetros así como la identificación de los diferentes elementos del circuito, a fin de poder materializar exactamente la misma regulación en cualquier calculador analógico EAI tipo MINIAC, o traducir el mismo circuito en otro calculador.

La razón de reflujo, que en el presente caso se introduce a través de un potenciómetro, puede ser introducida a través de un multiplicador/divisor con lo que se tiene la posibilidad de seguir variaciones con

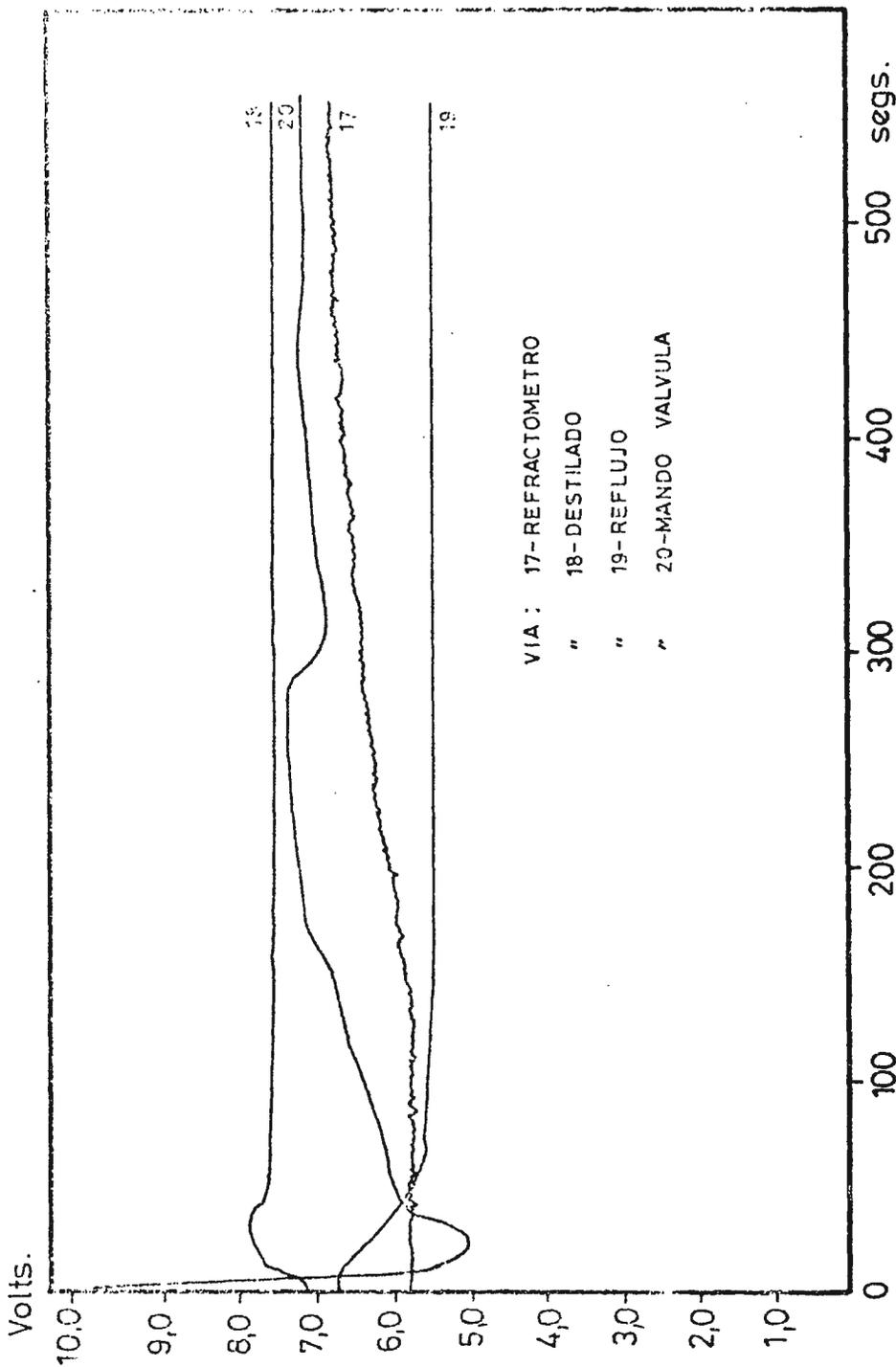


Fig. 11.- REGULACION FINAL

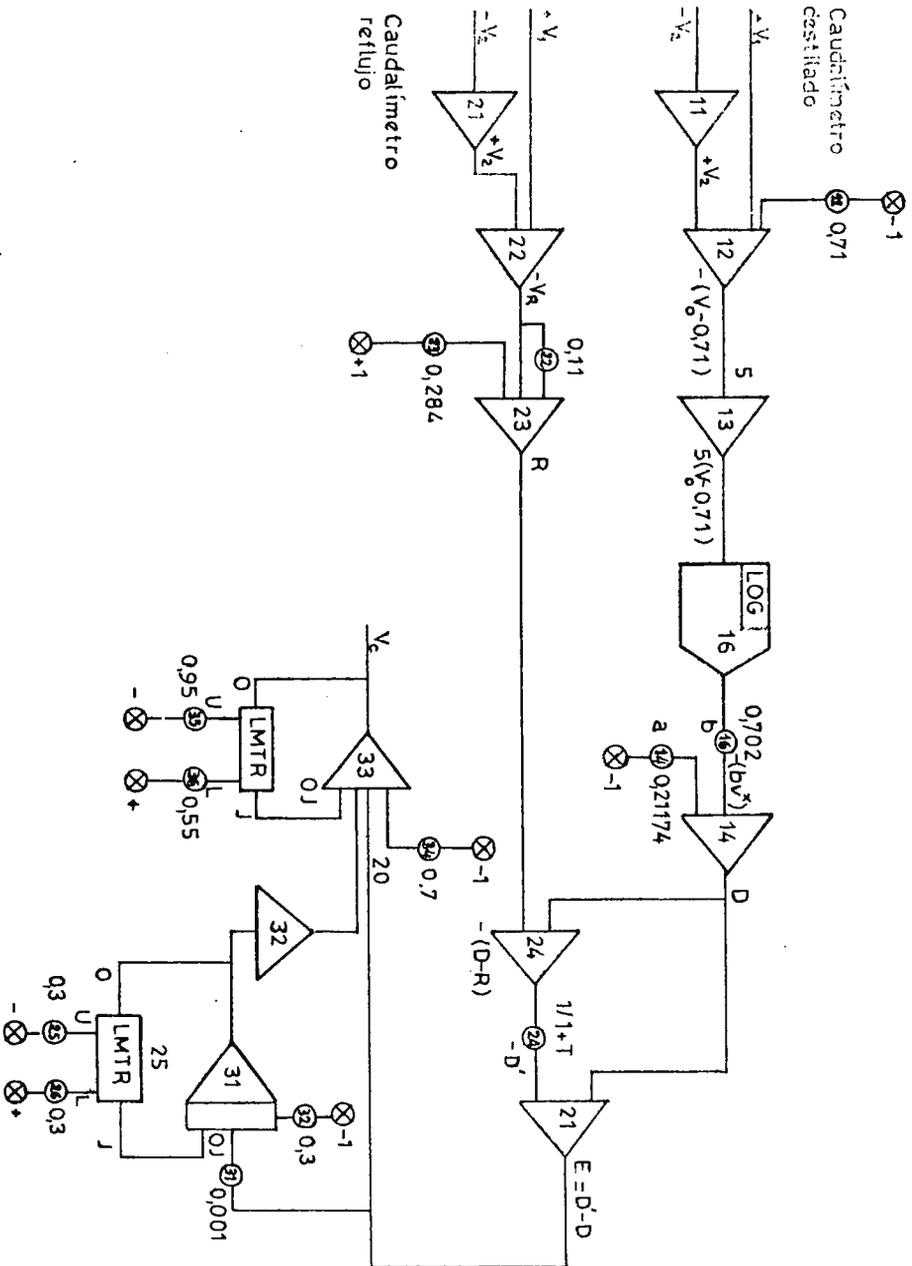


Fig. 12.-ESQUEMA DE LA REGULACION ANALOGICA

tinuas de la misma. Esta regulación es fácilmente realizable en un montaje electrónico, sobre plaqueta perforada o circuito impreso pues todas las características han sido determinadas en el calculador analógico.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha puesto de manifiesto la versatilidad de un calculador numérico. El calculador se puede utilizar como instrumento de cálculo (programas científicos), ayuda a la puesta a punto de instalaciones y realizar funciones de control y regulación globales o parciales. Por otro lado la posibilidad de programación de las tareas tiempo real en FORTRAN supone un ahorro considerable. La tendencia a universalizar los lenguajes de tiempo real presenta un indudable interés⁽¹¹⁾ ya que no requiere una gran especialización informática por parte del ingeniero químico.

Se ha comprobado que las regulaciones sencillas, son adecuadas en destilación discontinua; la utilización de un ordenador permite un estudio rápido y cómodo sobre una instalación existente. El conjunto de programas puesto a punto constituye un material utilizable como banco de ensayo, a fin de mejorar el funcionamiento de instalaciones existentes. Diferentes anomalías han sido puestas así de manifiesto en nuestra instalación piloto.

Estudios recientes muestran que un ordenador digital es competitivo, en plantas relativamente pequeñas, desde el punto de vista de la regulación, frente a un sistema analógico. Un ordenador digital necesita un "soft" de base importante, pero permite cambiar fácilmente de regulación y aumentar su número así como su complejidad; por otro lado puede realizar simultáneamente otras tareas diferentes.

Se ha puesto a punto una regulación numérica simple y a partir de esta experiencia establecido una regulación analógica. Estas dos regulaciones cumplen una finalidad particular, la de optimizar el funcionamiento de la operación, en un plano más general facilitar a todos los niveles la marcha de una planta.

El trabajo realizado puede constituir una orientación a los problemas de la introducción de un ordenador en un proceso así como de sus posibles aplicaciones.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Nisenfeld, Chem. Eng. 18, 104 (1975)
- (2) Robinson, Chem. Process. Eng. 52 (5), 47 (1971)
- (3) Muratet, I.G.C., Toulouse, trabajo en prensa
- (4) Nantet, Ordinateurs en temps reel. Applications Industrielles Masson et Cie. Paris 1970.
- (5) Bell, Ray, Brit. Chem. Eng. 14, 807 (1969)
- (6) Coughanour, Chem. Eng. 76 (12), 130 (1969)
- (7) Wardle, Wood, The Institution of Chemical Engineers, Brighton (1969)
- (8) Kropholler, Lewington, The Institution of Chemical Engineers, Brighton (1969)
- (9) Shunta, Luyber, Ind. Eng. Chem. Fundamentals 10 (3), 486 (1971)
- (10) Chilton, Buchan, The Institution of Chemical Engineers, First Annual Research Meeting, London 1974
- (11) Williams, Ind. Eng. Chem. 62 (12), 95 (1970)

El autor del presente trabajo, agradece a la FUNDACION JUAN MARCH la ayuda económica y al Institut du Génie Chimique de Toulouse la acogida en sus laboratorios.



**FUNDACION JUAN MARCH
SERIE UNIVERSITARIA**

Libros Publicados:

1. – Semántica del lenguaje religioso/ A. Fierro

MULET PONS, António.

Beca Extranjero 1974

QUÍMICA

Fundación Juan March (Madrid)