

6  
2 Eje



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**DISEÑO TERMICO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE  
TUBOS Y ENVOLVENTE (TIPO E) PARA MANEJAR LIQUIDOS  
QUE NO SUFRAN CAMBIOS DE FASE CON EL  
AUXILIO DE MICROCOMPUTADORAS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**RICARDO PARAMONT HERNANDEZ GARCIA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. HECTOR E. CAMPBELL RAMIREZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

- Objetivo	1
- El Método de Diseño Térmico Utilizado	5
- Características del Equipo de Computación usado	9
- El Método de Kern para Diseñar Térmicamente Intercambiadores de Calor de Tubos y Envolvente	12
- Descripción Sucinta del Programa	49
- Descripción Detallada del Programa	58
- Instructivo de Uso	194
Ejemplos	
- Conclusiones	249
- Apéndice A	251
- Apéndice B (Listados)	
- Bibliografía	265

## Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar un programa para el diseño de intercambiadores de calor de tubos y envolvente (tipo E) para manejar líquidos que no sufran cambios de fase, para ser usados en microcomputadoras, con el objeto de que aquellas personas que no tenga acceso a una gran computadora y a sofisticados programas, puedan dimensionar rápidamente un intercambiador de calor con las limitaciones arriba mencionadas. Otro objetivo, no menos importante es que este programa pueda ser utilizado en la enseñanza de estudiantes de transferencia de calor y computación básica.

### Proliferación de las microcomputadoras.

El avance en la miniaturización de circuitos electrónicos y en la elaboración de sus componentes, ha traído como resultado la proliferación de microcomputadoras de bajo precio y de cada vez más capacidad y velocidad de funcionamiento. Por esta razón, es ya común analizar los problemas de ingeniería teniendo en cuenta que pueden ser resueltos con el auxilio de pequeñas computadoras.

Por otra parte, el avance en la programación (software) ha hecho sencillo el uso de microcomputadoras (y de las computadoras en general), relevando al usuario no especializado de la obligación de conocer lenguajes de bajo nivel, el funcionamiento de un compilador, mapas detallados de memoria, etc. Por esta razón, cualquier usuario con los cono-

cimientos básicos de los comandos de una microcomputadora y del lenguaje de alto nivel con el que trabaje (FORTRAN, Pascal, BASIC, etc.) puede elaborar un programa y hacerlo correr con facilidad. Así hay cada vez mas ingenieros que se valen de las microcomputadoras para resolver problemas en los que se aplican rutinas de cálculo iterativo.

Un problema contemplado desde hace tiempo.

El uso de computadoras para resolver problemas de ingeniería había sido contemplado desde mediados de la década de los cincuentas; así, vemos publicados artículos de esta época sobre el diseño de equipos de transferencia de calor utilizando computadoras. El problema del desarrollo de programas para diseñar intercambiadores de calor, ha sido analizado pués, desde hace unos veinte años. Por esta razón existen en la actualidad programas muy elaborados para el diseño de equipo de transferencia de calor; muchos de estos programas han sido concebidos para ser utilizados en grandes computadoras, y a ellos no tiene acceso el usuario común y corriente que no pertenece a ninguna corporación o institución que posea un gran equipo de cómputo y los programas correspondientes.

Como se ha diseñado.

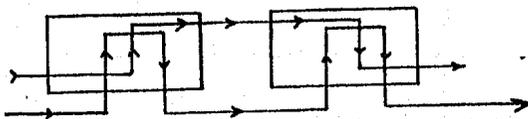
El programa que en el presente trabajo se muestra ha sido elaborado a partir de bibliografía abierta bien conocida, principalmente el libro de Kern (6). No es ningún programa ya elaborado al que se le hayan hecho modificacio

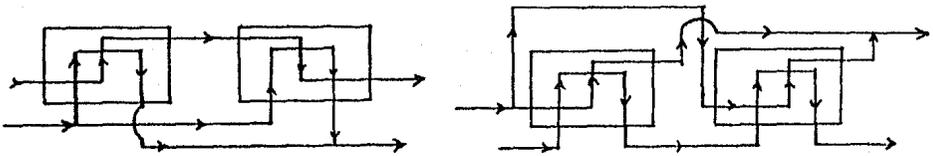
nes. Al método que expone Kern en su libro para ser seguido por el diseñador sin el auxilio de computadoras se le han hecho implementaciones para hacer un programa que pueda ser corrido en una microcomputadora, también se han aprovechado algunos consejos dados por Bell en un escrito que elaboré en la Universidad Estatal de Oklahoma (2).

#### Otras limitaciones.

Este programa sirve para diseñar intercambiadores que tengan un solo paso por cada coraza que se utilice, así que si es necesario utilizar varios pasos por la envolvente, (esto ocurre cuando se desean alcanzar grandes acercamientos de temperatura) se utilizarán varios cuerpos; de hecho cada cuerpo es un intercambiador de calor. Estos intercambiadores serán iguales entre sí y por ellos circularán los dos fluidos siempre en serie, nunca en serie-paralelo. En este caso el término "paralelo" significa que un flujo es partido en dos o más partes, y cada parte entra en un intercambiador distinto. Por ejemplo:

en este caso  
circulan los  
dos fluidos  
en serie





El fluido que va por los tubos va en paralelo, el que va por la coraza, en serie.

El fluido que va por la coraza circula en paralelo, el que va por los tubos, en serie

Los arreglos en serie-paralelo se utilizan cuando el gasto de uno de los fluidos es mucho mayor que el del otro. En este caso, el fluido del que se tiene una gran cantidad sufriría una gran caída de presión si se hiciera pasar todo por un intercambiador, por esta razón se divide y se introduce en diferentes intercambiadores; para que pueda intercambiar calor con el otro fluido sin sufrir una exagerada caída de presión. El problema que se presenta al diseñar estos intercambiadores es encontrar la diferencia de temperatura media que deberá utilizarse. Gardner publicó un artículo (3) sobre la forma de obtener factores de corrección para el LMTD para conseguir una diferencia media de temperatura para este tipo de redes cuando están constituidas por intercambiadores iguales entre sí. Una versión posterior de este programa utilizará las ecuaciones presentadas por Gardner para poder diseñar arreglos de intercambiadores en serie-paralelo.

### El Método de Diseño Térmico Utilizado.

Como ya se ha dicho, el método de diseño térmico que se utilizó fue el método que presenta Kern en su libro *Process Heat Transfer*, conocido como método de Kern.

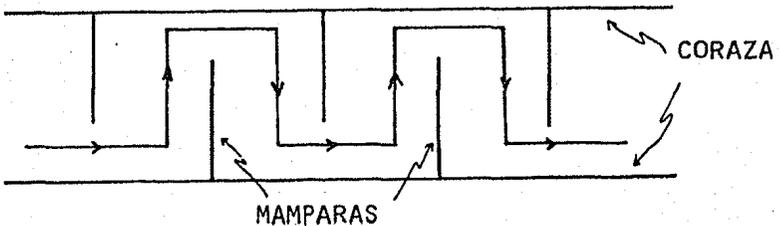
Las ecuaciones que se utilizan en el método de Kern para evaluar la caída de presión y el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos y del fluido que circula del lado de la coraza, fueron obtenidas por medio del análisis dimensional, que consiste en obtener los valores de coeficientes y exponentes de una ecuación constituida por números adimensionales que toman en cuenta las propiedades físicas del fluido y las características geométricas del conducto por el que fluye. Estas ecuaciones son confiables para hacer los cálculos del lado de los tubos, ya que el patrón de flujo que tiene el fluido que circula por el interior de éstos es relativamente simple. Del lado de la envolvente las cosas son distintas; comenta Bell en uno de sus artículos (1): "Los patrones de flujo y los perfiles de temperatura en el lado de la envolvente de los intercambiadores que tienen mamparas en ese lado, desde hace mucho tiempo han sido reconocidos como extraordinariamente complejos, y el diseño termohidráulico de tales intercambiadores es una materia más de intuición y experiencia que de ciencia", más adelante dice: "Hay dos formas distintas de enfocar el diseño térmico de intercam-

biadores de calor bien establecidas en la literatura y en la práctica. El primero se realiza por medio del análisis dimensional. La caída de presión y la cantidad de calor que se transfiera pueden ser relacionados empíricamente a un pequeño número de grupos adimensionales que engloben las características del fluido en cuestión y las características geométricas del lado de la envolvente. Si todas las características geométricas importantes del lado de la envolvente (diámetro de los tubos, arreglo y distancia entre centros; espaciamiento y porcentaje de corte de las mamparas; claros entre tubos y mampara, coraza y mamparas y haz de tubos y coraza) se tuvieran que considerar, un análisis dimensional completo requeriría una gran cantidad de datos, que simple y sencillamente no están disponibles, y la resolución de un problema difícil de computación para reducir estos datos para determinar constantes empíricas". Por estas razones en el método de Kern se hacen las siguientes simplificaciones:

- Se supone que el flujo por la coraza es un flujo cruzado total con respecto a los tubos, es decir, que no hay corrientes que atraviesen las mamparas y la envolvente, también supone que no existe un flujo entre la parte externa del haz y la coraza.

- Se supone que no hay un perfil radial de temperatura del fluido que circula por la coraza.

En el siguiente esquema se muestra como se considera en el método de Kern que circula el fluido por la envolvente:



Los cálculos que hay que hacer para diseñar un intercambiador de calor pueden dividirse en cinco partes principales:

1.- Obtención de una diferencia de temperaturas representativa entre los dos fluidos.

2.- Cálculo del número de pasos por la envolvente y por los tubos que debe tener el intercambiador.

3.- Diseño del haz de tubos y cálculo del coeficiente interno de transferencia de calor y de la caída de presión.

4.- Diseño de la envolvente y cálculo del coeficiente externo de transferencia de calor y de la caída de presión que sufre el fluido que circula por la envolvente.

5.- Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, del  $R_d$  y de las temperaturas de salida de los fluidos cuando el intercambiador esté limpio.

Las partes 1, 2, 3 y 5 se calculan de la misma forma sin importar que método de diseño se utilice. La parte que se calcula de manera diferente según el método que se use para hacer los cálculos del lado de la coraza, es la 4. A este programa se le puede cambiar posteriormente la sec ción 4 para que pueda hacer los cálculos en la coraza con el método de Bell, que se aproxima más a la realidad y por tanto es más confiable, ya que toma en cuenta las corrien tes parásitas.

### Características del Equipo de Computación Usado.

Para elaborar este programa se utilizó una microcomputadora Radio Shack TRS-80 Modelo I con interfase. Esta microcomputadora tiene un total de 64 kilobytes de memoria de los cuales el usuario puede utilizar para almacenar programas y datos 48 kilobytes cuando no se utiliza el sistema de discos, y aproximadamente 36 cuando sí se utiliza. Los periféricos usados fueron: dos lectoras de disco de 5 1/4 pulgadas y una impresora de carácter por carácter. Es sistema operativo de disco utilizado puede almacenar aproximadamente 80 kilobytes de información en un disco con formato.

Como muchas microcomputadoras, ésta utiliza el lenguaje BASIC. El BASIC es un lenguaje que facilita las entradas y las salidas de datos y se presta para realizar programas del tipo llamado conversacional; también facilita la representación de fórmulas; como el FORTRAN IV, no es un lenguaje estructurado.

El BASIC presenta una desventaja importante: sus subrutinas no son, como en el lenguaje FORTRAN IV, programas independientes del programa principal, enlazadas a él por medio de instrucciones especiales en las que se indica como se le llama a una variable en el programa principal y como en la subrutina. Por esta razón las subrutinas en el BASIC no pueden contener números de etiqueta iguales que aquellos que aparecen en el programa principal. También

por esa razón, todas las variables con el mismo nombre en el programa principal. También por esa razón, todas las variables con el mismo nombre en el programa principal y en las subrutinas tienen asignada la misma localidad de memoria, por ejemplo, si en el programa principal "A" es la altura y en una subrutina "A" es el área, cada vez que la "A" del programa principal tome un valor, la "A" de la subrutina tomará el mismo valor y viceversa, sin importar que estas variables se refieren a cosas distintas, ya que al compilarse el programa, se interpretó que estas dos variables eran una sola. Por esta razón cuando se quiera utilizar una subrutina hecha en lenguaje BASIC se debe comprobar que no tengan los mismos nombres las variables que se refieran a diferentes cosas y que los números de etiquetas no sean iguales a ninguno de los del programa principal.

Otra desventaja que presenta el lenguaje BASIC es la siguiente: Hay muchos menos nombres de variables que en el FORTRAN, los nombres de variables sólo pueden tener dos caracteres, el primero debe ser siempre una letra, y si el BASIC es el convencional, el segundo debe ser un número (en el BASIC de esta microcomputadora los dos caracteres pueden ser letras); por esta razón, muchas veces no se les pueden dar a las variables nombres que sugieran que representan. Por ejemplo, si se tienen las siguientes variables: caída de presión en retornos, caída de presión máxima permitida

para el fluido que circula por el interior de los tubos, y caída de presión máxima permitida para el fluido que circula por la coraza, se les podrían dar los siguientes nombres en FORTRAN IV: DPRET, DPREC, DPTMA y DPCMA. En estos nombres las dos primeras letras sugieren que se trata de variación de presión (Deltas de Presión) y el resto de las letras de cada nombre puede sugerir al observador que esté familiarizado con las variables que se manejan, que nombre le corresponde a cada una; en BASIC esto no es posible, a estas variables se les puede dar nombres como los siguientes: PR, PT, P1 y P2, en este caso la primera letra de estos nombres sugiere que se trata de variables relacionadas con la presión, pero la segunda letra de cada nombre sólo se usa para diferenciar una variable de la otra y no sugiere al observador que está familiarizado con las variables que se manejan que nombre ha sido asignado a cada variable.

El programa está hecho en lenguaje BASIC porque es este lenguaje el que tiene prioridad con el microprocesador, con él se pueden hacer correcciones fácilmente al programa en lenguaje BASIC ocupan menos espacio en disco que los programas en lenguaje FORTRAN IV del que se tiene un compilador para esta máquina.

## El Método de Kern para Diseñar Térmicamente Intercambiadores de Calor de Tubos y Envolvente

Así se le acostumbra llamar al método que expone Kern en su libro "Process Heat Transfer" (6). Como ya se dijo, este método utiliza ecuaciones obtenidas por medio del análisis dimensional, para diseñar intercambiadores de calor.

En el libro de Kern se explica ampliamente y con claridad este método. Aquí se expone con implementaciones para que pueda hacerse un programa a partir de él que pueda ser manejado en computadoras.

Se debe disponer de los siguientes datos:

Para el fluido caliente:

$T_1$	temperatura de entrada
$T_2$	temperatura de salida
$W$	flujo másico (masa/tiempo)
$C$	capacidad calorífica
$s$	gravedad específica
$\mu$	viscosidad
$k$	conductividad térmica
$R_d$	resistencia que deben presentar los sólidos que se depositan sobre el área de transferencia de calor al final de un período de trabajo.

Para el fluido frío:

$t_1$	temperatura de entrada
$t_2$	temperatura de salida

w	flujo másico
c	capacidad calorífica
s	gravedad específica
$\mu$	viscosidad
k	conductividad térmica
Rd	resistencia que presenta la capa de sólidos que se forma sobre el área de transferencia de calor al final de un periodo de trabajo.

Para los tubos se debe proponer un arreglo, un diámetro externo, una longitud y un BWG.

#### 1 Balance de calor.

Se debe llevar a cabo el balance de energía para obtener la cantidad de calor que deber ser transferida por el intercambiador, así como para verificar que los datos que se han dado de cada fluido sean correctos.

$$Q = W C (T_1 - T_2) = w c (t_1 - t_2).$$

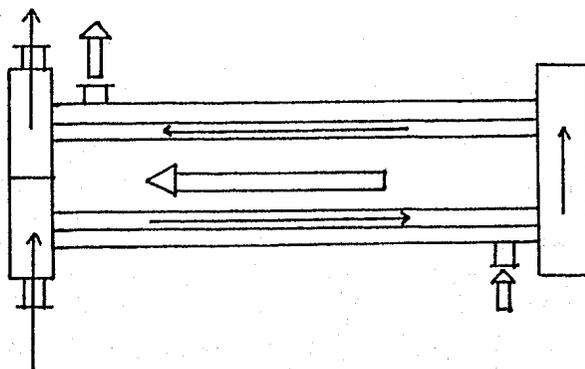
#### 2 Diferencia real de temperaturas.

El determinar una diferencia de temperatura representativa de la gama de diferencias de temperaturas que existen dentro del intercambiador entre los dos fluidos, es de gran importancia, ya que de esta diferencia de temperaturas dependerá en gran medida el tamaño del área de transferencia de calor que deberá tener el intercambiador. Esta diferencia de temperaturas se suele obtener a partir de las temperaturas de entrada y salida de ambos fluidos al inter

cambiador, que son las temperaturas que se pueden obtener con mayor facilidad. Se obtiene la media logarítmica entre las diferencias de temperaturas de los dos fluidos en cada extremo del intercambiador:

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

Si el intercambiador tiene un solo paso por los tubos por cada paso por la coraza, esta diferencia media logarítmica de temperaturas será un buen promedio representativo de la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos; pero si hay más de un paso por los tubos por cada paso por la coraza los flujos no irán a contracorriente total ni en paralelo total. Por ejemplo, sea un intercambiador con dos pasos por los tubos y uno por la coraza, los flujos serán como se muestra en esta figura:



La LMTD es mayor para los intercambiadores que trabajan con sus flujos a contracorriente que para aquellos que trabajan con sus flujos en paralelo. Como en el caso de los intercambiadores que tienen más de un paso por lo tubos por cada paso por la coraza una parte del flujo es a contra corriente y la otra es en paralelo, el valor de la LMTD se encuentra entre el valor de la LMTD para flujos en paralelo y la LMTD para flujos a contracorriente.

Para encontrar la diferencia de temperaturas representativa entre los dos fluidos que circulan por estos intercambiadores, Kern se basa en un desarrollo realizado por Underwood para la obtención de un factor llamado Ft que es la relación entre la diferencia real de temperaturas entre los dos fluidos (que es la diferencia que se requiere) y la diferencia de temperaturas que habría entre ellos si circularan a contracorriente perfecta entre sí. El factor Ft obtenido queda en función de las temperaturas de entrada y de salida de cada fluido, temperaturas que fácilmente se pueden conocer. La ecuación que obtiene Kern para un intercambiador con un paso por la coraza y dos pasos por los tubos para obtener el Ft es:

$$F_t = \frac{\sqrt{R^2+1} \ln \frac{1-S}{1-RS}}{(R-1) \ln 2 - S(R+1) \frac{\sqrt{R^2+1}}{2 - S(R+1) \sqrt{R^2+1}}}$$

en donde

$$R = \frac{WC}{WC} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

Esta ecuación también se puede usar para encontrar el  $F_t$  de intercambiadores con un paso por coraza y un número par mayor de pasos por los tubos sin que por ello se tenga un error considerable; comenta Kern que el valor del  $F_t$  para un intercambiador 1-8 (un paso por coraza y ocho por los tubos) cambia un 2% con respecto a un intercambiador 1-2 en casos extremos, y que por lo general las variaciones entre los valores de  $F_t$  para estos intercambiadores son menores al 2%. También muestra Kern la ecuación para obtener el  $F_t$  de un intercambiador que tenga dos pasos por coraza y cuatro pasos por tubos (dos por cada paso por coraza):

$$F_t = \frac{\sqrt{R^2 + 1/2} (R-1) \ln(1-S)/(1-RS)}{\ln \frac{2/S-1-R+2/S \quad \sqrt{(1-S)(1-RS)} + \sqrt{R^2 + 1}}{1/S-1-R+2/S \quad \sqrt{(1-S)(1-RS)} - \sqrt{R^2 + 1}}}$$

Esta ecuación puede usarse para obtener el  $F_t$  de intercambiadores con dos pasos por coraza y un número par mayor de pasos por los tubos por cada paso por coraza.

En el libro de Kern no se muestran ecuaciones para encontrar el  $F_t$  de intercambiadores con más de dos pasos por coraza, sólo se muestran las gráficas en función de  $R$  y  $S$ . Bowman desarrolló una solución general para obtener el factor de corrección  $F_t$  para un intercambiador con  $N$  pasos por coraza:

$$F_t = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln(1-X)/(1-RX)}{(R - 1) \ln \frac{2-X(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-X(R+1+\sqrt{R^2+1})}}$$

donde

$$X = \frac{1 - \left(\frac{1-RS}{1-S}\right)^{1/N}}{R - \left(\frac{1-RS}{1-S}\right)^{1/N}}$$

Esta ecuación sirve para encontrar el factor de corrección  $F_t$  para intercambiadores con cualquier número de pasos por coraza y cualquier número par de pasos por los tubos por cada uno de dichos pasos por coraza. Es importante recalcar que para las ecuaciones anteriores el número de pasos por tubos debe ser par por cada paso por coraza, ya que al hacer el desarrollo para obtener las ecuaciones para calcular el  $F_t$ , fue ésta una de las suposiciones.

3 Número de pasos por coraza que requiere un intercambiador.

El número de pasos por coraza que requiere un inter-

cambiador depende del acercamiento de temperatura que se tenga.

Hay acercamientos de temperatura que son imposibles de obtener con una sola coraza, por ejemplo, cuando se desea que la temperatura de salida del fluido frío sea mayor a la temperatura del fluido caliente.

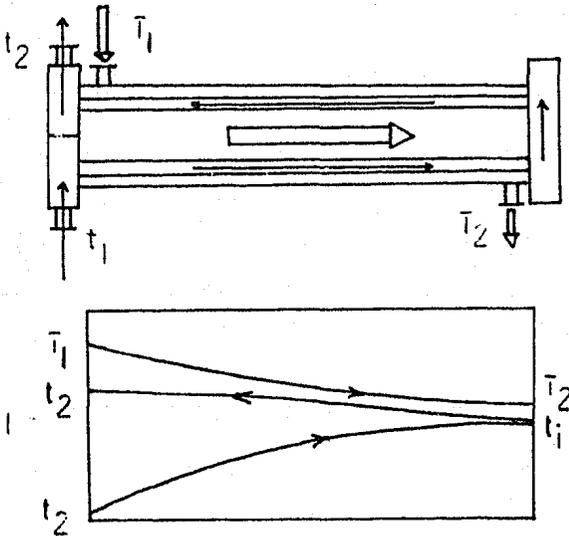
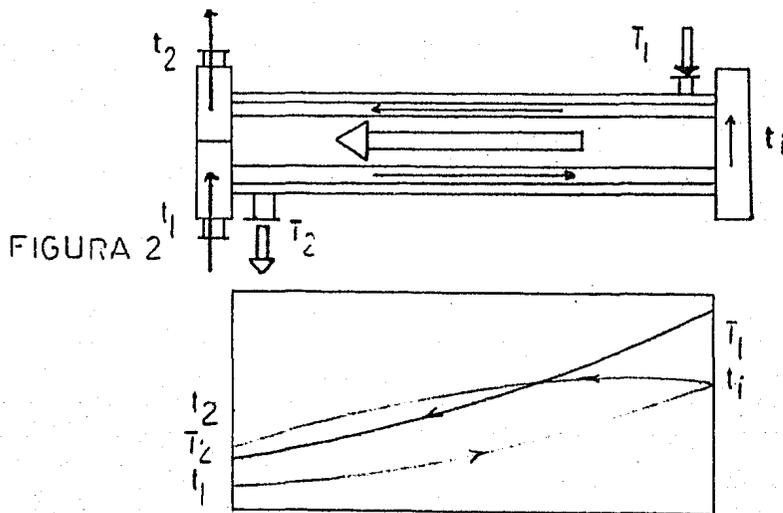


FIGURA 1

En las boquillas de la coraza están colocadas como se muestra en la figura 1, esto se explica de la siguiente manera: la temperatura  $t_1$  del fluido que va por los tubos no debe ser muy próxima a la temperatura del fluido que va por la coraza, que en ese punto es la temperatura  $T_2$  de salida, de lo contrario la transferencia de calor entre las dos corrientes a partir de que el acercamiento de temperaturas entre ellas sea demasiado grande será muy pequeña y

se desperdiciará una porción del área de transferencia de calor. Además el valor absoluto de la pendiente de la curva  $t_1, t_i$  porque la diferencia de temperaturas entre el fluido que va por la coraza (curva  $T_1, T_2$ ), y el fluido que circula por el primer paso es mayor a la diferencia de temperaturas entre el fluido que va por la coraza y el fluido que va por el segundo paso, en otras palabras, el aumento de temperatura es mayor a lo largo del primer paso que a lo largo del segundo. Por estas razones el acercamiento entre la temperatura del fluido a la entrada de la coraza y la de salida de los tubos no puede ser muy grande.

Si las boquillas de la coraza están colocadas como se muestra en la figura 2 no se puede alcanzar un acercamiento de temperaturas grande entre los dos fluidos por lo siguiente:



en este caso el fluido que va por los tubos cuando va por el primer paso circula a contracorriente con respecto al fluido que va por la coraza, por esta razón, el fluido que va por los tubos puede alcanzar temperaturas mayores a la temperatura de salida del fluido que va por la envolvente ( $T_2$ ) cuando se acerca al final del primer paso. Al llegar al final del primer paso comenzará a regresar por el segundo, y llegará un momento en que se encontrará en contacto térmico con el fluido de la coraza del extremo opuesto, que está más frío que el fluido que va en esa parte de los tubos, por lo que la transferencia de calor en esa parte del intercambiador se invertirá: el fluido que va por los tubos será el que transferirá calor al fluido que va por la coraza, disminuyendo por esto su propia temperatura. A este fenómeno se le llama recalentamiento; impide que haya grandes acercamientos de temperatura entre los dos fluidos.

Underwood demostró que el  $F_t$  será igual para cada uno de los intercambiadores que se acaban de mostrar. La temperatura  $t_1$  no será igual para ambos intercambiadores.

Si se requiere que el acercamiento entre las temperaturas de los fluidos sea grande, es necesario utilizar más pasos por la coraza. Utilizando más pasos por la coraza se atenúan las causas que provocan que no se puedan alcanzar grandes acercamientos de temperaturas.

Entre más grande sea el acercamiento de temperaturas

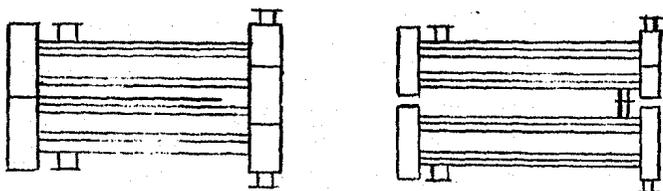
entre los dos fluidos será necesario utilizar más pasos por la coraza si se usa más de un paso por los tubos.

Para efectos térmicos e hidráulicos es lo mismo utilizar un intercambiador de un cuerpo con N pasos por coraza que utilizar un intercambiador con N cuerpos con un solo paso por coraza cada uno (1).

En el libro de Kern y en el Manual del Ingeniero Químico se muestran tablas de cuenta de tubos para corazas de un solo paso y con varios pasos por los tubos, el programa que en este trabajo se muestra utiliza estas tablas, por eso diseña intercambiadores con varios cuerpos cuando se requiere más de un paso por la coraza.

(1) En realidad sí hay diferencias térmicas entre dos tipos de intercambiadores si las mamparas longitudinales que separan cada paso por coraza no tiene un recubrimiento de material aislante y por esta razón permitiera intercambio de calor entre los pasos adyacentes por la coraza cuando estos se encuentren en un mismo cuerpo.

Si la mampara longitudinal no permite el paso de calor a su través estos intercambiadores se comportarán de igual manera térmica e hidráulicamente.



El número mínimo de pasos por coraza que se pueden utilizar se obtienen a partir de la ecuación de Bowman (ec.3). Si el número de pasos seleccionado para unas temperaturas de entrada y salida dadas es menor al mínimo requerido, es decir, si este intercambiador no puede hacer que se alcancen las temperaturas en la ecuación de Bowman se obtendrá una indeterminación. Se obtiene el número mínimo de pasos por coraza requerido incrementando el número de pasos seleccionando y substituyendolo en la ecuación de Bowman hasta que ya no se obtenga una indeterminación. Kern recomienda que el factor de corrección  $F_t$  tenga un valor mayor a 0.75 para asegurar que la eficiencia del intercambiador sea satisfactoria, así que para seguir la recomendación de Kern se deberá aumentar el número de pasos por coraza hasta que el factor  $F_t$  obtenido sea mayor que 0.75 o igual a 0.75.

La diferencia real de temperaturas para un intercambiador con varios pasos se obtiene multiplicando el factor de corrección obtenido ( $F_t$ ) por la media logarítmica de la media de temperaturas:

$$\Delta t = F_t \text{ LMTD.}$$

Si un intercambiador tiene un solo paso por los tubos y por la coraza, la diferencia real de temperaturas de los fluidos que circulan por su interior se obtienen sacando la media logarítmica de las diferencias de temperaturas de los fluidos en los extremos del intercambiador.

$$\Delta t_{\text{real}} = \text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

Si un intercambiador tiene más de un paso por los tubos se debe obtener con la ecuación de Bowman el número mínimo de pasos por coraza que requiere y el factor de corrección Ft. Para obtener la diferencia de temperatura de los fluidos que circulan por su interior se debe multiplicar el factor Ft por el LMTD:

$$\Delta t_{\text{real}} = \text{LMTD Ft}$$

#### 4 Cálculo de las temperaturas calóricas.

Se requiere encontrar sendas temperaturas medias para los dos fluidos a las cuales se obtengan sus propiedades físicas y con estas se calculen los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión. La temperatura media para un fluido se puede estimar calculando simplemente la media aritmética entre sus temperaturas de entrada y salida si las propiedades físicas del fluido no varían demasiado en este rango de temperaturas.

Si las propiedades físicas del fluido varían bastante a lo largo del rango de temperatura representativa de la gama de temperaturas del fluido para que se puedan obtener valores de los coeficientes de transferencia de calor y de

las caídas de presión más apegados a la realidad.

Kern propone un método para obtener una temperatura representativa para cada fluido; parte de la suposición de que el coeficiente global de transferencia de calor varía linealmente con respecto a la temperatura, del extremo frío, al extremo caliente del intercambiador.

El extremo caliente es aquel por el que sale el fluido frío y entra el fluido caliente, y el extremo frío es aquel por el que entra el fluido frío y sale el caliente. Se obtiene el coeficiente de transferencia de calor global en el extremo caliente y en el extremo frío; en base a éstos se obtiene una fracción calórica y a partir de esta fracción se obtiene la temperatura representativa para cada fluido. A estas temperaturas se les llama temperaturas calóricas.

Las ecuaciones son:

$$F_c = \frac{(1/Kc) + (r/(r-1))}{1 + \frac{\ln(Kc+1)}{\ln(r)}}$$

donde

$$r = \Delta t_c / \Delta t_h$$

$$Kc = (U_h - U_c) / U_c$$

$\Delta t_c$  diferencia de temperaturas de las corrientes en extremo frío  $T_2 - t_1$

$\Delta t_h$  diferencia de temperaturas de las corrientes del extremo caliente  $T_1 - t_2$

$U_c$  coeficiente de transferencia de calor global en el extremo frío

$U_h$  coeficiente de transferencia de calor global en el extremo caliente

$F_c$  fracción calórica

La temperatura calórica del fluido caliente es:

$$T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2)$$

la de frío:

$$t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1)$$

##### 5 Suposición de un coeficiente de diseño.

Se puede suponer un coeficiente de diseño para obtener a partir de él un área de transferencia de calor y a partir de ésta calcular la longitud y el número de tubos que debe tener el intercambiador. El coeficiente de diseño se propone en base a los coeficientes de diseño medidos de intercambiadores que ya existen y estén trabajando con condiciones similares.

Coeficiente de diseño y coeficiente de transferencia de calor global.

Para que un intercambiador transfiera la cantidad de calor requerida, su coeficiente de diseño debe ser menor o

igual al coeficiente global calculado. El coeficiente de diseño se obtiene dividiendo el calor que debe transferir el intercambiador entre la diferencia real de temperaturas y entre el área a través de la cual se transferirá el calor:  $U_D = Q / (A \Delta t)$ . El calor que se debe transferir por unidad de tiempo y la diferencia real de temperaturas entre los dos fluidos, son variables cuyos valores están fijos porque dependen de los flujos máxicos de los fluidos, de sus temperaturas de salida y de sus capacidades caloríficas, y todos estos son datos. El área se obtiene cuando se escoge un número de tubos y su longitud.

El coeficiente de diseño indica el calor que debe transferir el intercambiador por unidad de área a la diferencia de temperaturas dada, en otras palabras, indica el valor mínimo que debe tener el coeficiente de transferencia de calor que se calcule. Para calcular el coeficiente de transferencia de calor global hay que calcular el valor de cada una de las resistencias apreciables a la transferencia de calor. Estas resistencias son: la resistencia que presenta el mismo fluido que va por los tubos, la resistencia del mismo fluido que va por la coraza y la resistencia del material del que estén hechos los tubos; estas resistencias están colocadas en serie. La ecuación es:

$1/U_C = 1/h_o + 1/h_{i_o} + L/K$ , donde  $U_C$  es el coeficiente de transferencia de calor global limpio,  $h_o$  es el coeficiente de

transferencia de calor del fluido que va por la coraza referido al área externa del tubo,  $h_{iO}$  es el coeficiente de transferencia de calor del fluido que va por los tubos referido al área externa del tubo,  $k$  es la conductividad térmica del material del que están hechos los tubos,  $L$  es el espesor de la pared del tubo; el inverso de cada coeficiente es la resistencia correspondiente. Si el espesor de la pared del tubo no es muy grande y la conductividad térmica del material tiene un valor alto, se puede desprestigiar el término  $L/k$ . Además de estas resistencias hay otras que se van adicionando conforme se utiliza el intercambiador, estas resistencias son debidas a las capas de sólidos que se van depositando en las paredes interna y externa de los tubos; estos sólidos pueden venir en suspensión en los fluidos o pueden ser productos de la corrosión de los tubos, también pueden ser sales de cationes metálicos que se encuentran en solución. Estas capas van aumentando en espesor conforme pasa el tiempo. Al diseñar el intercambiador hay que tomarlas en cuenta, para esto se obtiene por experimentación que resistencia presentarán estas capas al final de un período de servicio del intercambiador, que es cuando se procede a darle mantenimiento y a limpiarlo. Las resistencias que presentan estas capas al final de un período de servicio se suman y se obtiene una resistencia total debida a los sólidos:  $Rd = Rd_i + Rd_o$ , donde  $Rd$  es la resistencia global debida a la

capa de sólidos,  $Rd_i$  es la resistencia debida a la capa de sólidos que se depositan en la parte interna de los tubos,  $Rd_o$  es la resistencia debida a la capa de sólidos que se depositan en la parte externa de los tubos. Despreciando al término  $L/k$  la ecuación de la resistencia total queda así:

$$\frac{1}{U_S} = \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{io}} + Rd = \frac{1}{U_C} + Rd \quad (4)$$

donde  $U_S$  es el coeficiente global de transferencia de calor sucio, es decir, que toma en cuenta la resistencia que se adiciona al intercambiador debido a las capas de suciedad. El coeficiente global sucio:  $U_S = U_C / (1 + U_C Rd)$  (de la ec. 4) representa el calor que puede transferir el intercambiador por unidad de área a la diferencia de temperaturas dada, al final de un período de servicio.

Si  $U_S$  es menor que  $U_D$  esto significará que el intercambiador transmitirá más calor del requerido cuando esté limpio y transmitirá justo el calor requerido al final del período de servicio, cuando ya esté sucio.

Si  $U_S$  es mayor que  $U_D$  esto significará que el intercambiador transmitirá durante todo el período de servicio más calor del requerido.

Lo que se busca es que el intercambiador transmita el calor que se requiera o un poco más, para lograrlo, se debe elegir un área de transferencia de calor adecuada.

todas las resistencias que se han mencionado están colocadas en serie, por esta razón, la mayor de estas resistencias controlará la transferencia de calor; como el inverso de la resistencia es la conductividad, a la etapa que presenta mayor resistencia le corresponde el coeficiente de transferencia de calor menor de todos los coeficientes individuales; como resultado de lo anterior el coeficiente de transferencia de calor global siempre será menor al menor de los coeficientes individuales de transferencia de calor, es decir, será menor que cualquier de los coeficientes individuales.

6 Número mínimo de pasos por los tubos.

La fórmula para calcular el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos cuando el fluido va al régimen turbulento es:

$$(5) \quad h_{i0} = 0.027 \frac{k}{D_{int}} (D_{int} v \rho / \mu)^{0.8} (C \mu / k)^{1/3} (\mu / \mu_w)^{.14} (D_{int} / D_{ext})$$

donde

$h_{i0}$  es el coeficiente de transferencia de calor del fluido que va por el interior de los tubos referidos al área externa de estos

$D_{int}$  es el diámetro interno de los tubos

$D_{ext}$  es el diámetro externo de los tubos

$\mu_w$  es la viscosidad del fluido que va por los tubos en las cercanías de su pared

$v$  es la velocidad a la que corre el fluido por el interior de los tubos.

Analizando esta ecuación se observa que las variables que se pueden alterar son la velocidad y el diámetro externo de los tubos, ya que las otras variables son propiedades físicas que han quedado fijadas por las temperaturas a las que se encontrarán los fluidos, y el diámetro interno está en función del diámetro externo y del BWG que se requiera. El diámetro externo de los tubos se propone junto con un arreglo para los mismos, y una vez que se propone sólo queda una variable que puede ser alterada para cambiar el valor de  $h_{io}$ , ésta es la velocidad. La velocidad está dada por el número de tubos por paso ya que el flujo másico ha sido dado como dato. Se puede escribir la ecuación 5 de la siguiente manera:

$$h_{io} = K_1 v^{0.8} \quad (6)$$

donde

$$K_1 = 0.027 k/D_{int} (D_{int} \epsilon / \mu)^{0.8} (C \mu / k)^{1/3} (D_{int}/D_{ext})$$

se ha supuesto que  $(\mu / \mu_w)^{.14} = 1$ .

Ya se mencionó que el coeficiente de diseño se obtiene con la ecuación:  $U_D = Q / (A \Delta t)$  (7)

De las variables de las que depende  $U_D$  ya han sido fijadas  $Q$  y  $\Delta t$ , únicamente se puede modificar el área de transferencia de calor  $A$ . El área de transferencia de calor es la suma de las áreas externas de los tubos:

$$A = \pi D_{\text{ext}} N_t L$$

donde

$N_t$  es el número de tubos que hay en el intercambiador

$L$  es la longitud de los tubos.

Despejando  $N_t$ :

$$N_t = A / (\pi D_{\text{ext}} L) \quad (8)$$

El área a través de la cual fluye la corriente que va por el interior de los tubos es:

$$a = \pi D_{\text{int}}^2 N_t / (4 N) \quad (9)$$

donde

$N$  es el número de pasos por los tubos por cada paso por la envolvente.

substituyendo (8) en (9):

$$a = A D_{\text{int}}^2 / (4 N L D_{\text{ext}})$$

despejando  $A$ :

$$A = a 4 N L D_{\text{ext}} / D_{\text{int}}^2 \quad (10)$$

El flujo másico por segundo por unidad de área ( $G$ ) dado el flujo másico en unidades de masa por hora ( $W$ ) se obtiene así:

$$G=W/a = v \epsilon 3600$$

despejando a:

$$a= W/ (v \epsilon 3600) \quad (11)$$

sustituyendo (11) en (10):

$$A = w / ( \epsilon 3600 4L D_{ext}/D_{int}^2 N/v) \quad (12)$$

sustituyendo (12) en (7):

$$U_D = 900 \epsilon D_{int}^2 / (L D_{ext} W) Q/\Delta t v/N \quad (13)$$

Analizando la ecuación 13 se puede observar que las únicas variables que se pueden modificar son la longitud (L), el número de pasos (N) y la velocidad (v), las demás variables ya han sido fijadas. Se puede expresar la ecuación (13) así:

$$U_D = K_2 v / (N L) \quad (14)$$

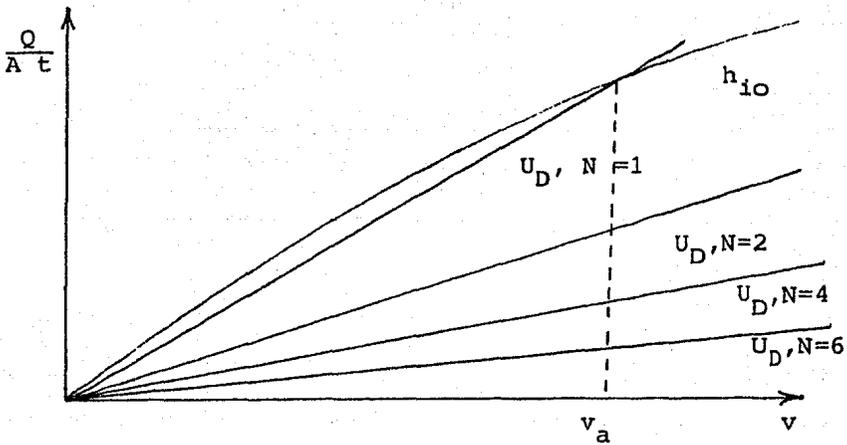
$$K_2 = 900 \epsilon D_{int}^2 / (W D_{ext}) Q/\Delta t$$

El coeficiente de transferencia de calor global sucio debe ser igual o mayor al coeficiente de diseño, y como el coeficiente de transferencia de calor global sucio siempre es menor que cualquiera de los coeficientes de transferencia de calor individuales a partir de los cuales se ob-

tiene, se deduce que cualquiera de estos coeficientes individuales debe ser con mayor razón más grande que el coeficiente de diseño; por esta razón el coeficiente de transferencia de calor del fluido que va por la parte interna de los tubos,  $h_{i0}$ , debe ser mayor al coeficiente de diseño, de lo contrario el intercambiador no podrá transferir la cantidad de calor requerida. Si se grafica la ecuación (14) en un plano en cuyas ordenadas se representen los valores de los coeficientes y en las abscisas se representen las velocidades, para una longitud dada y para diversos números de pasos, se obtendrán varias líneas rectas cuyas pendientes serán función del número de pasos por los tubos. Graficando la ecuación 6 se obtendrá una curva que girará ligeramente su convexidad hacia la parte positiva del eje de las ordenadas, en otras palabras se obtendrá una curva ligeramente cóncava. Si se representan en una sola gráfica las curvas obtenidas con la ecuación 6, se verá que debido a que la curva de la ecuación 6 es cóncava, intersectará a todas las curvas obtenidas al graficar la ecuación 14, porque éstas son líneas rectas.

En esta gráfica se puede observar que para el caso que se grafica se puede utilizar un intercambiador de una longitud  $L$  dada con un solo paso o con 2, 4 ó 6 pasos. Si se utiliza un intercambiador de un solo paso no se podrá manejar un fluido a velocidades mayores a  $v_a$ , ni a velocidades

que se acerquen mucho por abajo a  $v_a$ , ya que la diferencia entre  $h_{io}$  y  $U_D$  no sería lo suficientemente grande.



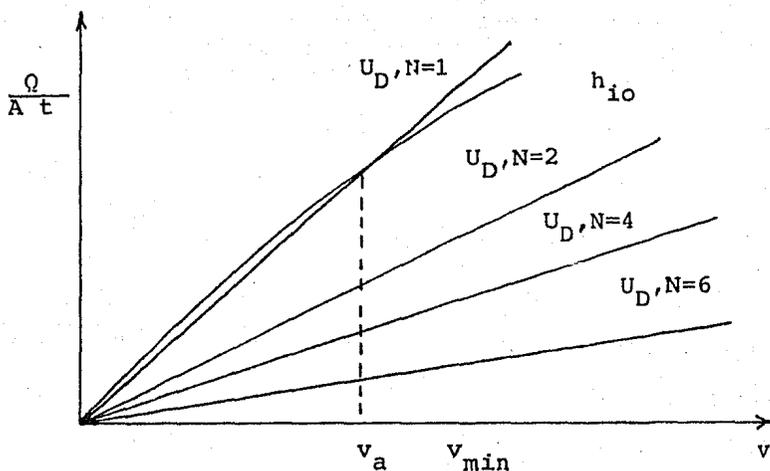
Si la velocidad a la que se intersectan las curvas  $h_{io}$ ,  $U_{D,N}$  es muy baja, no se podrá utilizar el número de pasos escogido. La velocidad mínima a la que debe ir un fluido la puede fijar el usuario en base a las características del fluido o puede quedar fija en base al número de Reynolds. Se debe hacer que el fluido circule a régimen turbulento o de transición para que la transferencia de calor sea buena; si el fluido se mueve a régimen laminar la resistencia que presentarán las capas del mismo fluido será ya muy grande y disminuirá mucho la transferencia de calor. Lo anterior se puede apreciar claramente en la figura 24 del apéndice del libro de Kern (6)

Los fluidos que circulan por el interior de los tubos se mueven a régimen turbulento cuando su número de Reynolds es mayor o igual a 10,000, se mueven a régimen de transición cuando sus números de Reynolds se encuentran en el siguiente intervalo: 2100 Re 10,000.

En este programa el número de Reynolds mínimo que se permite que tenga un fluido que circula por el interior de los tubos es de 2500, ya que a números de Reynolds menores disminuye a valores muy bajos el coeficiente de transferencia de calor.

El número de Reynolds es:  $Re = D \rho v / \mu$ , de las variables de las que depende sólo se pueden alterar el diámetro interno de los tubos y la velocidad del fluido; dado un diámetro interno la velocidad mínima a la que deberá ir el fluido para que mueva a régimen turbulento será aquella a la cual el número de Reynolds sea igual a 10,000. Si se propone una velocidad, la velocidad mínima a la que se deberá mover el fluido será la mayor de las dos siguientes: 1) la velocidad que proponga el diseñador; 2) la velocidad necesaria para que se mueva el fluido a régimen turbulento.

Si la velocidad a la que se intersectan las curvas  $h_{10}$ ,  $U_D$ ,  $N$  es igual o menor a la velocidad mínima, o si se le acerca mucho por abajo, deberá utilizarse un número de pasos mayor.



En estas gráficas se observa que la línea  $U_D, N=1$  interseca a la curva  $h_{i0}$  a una velocidad muy baja y menor a la mínima requerida, además de que la diferencia  $h_{i0} - U_D, N$  es muy pequeña a velocidades menores a  $v_a$ . En este caso el número de pasos mínimo por el lado de los tubos que se puede utilizar es 2. La velocidad a la que se intersectan las curvas  $h_{i0}$  y  $U_D, N$  se puede obtener igualando las ecuaciones 6 y 14:

$$h_{i0} = K_1 v^{0.8}, \quad U_D = K v / (N L)$$

$$K_1 v^{0.8} = K_2 v / (N L), \text{ despejando } v:$$

$$v_a = (K_1 N L / K_2)^5 \quad (17)$$

Las gráficas y las ecuaciones mostradas en esta sección fueron obtenidas para los fluidos que se mueven a régimen turbulento, si el fluido que circula por el interior de los tubos tiene un número de Reynolds dentro del régimen de transición, es probable que se requiera un número mayor de pasos por los tubos, si este es el caso, las secciones que se encargan de aumentar el área (estas secciones se mostrarán en la Descripción Detallada) aumentarán el número de pasos por los tubos, De todas maneras, el número de pasos obtenido de la forma que se ha descrito en esta sección será una buena aproximación del número de pasos por los tubos que necesita el intercambiador.

Número de tubos que se colocan en la coraza.

Para poder variar la velocidad del fluido que va por los tubos manteniendo su flujo másico constante, es necesario variar el área transversal de flujo, esto se logra variando el número de tubos por paso y el diámetro de los tubos ha sido ya elegido en etapas anteriores; sólo queda para poder variar la velocidad, el variar el número de tu bos por paso.

El número de tubos que pueden colocarse dentro de una coraza es función del diámetro externo que tengan, de su distancia entre centros, del tipo de arreglo que se utilice, del número de pasos por los tubos. Existen tablas que muestran el número de tubos aproximado para cada diámetro estándar de coraza. En base a las características del haz de tubos que se pueden utilizar en función del diámetro es tándar de la coraza. Si se quiere disminuir la velocidad del fluido que va por el lado de los tubos hay que escoger un número de tubos estándar menor; de esta manera la velocidad no puede tomar valores continuos sino discretos en función del número de tubos del intercambiador.

#### 7 El área estándar de transferencia de calor.

A partir del coeficiente de diseño supuesto para comenzar los cálculos se puede despejar un área:  $A=Q/(U_D t)$ , sustituyendo esta área en la ecuación 8:  $Nt=A/(\pi D_{ext} L)$ , se se obtiene un número de tubos no estándar; para estandariz-

zar este número de tubos hay que compararlo con los que aparecen en la tabla escogida y substituirlo por el número estándar de tubos más cercano a él. Una vez hecho esto se puede obtener el área estándar del intercambiador. La longitud también debe estandarizarse.

$$8 \quad A_{est.} = \pi D_{ext} N_{t_{est}} L_{est}$$

Una vez obtenida el área estándar del intercambiador se debe corregir el coeficiente de diseño;  $U_D = Q / (A_{est} \Delta t)$

9 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos.

Hay que obtener el número de Reynolds:  $Re = D_{int} G_t / \mu$   
donde  $G_t$  es el flujo másico por unidad de área:

$$G_t = w / a_t$$

$a_t$  es el área transversal estándar por paso:

$$a_t = N_t a'_t / (144 N)$$

$a'_t$  es el área transversal de un solo tubo medida en pulgadas cuadradas.

Si el número de Reynolds es menor de 2500 hay que disminuir el número de tubos y repetir los cálculos desde el punto 8. Si a pesar de que se ha disminuido el número de tubos al mínimo no se obtiene un número de Reynolds igual o mayor a 2500 esto significará que el flujo másico del

fluido que va por los tubos es muy bajo, y tal vez se puede realizar la transferencia de calor en un simple intercambiador de doble tubo.

Una vez que se ha obtenido un número de Reynolds igual o mayor que 2500 se pueden proseguir los cálculos. La ecuación para obtener el coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos cuando el fluido se mueve a régimen turbulento es la ecuación 5:  $h_{i0} = 0.027 k/D_{ext} Re^{0.8} (C\mu/k)^{1/3} (\mu/\mu_w)^{.14}$ . Todas las variables de esta ecuación son conocidas excepto  $\mu_w$ , la viscosidad que tiene el fluido que está en contacto con la pared interna del tubo en su vecindad; para evaluar esta viscosidad es necesario conocer la temperatura promedio de la pared de los tubos, pero para conocer esta temperatura es necesario conocer el coeficiente interno de transferencia de calor así como el coeficiente externo, que es precisamente lo que se está buscando; así que para obtener el valor del coeficiente se supone que la viscosidad del fluido cercano a la pared y en contacto con ella es muy similar a la viscosidad del fluido que va por la parte interna del tubo, es decir, que  $(\mu/\mu_w)^{.14} = 1$ ; haciendo esta suposición ya se puede calcular el coeficiente interno de transferencia de calor.

Si el fluido se mueve en el régimen de transición, el coeficiente interno de transferencia de calor se calcula de otra forma. No muestra Kern en su libro una ecuación para obtener el coeficiente de transferencia de calor del fluido

que circula por el interior de los tubos cuando se mueve a régimen de transición, pero muestra una gráfica (1, fig. 24 pag. 834) a partir de la cual se puede obtener el  $J_H$  que sirve a su vez para calcular el coeficiente de transferencia de calor. En esta gráfica se puede observar que el  $J_H$  -y por tanto el coeficiente interno de transferencia de calor- depende ya no sólo del número de Reynolds sino que también es función de la relación  $L/D$ , donde  $L$  es la longitud de los tubos y  $D$  es su diámetro interno. Para calcular el coeficiente se ha hecho lo siguiente:

Se han obtenido nueve parejas  $Re-J_H$  de la gráfica mencionada para cada una de las relaciones  $L/D$  de los tubos que se muestran en la gráfica, y se ha hecho un ajuste por método de los mínimos cuadrados de los datos de cada curva  $L/D$ .

Las ecuaciones para cada relación  $L/D$  que mejor ajuste dieron fueron:

Coeficiente de correlación

$L/D=800$

$$J_H = -5.0699 + 0.0042 Re \quad 0.9972$$

$L/D=360$

$$J_H = -4.7957 + 0.0042 Re \quad 0.9974$$

L/D=240

$$J_H = -4.2273 + 0.0041 \text{ Re} \quad 0.9964$$

L/D=180

$$J_H = -3.8333 + 0.0041 \text{ Re} \quad 0.9978$$

L/D=120

$$J_H = -3.0443 + 0.0041 \text{ Re} \quad 0.9964$$

L/D=72

$$J_H = -2.4765 + 0.0041 \text{ Re} \quad 0.9972$$

L/D=48

$$J_H = -1.7987 + 0.0041 \text{ Re} \quad 0.9963$$

L/D=36

$$J_H = 2.5881 \cdot 10^{-3} \text{Re}^{1.0434} \quad 0.9802$$

L/D=24

$$J_H = 3.8992 \cdot 10^{-3} \text{Re}^{1.0042} \quad 0.9981$$

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor hay que calcular la relación L/D de los tubos, si resulta ser igual a cualquiera de aquellas para las que se obtuvieron las ecuaciones  $J_H = f(\text{Re})$ , se debe substituir en la ecuación correspondiente el número de Reynolds para obtener el  $J_H$ ; si la relación no es igual a ninguna de aquellas para las que se obtuvieron las ecuaciones, se debe substituir

el número de Reynolds en las ecuaciones correspondientes del L/D inmediato superior y del L/D inmediato inferior al L/D obtenido, y a partir de los  $J_H$ 's así calculados se puede obtener por interpolación lineal el  $J_H$  correspondiente al L/D que tengan los tubos.

El coeficiente interno de transferencia de calor se calcula con la ecuación:

$$h_{iO} = J_H k / \text{Dext} (C/k)^{1/3} (\mu/\mu_w)^{0.14}$$

Como ya se comentó con anterioridad, para calcular el coeficiente se debe suponer que  $(\mu/\mu_w)^{0.14} = 1$ .

Posteriormente, cuando ya se haya calculado el coeficiente externo de transferencia de calor se podrá calcular la temperatura promedio de la pared de los tubos a partir de ella, la viscosidad del fluido en la vecindad de la pared, posteriormente se pueden corregir los coeficientes. Una vez que se haya calculado  $h_{iO}$  se debe comprobar que sea mayor a  $U_D$ , si no lo es, se debe aumentar el área de transferencia de calor aumentando el número de tubos o la longitud.

El valor mínimo que debe tener el coeficiente de transferencia de calor del fluido que va por el lado de la envolvente se puede obtener a partir de la ecuación 4.

$$1/U_S = 1/U_C + R_d$$

Ya se mencionó que el valor de  $U_S$  debe ser igual o mayor al coeficiente de diseño. Así que:

$$1/U_{S,mín.} = 1/U_C + Rd = 1/U_D$$

Por otra parte  $U_C = 1/h_{iO} + 1/h_o$ . Substituyendo el valor de  $U_C$  en esta ecuación y despejando  $h_o$  se obtiene una ecuación para calcular el valor mínimo de  $h_o$ :

$$h_{o,mín} = U_D h_{iO} / (h_{iO} (1 - U_D Rd) - U_D)$$

Como se puede observar de esta ecuación, si la diferencia  $h_{iO} - U_D$  no es lo suficientemente grande, el valor de  $h_{o,mín.}$  será negativo, si se presentara este caso, se debe aumentar la diferencia  $h_{iO} - U_D$  aún más hasta lograr que  $h_{o,mín}$  tome un valor positivo.

- 10 Caída de presión que sufre el fluido que circula por el interior de los tubos.

Una vez calculado el coeficiente de transferencia de calor hay que calcular la caída de presión. La ecuación para calcular la caída de presión en la parte recta de los tubos es:

$$P_t = f G_s^2 L N / (5.22 \cdot 10^{10} D_{int} s (M/\mu_w)^{.14})$$

- $P_t$  es la caída de presión que sufre el flujo medida en  $lb/in^2$
- $s$  es la gravedad específica
- $f$  es el factor de fricción que se obtiene a partir de la figura 26 del libro de Kern. La siguiente ecuación obtenida con el método de los mínimos cuadrados reproduce con gran exactitud los valo-

res de  $f$ :  $f=0.0027 \text{ Re}^{-.2532}$

La caída de presión que sufre el fluido en los retornos se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_r = 4 \text{ N/s } v^2 / 2g$$

donde

$g'$  es la aceleración de la gravedad.

La caída de presión total es:  $P_{\text{total}} = P_t + P_r$

Una vez calculada la caída de presión debe comprobarse si es menor o igual a la máxima permitida, si esto ocurre el haz de tubos satisface las limitaciones hidráulicas que se le ha impuesto, pero si la caída de presión obtenida es mayor a la máxima permitida, el haz de tubos no satisface las limitaciones. La solución es disminuir la velocidad del fluido aumentando el número de tubos si es posible, también se puede disminuir la longitud. Cuando se hace una de las modificaciones propuestas se deben repetir los cálculos desde la sección 8. Este ciclo debe repetirse hasta que la caída de presión sea igual o menor a la impuesta.

11 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor del fluido que va del lado de la envolvente.

La coraza que utiliza este programa es la coraza tipo E, esta coraza lleva dos boquillas, una en cada extremo del

intercambiador y tiene un solo paso. Las ecuaciones para obtener el  $F_t$  presentadas en la sección 2 han sido obtenidas para este tipo de coraza.

Como ya se ha fijado el número de tubos que van por dentro de la coraza de diámetro de ésta se conoce también ya que queda fijo con el número de tubos. La única variable que se puede alterar para modificar la velocidad es este lado del intercambiador es la distancia entre mamparas, entre más cercanas estén entre sí mayor velocidad tendrá el fluido y también tendrá una mayor caída de presión. La distancia entre mamparas puede tener un valor mínimo de  $1/5 D_s$  y un valor máximo de  $D_s$ ,  $D_s$  es el diámetro interno de la coraza. Se debe dejar en cada extremo del intercambiador una distancia para que puedan colocarse las boquillas sin que quede en medio de su desembocadura una mampara. Una vez que se ha escogido una distancia entre mamparas dentro del rango permitido se procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor con la ecuación:

$$h_o = 0.36 k/D_{\text{equ}} (D_{\text{equ}} G_s / \mu)^{0.55} (C\mu/k) (M/\mu_w)^{-0.14}$$

$D_{\text{equ}}$  diámetro equivalente de la coraza. Si el arreglo es triangular se calcula su valor con la siguiente ecuación:  $E_{\text{equ}} = 3.44 Pt^2 / (\pi D_{\text{ext}}) - D_{\text{ext}}$ ; si el arreglo escogido es cuadrangular:  $D_{\text{equ}} = 4Pt^2 / \pi D_{\text{ext}} - D_{\text{ext}}$ . El diámetro se obtiene en pulgadas;  $Pt$  es la distancia entre

centros de los tubos medida en pulgadas;  $D_{ext}$  es el diámetro externo de los tubos  
 $G_s$  es el flujo másico por unidad de área; se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$G_s = W/a_s$$

donde  $a_s$  es el área transversal de flujo medida en pies<sup>2</sup> y se calcula con la ecuación:

$$a_s = Ds(Pt - D_{ext}) B/144/Pt$$

$B$  es la distancia entre mamparas medida en pulgadas.

El valor del coeficiente externo de transferencia de calor debe ser igual o mayor a  $h_{o,mín}$  calculado con la ecuación 18. Si  $h_o$  es menor a  $h_{o,mín}$  hay que disminuir la distancia entre mamparas, si continua siendo menor a  $h_{o,mín}$  hay que tratar de aumentar el área de transferencia de calor del haz de tubos ya sea aumentando el número de tubos, el número de pasos o la longitud. Una vez que se haga alguno de estos cambios hay que repetir los cálculos desde el punto 8.

12 Cálculo de la caída de presión del fluido que va por la coraza.

La ecuación para calcular la caída de presión del fluido que circula por la coraza es:

$$P_s = f G_s^2 D_s (NB + 1) / (5.22 \cdot 10^{10} D_{equ} s (\mu/\mu_w)^{.14})$$

donde  $f$  es un coeficiente de fricción que se obtiene de la figura 29 del libro de Kern. Se ha obtenido a partir de esta gráfica una ecuación que reproduce con gran exactitud los valores del factor  $f$ :  $f = 0.0125 Re^{-.1937}$

$Re$  es el número de Reynolds del fluido que circula por el lado de la coraza

$NB$  es el número de mamparas que tiene el intercambiador.

Si la caída de presión resulta ser mayor a la máxima permitida hay que tratar de aumentar la distancia entre mamparas para que al disminuir la velocidad disminuya también la caída de presión.

### Descripción Sucinta del Programa

El programa está constituido por un programa principal y un conjunto de secciones y subrutinas que lo auxilian. El programa principal tiene el cometido de conducir la ejecución y el llamado a estos subprogramas.

En esta sección se muestra el diagrama de bloques del programa, los símbolos utilizados son los convencionales (ver la quinta página de la descripción detallada).

Las propiedades físicas de los fluidos son guardadas en archivos de disco por un programa independiente del programa cuyo diagrama de bloques aquí se muestra. Ese programa pregunta por las propiedades físicas de cada fluido al usuario. Por esta razón el diagrama de bloques comienza con la recuperación de los datos de las propiedades físicas de un archivo en discos.

El programa se puede dividir para su descripción en cuatro partes principales:

- 1 Cálculo de aquellas variables que se pueden obtener teniendo como datos únicamente las temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos; tales variables son: diferencia media de temperaturas entre los dos fluidos, diferencia real de temperaturas entre los dos fluidos, número mínimo de pasos por la envolvente y el Ft.

- 2 Cálculos involucrados con el fluido que circula por en interior de los tubos.

3 Cálculos involucrados con el fluido que circula por la envolvente.

4 Cálculo de las temperaturas de los dos fluidos cuando el intercambiador está todavía limpio y presentación de resultados.

Como se puede observar en el diagrama de bloques las partes 2 y 3 se pueden repetir varias veces si los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión no toman valores dentro de los rangos que les correspondan.

Al hacer los cálculos del lado de los tubos el programa procura que el haz de tubos cumpla primero con las limitaciones térmicas y después con las hidráulicas, es decir, el programa hará primero todas las modificaciones posibles al haz de tubos propuestos para que el coeficiente interno de transferencia de calor tome un valor dentro del rango que le corresponda y posteriormente calculará la caída de presión, y si ésta resulta mayor a la máxima permitida, hará las modificaciones al haz que permitan disminuirla; por supuesto, las modificaciones que se realicen para disminuir la caída de presión deberán ser tales que no provoquen que el intercambiador ya no pueda cumplir térmicamente. De manera similar hace los cálculos el programa del lado de la envolvente; primero procura que el coeficiente de transferencia de calor sea igual o mayor al mínimo permitido y después se encarga de que la presión no sea mayor a la má-

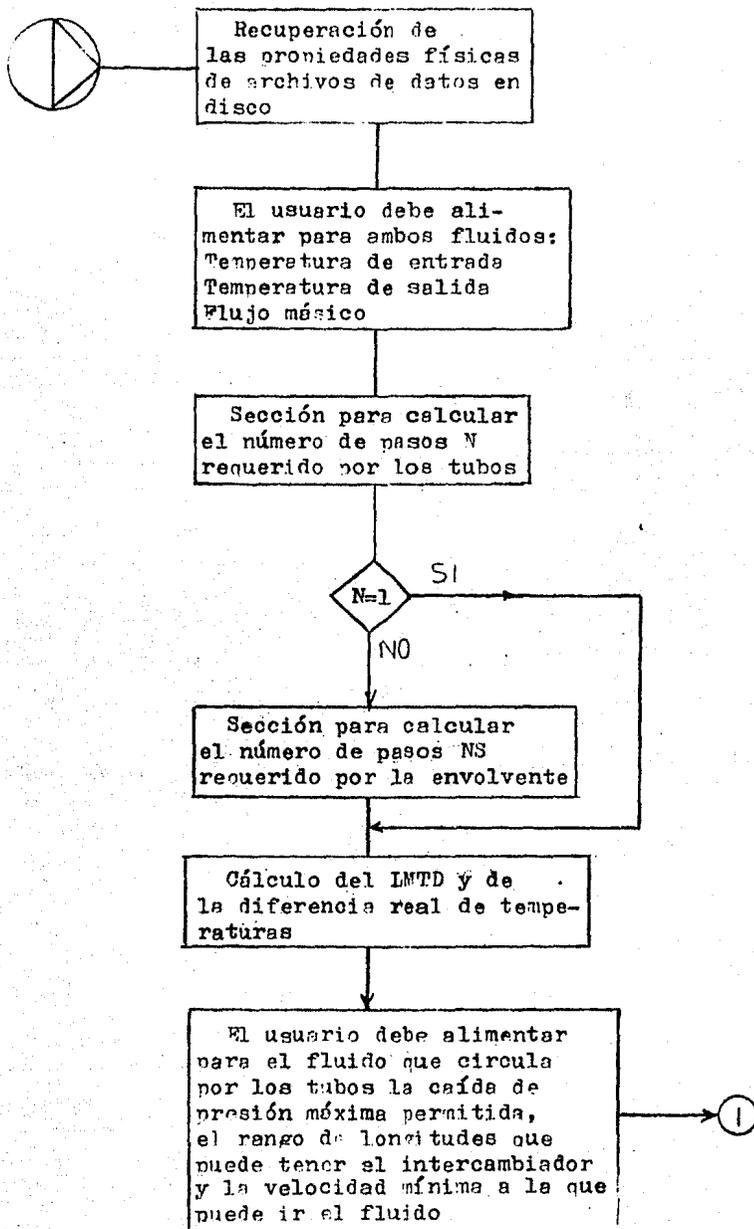
xima permitida.

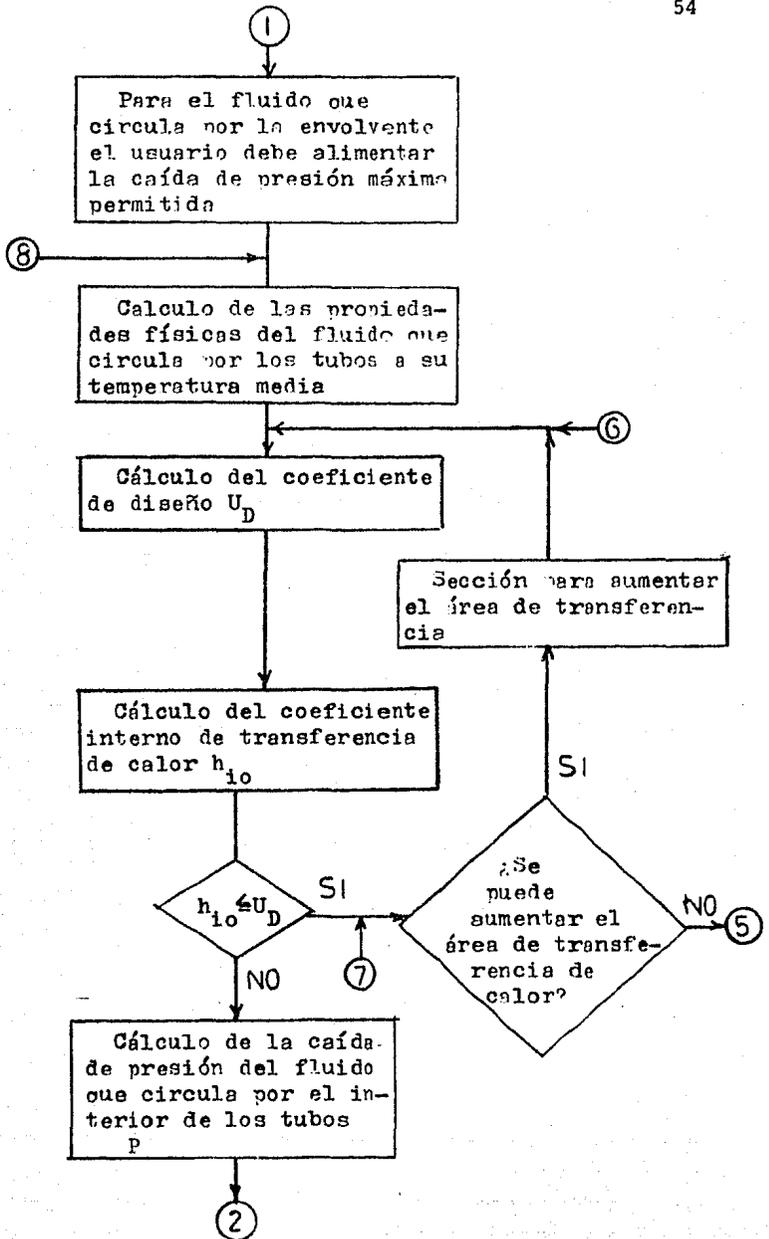
Cuando el haz de tubos propuesto no puede transferir la cantidad de calor requerida, es necesario aumentar el área de transferencia de calor, esto se encarga de realizarlo una sección del programa. Esta sección puede aumentar el área de transferencia de calor de tres formas: aumentando el número de tubos, aumentando la longitud y aumentando el número de pasos por los tubos. Si la caída de presión que sufre el fluido que circula por el interior de los tubos es mayor que la máxima permitida, el programa principal utilizará una sección para tratar de disminuir esta caída de presión. La caída de presión es disminuida por esta sección de dos formas: aumentando el número de tubos o disminuyendo la longitud del haz de tubos.

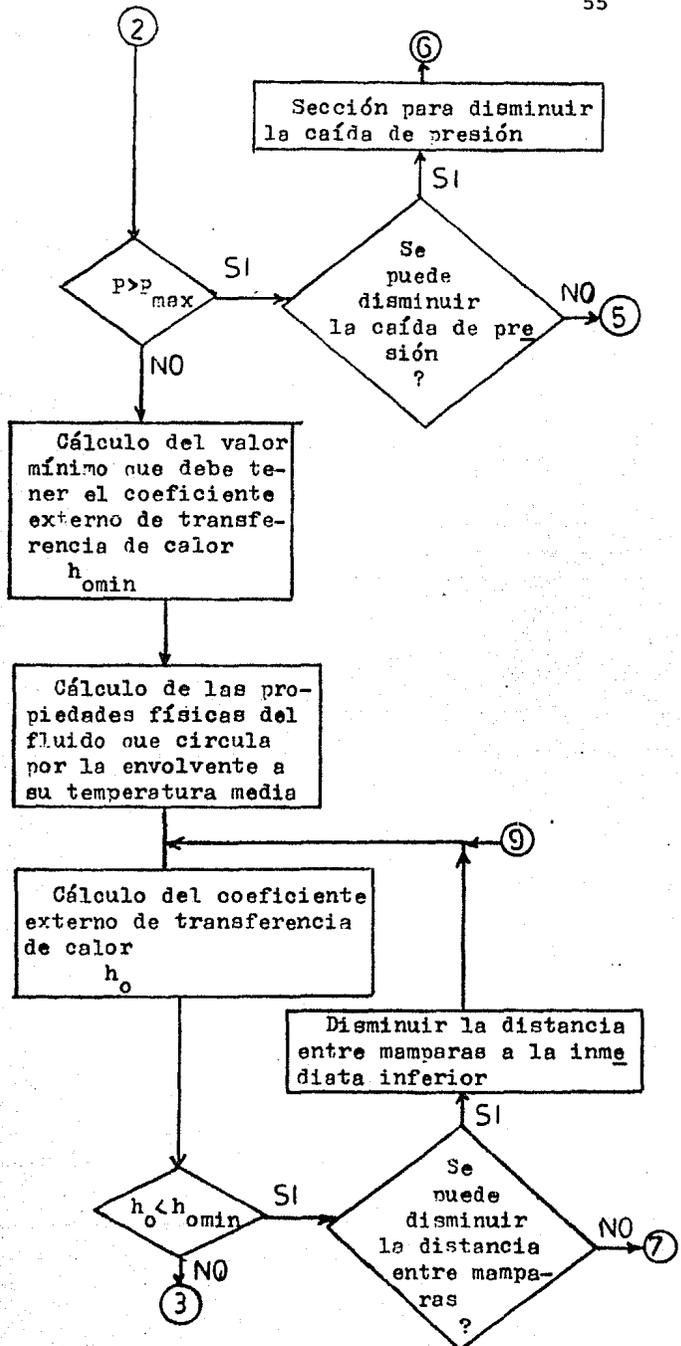
Como se puede observar, la sección que se encarga de aumentar el área y la que se encarga de disminuir la caída de presión pueden modificar una variable de manera distinta: la longitud. Supóngase que al calcular el coeficiente de diseño (debería ser mayor), para disminuir el coeficiente de diseño es necesario utilizar la sección que aumenta el área de transferencia de calor, supóngase también que esta sección aumenta la longitud del intercambiador, que con esta modificación se logra que el coeficiente interno de transferencia de calor sea mayor el coeficiente de diseño y que al calcular la caída de presión resulta ser mayor que la máxima permitida; entonces la sección que se encarga de

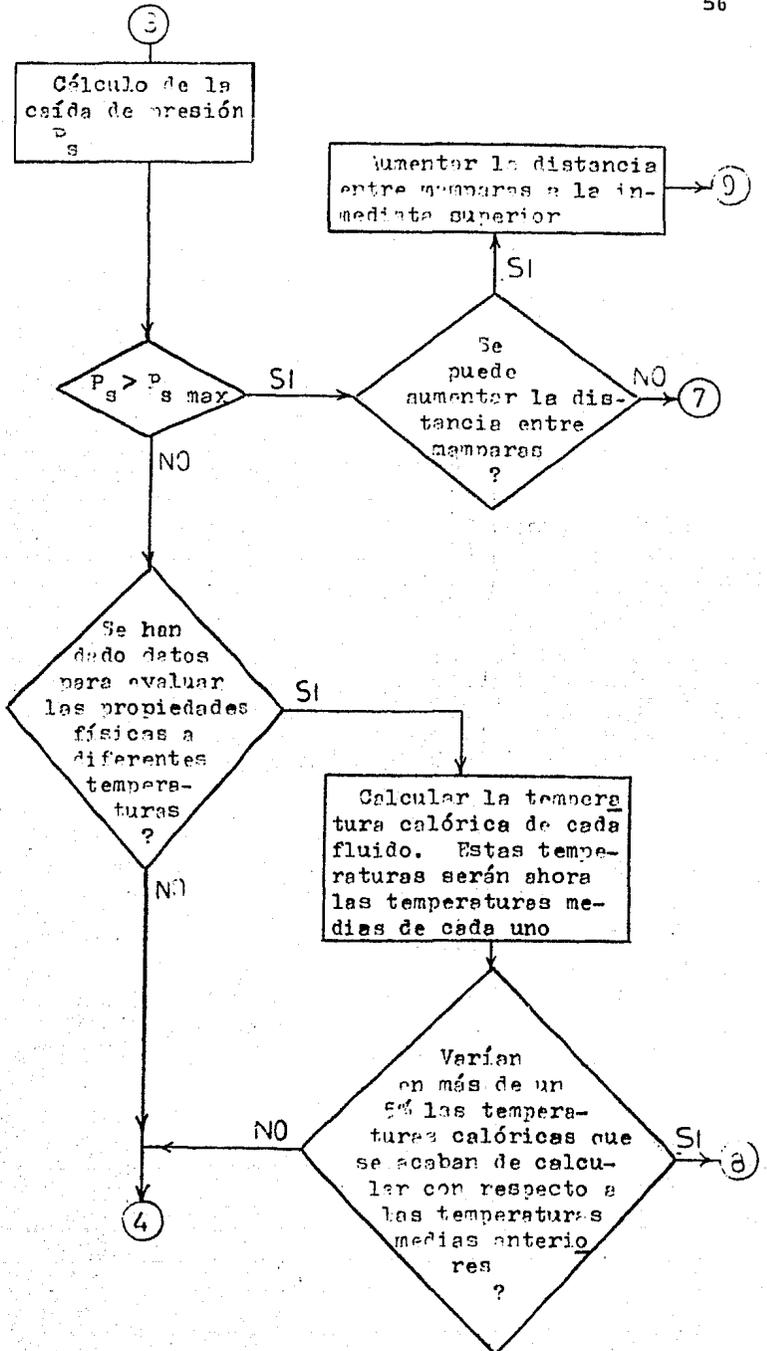
disminuir la caída de presión no podrá disminuir la longitud, sólo le quedará como alternativa el aumentar el número de tubos. La sección que se encarga de aumentar el área al aumentar la longitud, hace que una variable determinada tome un valor de uno; cuando la sección que se encarga de disminuir la caída de presión es ejecutada preguntará si dicha variable tiene un valor igual a uno; si la respuesta es afirmativa, como en el caso que se menciona, no disminuirá la longitud. El programa utiliza muchas variables como la anterior para tomar las decisiones sobre lo que se tiene que hacer en un momento dado. A estas variables se les llama señales o banderas, porque indican con el valor que contienen sobre las modificaciones que el programa ha hecho a alguna de las variables, las partes por donde se ha ejecutado, etc. Las banderas utilizadas en este programa sólo pueden tomar dos valores; uno o cero. Cuando la bandera tiene un valor igual a uno se dice que esta prendida, cuando tiene un valor igual a cero se dice que está apagada.

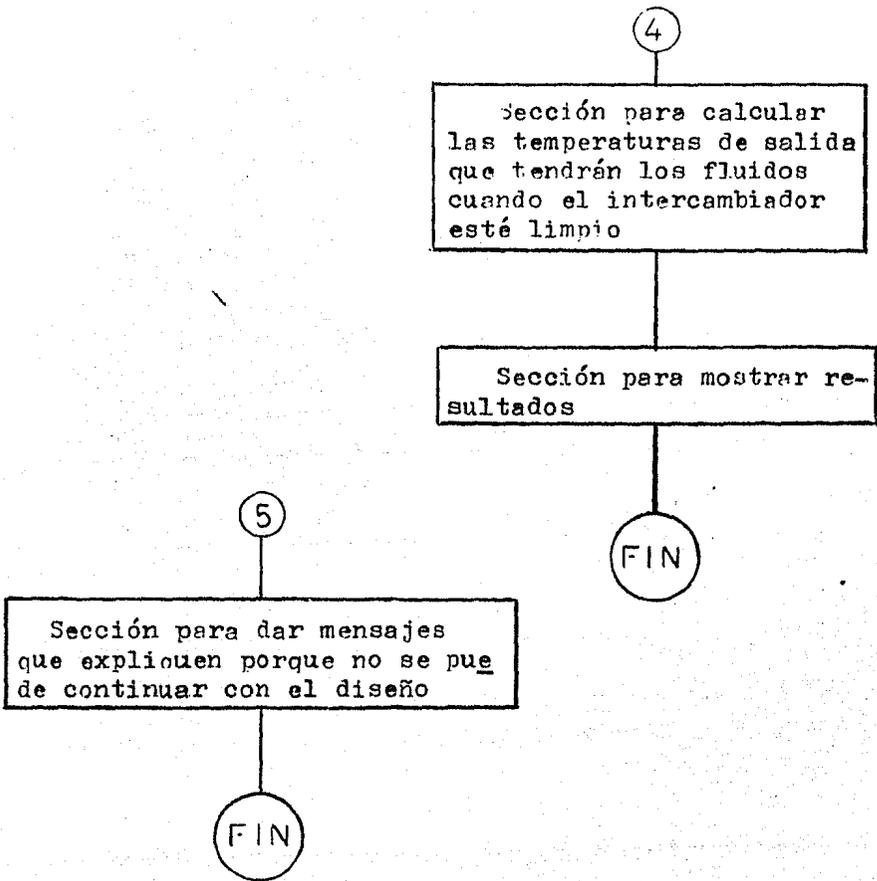
En la siguiente sección se explican detalladamente los puntos que aquí se han tocado y otros de importancia.











### Descripción Detallada del Programa

Como ya se mencionó en la descripción sucinta, lo primero que se debe hacer es suministrar los datos de las propiedades físicas de los fluidos que circulan por el intercambiador a las temperaturas a las que se encuentre. Los valores de las propiedades físicas pueden ser suministrados de tres formas: 1) por medio de una tabla que muestre los valores de las propiedades físicas a diferentes temperaturas, 2) por medio de expresiones algebraicas a partir de las cuales se puedan obtener las propiedades físicas en función de la temperatura, 3) se puede dar el valor de las propiedades físicas a la temperatura promedio a la que se encuentra el fluido.

1) La tabla que contenga las propiedades físicas de un fluido a diferentes temperaturas debe tener, por lo menos, el valor de las propiedades físicas en el siguiente rango de temperaturas: de la temperatura menor del fluido más frío a la temperatura mayor del fluido más caliente. Si se escoge alimentar los datos con esta opción para un fluido, deben alimentarse por lo menos los valores de las propiedades físicas a dos temperaturas y estas temperaturas deben ser las mencionadas arriba u otras en las que quede contenido ese rango. Es importante seguir estas indicaciones ya que el programa no tiene mecanismos de protección que detecten si se han seguido o no.

2) Las expresiones algebraicas deben dar resultados confiables en el rango de temperaturas arriba mencionado. La forma en la que se deben suministrar estas expresiones es la siguiente: una vez que se haya cargado el programa principal a la memoria, se deben adicionar al programa con el número de etiqueta que se indica en la figura 1.

3) Se pueden alimentar las propiedades físicas del fluido en cuestión evaluadas a una temperatura; su temperatura promedio. Es recomendable hacer esto cuando las propiedades físicas no varían mucho en el rango de temperaturas dado.

Las propiedades físicas de cualquiera de los dos fluidos pueden ser alimentadas con cualquiera de las dos primeras opciones, pero si se ha decidido utilizar la opción 3 deberá utilizarse para alimentar las propiedades físicas de los dos fluidos.

Este programa guarda los datos ingresados de las propiedades físicas en archivos en disco. Abre un archivo para guardar los datos del fluido que circula por los tubos y otro archivo para guardar los datos del fluido que circula por la envolvente. En cada archivo almacena también la opción con la que fueron alimentados los datos, para saber de esta manera como se deben recuperar del disco.

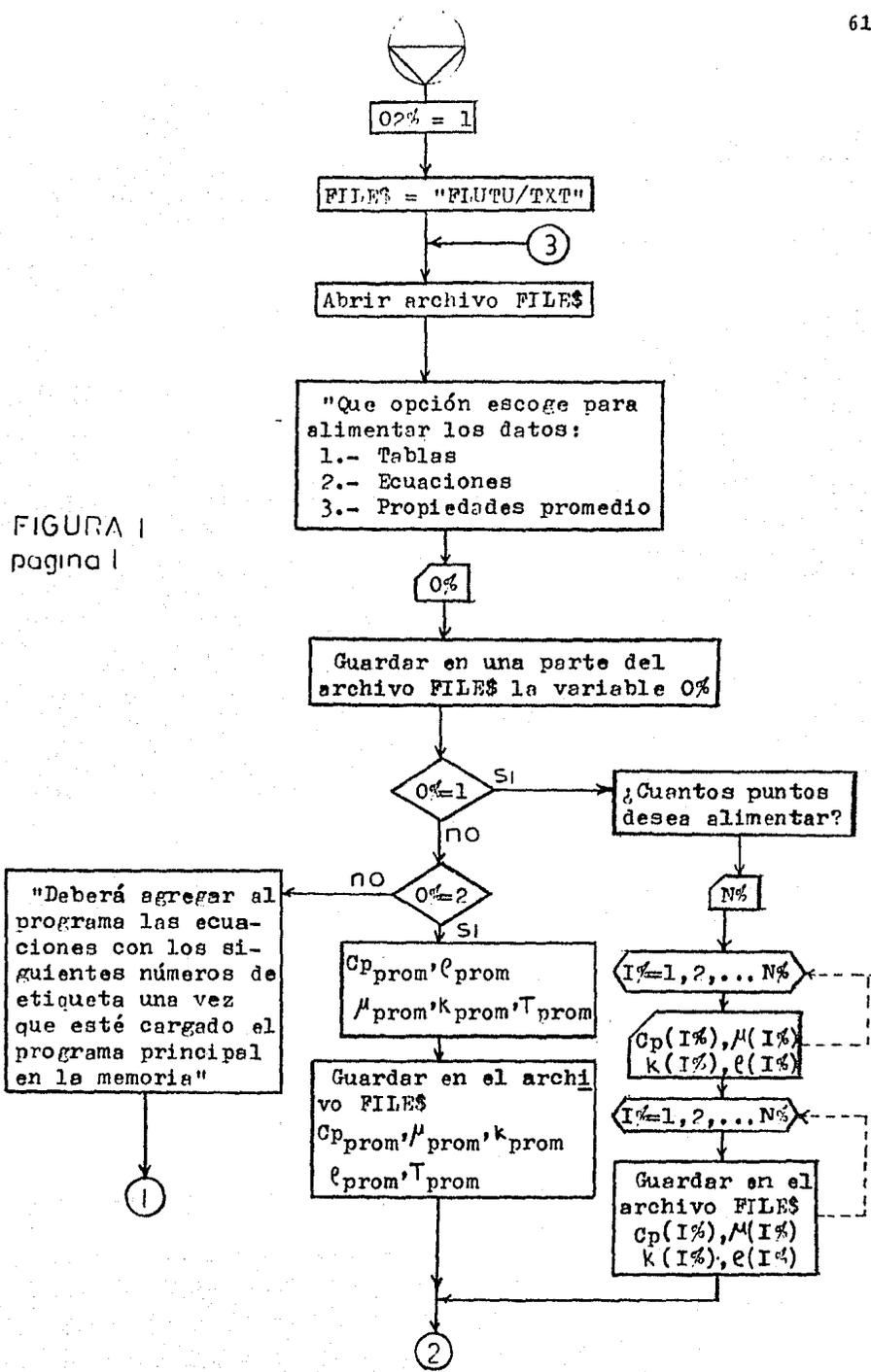
El programa que realiza estas operaciones es un programa independiente del programa principal, es decir, no es una

sección ni una subrutina de éste. Su única función es guardar correctamente los datos de las propiedades físicas en el archivo que les corresponda. Posteriormente, cuando sea ingresado y ejecutado el programa principal, una de sus secciones se encargará de recuperar los datos sobre las propiedades físicas y cargarlos a la memoria para que puedan ser utilizados por el programa principal.

El objeto de guardar los datos en archivos en disco para que posteriormente sean recuperados de allí por el programa principal, es el siguiente: el evitar tener que ingresar todos estos datos desde el teclado cada vez que por alguna razón sean borrados de la memoria cuando se está utilizando el programa principal (esto puede ocurrir cuando el usuario comete algún error al ingresar alguno de los datos que pide el programa principal y decide reinicializar la ejecución de éste).

En la figura 1 se muestra un diagrama de flujo para este programa. Las frases que aparecen entre comillas son mensajes que se muestran en la pantalla del microprocesador; el programa está hecho en la modalidad conversacional, que consiste en preguntar por los datos que se requieren y mostrar las variables calculadas. En aquellas partes donde aparece la frase "abrir archivo", así como "guardar en archivo" y "cerrar archivo" se ejecutan un conjunto de instrucciones encaminadas a almacenar en el disco los datos numéricos; estas instrucciones se pueden ver en el manual de mane

FIGURA 1  
pagina 1



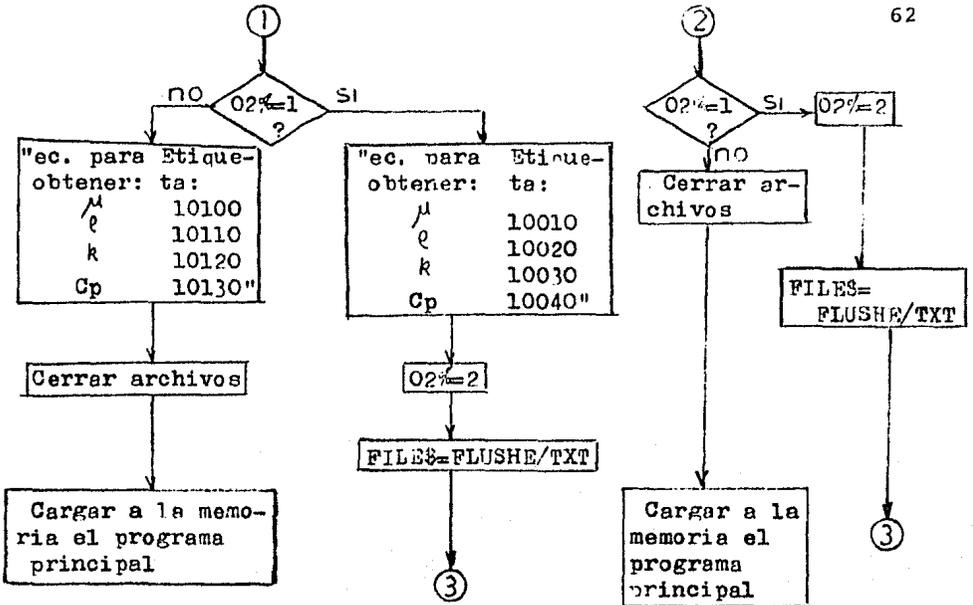


FIGURA I

pagina 2

jo de discos del microprocesador (11), para comprender el diagrama de flujo basta mencionar que la misión de estas instrucciones es grabar en un disco los datos para leerlos cuando sea necesario posteriormente.

Los símbolos utilizados para representar el diagrama de flujo son los convencionales empleado en varios libros (7).

En un rectángulo:



se encuentran las asignaciones tales como  $A=B + C$ ,  $A=FUN(t)$ , etc., en los diagramas que aquí se muestran también dentro de estos rectángulos se escriben frases entre comillas, es tas frases son mensajes que aparecen en el monitor de la computadora. En rectángulos también se encierran frases que indican la función o funciones que realiza una sección del programa, estas frases no van encerradas entre comillas.

en el rombo:



se encierran la o las preguntas que sobre el valor de una constante o variable se hacen para realizar diferentes instrucciones dependiendo de la respuesta obtenida; cuando la pregunta se hace de tal manera que sólo se pueden dar dos respuestas (sí o no) se le llama decisión lógica y el rombo en la que está encerrada tendrá dos salidas, se continúa la ejecución por una de ellas si la respuesta es afir-

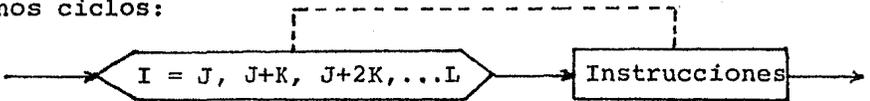
mativa, y se continúa la ejecución por la otra si la respuesta es negativa. Hay otro tipo de decisión, la aritmética. A la pregunta que se hace cuando hay una decisión aritmética hay tres respuestas posibles: la variable o constante es mayor, es igual o es menor el valor con el que se le comparó. Esta pregunta se puede representar como una combinación de dos de las tres preguntas lógicas. En los diagramas que aquí se muestran sólo se usará el primer tipo de decisión.

En un rectángulo con la esquina superior izquierda truncada:



se representan los nombres de las variables cuyos valores debe alimentar el usuario. Dentro de este símbolo pueden aparecer frases entre comillas, representan, como en el caso anterior, los mensajes que aparecen en la pantalla.

Con el siguiente conjunto de símbolos se representan algunos ciclos:

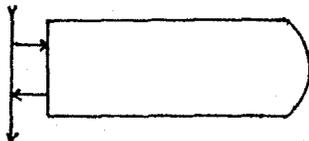


Dentro del hexágono irregular se encuentran las variables que determinan el número de veces que se ejecutará el ciclo, el rectángulo representa la instrucción o conjunto de instrucciones que forman parte de éste. La variable  $I$  es un contador, los valores que puede tomar son los siguientes:

tes: comienza por tener un valor igual a  $J$ , su siguiente valor es el que tenía más un incremento  $K$ , el valor de este incremento puede ser positivo o negativo; en caso de que sea negativo, el valor de  $I$  se irá disminuyendo, en este caso el valor de  $L$  debe ser igual o menor al valor de  $J$ . Cada vez que se suma el incremento se hace una pregunta, dicha pregunta varía dependiendo del signo del incremento: cuando el incremento es positivo se pregunta si el valor de  $I$  es mayor a  $L$ , si es mayor la ejecución se sale del rizo, si es menor igual a  $L$ , continúa ejecutándose el rizo; cuando el incremento es negativo se pregunta si el valor de  $I$  es menor a  $L$ , si es menor, se continúa la ejecución fuera del rizo y si es mayor a  $L$  continúa ejecutándose.

En un círculo: ○ se encierran indicaciones de inicio del diagrama, fin del diagrama y números que indican conexiones entre partes del mismo.

Con el siguiente símbolo se representa la entrada y salida a una subrutina:



en su interior se escribe una leyenda explicativa de la función o funciones que realiza la subrutina. También se pueden escribir los argumentos que requiere dicha subrutina y las variables cuyos valores calcula (argumentos de salida);

los argumentos de entrada llevan en su parte superior una flecha apuntando hacia abajo: ↓ y las variables calculadas (argumentos de salida) llevan en su parte superior una flecha apuntando hacia arriba: ↑ .

Una vez hechas estas aclaraciones se puede analizar el diagrama de la figura 1 y los subsiguientes fácilmente. En el diagrama de la figura 1 la variable 02% sirve, como se puede observar, para indicar que archivo es el que se va a utilizar en un momento dado para almacenar datos: el archivo que contendrá los datos del fluido que circula por el interior de los tubos (FLUTU/TXT) o el archivo que contendrá los datos del fluido que circula por la envolvente (FLUSHE/TXT). La variable 0% sirve para almacenar la opción que se ha escogido para alimentar los datos del fluido en cuestión en la memoria de la computadora y posteriormente almacenar esta opción en una parte específica del archivo correspondiente para que el programa principal "sepa" como recuperar los datos del disco.

Una vez que se han guardado todos los datos de los dos fluidos en el disco, este programa escribe un mensaje en el que indica que ya se puede cargar a la memoria el programa principal.

#### Programa Principal.

El programa principal es aquel que se encarga de conducir la ejecución y de hacer los llamados a las subrutinas y

secciones que lo auxilian.

Lo primero que hace este programa es cargar a la memoria los datos de las propiedades físicas de los fluidos. Para poder recuperar los datos del disco es necesario leer primero del mismo disco la opción que se uso para guardarlos. Si las propiedades físicas de alguno o de los dos fluidos serán alimentadas con la opción 2, es decir, si se suministrarán expresiones algebraicas para obtener a partir de ellas las propiedades físicas de una o de los dos fluidos, se deben adicionar al programa las líneas que contendrán dichas expresiones con los números de etiqueta que les correspondan (los números que les corresponden se pueden ver en el diagrama de la figura 1). La adición de estas líneas se debe hacer antes de mandar ejecutar el programa principal y sus secciones auxiliares. La parte del diagrama de flujo que muestra la sección encargada de recuperar los datos de las propiedades físicas se muestra en la figura 2.

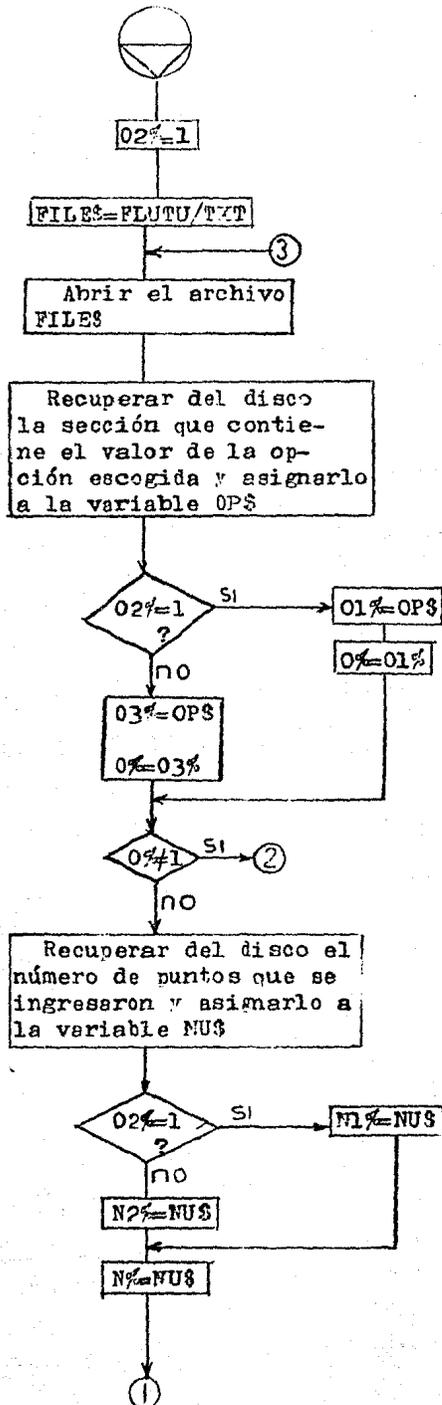
Los datos que han sido guardados en el disco se reconocen por la posición que tienen en el mismo y no por el nombre de la variable al que estaban asignados, así, por ejemplo, el valor de la variable 0% que aparece en el diagrama de la figura 1 y que es guardado en una parte del archivo que está abierto en ese momento (FLUTU/TXT o FLUSHE/TXT) no será recuperado del mismo pidiendo el valor de la variable 0%, sino que debe conocerse la posición en el ar-

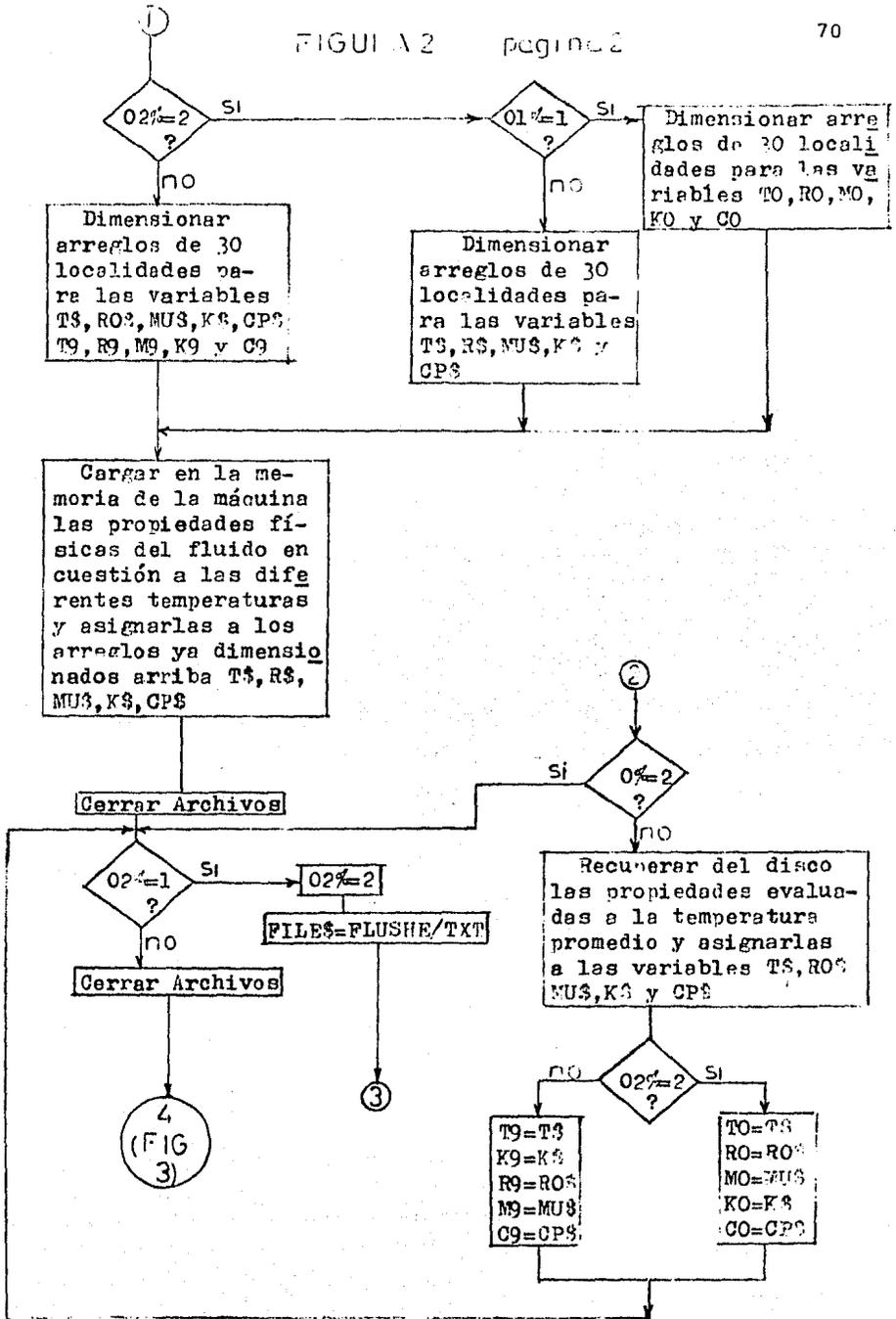
chivo en la que fue almacenado, recuperar el dato guardado en dicha posición y asignarle a una variable este valor recuperado, la variable no tiene que ser forzosamente la variable 0% sino que puede ser otra cualquiera que corresponda al tipo de dato (entero, real alfanumérico, etc.) Por esta razón, en la figura 2 aparecen indicaciones en las que se señala que se recupera un dato del disco, y este dato es asignado a una variable que no siempre es la misma a la que se le había asignado dicho valor en el programa que carga el dato en el disco.

Todos los datos indispensables para la ejecución del programa son asignados a variables diferentes entre sí; así el número de la opción con la que fueron cargados los datos del fluido que circula por los tubos esta guardado en la variable 01%, el de la opción del fluido que circula por la envolvente es guardado en la variable 03%, lo mismo se hace con los otros datos como se puede observar en el diagrama de flujo.

Se puede observar que si la opción escogida para suministrar las propiedades físicas fue la 2, sólo se asigna ese valor (el de 2) a la variable 01% u 03%, dependiendo de si el fluido es el que va por los tubos o por la envolvente y se continúa la ejecución a la siguiente sección. Si se desean alimentar las propiedades físicas por medio de ecuaciones (opción 2), es importante que antes de iniciar la

FIGURA 2  
pagina 1





ejecución del programa hayan sido adicionadas las líneas que contienen las ecuaciones para obtener las propiedades físicas como arriba se menciona, de lo contrario, se detendrá la ejecución por un error que se presentará cuando se trate de utilizar dichas líneas.

Una vez que han sido cargados a la memoria los datos sobre las propiedades físicas, el programa principal pide las temperaturas de entrada y salida y los flujos másicos de cada uno de los fluidos. A continuación debe verificarse que el calor transferido por el fluido que se enfría sea igual al calor que recibe el fluido que se está calentando. Si estas cifras no son iguales significará que alguno o algunos datos alimentados no son correctos, en tal caso se vuelven a preguntar las temperaturas de entrada y salida y los flujos másicos de cada fluido. Para poder obtener la cantidad de calor que transmite o recibe cada uno de los fluidos, es necesario conocer su capacidad calorífica media en el intervalo de temperaturas al que se encuentre el fluido. Si los datos de las propiedades físicas fueron alimentados con la opción 3, es decir, si se alimentaron las propiedades físicas evaluadas a la temperatura promedio del fluido, la capacidad calorífica media ya se tiene, ya que es la que se alimentó, pero si se alimentan las propiedades físicas con las opciones 1 o 2 deberá calcularse. La capacidad calorífica media en el rango de temperatura de  $t_1$  a

a  $t_2$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_p = \int_{t_1}^{t_2} \frac{C_p(t) dt}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

El método utilizado para resolver la integral  $C_p(t) dt$  es el método de los trapecios.

Si la opción utilizada para alimentar los datos fue la 1 (una tabla de valor de las propiedades físicas a diferentes temperaturas), la integral se calcula de la siguiente manera: primero se obtiene el valor de la capacidad calorífica a la temperatura de entrada y a la temperatura de salida interpolando los datos de la tabla alimentada. Posteriormente, se guardan en un arreglo las temperaturas de la tabla que se encuentran entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida incluyéndolas a ambas, y en otro arreglo las capacidades caloríficas correspondientes. Posteriormente se aplica la siguiente fórmula:

$$\int_{t_1}^{t_2} C_p(t) dt = ((C_{p_1} + C_{p_2})(t_2 - t_1) + (C_{p_2} + C_{p_3})(t_3 - t_2) + \dots + (C_{p_n} + C_{p_{n+1}})(t_{n+1} - t_n)) / 2 \quad (2)$$

donde

$t_1$  es la temperatura menor del fluido, correspon

de a la temperatura de entrada si es el fluido frío y a la de salida si es el fluido caliente.

$t_{n+1}$  es la temperatura mayor del fluido, corresponde a la temperatura de salida si es el fluido frío y a la de entrada si es el fluido caliente.

$Cp_i$  es la capacidad calorífica del fluido a la temperatura  $t_i$ .

Utilizando esta ecuación no es necesario que los intervalos entre las temperaturas a las que se alimentan las propiedades físicas sean iguales.

Si lo que se suministró fueron ecuaciones para obtener las propiedades físicas en función de la temperatura, el procedimiento para obtener la capacidad calorífica media del fluido dado en el rango de temperaturas al que se encuentre es muy similar al descrito arriba. Se divide el intervalo de temperaturas (temperatura de entrada a temperatura de salida, si el fluido es el caliente, y viceversa si es el frío) en varias partes iguales (en el programa se utilizan 30 divisiones), se obtiene la capacidad calorífica del fluido a cada una de las temperaturas y se aplica la siguiente fórmula:

$$\int_{t_1}^{t_2} Cp(t) dt = (((Cp_1 + Cp_n)/2) + Cp_2 + Cp_3 + \dots + Cp_n) h \quad (3)$$

donde

$h$  es el intervalo entre cada una de las temperaturas.

$Cp_i$  es la capacidad calorífica a la temperatura  $t_i$ .

Esta ecuación es un caso particular de la ecuación (2), se obtiene a partir de ésta cuando los intervalos entre las temperaturas son iguales.

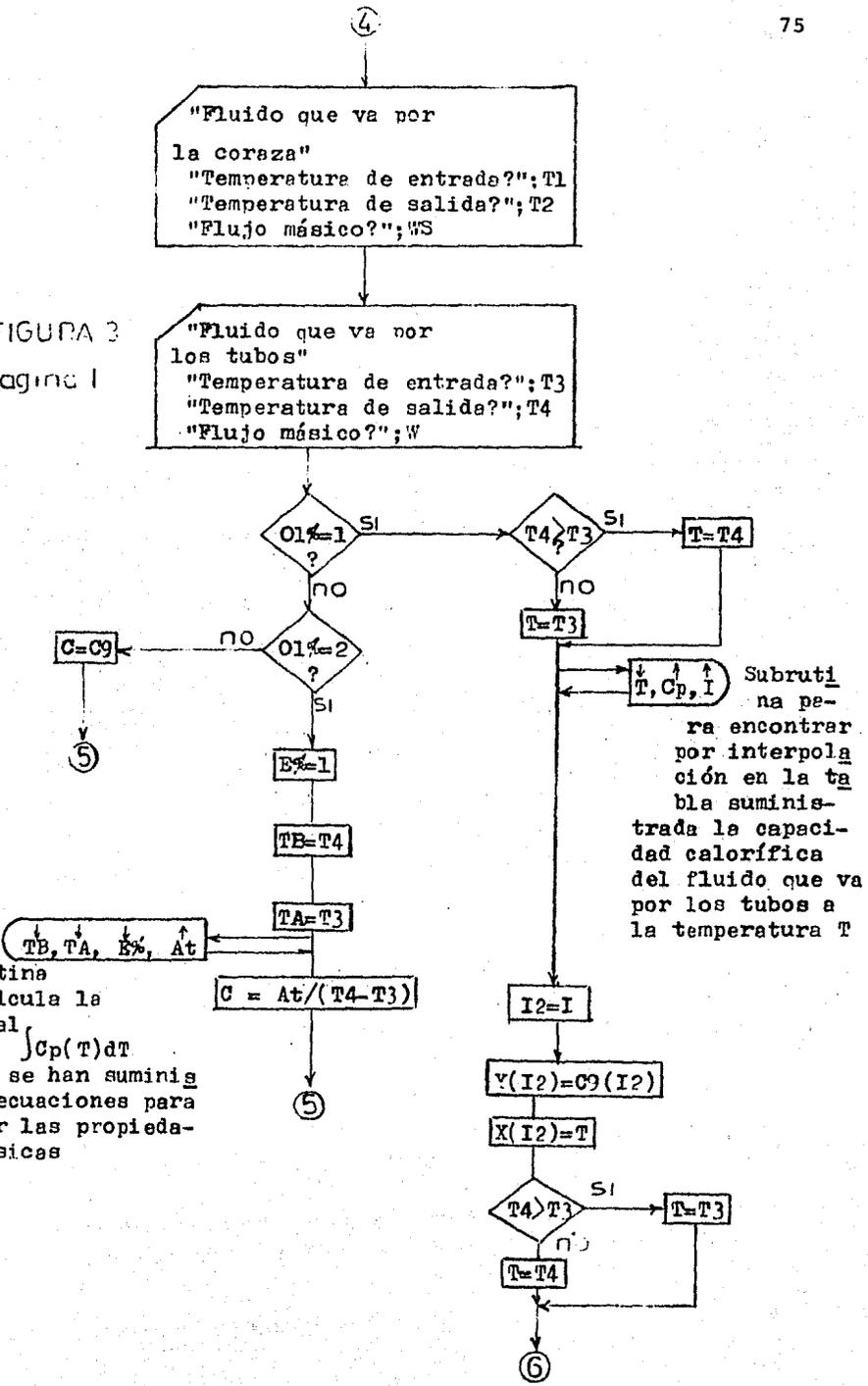
A continuación se calcula el calor que recibe el fluido que se está calentando y el calor que cede el que se está enfriando, éstos deben ser iguales.

$$Q = W Cp (T_1 - T_2)$$

$$Q = w cp (t_2 - t_1)$$

Se calculan con estas formas y si resultan ser muy distintos (en el programa se considera que son muy distintos entre sí cuando varían en más de un 5% con respecto al promedio aritmético de los dos) se pide que se vuelvan a suministrar los valores de las temperaturas de entrada y salida así como los flujos máxicos de cada fluido, ya que es probable que alguno de estos datos suministrados haya sido incorrecto. Si todos estos datos alimentados fueron los correctos, entonces alguno o algunos de los datos de las propiedades físicas fueron erróneos, si este es el caso, hay que revisar y corregir estos datos. En la figura 3 se muestra la

FIGURA 3  
pagina 1



Subrutina que calcula la integral  $\int C_p(T) dT$  cuando se han suministrado ecuaciones para evaluar las propiedades físicas

Subrutina para encontrar por interpolación en la tabla suministrada la capacidad calorífica del fluido que va por los tubos a la temperatura T

FIGURA 3  
pagina 2

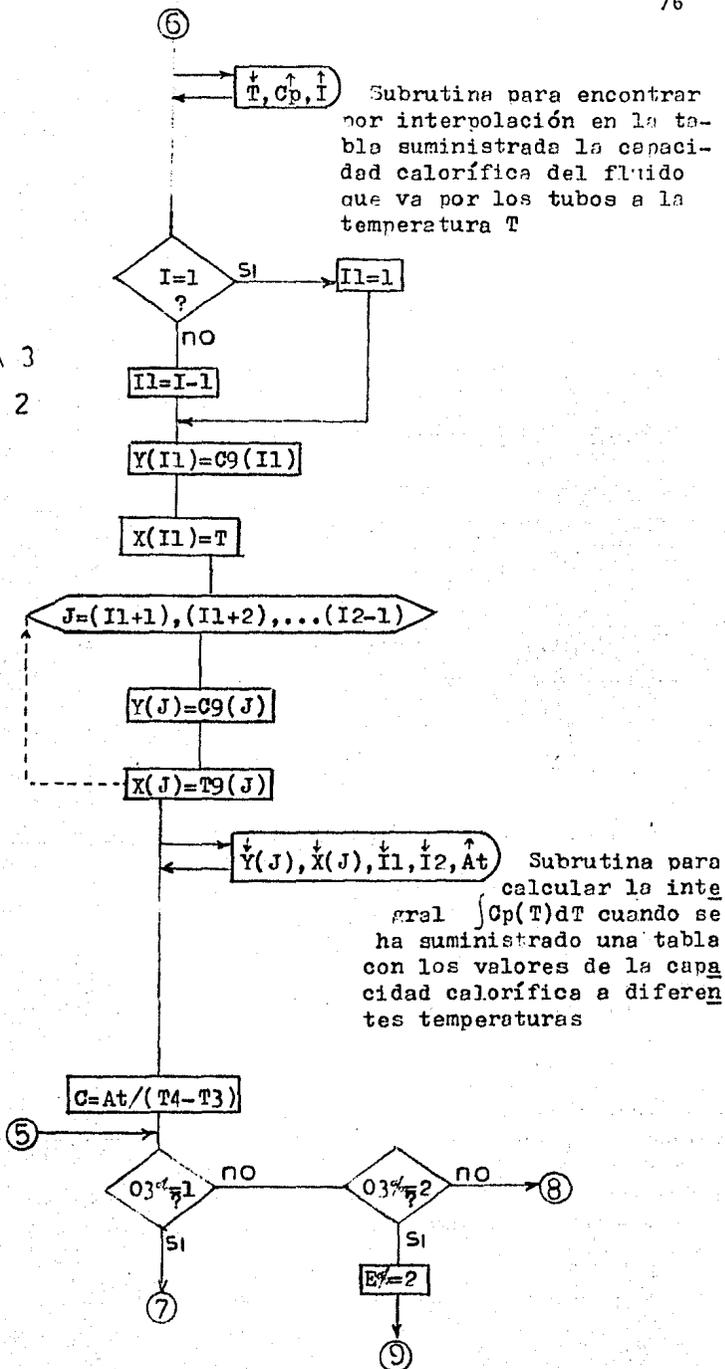


FIGURA 3  
pagina 3

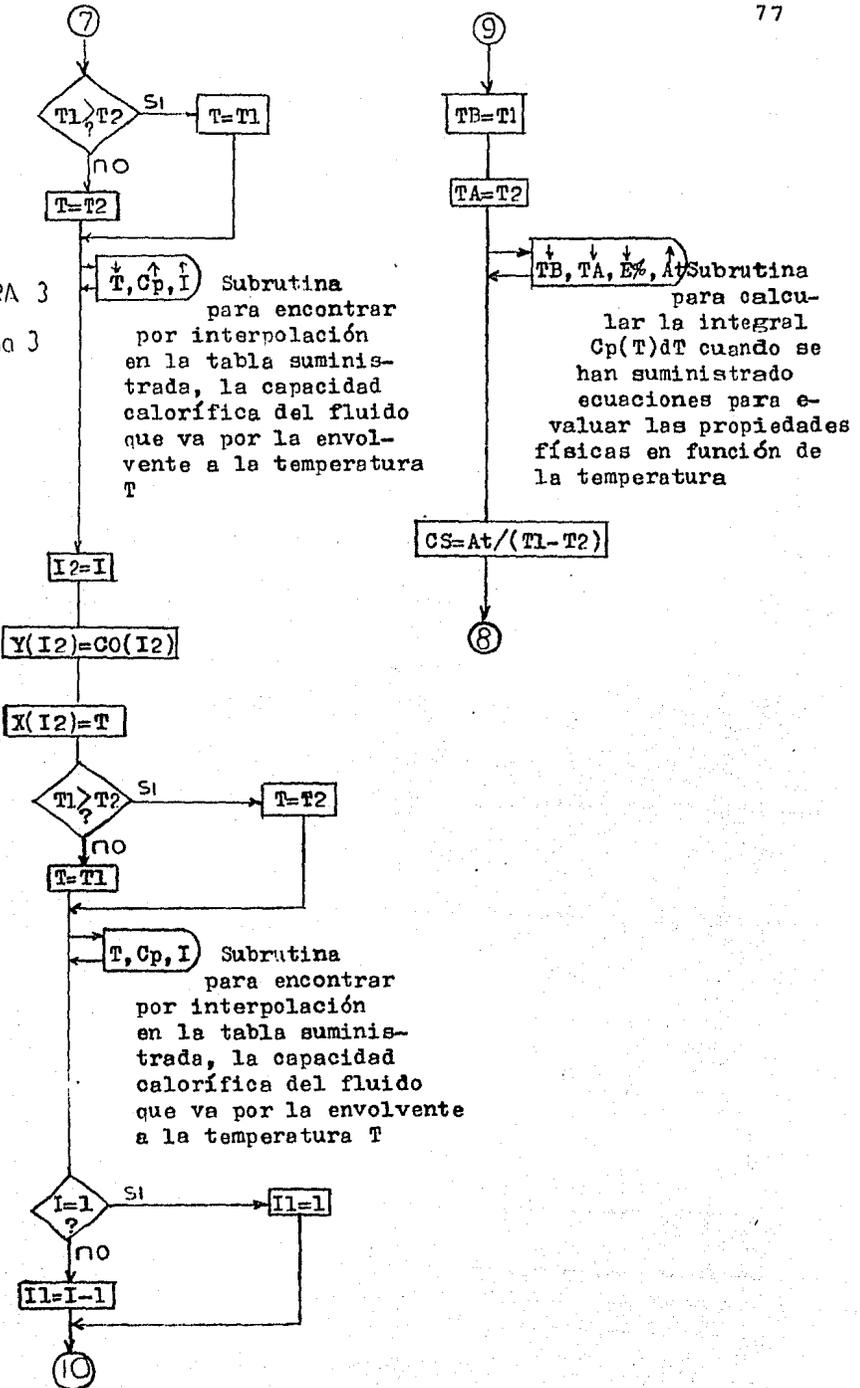
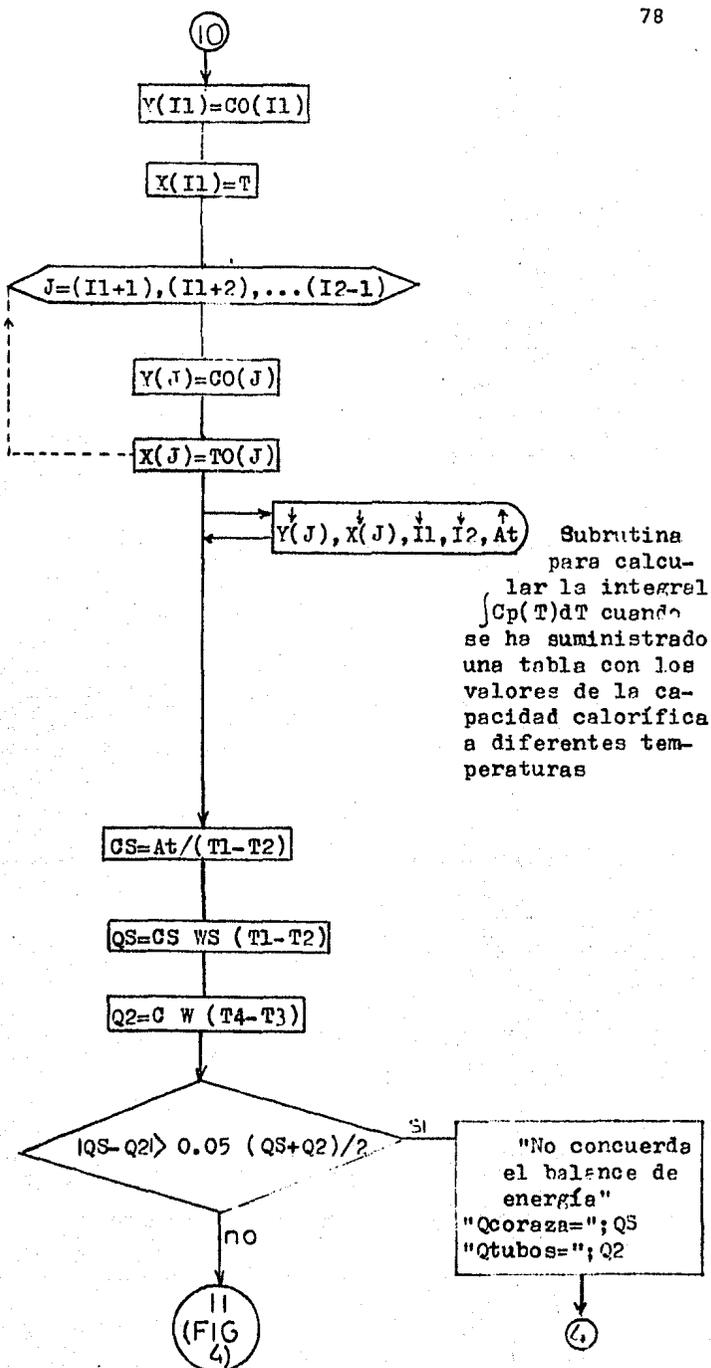


FIGURA 3  
pagina 4



parte del diagrama que realiza las operaciones descritas en estos últimos párrafos.

Número de Pasos por la Envolvente, Cálculo del  $F_t$  y del LMTD.

Una vez que se ha calculado el calor que libera el fluido que se enfría y el calor que absorbe el fluido que se calienta, y se ha comprobado que son muy similares, se saca el promedio aritmético de los dos, este promedio es el que se utilizará para realizar los posteriores cálculos.

A continuación el programa se encarga de identificar al fluido más caliente y guarda su temperatura de entrada y de salida en las variables T5 y T6 respectivamente, las temperaturas de entrada y salida del fluido frío las guarda en otras variables, las variables T7 y T8 respectivamente. Esto se hace porque en algunas partes del programa es necesario conocer cuales son las temperaturas del fluido caliente y del fluido frío sin que importe si van por los tubos o por la envolvente.

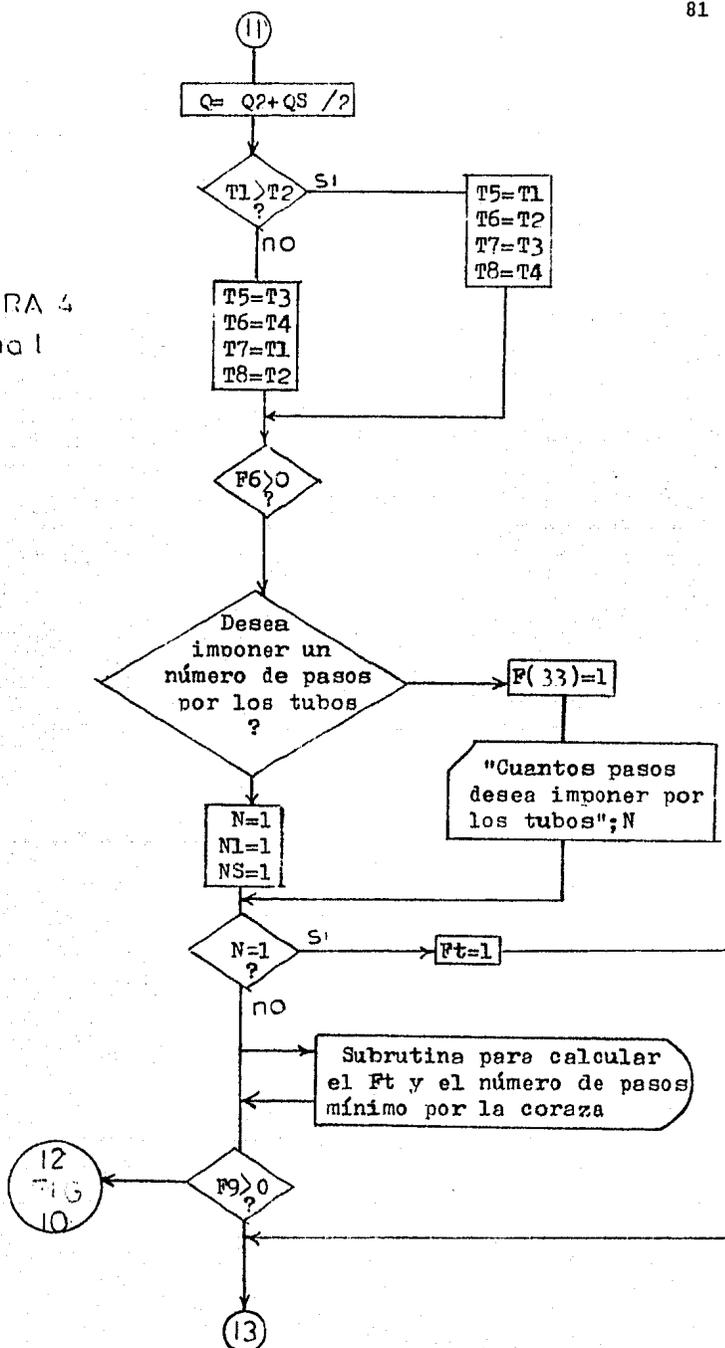
A estas alturas no se puede determinar todavía cual es el número mínimo de pasos por los tubos que se puede utilizar. En esta parte, el programa pregunta si el usuario desea imponer un número de pasos por los tubos; si el usuario no desea imponer un número de pasos por los tubos, el programa hace lo siguiente: propone un intercambiador con un paso por los tubos y un paso por la envolvente, para este inter-

cambiador no es necesario calcular el factor  $F_t$  ya que cuando se utiliza un solo paso por los tubos el LMTD no tiene que corregirse. A continuación se calcula el LMTD y se prosigue con la siguiente sección. Si el usuario desea imponer un número de pasos por los tubos deberá escoger entre los que se le mostrarán (1,2,4,6 u ocho), si el número de pasos escogido es igual a uno, el número de pasos por la envolvente será uno también, el programa no calculará el  $F_t$  y continuará la ejecución en la siguiente sección. Si el número de pasos escogido por el usuario es mayor que uno, el programa calculará el  $F_t$  y el número de pasos necesarios por la envolvente auxiliado por una subrutina. Más adelante, cuando el programa ya disponga de datos suficientes, podrá determinar cual es el número de pasos mínimo que requiera el intercambiador del lado de los tubos. Si el usuario no impuso un número de pasos por los tubos y el número mínimo de pasos calculados por el programa es mayor que no, se incrementará el número de pasos por los tubos, se volverá a utilizar la subrutina que calcula el  $F_t$  y el número de pasos requeridos por la envolvente y se continuará con la ejecución. El diagrama correspondiente a estos pasos se muestra en la figura 4.

#### Cálculo en los Tubos.

Comienzan los cálculos para diseñar el haz de tubos. El programa pregunta el valor de las limitaciones que debe

FIGURA 4  
pagina 1



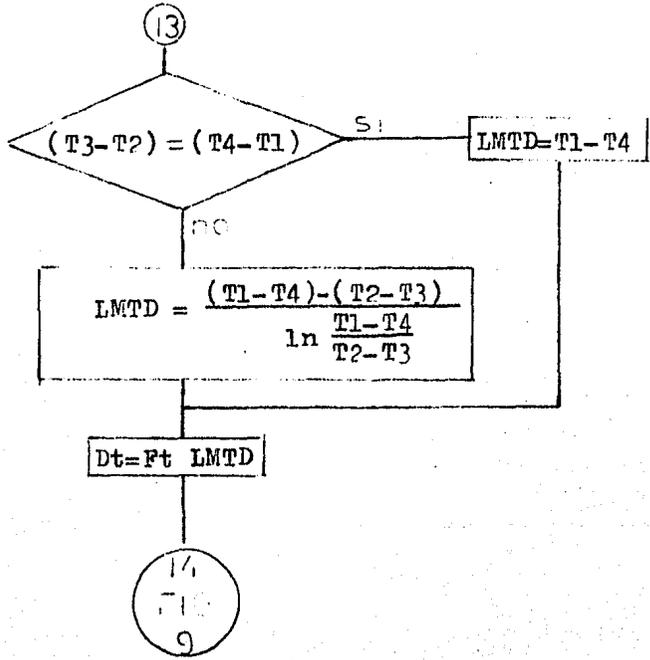


FIGURA 4  
pagina 2

respetar el fluido que circula por dentro de los tubos: caída de presión máxima permitida y velocidad mínima permitida, también pregunta la longitud máxima y la longitud mínima que pueden tener los tubos. El disco en el que se encuentra almacenado el programa contiene dos archivos que contienen tablas de cuenta de tubos, en uno de ellos se encuentran las tablas que aparecen en el libro de Kern y en el otro se encuentran las que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico, el programa cuenta con dos subrutinas que se encargan de mostrar el catálogo de los arreglos guardados en cada archivo. El programa pregunta que tablas se desean usar, las del libro de Kern o las del Manual del Ingeniero Químico, en cada caso el programa mandará llamar a la subrutina que se encarga de mostrar los arreglos disponibles en el archivo correspondiente. El usuario debe escoger un arreglo de los que se le muestren, una vez que lo hace, continúa la ejecución del programa. En este punto el programa calcula el diámetro equivalente del arreglo escogido para poderlo utilizar posteriormente al evaluar las condiciones a las que circula el fluido que pasa por la envolvente. Si las propiedades físicas de cada fluido fueron alimentadas a sus temperaturas promedio, el programa no calculará la temperatura calórica de cada fluido y utilizará las propiedades físicas alimentadas a esa temperatura promedio para realizar los cálculos de los coeficientes y caídas de presión, por eso es con

veniente que las propiedades físicas del fluido no varien mucho en el rango de temperaturas al que el fluido se encuentre si se han alimentado las propiedades físicas a su temperatura promedio, para que dicha temperatura sea representativa del rango de temperaturas que tenga el fluido.

Ya se mencionó que la forma es la que diseña intercambiadores el programa es la siguiente: se le propone un intercambiador, el programa revisa si dicho intercambiador cumple con las limitaciones impuestas, si no cumple, el programa le hace modificaciones y vuelve a revisarlo; así continuará hasta que el intercambiador escogido cumpla con las limitaciones impuestas o hasta que ya no se puedan hacer modificaciones. La forma en la que se realizarán modificaciones al intercambiador dependerá de las respuestas que se den a las preguntas que posteriormente se mostrarán.

Con los datos que se le han suministrado al programa ya está en posibilidades de calcular la velocidad mínima a la que se podrá mover el fluido por dentro de los tubos, con esta velocidad ya se puede determinar el número máximo de tubos que puede tener el intercambiador; por otra parte los valores que pueden tomar la longitud deberán estar dentro del rango impuesto por el usuario y deberán ser valores estándar. Con estos datos se tiene bien delimitado el conjunto de intercambiadores que hay que probar para verificar si pueden cumplir con las limitaciones impuestas.

Las preguntas cuyas respuestas determinarán como se probarán los intercambiadores son: "¿Desea proponer una velocidad para el fluido que circula por dentro de los tubos?", si se responde afirmativamente el programa preguntará por la velocidad propuesta; si se responde negativamente el programa hará otra pregunta: "¿Desea proponer una longitud para los tubos?", si se responde afirmativamente el programa preguntará cual es la longitud propuesta. Si el usuario ha propuesto una velocidad o una longitud el programa le hará otra pregunta: "¿Desea proponer un coeficiente de transferencia de calor?" si el usuario tiene noción del valor que debe tener el coeficiente puede proponer un valor.

Para ilustrar como harán que se comporte el programa las respuestas a las preguntas que arriba se mencionan, es conveniente representar esquemáticamente el conjunto de intercambiadores que podrían satisfacer las limitaciones impuestas. Supongamos que los intercambiadores que podrían cumplir con las limitaciones impuestas para un caso dado están representados en la figura 5. Cada rectángulo de esta figura representa el área de un intercambiador, los rectángulos que se encuentran en una misma fila representan intercambiadores que tienen el mismo número de tubos y los rectángulos que se encuentra en una misma columna representan intercambiadores que tienen la misma longitud, de tal manera que si avanzamos de izquierda a derecha por una fila, nos iremos

encontrando con intercambiadores que tienen el mismo número de tubos y longitudes cada vez mayores, y si avanzamos de a rriba a abajo a lo largo de una columna, nos encontraremos con intercambiadores que tienen la misma longitud y cada vez más tubos. Los intercambiadores que se encuentran en la fi la de más abajo son los que tienen el número de tubos máximo posible, por tanto, son los que manejan el fluido que va

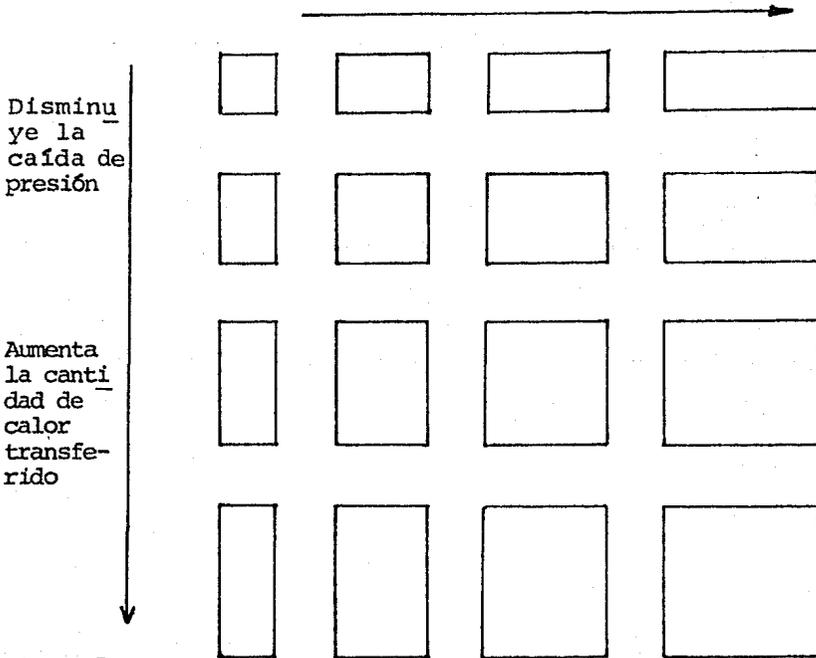


Figura 5

- Aumenta la caída de presión
- Aumenta la cantidad total de calor transferido

por los tubos a la velocidad mínima posible (esta velocidad

puede ser la mínima impuesta por el usuario o la que permita que el fluido se mueva con un número de Reynolds igual a 2,500, la que sea mayor de las dos; ver el diagrama de flujo de esta parte del programa); los intercambiadores que se representan en la columna de más a la izquierda son los que tienen la longitud mínima posible, los intercambiadores que se representan en la columna de más a la derecha son los que tienen la longitud máxima posible. En una fila, los intercambiadores que se encuentran a la derecha provocarán una mayor caída de presión al fluido que circulará por el interior de los tubos que los que se encuentran a la izquierda. En una columna, los intercambiadores que se encuentran en la parte inferior provocarán caídas de presión menores al fluido que circula por el interior de los tubos que los que se encuentran en la parte superior. El aumento de área de un intercambiador (aumento del número de tubos o aumento de la longitud) favorecerá por lo general, el aumento de la cantidad de calor que transferirá el intercambiador.

Ahora se verá lo que hará el programa dependiendo de las respuestas que se den a las preguntas que determinarán la forma en la que se aumentará el área de transferencia de calor, y la forma en la que se propondrá el primer intercambiador. Si se ha respondido afirmativamente a la pregunta "¿Desea proponer una velocidad para el fluido que circula por dentro de los tubos?", el programa propondrá un intercambiador con número tal de tubos que se aproxime lo más po-

sible a la velocidad propuesta; si a la siguiente pregunta que le hace el programa ("¿Desea proponer un coeficiente de transferencia de calor?") el usuario también responde afirmativamente, a partir del número de tubos que calcule y del coeficiente que se le de, calculará el programa una longitud y la aproximará a la longitud estándar más cercana, si en cambio responde negativamente a esta última pregunta, la longitud que escogerá el programa será la menor impuesta por el usuario. Si se ha respondido negativamente a la pregunta "¿Desea proponer una velocidad para el fluido que circula por dentro de los tubos?", el programa hará la siguiente pregunta: "¿Desea proponer una longitud para los tubos?, si se responde afirmativamente a esta pregunta, el programa aproximará a la longitud estándar más cercana la longitud alimentada, como en el caso anterior la siguiente pregunta que hará el programa será: "¿Desea proponer un coeficiente de transferencia de calor?", si se propone un coeficiente, con éste y la longitud estándar obtenida se calcula el número de tubos que debe llevar el intercambiador; si a esta última pregunta se responde negativamente, el número de tubos que se escogerá para el haz será el menor que tenga la tabla de cuenta de tubos que se cargue en la memoria.

Si no se desea proponer ni una velocidad ni una longitud, el programa no preguntará si se desea proponer un coeficiente de transferencia de calor y el primer intercambia-

dor que propondrá será el que tenga el número de tubos menor y la mínima longitud fijada con anterioridad por el usuario.

En este punto ya se cuenta con un haz de tubos propuesto, el siguiente paso que realizará el programa será evaluarlo para verificar si cumple o no con las limitaciones que se impusieron. Si el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos tiene un valor menor al requerido, el programa aumentará el área de transferencia de calor aumentando la longitud del haz de tubos a la siguiente estándar si lo que se propuso fue una velocidad, o aumentando el número de tubos si lo que se propuso fue una longitud. Si al calcular la caída de presión se obtiene que es mayor a la máxima permitida se tratará de disminuir aumentando el número de tubos por paso o disminuyendo la longitud, dependiendo de si se propuso una longitud o una velocidad y de si es posible realizar la modificación respetando las limitaciones dadas.

A continuación, se ilustraran en esquemas como el de la figura 5, la forma en la que se llevarán a cabo las modificaciones del haz de tubos para diferentes casos, si el intercambiador propuesto no satisface los requerimientos que se le piden.

Antes de mostrar los ejemplos es importante recordar lo siguiente: Si se propuso una velocidad y es necesario hacerle una modificación al haz de tubos propuesto para au

mentar el área de transferencia de calor o disminuir la caída de presión que sufre el fluido que fluye por el interior de los tubos, esta modificación se llevará a cabo tratando de aumentar o disminuir la longitud para tratar de respetar la velocidad propuesta, sólo se modificará el número de tubos si no es posible modificar la longitud.

Si se propuso una longitud y es necesario hacerle una modificación al haz de tubos propuestos para aumentar el área de transferencia de calor o disminuir la caída de presión que sufre el fluido que circula por el interior de los tubos, esta modificación se llevará a cabo tratando de aumentar el número de tubos para tratar de respetar la longitud propuesta, sólo se modificará la longitud si no es posible aumentar el número de tubos.

Hechas las anteriores aclaraciones se pueden ya mostrar los ejemplos.

Supongamos que se ha propuesto una velocidad y un coeficiente de diseño y que el haz de tubos obtenido a partir de estas suposiciones es el que lleva el número 1 en la figura 6. Supongamos que el programa ha calculado el coeficiente interno de transferencia de calor y que éste es menor al coeficiente de diseño, se requerirá entonces aumentar el área; el programa aumentará el área aumentando la longitud, proponiendo así el haz de tubos que lleva el número 2, calculará nuevamente el coeficiente de diseño y el interno. Si el se-

gundo sigue siendo menor al primero, el programa deberá aumentar el área, supóngase que este es el caso. El programa entonces aumentará el área aumentando la longitud proponiendo el haz de tubos que lleva el número 3. Vuelve a calcular los coeficientes y si esta vez tienen los valores requeridos, el haz de tubos ya cumple térmicamente. A continuación se calcula la caída de presión, si resulta ser mayor a la máxima permitida el programa intentará primero disminuirla disminuyendo la longitud, pero como ésta fue aumentada para aumentar el área de transferencia de calor, no puede ser disminuida o se provocará que el intercambiador ya no cumpla térmicamente, por esto no le queda otra opción que aumentar el número de tubos: los aumenta y propone así el haz de tubos que lleva el número 4. Se vuelven a evaluar los coeficientes y la caída de presión, si esta es igual o menor a la máxima permitida, se proceden a realizar los cálculos del lado de la envolvente.

Nótese que como se impuso la velocidad, el programa trata de modificar solamente la longitud para tratar de respetar la velocidad impuesta, varía el número de tubos, y con esto la velocidad, cuando ya no puede alterar la longitud.

Ahora supongamos que se ha propuesto una longitud y un coeficiente de diseño y que el haz de tubos obtenido a partir de estas suposiciones es el que lleva el número 1 en la figura 7, que es un esquema como el de la figura 5. Se calcu-

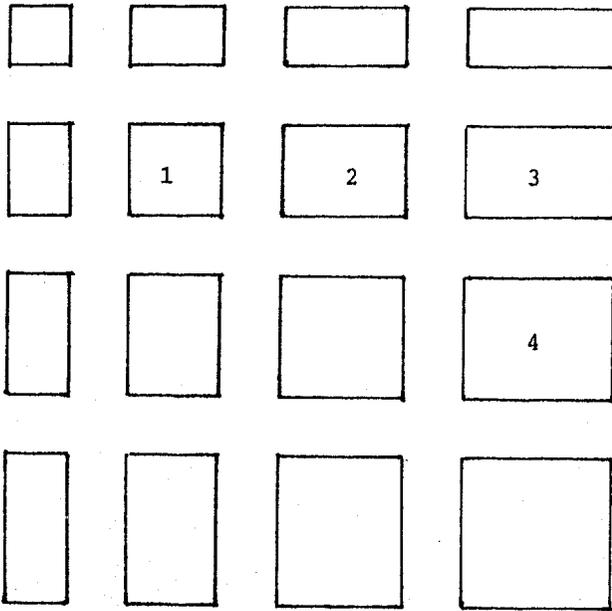


Figura 6

la el coeficiente de transferencia de calor y el coeficiente de diseño y, si el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos resulta ser menor, igual o muy cercano al coeficiente de diseño, el intercambiador requerira mayor área de transferencia; como se propuso una longitud el aumento de área se lleva a cabo aumentando el número de tubos. Se propone el intercambiador que lleva el número 2, se vuelven a calcular los coeficientes y se observa si el haz de tubos cumple térmicamente; supóngase que este haz de tubos si cumple térmicamente, inmediatamente el programa procede a calcular la caída de presión, si ésta

resulta ser mayor a la máxima permitida, el programa (tratando de respetar la longitud propuesta aumentará una vez más el número de tubos, esta vez con el objeto de disminuir la velocidad y así disminuir la caída de presión. El programa volverá a calcular los coeficientes de transferencia de calor y la caída de presión; si la caída de presión sigue siendo mayor a la máxima permitida, el programa disminuirá la longitud ya que no puede aumentar más el número de tubos. Al disminuir la longitud es seguro que disminuirá la caída de presión, pero también disminuirá el área de transferencia de calor (la disminución del área de transferencia de calor debida a esta disminución de la longitud tal vez sea compensada en este caso por el segundo aumento al número de tubos que se hizo con el objeto de disminuir la caída de presión, todo depende de la cantidad de tubos aumentada y de la longitud en que fue disminuido el intercambiador), se vuelven a calcular los coeficientes de transferencia de calor, y esta vez (a diferencia de la anterior) es probable que el intercambiador no cumpla térmicamente; es importante mencionar como se comportará el programa en este caso y en el caso de que si cumpla térmicamente: a) Si no cumple térmicamente. El programa ha propuesto el haz de tubos marcado con el número 4, si no cumple térmicamente en ese momento el programa volverá a aumentar la longitud proponiendo así otra vez el haz de tubos que lleva el número 3, lo volverá a evaluar y lógicamente

camente obtendrá los resultados que ya había obtenido al evaluarlo con anterioridad: si cumple térmicamente pero no hidráulicamente, esta vez el programa ya no volverá a disminuir la longitud intentando abatir la caída de presión, porque la subrutina encargada de aumentar el área prendió una bandera la última vez que se aumentó la longitud, y esta bandera prendida impedirá que se disminuya otra vez la longitud; como ya no se puede disminuir la longitud ni aumentar el número de tubos, la caída de presión no puede ser disminuida (el número de pasos por los tubos tampoco puede ser disminuido porque el programa trabaja con un número de pasos impuesto por el usuario, o con el número de paso mínimo indispensable si éste no fue impuesto por el usuario) y por tanto no puede diseñarse un intercambiador que cumpla con las condiciones dadas. Resumiendo, en este caso la secuencia con la que fueron probados los haces de tubos fue: 1,2,3,4,5 y no fue posible obtener un haz que cumpliera con las limitaciones impuestas. b) Si cumple térmicamente. Una vez que se ha evaluado térmicamente al haz de tubos que lleva el número 4, se procede a calcular la caída de presión, si resulta ser menor o igual a la máxima permitida el haz de tubos será uno de los que sirven, si la caída de presión es mayor a la máxima permitida, el programa disminuirá otra vez la longitud y evaluará otra vez el intercambiador, lo seguirá haciendo hasta que se encuentre un haz de tubos que cumpla

con las limitaciones impuestas o hasta que el haz de tubos ya no pueda cumplir térmicamente o hasta que ya no se pueda disminuir la longitud, en este último caso el programa se comportará como en el inciso a). Algunas de las secuencias con las que serían probados los haces en este caso pueden ser: 1, 2, 3, 4 en este caso el haz de tubos que cumple con las limitaciones es el 4; 1,2,3,4,5, 4 en este caso no es posible obtener un haz de tubos que cumpla con las limitaciones impuestas; 1,2,3,4,5 en este caso el intercambiador 5 es el que cumple con las limitaciones impuestas.

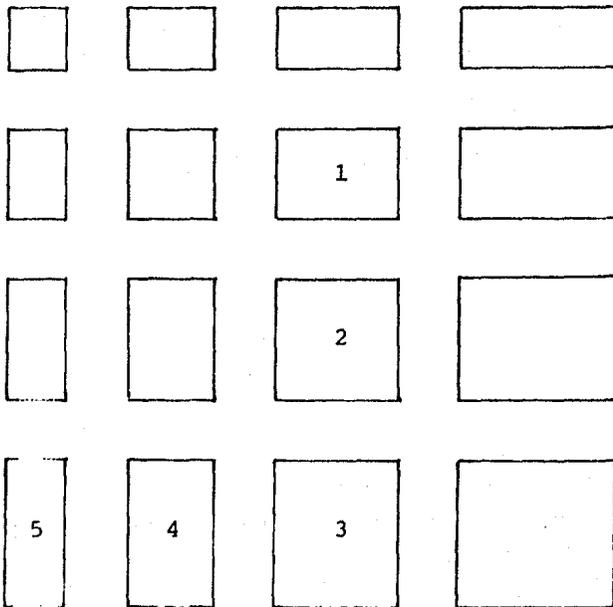


Figura 7

En los dos ejemplos anteriores se propusieron coeficientes de diseño; veamos que haces de tubos serán propuestos si no se proponen coeficientes de diseño.

Si se propone una velocidad pero no se propone un coeficiente de diseño, dependiendo de la velocidad propuesta el programa propondrá cualquiera de los intercambiadores que se encuentran en la columna de más a la izquierda de la figura 5. Si se propone una longitud pero no se propone un coeficiente de diseño, dependiendo de la longitud propuesta el programa propondrá alguno de los intercambiadores que se encuentran en la fila de más arriba de la figura 5. La forma en la que se irán escogiendo los haces de tubos en caso de que el haz propuesto no funcione será la misma que se ha descrito en los ejemplos anteriores.

Cuando no se propone ni una velocidad ni una longitud, los haces de tubos a probar se irán eligiendo de la siguiente manera: el primer haz propuesto será el que tenga menor área de transferencia, esto es, el que tenga menor número de tubos y menor longitud, si al probarlo resulta que le falta área de transferencia, se le aumentará la longitud y se probará nuevamente, si sigue faltándole área se repetirá este procedimiento hasta encontrar al haz de tubos que tenga la longitud estándar máxima impuesta, si a este haz de tubos le falta todavía área de transferencia de calor se propondrá el intercambiador con el número de tubos inmediatamente mayor y

con la longitud mínima impuesta, si a este intercambiador le falta área de transferencia se procederá como en la fila anterior. La forma en la que se irán eligiendo los haces se muestra en la figura 8.

Si el haz de tubos ya cumple térmicamente se procede a calcular la caída de presión que sufre el fluido que va por su interior. Si la caída de presión calculada resulta ser mayor a la máxima impuesta, el programa escogerá el haz de tu bos con el número inmediato mayor de éstos y con la longitud mínima impuesta y volverá a evaluarlo para ver si cumple tér micamente, si no cumple, le aumentará la longitud a la inme- diata superior y lo volverá a evaluar, así se comportará has ta que el haz de tubos vuelva a cumplir térmicamente, enton- ces volverá a calcular la caída de presión para ver si es me nor o igual a la máxima permitida, si es mayor se volverá a comportar como al principio de este párrafo se describe.

En la figura 9 se muestra la parte del diagrama de flu- jo donde se hacen las preguntas sobre las limitaciones que debe cumplir el flujo que circulará por el interior de los tu bos, y donde se hacen las preguntas que determinarán el com- portamiento del programa.

En la figura 10, se muestra la parte del diagrama de flu- jo donde se calcula la velocidad a la cual el número de Rey- nolds será igual a 2,500 ( $V_2$ ), esta velocidad se compara con la velocidad mínima impuesta por el usuario ( $V_3$ ), la veloci-

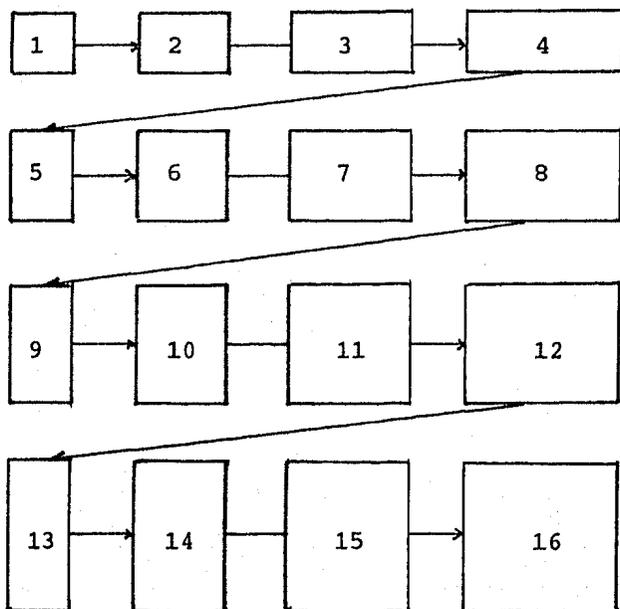


Figura 8

dad mínima que servirá para limitar el rango de los intercambiables que se pueden usar será la mayor de estas dos velocidades, en el diagrama es designada con el nombre de  $V_{\min}$ .

En esta parte del diagrama el programa principal hace uso de una sección para encontrar el número mínimo de pasos que debe tener el haz de tubos (más adelante se explicará el funcionamiento de esta sección), en base a los resultados obtenidos por esta sección, la ejecución del programa continuará como se observa en el diagrama o regresará a calcular el número de pasos por la envolvente y el Ft.

Una vez que se ha calculado el número de pasos neces-

FIGURA 9  
pagina 1

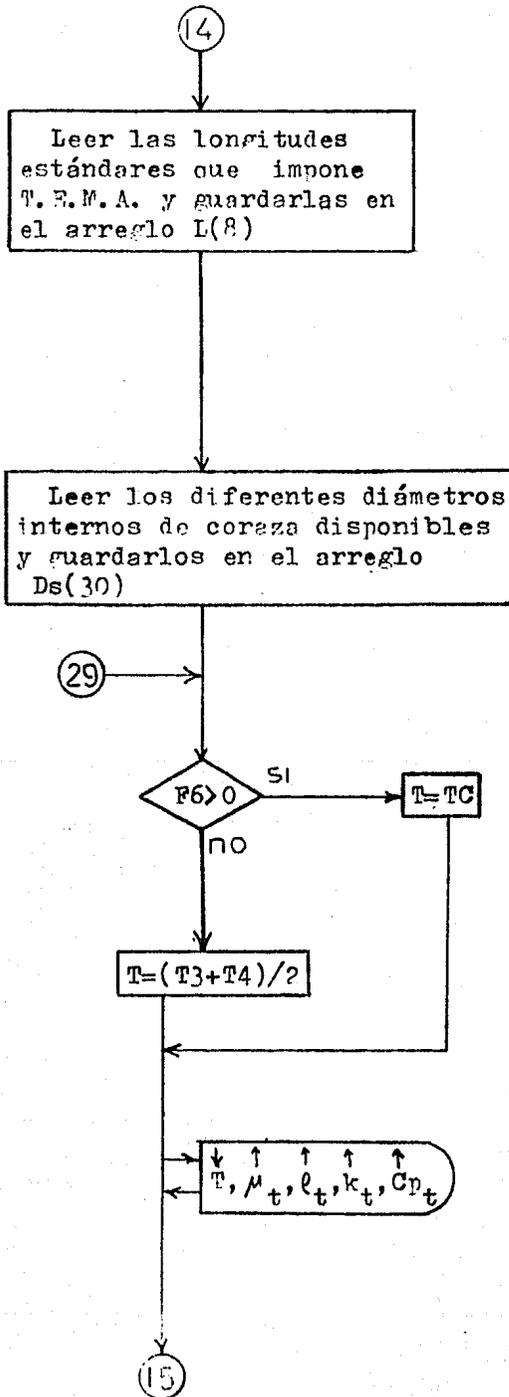
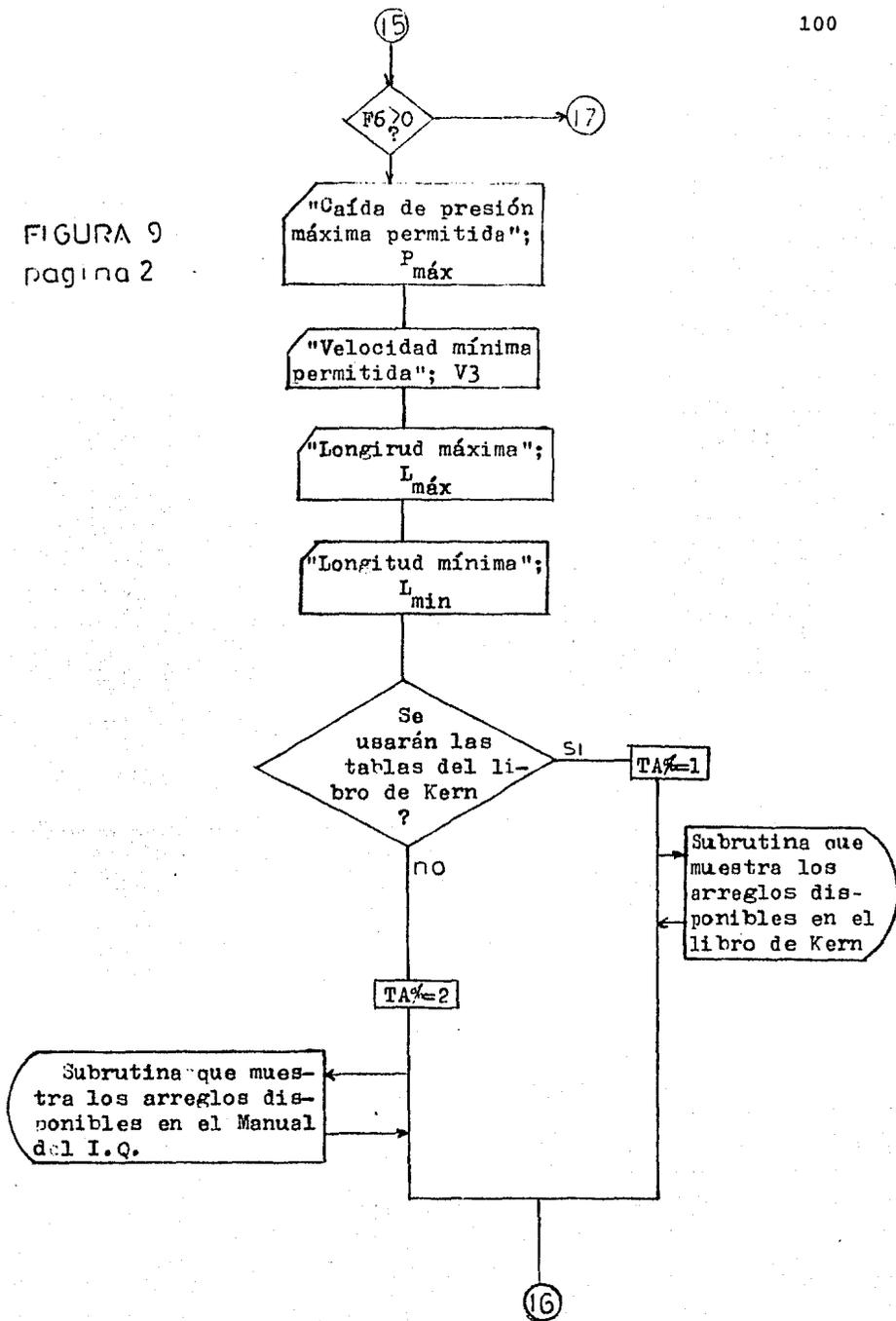
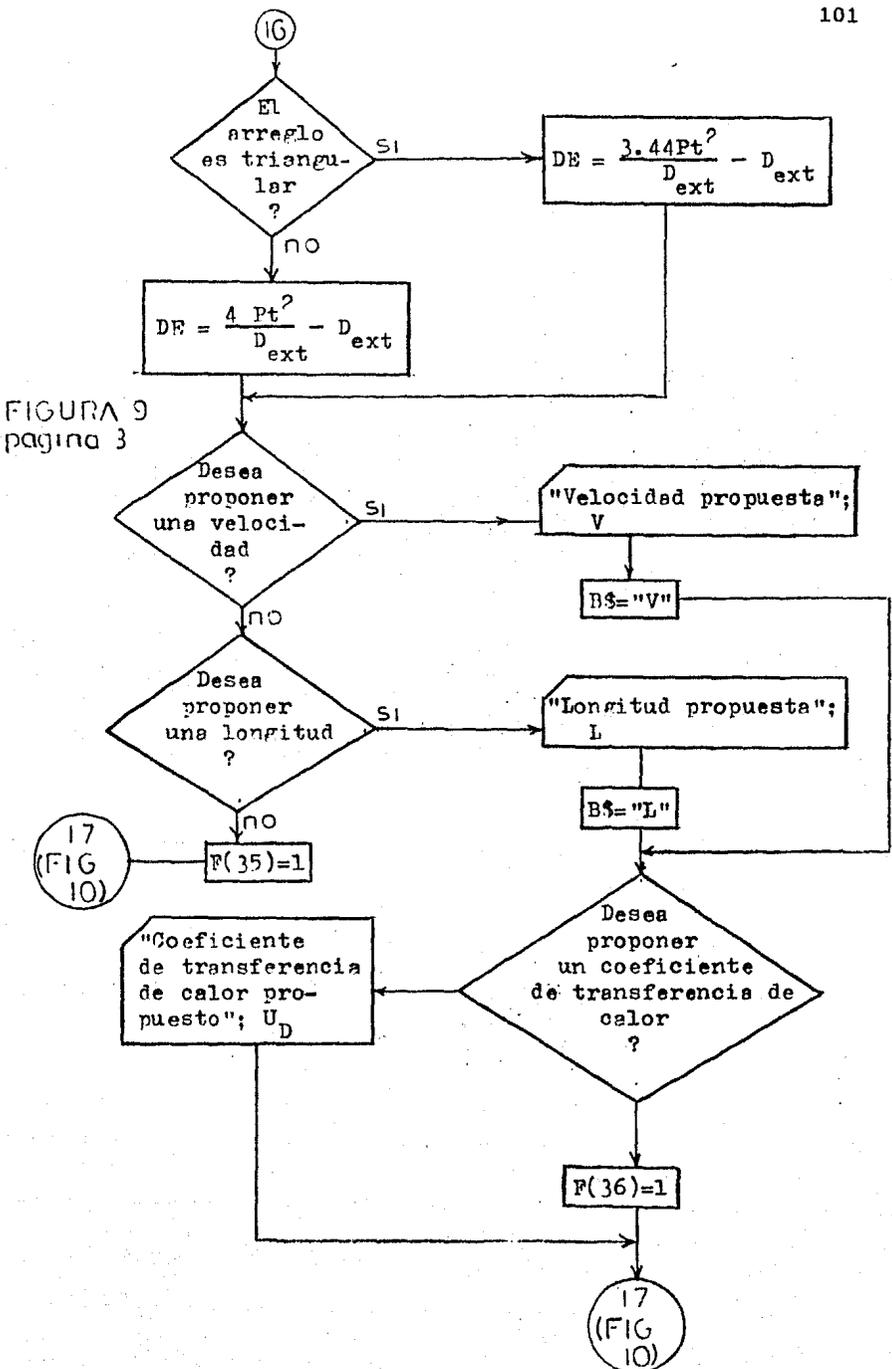


FIGURA 9  
pagina 2





rio por los tubos y por la envolvente, se procede a calcular el número de tubos máximo posible que se puede usar, para ello se calcula el flujo másico por unidad de área mínimo ( $G_{\min}$ ) utilizando la velocidad mínima obtenida al principio de esta parte del programa. A partir del  $G_{\min}$  se calcula el área transversal de flujo máxima y a partir de ésta se calcula el número de tubos máximo posible. Como ya el usuario ha escogido el arreglo, y el programa ha calculado el número de pasos necesario por los tubos, ya se puede cargar a la memoria la tabla de cuenta de tubos, el programa lo hace utilizando una subrutina. Una vez cargada la tabla de cuenta de tubos, el número de tubos arriba obtenido es estandarizado, es decir, se le asigna uno de los valores de la tabla cargada: el inmediato inferior del valor no estandarizado. La parte encargada de realizar esto es una subrutina.

En la última sección de esta parte del programa se realizan los cálculos para obtener el primer haz de tubos que se ha de probar. Si está encendida la bandera F(35), significará que no se propuso ni una velocidad ni una longitud, si está encendida la bandera F(36), significará que se propuso una velocidad o una longitud pero no un coeficiente de diseño; si ninguna de las dos banderas está prendida, significará que se propuso una velocidad o una longitud y que se propuso un coeficiente de diseño. En esta parte del diagrama se puede observar la forma en la que se obtendrá el pri-

FIGURA 10  
Pagina 1

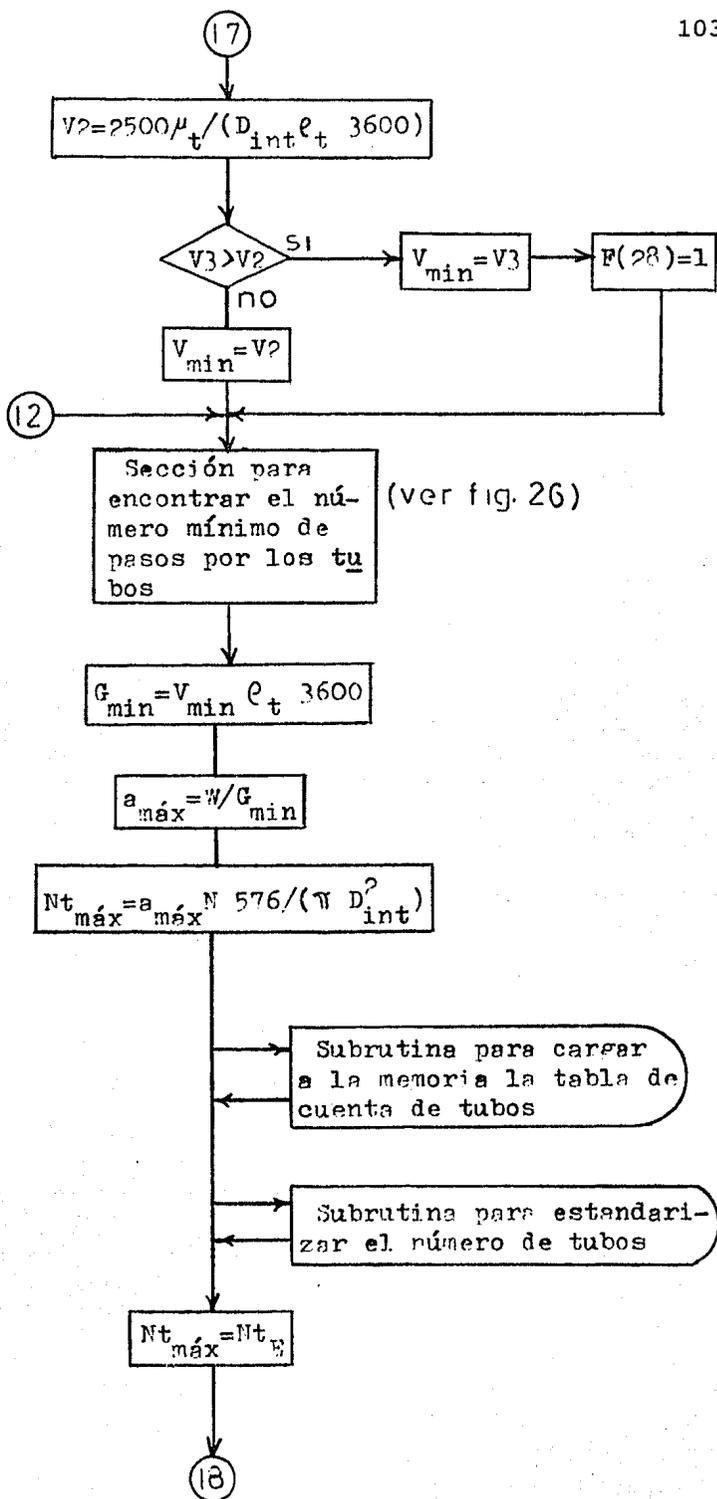


FIGURA 1.  
Algoritmo 2

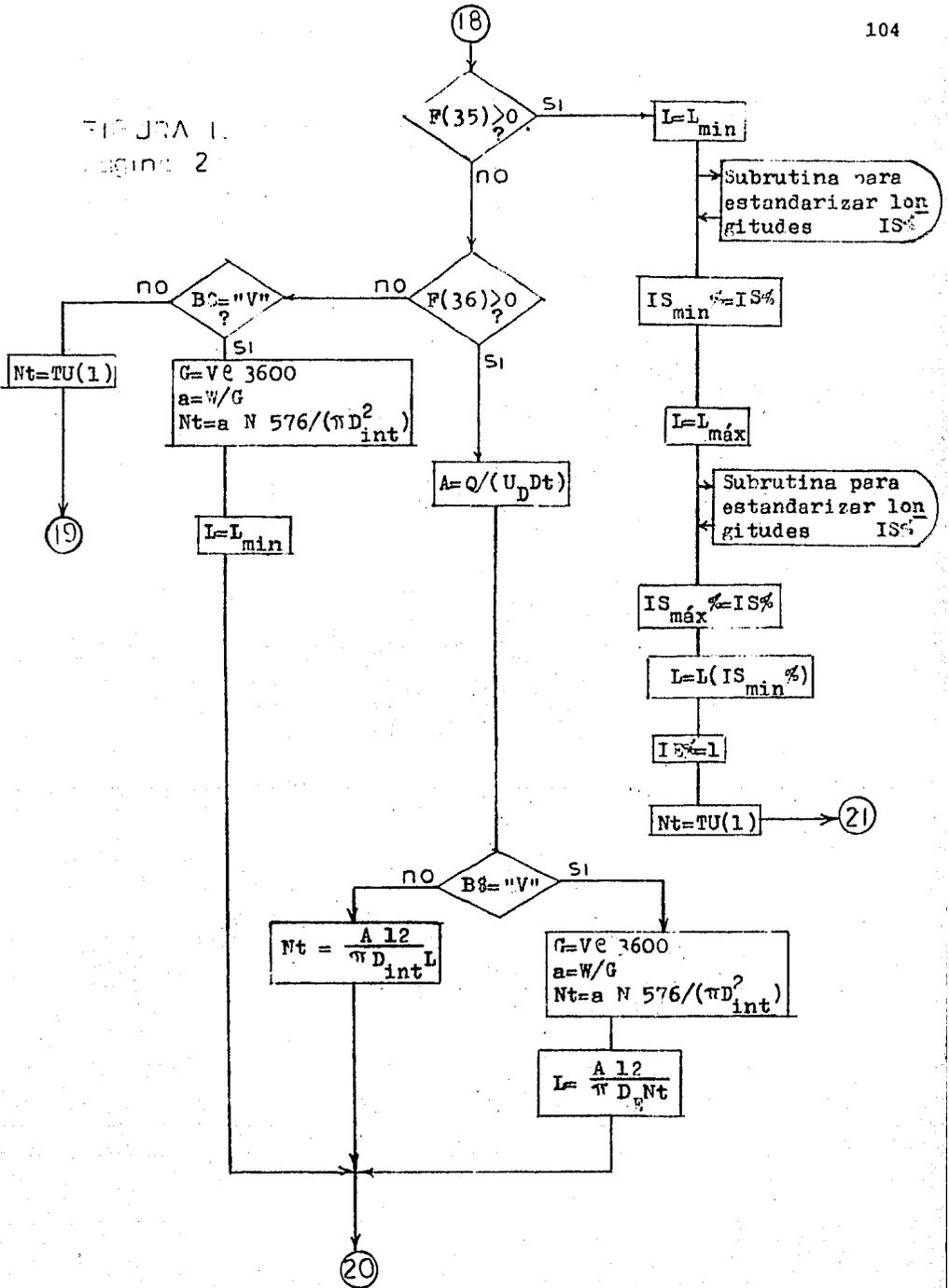
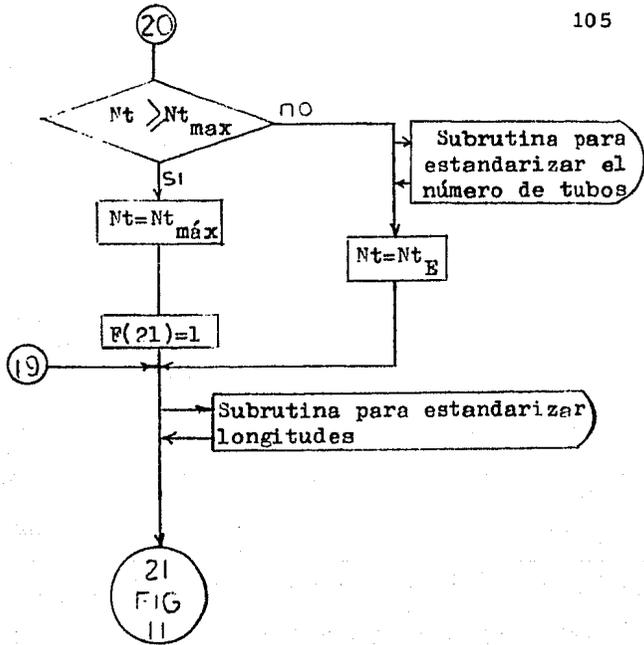


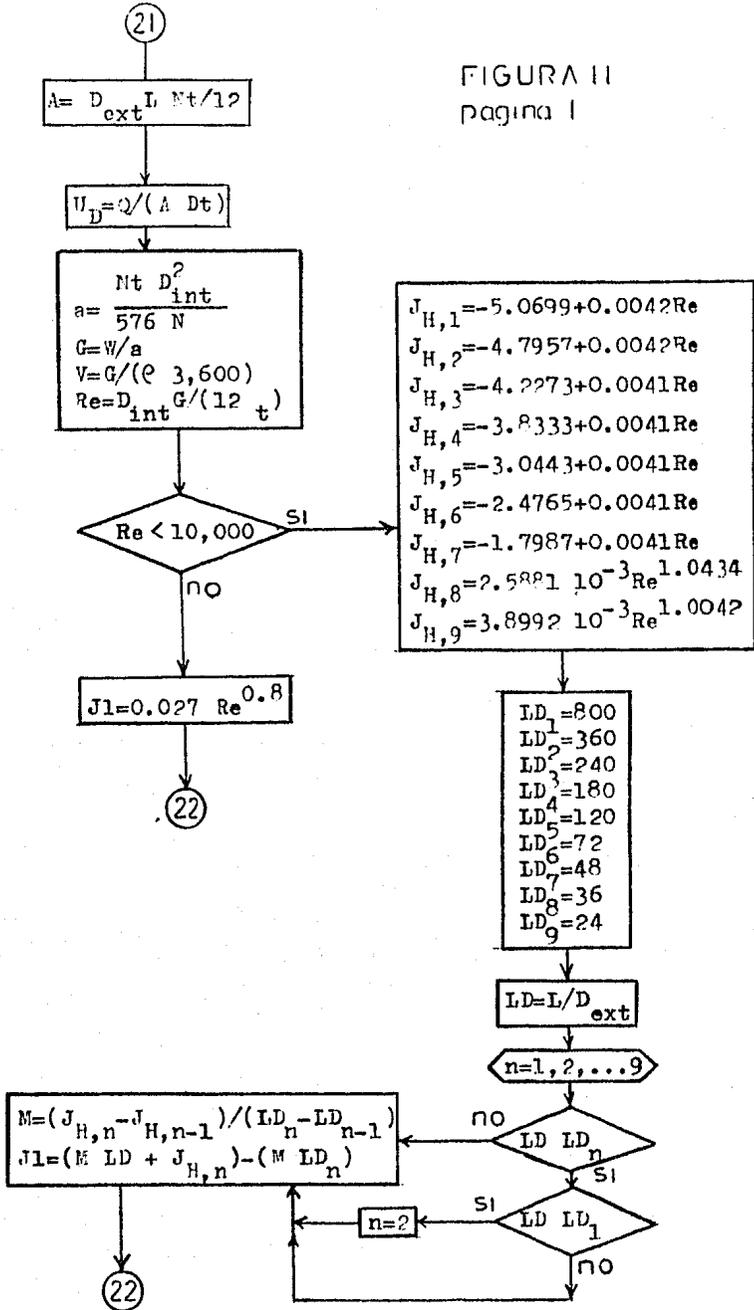
FIGURA 10  
Página 3

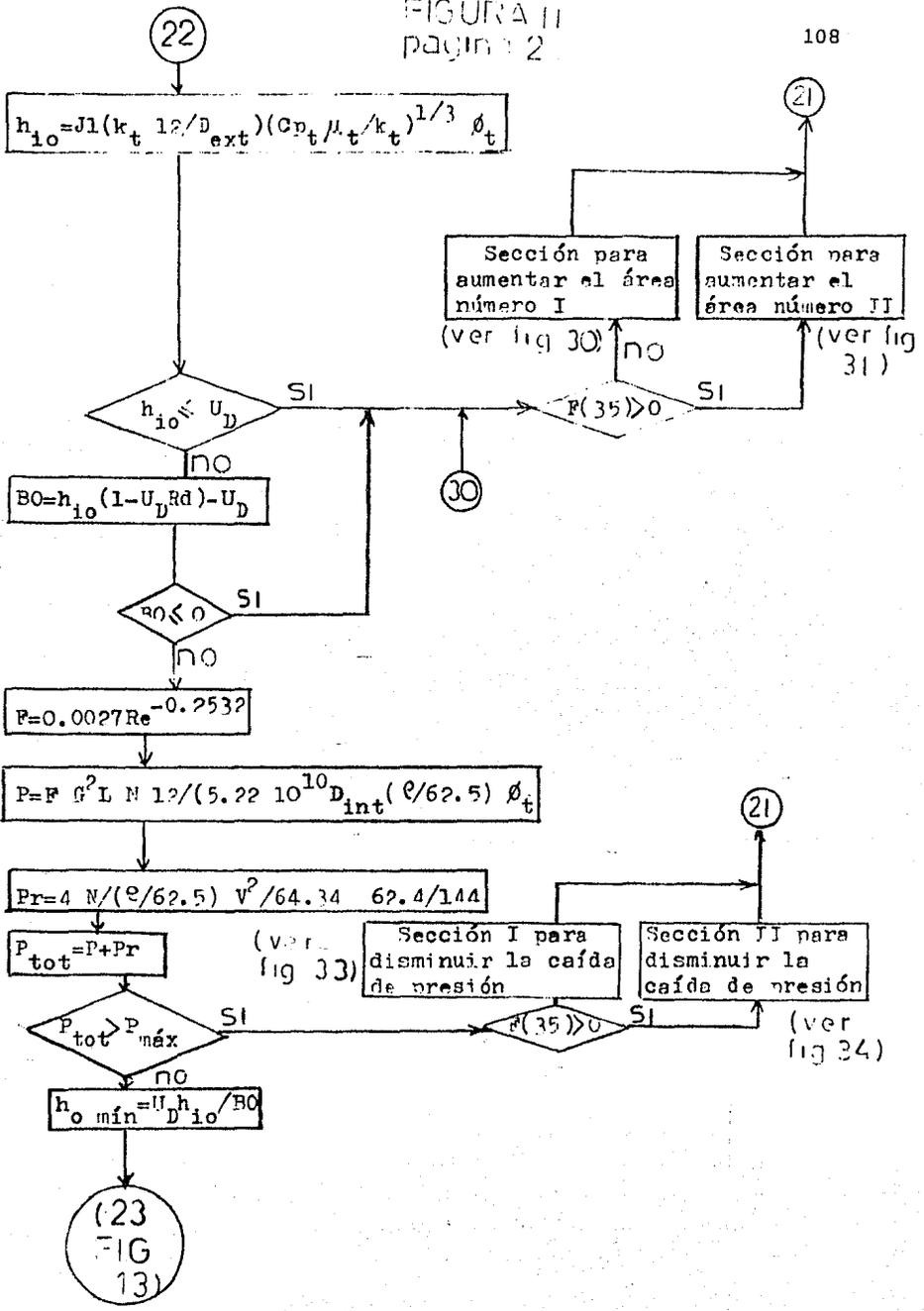


mer haz de tubos dependiendo de las variables supuestas como ya se explicó en párrafos anteriores.

La siguiente parte del diagrama (figura 11) muestra la forma en la que es evaluado el haz de tubos y las modificaciones que se le hacen si no cumple térmica o hidráulicamente. Primero calcula el área del haz de tubos propuestos y con esta área calcula el coeficiente de diseño  $U_D$ ; posteriormente calcula el área transversal por donde circulará el fluido que va por dentro de los tubos y a partir de ésta se calcula el flujo másico por unidad de área ( $G$ ). Una vez calculado  $G$  se procede a calcular la velocidad y el número de Reynolds del flujo. Con estos datos y con las propiedades físicas que ya han sido obtenidas se puede calcular el coeficiente interno de transferencia de calor y la caída de presión. Se calcula primero el coeficiente interno de transferencia de calor referido al área externa del tubo ( $h_{i0}$ ). Este coeficiente debe ser mayor al coeficiente de diseño (ver el método de Kern), si no es mayor, esto significará que el intercambiador requiere más área de transferencia de calor. El programa tiene dos secciones para aumentar el área: la sección I es usada cuando el usuario ha propuesto una velocidad o una longitud, y la sección II es usada cuando no se ha propuesto ni una velocidad ni una longitud, la forma como aumentan el área de transferencia de calor estas dos secciones ha sido ya ilustrada con ejemplos y esquemas en pá-

FIGURA II  
pagina 1





rrafos anteriores. El programa hace uso de estas secciones cuando requiere aumentar el área. El área puede ser aumentada de tres maneras: aumentando la longitud, aumentando el número de tubos y aumentando el número de pasos; una vez que las secciones para el aumento de áreas han llevado a cabo alguna o algunas de las modificaciones posibles, la ejecución vuelve al punto del programa principal donde se calcula el área del haz de tubos y el coeficiente de diseño. Se continúa con este ciclo hasta que se encuentre un haz de tubos para el que  $h_{i0}$  sea mayor al  $U_D$ , si tal haz de tubos no existe o no está dentro del rango de intercambiadores obtenido a partir de las limitaciones impuestas, las secciones para aumentar el área mandarán la ejecución a una sección que informa al usuario las causas por las que no se puede obtener un haz de tubos que cumpla con las limitaciones impuestas (el funcionamiento de dicha sección será explicado más adelante).

Una vez que el  $h_{i0}$  sea mayor al  $U_D$  continúa la ejecución del programa adelante. Si se ha impuesto un factor de suciedad ( $R_d$ , la resistencia a la transferencia de calor debido a las capas de sólidos que suelen depositarse en las paredes de los tubos; ver método de Kern) se debe probar si el coeficiente  $h_{i0}$  es lo suficientemente grande como para compensar esta resistencia. Si la expresión  $h_{i0} (1 - U_D R_D) - U_D$  resulta ser menor o igual a cero, significará que el

intercambiador requerirá aun más área de transferencia de calor, en este caso se utilizará la sección correspondiente para aumentar el área de transferencia de calor.

Una vez que los coeficientes  $h_{i0}$  y  $U_D$  tienen los valores correctos el programa continúa, se calcula la caída de presión que el haz de tubos provoca al flujo que circula por su interior. Primero calcula el factor de fricción luego la caída de presión en la parte recta de los tubos y en los retornos y por último calcula la caída de presión total. Si esta caída de presión resulta ser mayor a la máxima permitida se le deben hacer modificaciones al haz de tubos, estas modificaciones pueden ser: aumentar el número de tubos, disminuir la longitud y disminuir el número de pasos. Cuando el usuario no ha impuesto un número de pasos por los tubos, este programa está diseñado para trabajar con el número mínimo de pasos por éstos, por tanto no puede ser disminuido el número de pasos por los tubos o de lo contrario no podrá cumplir térmicamente el intercambiador, y en caso de que el usuario haya impuesto un número de pasos por los tubos, el programa no se los modificará ya que está diseñado para respetar el número impuesto; de esta manera el programa sólo puede tratar de disminuir la caída de presión disminuyendo la longitud o aumentando el número de tubos. Una de estas modificaciones se puede oponer a una de las modificaciones realizadas por las secciones en-

cargadas de aumentar el área: la disminución de la longitud. Como ya se comentó en la descripción sucinta, esto se evita mediante el uso de una bandera que se enciende (que toma el valor de uno) cuando la longitud ha sido aumentada por alguna de las secciones que se encargan de aumentar el área, cuando entra en acción alguna de las secciones que se encargan de disminuir la caída de presión y se requiere disminuir la longitud, primero se revisa si la bandera está encendida, si no lo está, se disminuye la longitud del haz de tubos a la inmediata inferior estándar, y si la bandera está prendida no se disminuye la longitud. El programa tiene dos secciones para disminuir la caída de presión si es necesario, la sección I se utiliza si el usuario propuso una velocidad o una longitud; si el usuario no propuso ni una velocidad ni una longitud, se utiliza la sección II para disminuir la caída de presión. Una vez que la sección indicada para disminuir la caída de presión ha hecho las modificaciones necesarias, la ejecución vuelve al punto donde se calcula el área de transferencia de calor del haz, como se puede observar en el diagrama. En caso de que sea imposible disminuir la caída de presión la ejecución continuará en la sección que se encarga de informar al usuario sobre las causas por la que no se puede disminuir la caída de presión. Cuando la caída de presión del fluido que circula por dentro de los tubos sea igual o menor a la máxima permitida se continúa con la siguiente parte del programa.

### Cálculo en la Coraza.

Con los datos que se tienen ya se puede calcular el valor mínimo que debe tener el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el lado de la envolvente, se calcula, y el programa pregunta a continuación cual es la caída máxima de presión que se puede permitir sufra el fluido que circula por la coraza. Para un arreglo de tubos dado el diámetro de la envolvente que los contiene depende del número de tubos; como el número de tubos ha sido ya elegido se tiene ya también el diámetro interno de la envolvente. La distancia entre mamparas que Kern recomienda debe estar en el siguiente rango: debe ser igual o mayor a la quinta parte del diámetro interno de la envolvente o a 2 pulgadas -lo que sea mayor- y menor o igual al diámetro interno de la envolvente.

El número de Reynolds mínimo que podrá tener el fluido que circula por la coraza es 1,000. Este número no corresponde a un cambio de patrón de flujo como en los tubos lo es un Reynolds de 10,000 o 2100, se ha elegido este número porque a números de Reynolds menores la función que se ha obtenido para calcular el factor de fricción  $f$  ya no da valores confiables, además a números de Reynolds menores la transferencia de calor es baja. Por tanto, a la distancia máxima entre mamparas se le debe imponer también la siguiente restricción: debe ser tal que el número de Reynolds

de flujo no sea menor a 1000. Para calcular la distancia máxima entre mamparas que puede tener el intercambiador, se debe calcular la distancia que se requerirá para que el número de Reynolds del fluido sea igual a 1,000, si esta distancia resulta ser mayor al diámetro interno de la envolvente, para respetar la limitación impuesta por Kern, se toma como distancia entre mamparas máxima posible aquella que es igual al diámetro de la envolvente.

El comportamiento que tiene el programa cuando no se ha impuesto ni una longitud ni una velocidad eligirá en todo momento el haz que tenga menor número de tubos y por tanto, que requiera la envolvente con el menor diámetro posible. Si se presenta el caso de que usando la distancia mínima entre mamparas el flujo no alcanza un Reynolds igual o mayor al 1,000 y el programa se comporta como arriba se dice, esto significará que no se puede diseñar un intercambiador de este tipo que cumpla con las limitaciones impuestas.

Se calculan en base a las consideraciones arriba mencionadas, la distancia mínima y la distancia máxima entre mamparas. Si las boquillas por donde entra y sale el fluido que circula por la envolvente se encuentran colocadas diametralmente opuestas entre sí, el número de mamparas deberá ser par, y si se encuentran colocadas del mismo lado de la envolvente, el número de mamparas deberá ser impar.

Si no se respeta esta restricción quedarán zonas en las que se estancará el fluido.

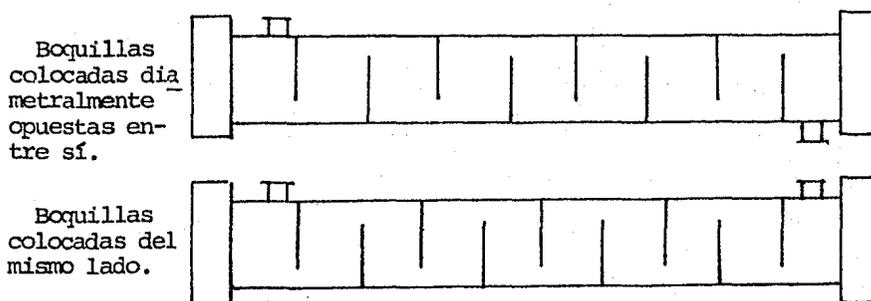


Figura 12

El programa pregunta al usuario como irán colocadas las boquillas para ajustar la distancia entre mamparas de tal forma que el número de éstas sea par o impar según sea el caso.

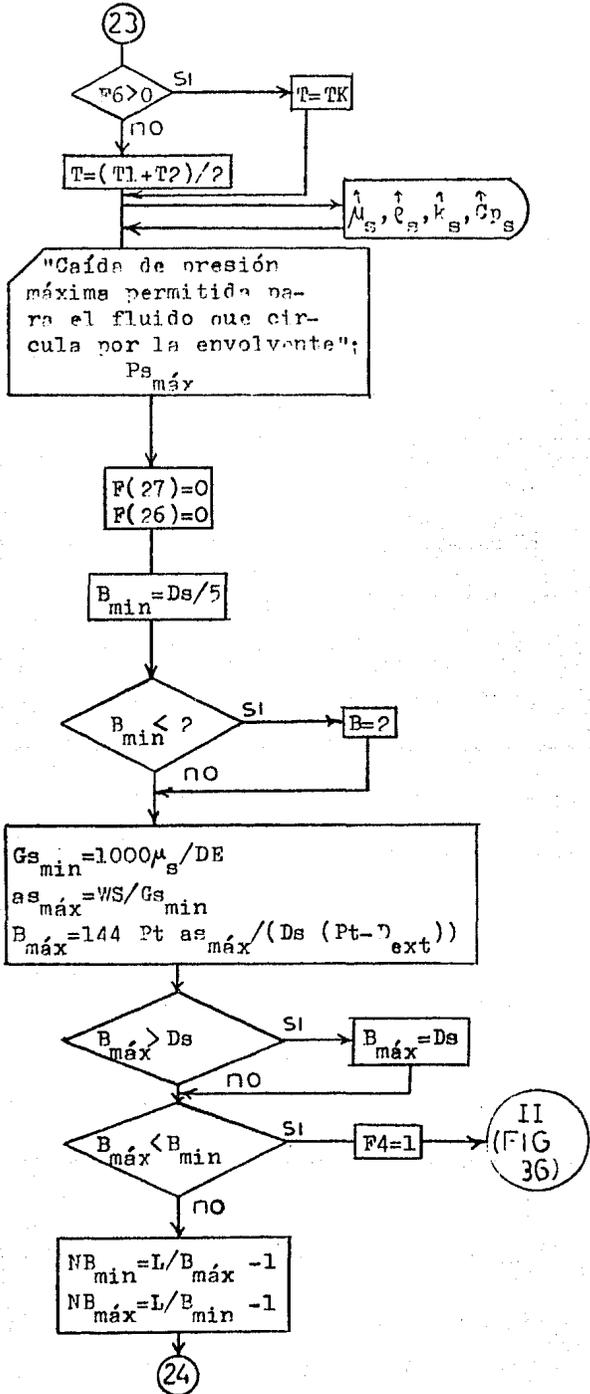
A continuación el programa pregunta al usuario si desea proponer una distancia entre mamparas, si responde afirmativamente, se le mostraran la distancia mínima y la distancia máxima que es posible usar para que el usuario proponga una distancia dentro del rango que se le indique. Si responde negativamente, el programa propondrá como distancia entre mamparas la mínima posible.

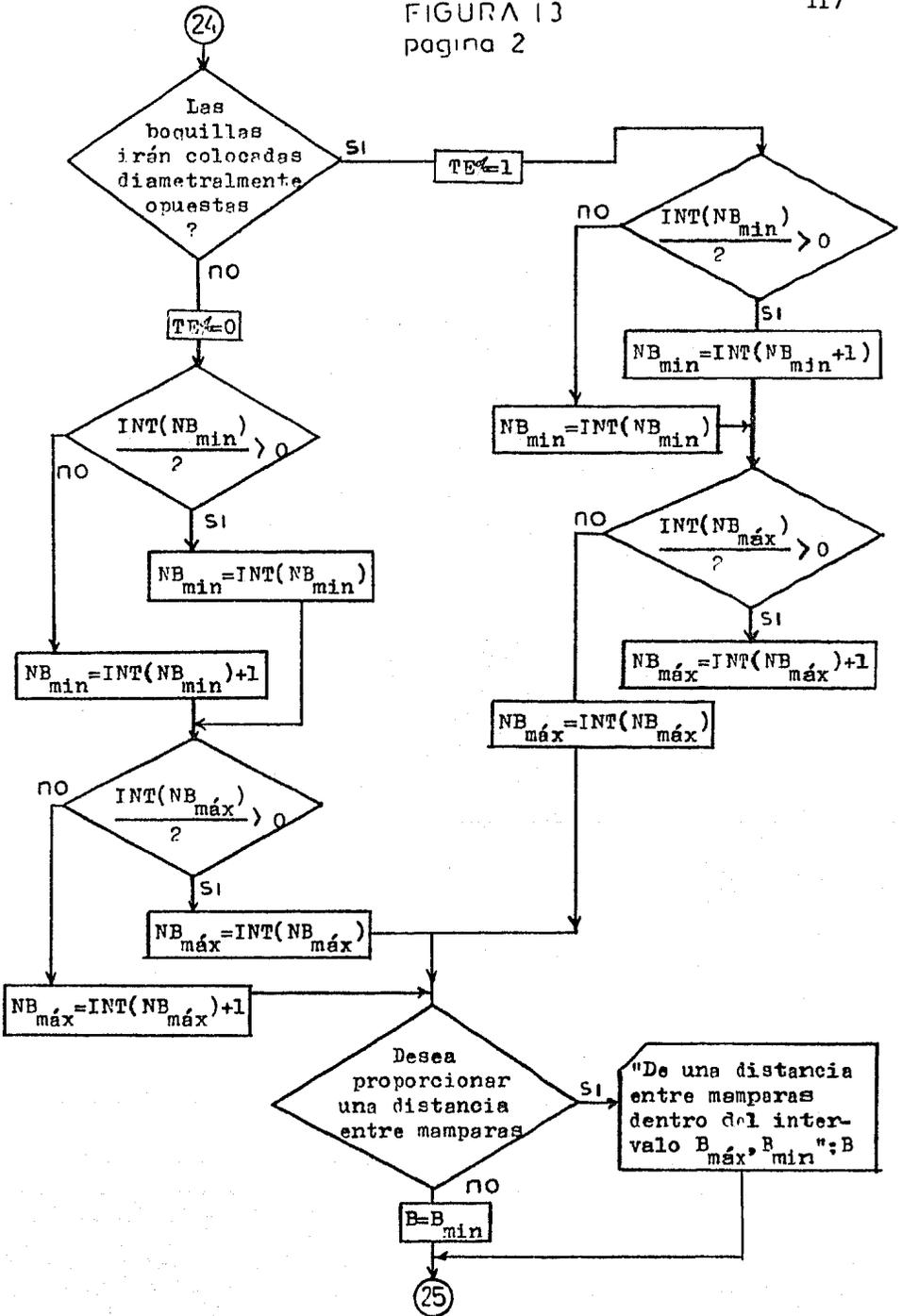
La distancia entre mamparas propuestas se modifica de tal manera que el número de mamparas que queden a esa dis-

tancia entre sí sea entero (par o impar dependiendo de la posición en que vayan colocadas las boquillas)

Una vez que se ha calculado el número de mamparas y la distancia que guardan entre sí, el programa procede a calcular el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por la parte externa de los tubos, es decir, por la envolvente. El valor calculado es comparado con el valor mínimo posible que este coeficiente puede tomar calculado al principio de esta sección. Si el coeficiente obtenido resulta ser menor al mínimo posible esto significará que el intercambiador no podrá transferir la cantidad de calor requerida; para aumentar este coeficiente lo único que se puede hacer del lado de la envolvente (con el método de Kern) es disminuir si es posible, la distancia entre mamparas. El programa revisa si el número de mamparas que se está utilizando es el máximo posible (al número de mamparas máximo posible corresponde la distancia entre mamparas mínima posible), si el número de mamparas utilizado es menor al máximo posible se aumentará el número de mamparas al inmediato mayor y se volverá a calcular el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por la parte externa de los tubos, y se volverá a comparar con el valor mínimo que puede tener. Este ciclo se repetirá hasta que el coeficiente tenga un valor igual o mayor al mínimo calculado al principio de esta sección o hasta que el número

FIGURA 13  
pagina 1





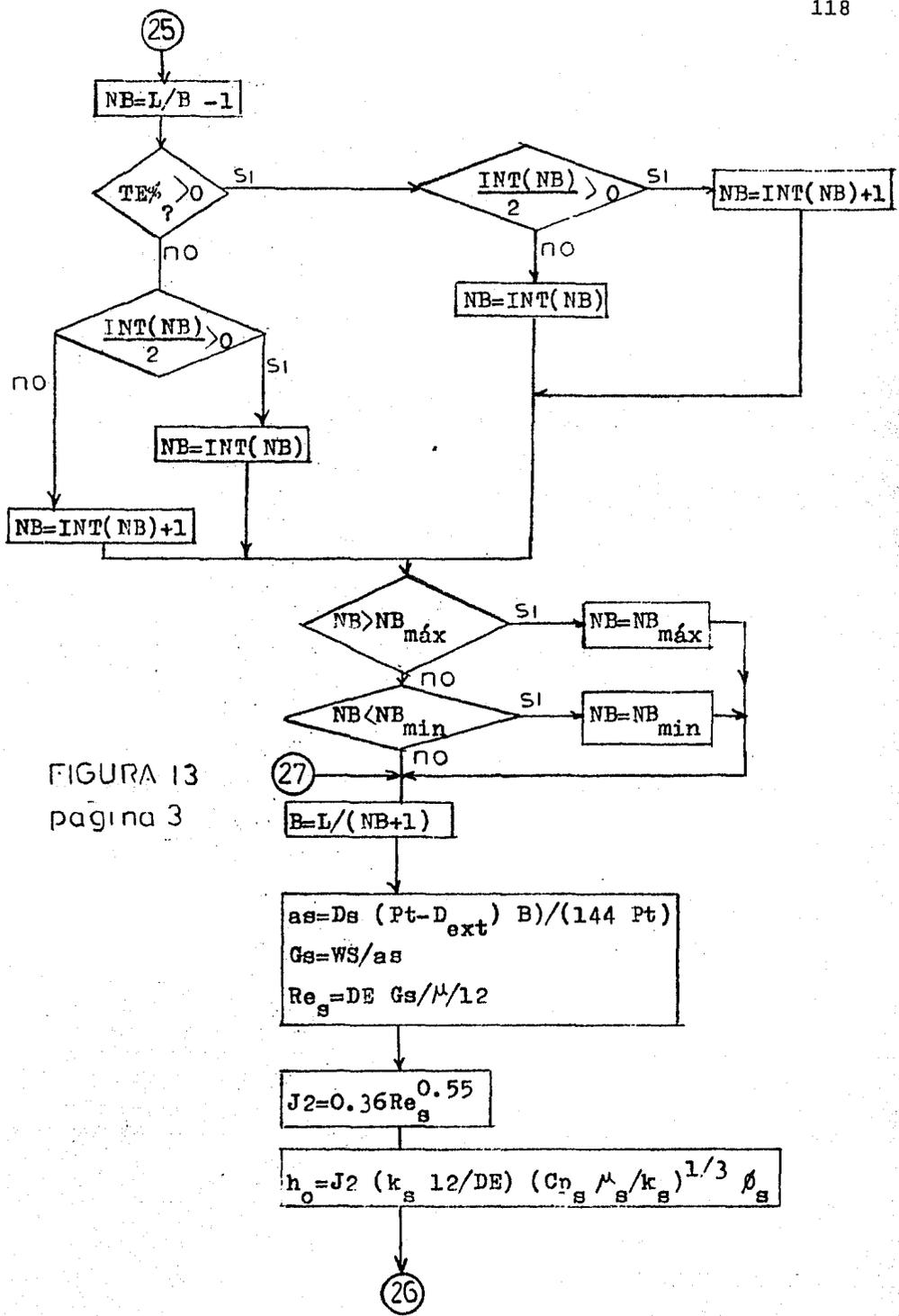


FIGURA 13  
pagina 3

(27)

(26)

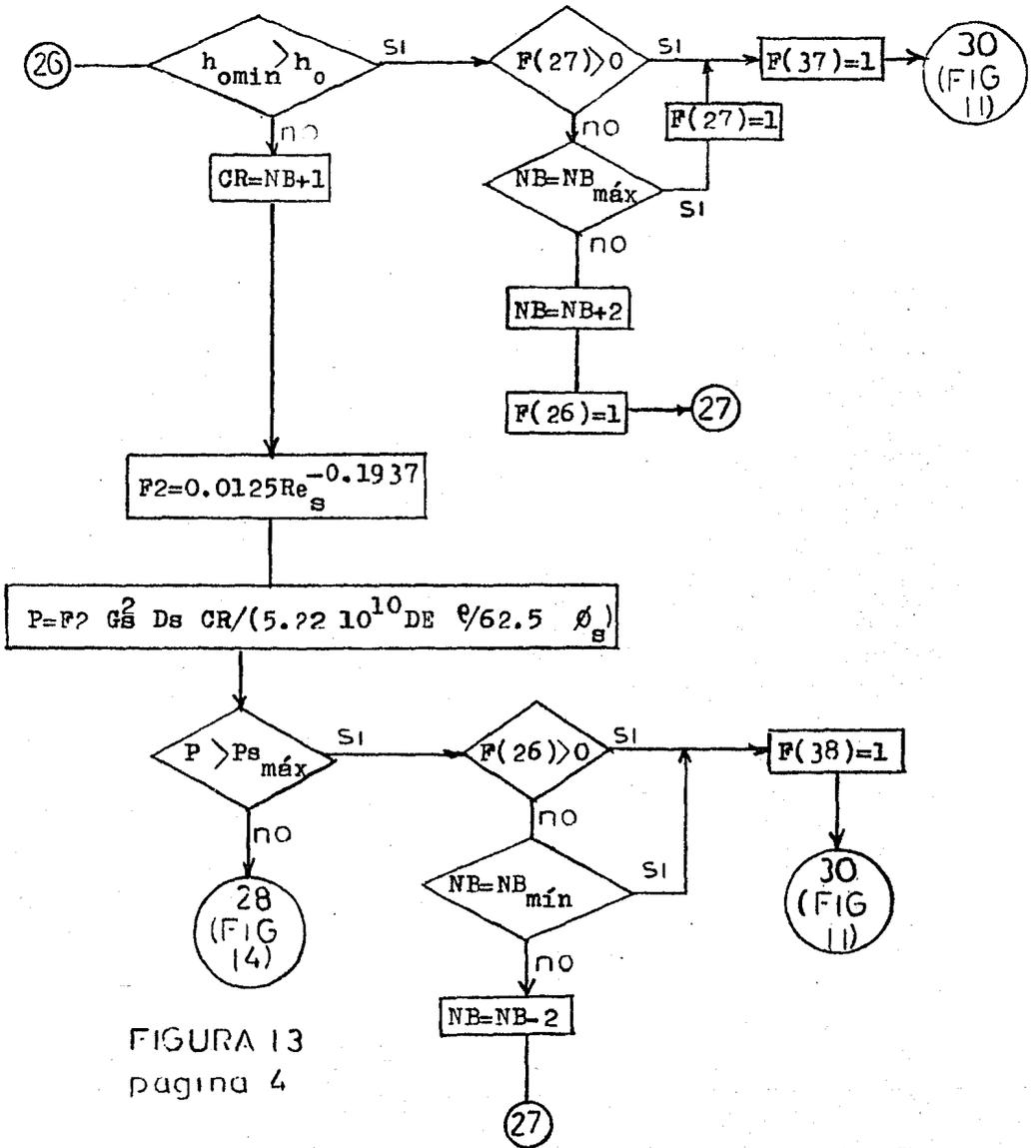


FIGURA 13  
pagina 4

ro de mamparas utilizado sea el máximo posible, en este último caso la ejecución continuará en la sección que se encarga de aumentar el área del haz de tubos, para que aumentando el área de transferencia de calor se disminuya el valor que deba tener el coeficiente del fluido que circula por dentro de la envolvente; por supuesto, en este caso hay que volver a calcular el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión del fluido que circula por el interior de los tubos.

Cuando el coeficiente de transferencia de calor tenga uno de los valores que le son permitidos (mayor o igual al mínimo calculado) se procede a calcular la caída de presión.

Si la caída de presión calculada es mayor que la máxima permitida la única modificación que se puede hacer del lado de la envolvente (con el método de Kern para disminuir la es aumentar la distancia entre mamparas. Si la distancia entre mamparas ha tenido que ser disminuida con anterioridad para que el coeficiente de transferencia de calor tenga el valor necesario, la distancia entre mamparas no puede ser aumentada y se continuará la ejecución en la sección que se encarga de explicar al usuario porque con el haz de tubos en cuestión no se puede disminuir la caída de presión que sufre el fluido que circula por el lado de la envolvente. Si la distancia entre mamparas puede ser aumentada, se volverán a evaluar el coeficiente de transferencia de calor y la caída de presión. Este ciclo se realizará has-

ta que la caída de presión que sufre el fluido que va por el lado de la envolvente sea igual o menor a la máxima permitida, o hasta que ya no sea posible aumentar la distancia entre mamparas.

Esta parte del diagrama se muestra en la figura 13. En esta parte del diagrama se pueden observar también varias banderas (las variables del arreglo F), la función de algunas se puede deducir analizando el diagrama de flujo, así se puede observar que la bandera F(26) se "prende" (toma el valor de 1) cuando la distancia entre mamparas ha tenido que ser disminuida (esto se hace aumentando el número de mamparas) para aumentar el coeficiente de transferencia de calor, y que la bandera F(27) se "prende" cuando el número de mamparas utilizado es el máximo posible. Otras banderas sirven para ayudar a identificar las causas por las que no se puedan respetar las limitaciones impuestas a la sección encargada de mostrar los mensajes explicativos de dichas causas, que es la sección de diagnósticos.

#### Cálculo de las Temperaturas Calóricas.

Si en el rango de temperaturas al que se encuentran los fluidos la viscosidad (por lo general es esta variable la que se ve más afectada por los cambios de temperatura) y las demás propiedades físicas de los fluidos varían apreciablemente, es necesario calcular una temperatura que sea más representativa de su conjunto de temperaturas que la

simple media aritmética entre la temperatura de entrada y la de salida del fluido, esta temperatura es la temperatura calórica.

Si el usuario alimentó las propiedades físicas de los fluidos con las opciones 1 o 2 (ver párrafo inicial de esta descripción detallada), el programa calculará la temperatura calórica de cada fluido auxiliado por una subrutina. El funcionamiento de esta subrutina y su diagrama de flujo serán mostrados más adelante. A la temperatura calórica de cada fluido es que deben ser obtenidas sus propiedades físicas para calcular con ellas su coeficiente de transferencia de calor y su caída de presión; aquí cabe preguntar entonces ¿por que no se calcularon las temperaturas calóricas de ambos fluidos al principio del programa, antes de calcular los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión, si a estas temperaturas precisamente es que debieron ser calculados dichos coeficientes y dichas caídas de presión y no a la temperatura promedio de cada fluido como se hizo?, la respuesta a esta pregunta es sencilla: porque para calcular dichas temperaturas calóricas es indispensable conocer los flujos máxicos por unidad de área de cada fluido (para poder calcular sus coeficientes de transferencia de calor) y estos no se conocen hasta que se tiene el número de tubos del haz y la distancia entre mamparas, y estos datos no se tienen hasta que se ha llegado a este punto. Así una vez que se han calculado las tem

peraturas calóricas de cada fluido, es necesario recalcular los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión de cada fluido, ya que es a estas temperaturas a las que debieron ser calculadas estas variables desde un principio, pero no pudieron serlo porque en aquel momento no se contaba con los datos suficientes. Para volver a calcular los coeficientes y las caídas de presión se vuelve a ejecutar el programa desde la parte en que se calculó el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos, pero esta vez se utilizan las temperaturas calóricas para evaluar las propiedades físicas de cada fluido.

Cálculo de  $\phi_t$  y de  $\phi_s$ .

Existe otra razón por la que deben ser recalculados los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión de los dos fluidos. Hay una relación que afecta al coeficiente de transferencia de calor y a la caída de presión de cada fluido, es la relación de la viscosidad del fluido que circula en la vecindad de la pared de los tubos entre la viscosidad del mismo fluido que circula alejado de esta pared, elevada a la 0.14. Esta relación de viscosidades recibe el nombre de  $\phi_t$  para el fluido que circula por el interior de los tubos y de  $\phi_s$  para el fluido que circula por la envolvente:

$$\phi_t = (\mu_{t,w} / \mu_t)^{0.14}$$

$$\beta_s = (\mu_{s,w} / \mu_s)^{0.14}$$

El subíndice "w" indica que el fluido se encuentra cerca de la pared, el subíndice "t" indica que es el fluido que va por los tubos y el subíndice "s" indica que es el fluido que va por la envolvente. Para poder evaluar las viscosidades de los dos fluidos en la vecindad de la pared de los tubos ( $\mu_{t,w}$ ,  $\mu_{s,w}$ ) es necesario conocer la temperatura de dicha pared. La temperatura promedio de la pared la calcula el programa a partir de las temperaturas calóricas de los dos fluidos. Cuando se evaluaron los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión por primera vez, se supuso que la viscosidad del fluido que circula cerca de la pared y la del que circula en el seno del flujo eran muy similares y que por tanto  $\beta_t = \beta_s = 1$ . Después de calcular las temperaturas calóricas el programa calculará la temperatura promedio de la pared de los tubos, en ese momento ya se podrán evaluar los términos  $\beta_t$  y  $\beta_s$ , así que cuando se repita la ejecución del programa desde el punto en el que se calcula el coeficiente interno de transferencia de calor para evaluar cada coeficiente y cada caída de presión con las propiedades físicas del fluido en cuestión obtenidas a su temperatura calórica, también se substituirán los nuevos valores calculados de  $\beta_t$  y de  $\beta_s$ .

Como se ejecutará otra vez una gran parte del programa muchas de las preguntas que se habían hecho ya al usuario y

que éste había respondido ya, le serán formuladas otra vez, para evitar esto se prende la bandera F6; antes de hacer cualquier pregunta el programa revisa si dicha bandera está apagada, si no lo está no hace la pregunta que iba a realizar y continúa la ejecución.

Una vez que se han vuelto a calcular los coeficientes de transferencia de calor y las caídas de presión, el programa preguntará si está encendida la bandera F6, si está encendida se compararán los valores anteriores de los coeficientes de transferencia de calor con los que se acaban de obtener, si son muy diferentes (se considera que son muy distintos entre sí si varían en más de un 5% con respecto a su promedio aritmético) el programa llamará a la subrutina que calcula las temperaturas calóricas para volverlas a evaluar y repetirá una vez más la ejecución del programa desde el punto que lo hizo la vez anterior.

Fin del programa.

Si los coeficientes sucesivamente calculados no resultan ser muy distintos entre sí, la ejecución del programa saldrá del gran ciclo en el que se encontraba y mostrará los resultados obtenidos:

Del haz de tubos mostrara:

Número de pasos

Longitud

Número de tubos

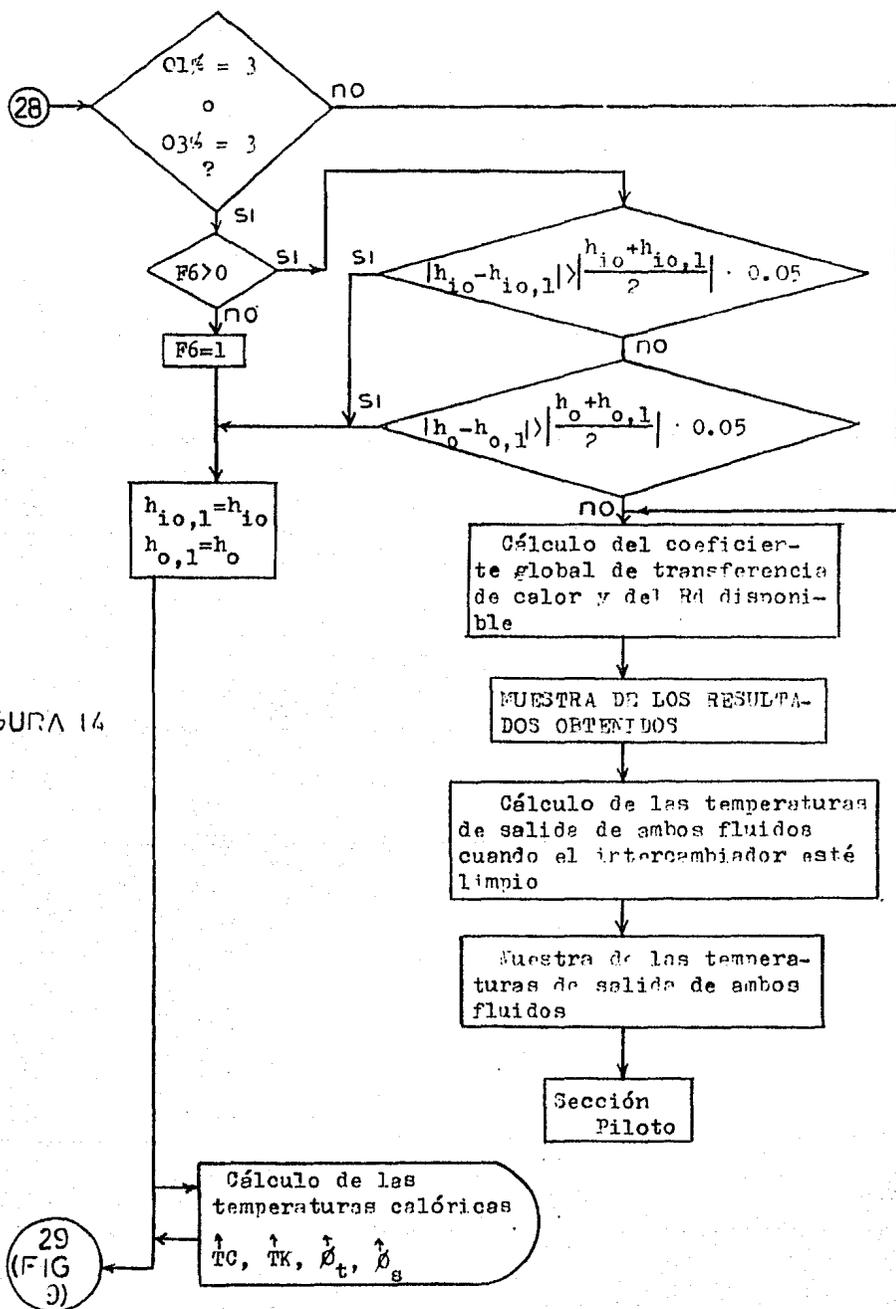


FIGURA 14

Distancia entre centros de los tubos

Tipo de arreglo (cuadrangular o triangular)

Diámetro externo e interno de los tubos y su BWG

De la envolvente mostrará:

Número de pasos

Diámetro interno

Distancia entre mamparas

Número de mamparas

De cada flujo mostrará:

Número de Reynolds

Velocidad

Coefficiente de transferencia de calor referido al área externa del tubo

Caída de presión

También mostrará el coeficiente global de transferencia de calor, el coeficiente de diseño y el  $R_d$  disponible.

Se calcularán también las temperaturas a las que saldrán cada uno de los fluidos los primeros días de uso, cuando el intercambiador esté todavía limpio. La forma en la que se realizará el cálculo de estas temperaturas de salida se mostrará más adelante. La última parte del diagrama de flujo del programa principal se muestra en la figura 14.

Subrutinas y Secciones que Auxilian al Programa Principal.

En esta parte se explicará el funcionamiento de las subrutinas y secciones que auxilian al programa principal. Antes de proceder a explicar la labor que realizan estos subprogramas es conveniente explicar a que se le llama aquí subrutina y a que se le llama sección.

Una subrutina es un programa que al ser llamado por una instrucción del programa principal comienza a ejecutarse y después de realizar la operación o conjunto de operaciones para las que fue diseñado regresa la ejecución al programa principal, a la instrucción inmediata siguiente a aquella que lo llamó, por medio de la instrucción RETURN.

Una sección en un programa que comienza a ejecutarse cuando es llamado por una instrucción del programa principal, y cuando termina de realizar la operación o conjunto de operaciones para las que fue diseñado manda la ejecución a otra sección o a cualquier parte del programa principal dependiendo de los resultados que obtenga.

Subrutina para calcular la integral  $\int_{t_1}^{t_2} C_p(t) dt$  cuando se ha suministrado una ecuación para obtener la capacidad calorífica en función de la temperatura.

Esta subrutina requiere de los siguientes datos:

$T_B$  temperatura de entrada del fluido

$T_A$  temperatura de salida del fluido

E% es una variable que indica de que fluido se trata, del que va por la envolvente o por los tubos.

Calcula:

El área debajo de la curva que resulta de graficar Cp vs T.

Esta subrutina calcula la integral  $\int_{t_1}^{t_2} C_p(t) dt$  utilizando el método de los trapecios. Divide al intervalo  $T_A$ ,  $T_B$  en 29 partes iguales obteniendo así un total de 30 temperaturas (incluyendo  $T_A$  y  $T_B$ ) a las que evalúa la capacidad calorífica por substitución en la fórmula  $C_p = C_p(t)$  que fue suministrada por el usuario. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 15.

Subrutina para encontrar la capacidad calorífica del fluido que circula por el interior de los tubos por interpolación lineal de valores de la tabla de capacidades caloríficas a diferentes temperaturas.

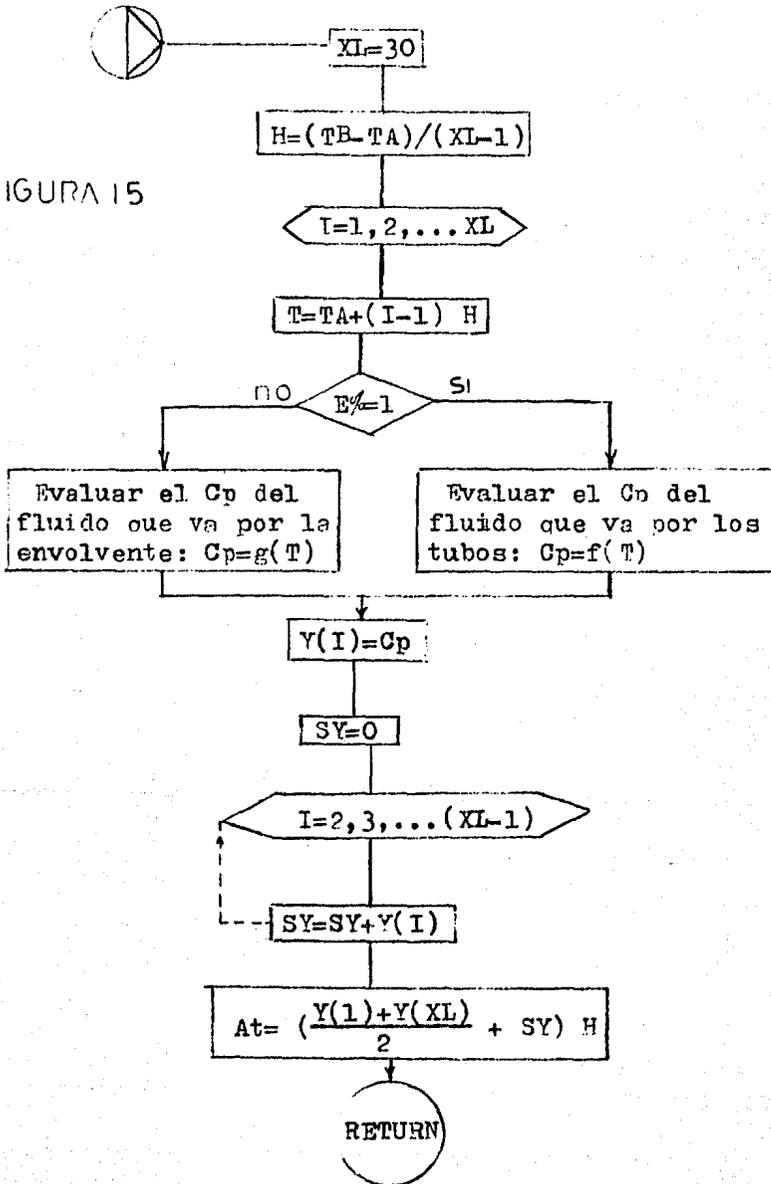
Esta subrutina requiere de los siguientes datos:

T temperatura a la que se desea conocer el valor de la capacidad calorífica del fluido que circula por el interior de los tubos

T9 arreglo en el que se encuentran las temperaturas a las que se alimentaron los diferentes valores de la capacidad calorífica

C9 arreglo en el que se encuentran las capacidades

FIGURA 15



caloríficas del fluido que circula por los tubos a las temperaturas contenidas en el arreglo T9.

Calcula:

La capacidad calorífica del fluido a la temperatura T.

Esta subrutina compara la temperatura dada con las temperaturas a las que fueron suministradas las propiedades físicas, cuando encuentra una temperatura que sea mayor a la suministrada, realiza la interpolación para obtener la capacidad calorífica. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 16.

Subrutina para calcular la integral  $\int_{t_1}^{t_2} C_p(t) dt$  cuando se ha suministrado una tabla de las capacidades caloríficas a diferentes temperaturas.

Esta subrutina requiere los siguientes datos:

X arreglo en el que se encuentran guardados los valores de las temperaturas del intervalo  $T_A, T_B$

Y arreglo en el que se encuentran guardadas las capacidades caloríficas a las temperaturas del arreglo

X

Calcula:

La integral  $\int_{t_1}^{t_2} C_p(t) dt.$

Esta subrutina también utiliza el método de los trapecios para evaluar la integral. Los intervalos entre las temperaturas no tienen que ser forzosamente iguales como en el caso en el que se suministran ecuaciones para obtener las propiedades físicas.

El diagrama de flujo se muestra en la figura 17.

Subrutina para encontrar la capacidad calorífica del fluido que circula por la envolvente por interpolación lineal de los valores de la tabla de capacidades caloríficas a diferentes temperaturas.

Esta subrutina requiere los siguientes datos:

- T temperatura a la que se desea conocer el valor de la capacidad calorífica del fluido que circula por la envolvente.
- TO arreglo en el que se encuentran las temperaturas a las que se alimentaron los diferentes valores de la capacidad calorífica del fluido que circula por la envolvente.
- CO arreglo en el que se encuentran las capacidades caloríficas del fluido que circula por la envolvente a las temperaturas contenidas en el arreglo TO.

FIGURA 16

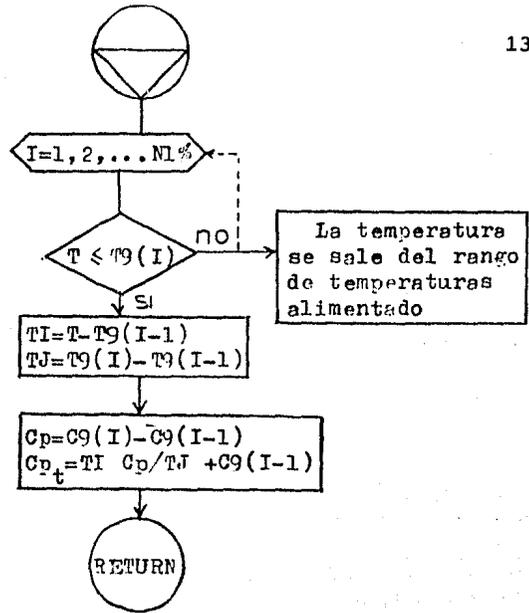
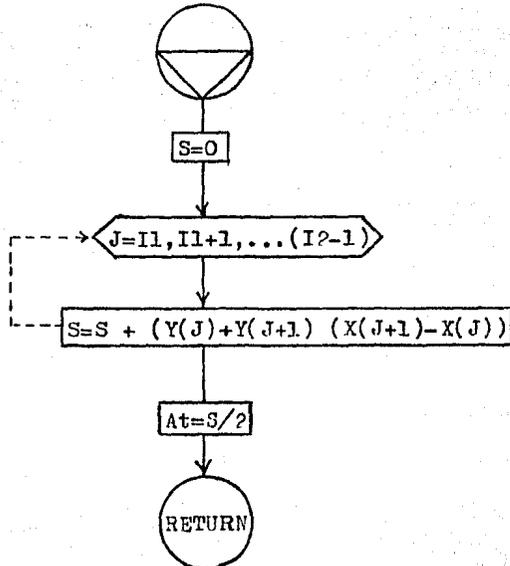


FIGURA 17



Calcula:

La capacidad calorífica del fluido que circula por la envolvente a la temperatura T.

Esta subrutina funciona de igual manera que su homólogo que se encarga de obtener las capacidades caloríficas del fluido que circula por el interior de los tubos, en ella sólo cambian los nombres de algunas variables. Su diagrama de flujo se muestra en la figura 18.

Subrutinas para obtener las propiedades físicas de los dos fluidos.

Estas subrutinas se encargan de obtener los valores de las propiedades físicas de los dos fluidos a las temperaturas que se les pidan. Ya se dijo que las propiedades físicas pueden ser alimentadas de tres maneras (ver párrafo al inicio de la explicación detallada) esta subrutina identifica de qué forma fueron alimentadas las propiedades físicas para el fluido en cuestión.

Las temperaturas a las que se quieran obtener las propiedades físicas de los fluidos deben estar dentro del rango al que se hayan alimentado éstas.

Hay dos subrutinas que se encargan de suministrar las propiedades físicas de los fluidos a una temperatura

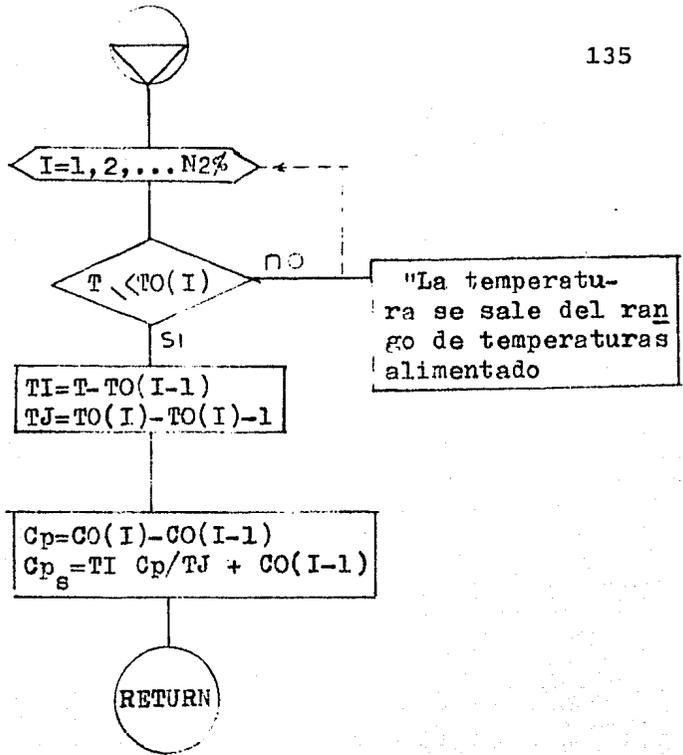


FIGURA 18



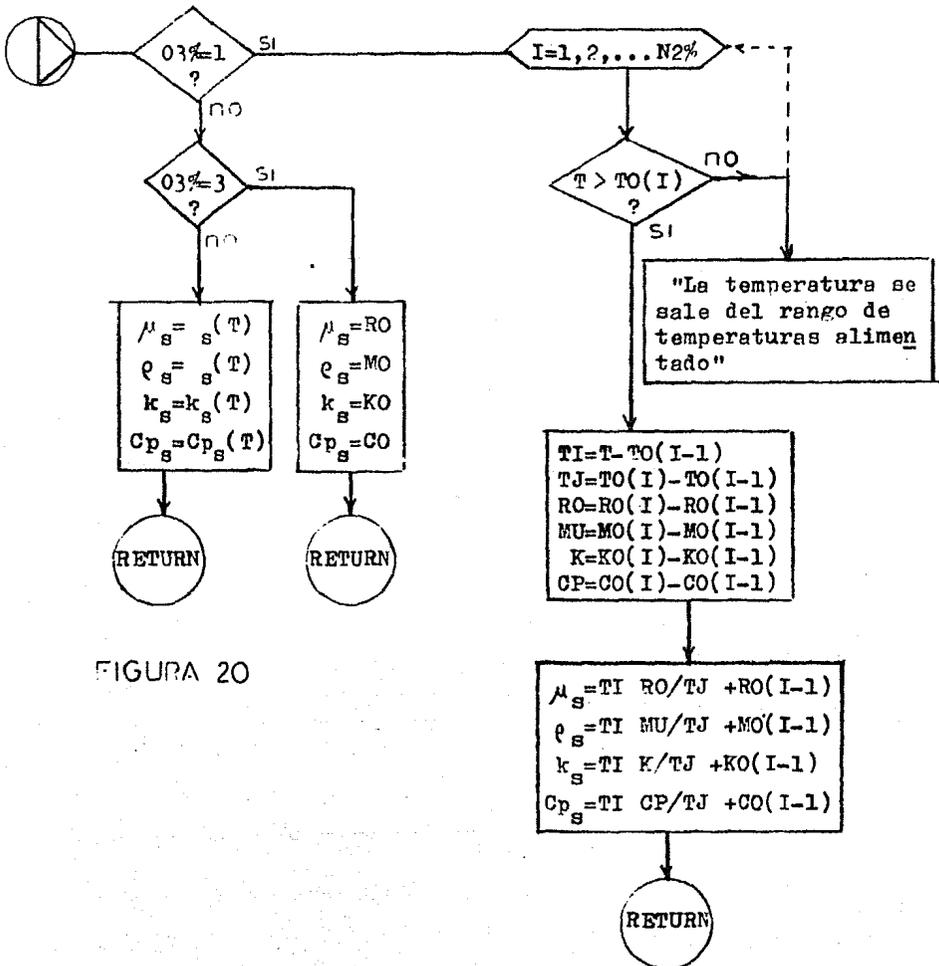


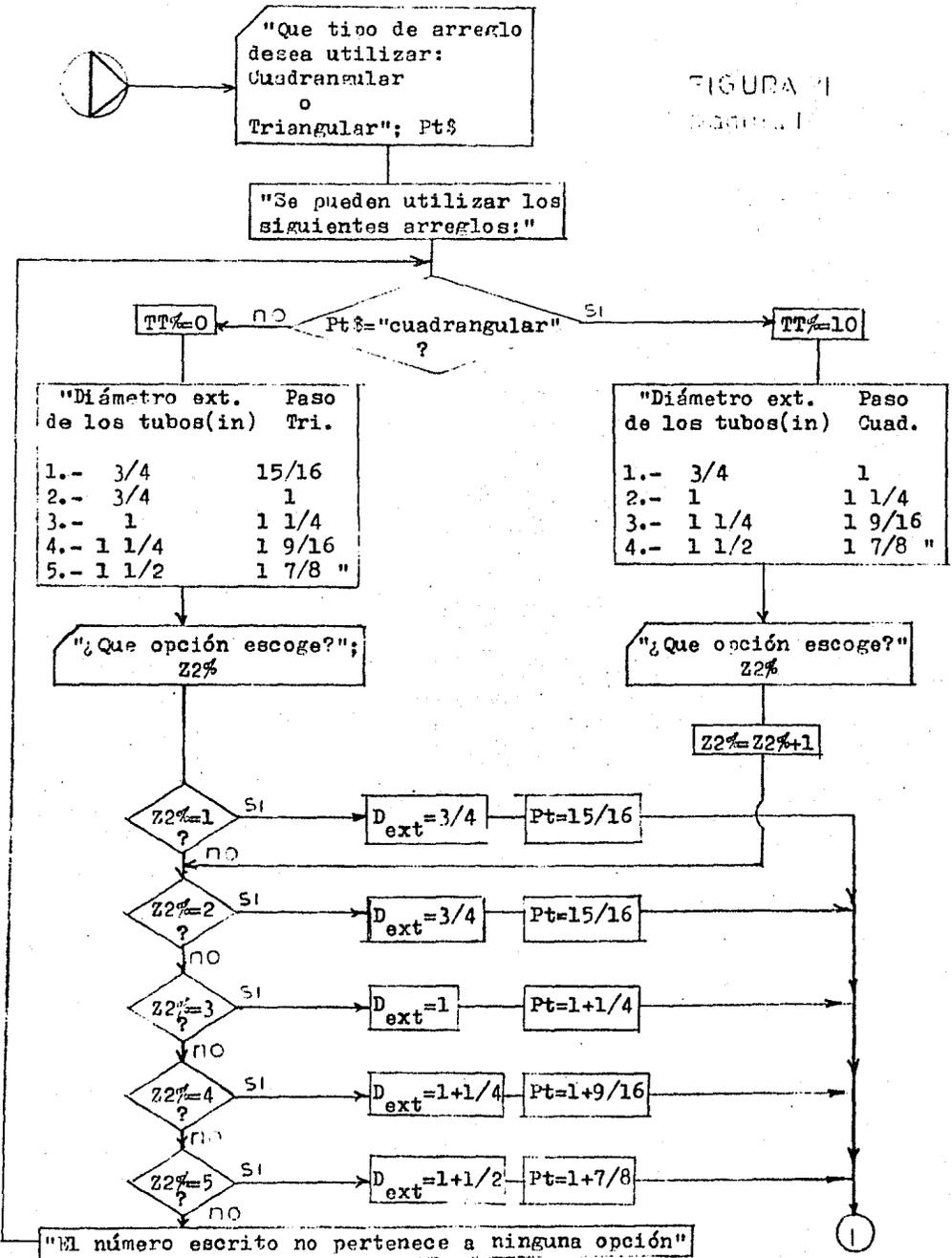
FIGURA 20

dada, una de ellas se utiliza para obtener las propiedades del fluido que circula por dentro de los tubos dada una temperatura, y la otra lo hace para el fluido que circula por la envolvente. Ambas subrutinas son muy semejantes, sólo se diferencian en los nombres de algunas variables. Estas subrutinas se muestran en las figuras 19 y 20.

Subrutina que muestra los arreglos disponibles para los tubos que aparecen en el libro de Kern.

Esta subrutina va mostrando diferentes características de los arreglos para los tubos de que se dispone y va preguntando al usuario que características escoge de las que se le muestran; una vez que queda especificado totalmente el arreglo, esta subrutina manda llamar a otra subrutina que mostrará al usuario los BWG y los diámetros internos disponibles comercialmente para los tubos con el diámetro externo escogido, una vez que el usuario escoja uno de los BWG que se le muestran, la ejecución retornará a la primera subrutina y de ésta al programa principal.

FIGURA 1  
Pagina 1



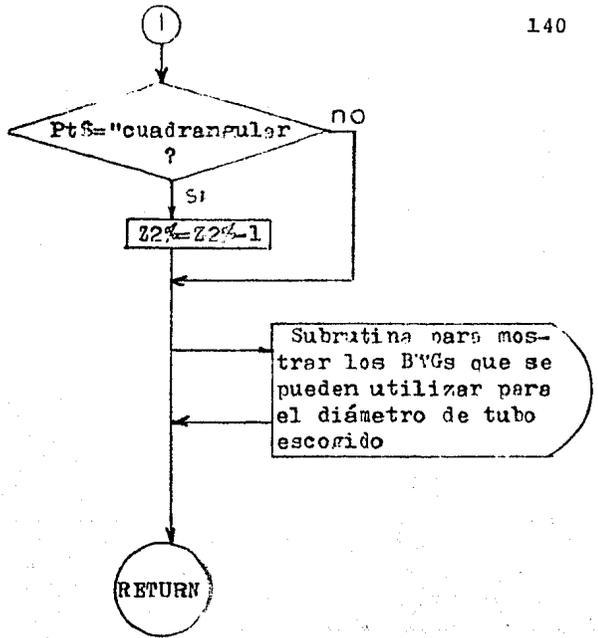


FIGURA 21  
pagina 2

La subrutina comienza por preguntar que tipo de arreglo se desea usar: triangular o cuadrangular, una vez que el usuario elija se le mostrará una tabla compuesta de dos columnas; en la primera se le mostrarán varios diámetros externos de los tubos y en la segunda las distancias entre centros correspondientes a cada uno de los diámetros externos mostrados.

Dependiendo del arreglo escogido y del número de pasos por los tubos por cada paso por coraza que sea necesario utilizar tomarán diferentes valores las variables SU%, Z2%, TT% y CO%, los valores de estas variables servirán para localizar la posición en el archivo de la tabla de cuenta de tubos que se necesita. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 21.

Subrutina para mostrar los arreglos disponibles para los tubos que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico.

Esta subrutina trabaja de manera muy similar a la anterior con la única diferencia de que hace una pregunta más: pregunta por el tipo de cabezal que llevará el intercambiador y si se han impuesto dos pasos o más del lado de los tubos, pregunta si se desea utilizar tubos en forma de "U". Como la subrutina anterior, una vez que se han hecho todas las preguntas manda llamar por último a la subrutina que muestra los BWG y los diámetros internos que es posible utilizar para el diámetro externo elegido de los





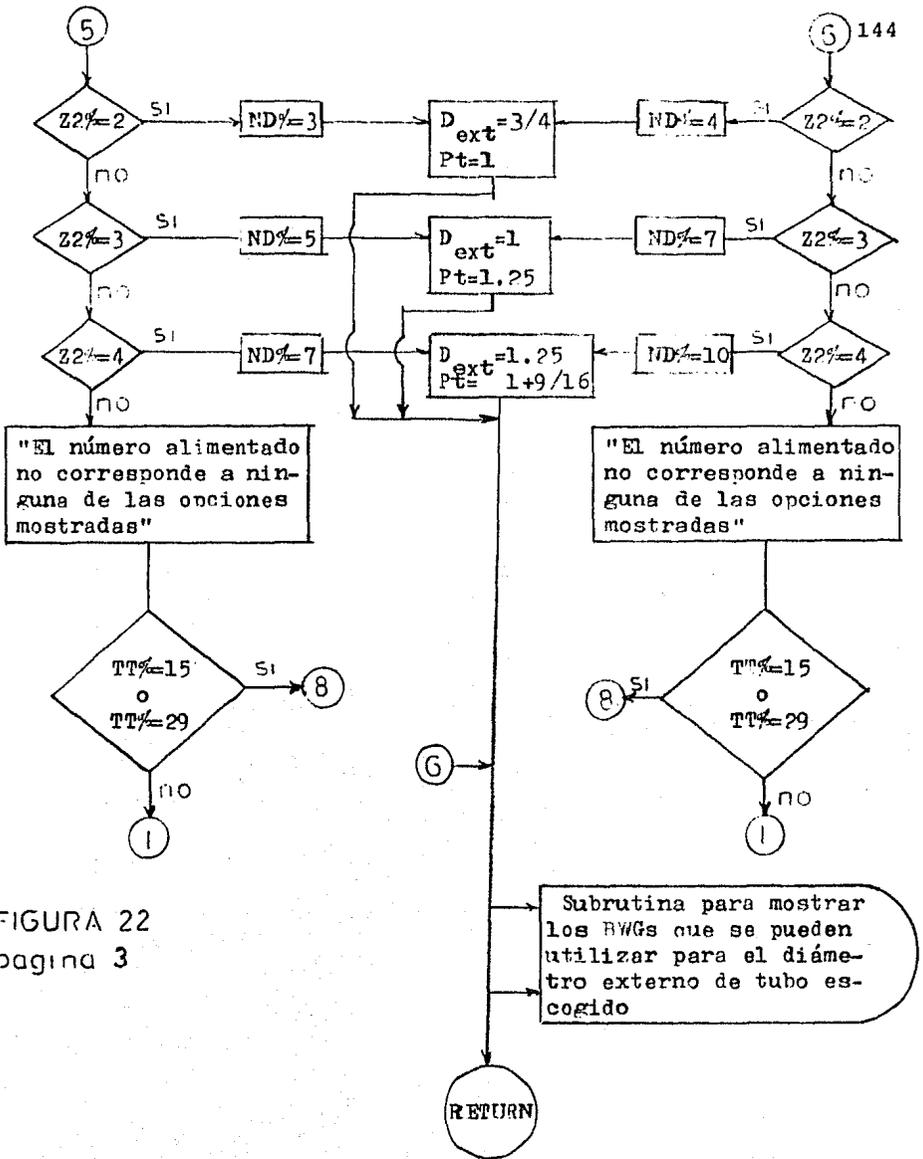


FIGURA 22  
pagina 3

tubos. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 22.

Subrutina para mostrar los BWGs y los diámetros externos disponibles para los tubos cuyo diámetro externo se es cogió.

Esta subrutina utiliza un archivo donde se tienen guardados los diferentes BWGs y los diámetros internos para los tubos que tienen los diámetros externos que se muestran en las dos anteriores subrutinas. Cuando es llamada esta subrutina pregunta el diámetro externo de los tubos del arreglo escogido, saca del archivo en disco los BWGs y los diámetros internos disponibles para esos tubos y le muestra al usuario una tabla con tres columnas, en la primera se muestran los BWGx, en la segunda las relaciones diámetro externo/diámetro interno y en la tercera el diámetro interno de los tubos. Se le pide al usuario que escoja uno de los BWGs que se le muestran. Una vez que se tiene el BWG y el diámetro interno de los tubos que desea el usuario, la ejecución termina con esta subrutina y continuará en el subprograma que la llamó. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 23.

Subrutina para calcular el Ft y el número mínimo de pasos por la coraza.

Esta subrutina utiliza la ecuación de Bowman para calcular el Ft, es utilizada cuando el intercambiador lle

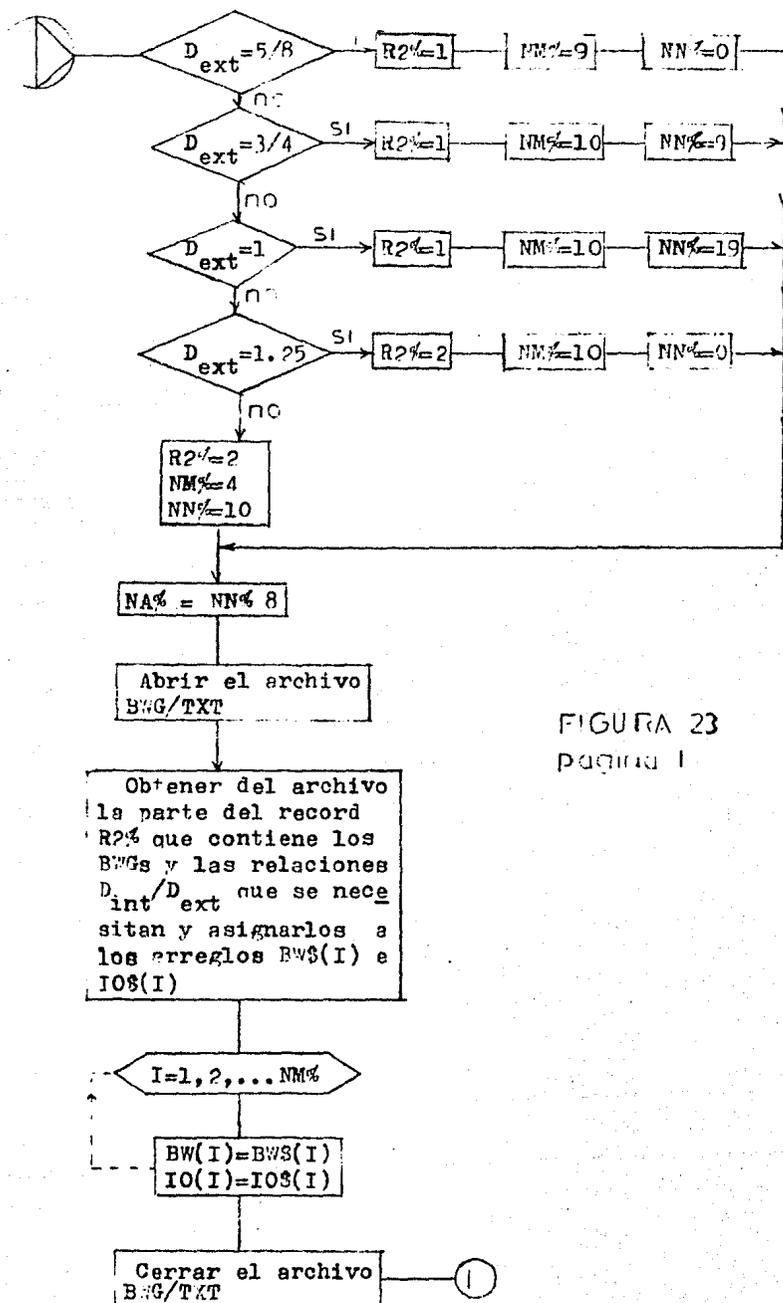


FIGURA 23  
pagina 1

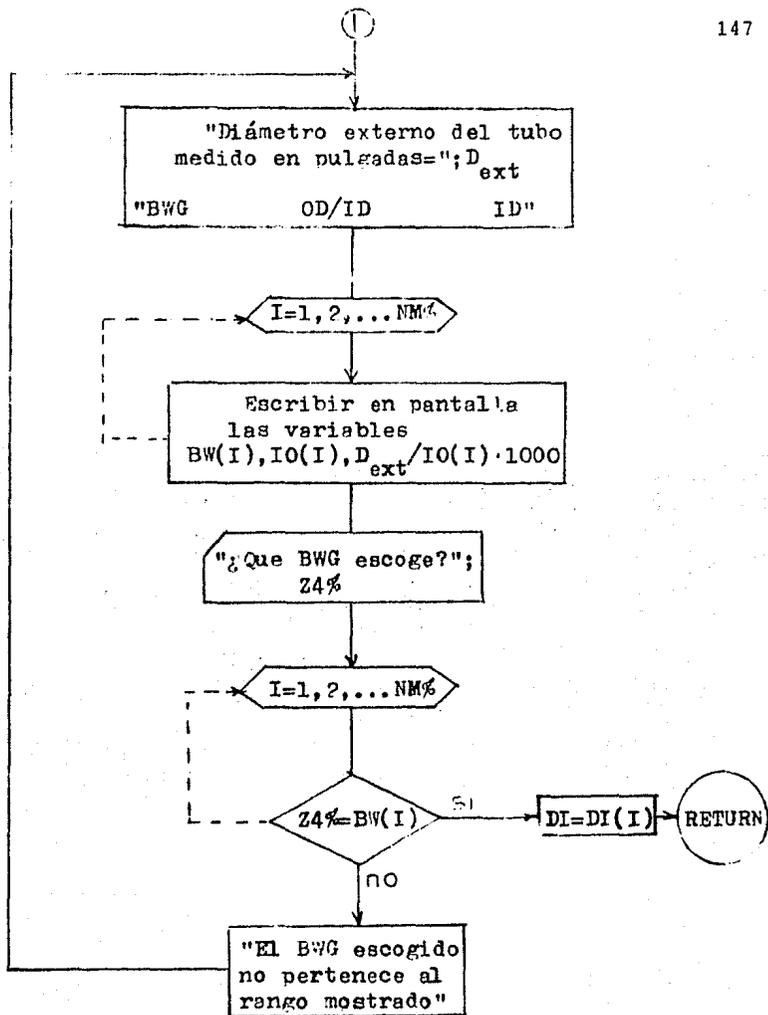


FIGURA 23  
pagina 2

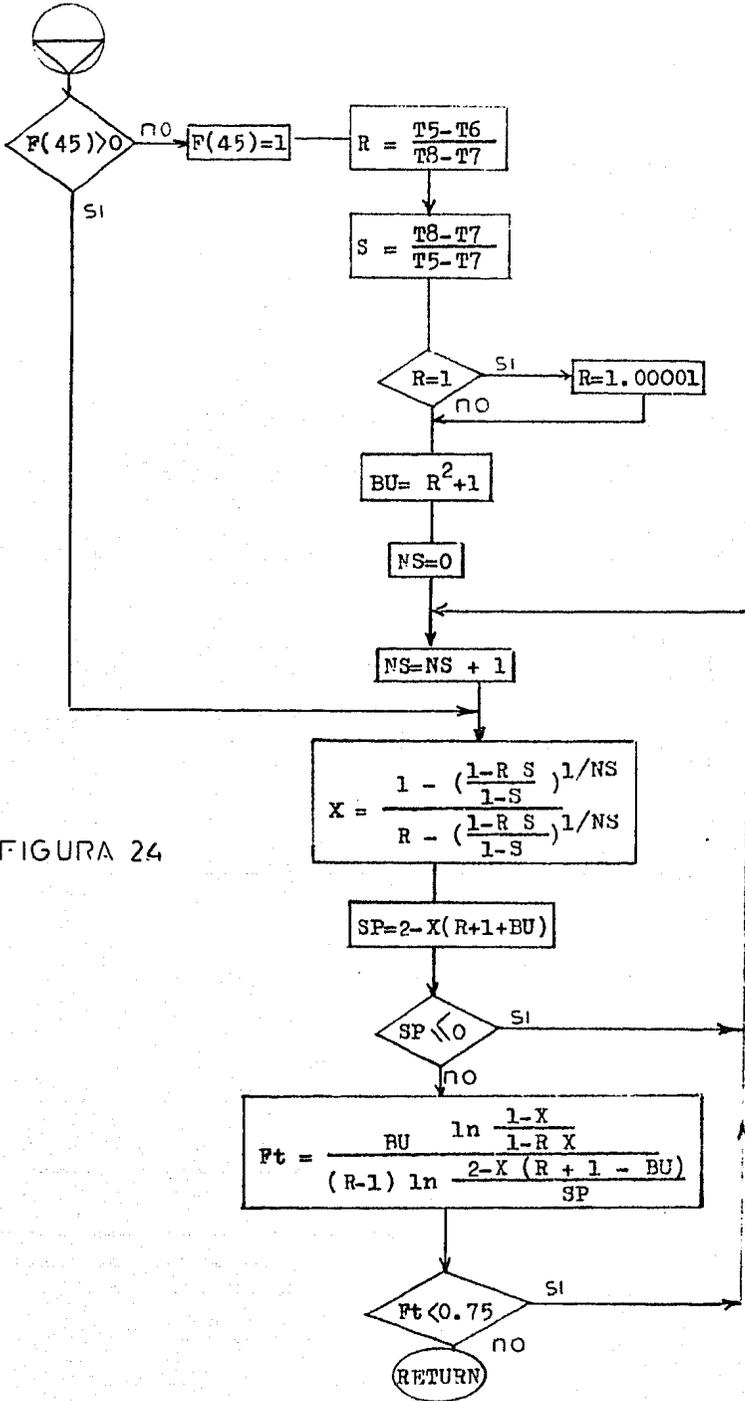


FIGURA 24

vará más de un paso por los tubos por cada paso por la co raza. Esta subrutina obtiene un número de pasos por co raza tal que el Ft del intercambiador no sea menor a 0.75. El diagrama de flujo se muestra en la figura 24.

Sección para encontrar el número de pasos mínimo que debe tener el haz de tubos.

Ya se ha discutido que el coeficiente de diseño tiene que ser menor que cualquiera de los coeficientes individuales de transferencia de calor (ver método de Kern), y que la velocidad a la cual el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el interior de los tubos es igual al coeficiente de diseño que está dada por la ecuación:

$$v_a = (K_1 l N NS / K_2)^5$$

en donde  $K_1$  y  $K_2$  son constantes cuyo valor se obtiene a partir de las propiedades físicas de fluido que circula por el interior de los tubos y del calor que debe transferir el intercambiador así como de los diámetros externo e interno de los tubos;  $N$  es el número de pasos que debe tener el haz de tubos;  $NS$  es el número de cuerpos del intercambiador y  $l$  es la longitud de cada cuerpo. También se ha mencionado ya que el fluido que circula por el interior de los tubos no podrá moverse a esta velocidad ni a velocidades mayores, ya que si lo hace, el intercambiador no podrá transferir la cantidad de calor necesaria porque el

coeficiente interno de transferencia de calor será menor al coeficiente de diseño. Por esta causa la velocidad  $v_a$  debe ser mayor que la velocidad mínima a la que se deberá mover el fluido. Si se escoge una longitud y un número de pasos y se substituyen estos datos en la fórmula de arriba se debe obtener una velocidad mayor a la mínima que de ba tener el fluido (esta velocidad la obtiene el programa principal, en el diagrama de flujo de éste lleva el nombre de " $v_{\min}$ "), si resulta menor se debe suponer un número ma yor de pasos por los tubos y se debe volver a substituir en la fórmula, así se debe proceder hasta que la velocidad obtenida sea mayor a la mínima que deba tener el fluido. Aparecen tablas en el Manual del Ingeniero Químico de cu en ta de tubos hasta para intercambiadores que tengan seis pa so s por los tubos por cada paso por la envolvente, y en el libro de Kern hasta para intercambiadores que tengan ocho pasos por los tubos por cada paso por la envolvente; si se ha utilizado el número máximo de pasos por los tubos por cada paso por la envolvente y la velocidad a la que son iguales el coeficiente de diseño y el coeficiente interno de transferencia de calor sigue siendo menor o igual a la mínima permitida, se debe buscar otra forma de aumentarla. Esta sección utiliza la longitud máxima que pueden tener los tubos impuesta por el usuario, así que no puese ser aumentada la longitud para aumentar a  $v_a$ , lo único que qu e

da por hacer es aumentar el número de pasos por la envolvente que tendrá el intercambiador.

Con anterioridad el programa principal ha dado la oportunidad al usuario de imponer, si lo desea, un número de pasos por los tubos, si éste ha impuesto un número de pasos y resulta que la velocidad  $v_a$  es menor a la velocidad mínima permitida esta sección procederá -para respetar el número de pasos por los tubos que ha impuesto el usuario- a aumentar directamente el número de pasos por la coraza (y como este programa utiliza corazas de un sólo paso, es to equivale a aumentar el número de cuerpos que constituyen el intercambiador) para aumentar la velocidad  $v_a$ , si el número de pasos impuesto por el lado de los tubos es ma yor que uno se deberá recalcular el Ft.

Si el usuario no ha propuesto un número de pasos por los tubos el programa propondrá un intercambiador con un sólo paso por los tubos y un sólo paso por la envolvente, al llegar a esta sección se evaluará la ecuación que se muestra al principio de esta sección, y si es necesario au mentar el valor de  $v_a$ , se aumentará el número de pasos por los tubos; como se propuso un intercambiador con un paso por los tubos no se calculó el valor del Ft, ya que en es te caso el LMTD es una medida confiable del gradiente de temperaturas y no es necesario corregirlo (el Ft para este caso vale uno), pero al aumentar el número de pasos por

los tubos al inmediato superior que es 2, es necesario calcular el valor del  $F_t$  (porque al aumentar a dos pasos el fluido circula en una parte a contracorriente y en otra en paralelo, (ver método de Kern) por lo que esta sección utilizará en este caso la subrutina para calcular el  $F_t$ . Si es necesario seguir aumentando el número de pasos por los tubos no se requerirá calcular otra vez el  $F_t$  (a menos que también se aumente el número de pasos por la envolvente).

Es interesante analizar el caso en el que el usuario ha impuesto un solo paso por el haz de tubos y la velocidad  $v_a$  resulta ser menor a la mínima permitida. En este caso el programa aumentará el número de cuerpos del intercambiador para aumentar a  $v_a$ , pero cada cuerpo no corresponderá a un paso por al envolvente, sino que todas las corazas juntas corresponderán a un solo paso, es decir, serán equivalentes a un gran intercambiador cuya longitud será igual a la suma de las longitudes de cada cuerpo, esto es porque los flujos en este intercambiador irán como en un intercambiador 1-1, o sea que irán a contracorriente total o totalmente en paralelo pero no con ambos patrones de flujo combinados. Un intercambiador de este tipo se muestra en la figura 25, este intercambiador tiene tres cuerpos con un paso por los tubos por cada cuerpo, tiene un paso por la envolvente y un paso por los tubos ya que

los flujos circulan a contracorriente total entre sí.

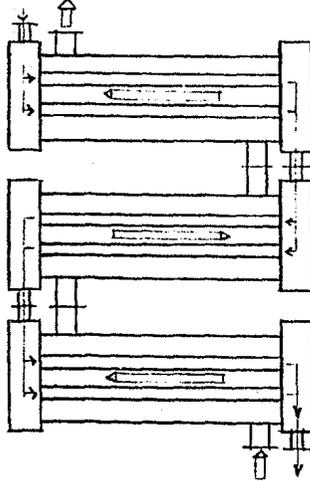
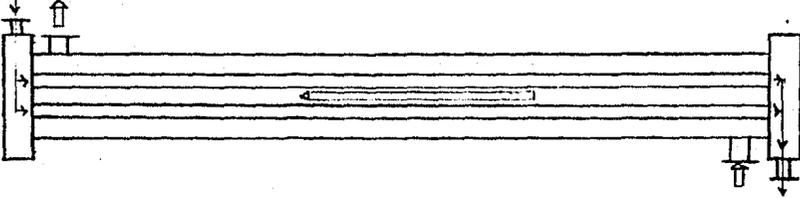


Figura 25

Los intercambiadores de arriba equivalen térmicamente a éste.



El  $F_t$  de estos intercambiadores es igual a uno. Cuando se aumenta un cuerpo a un intercambiador que tiene un paso por los tubos no es necesario recalcular el  $F_t$  ya que seguirá siendo uno.

El diagrama de flujo de esta sección se muestra en la figura 26.

Subrutina para cargar a la memoria la tabla de cuenta de tubos.

Esta subrutina se encarga de obtener la localización

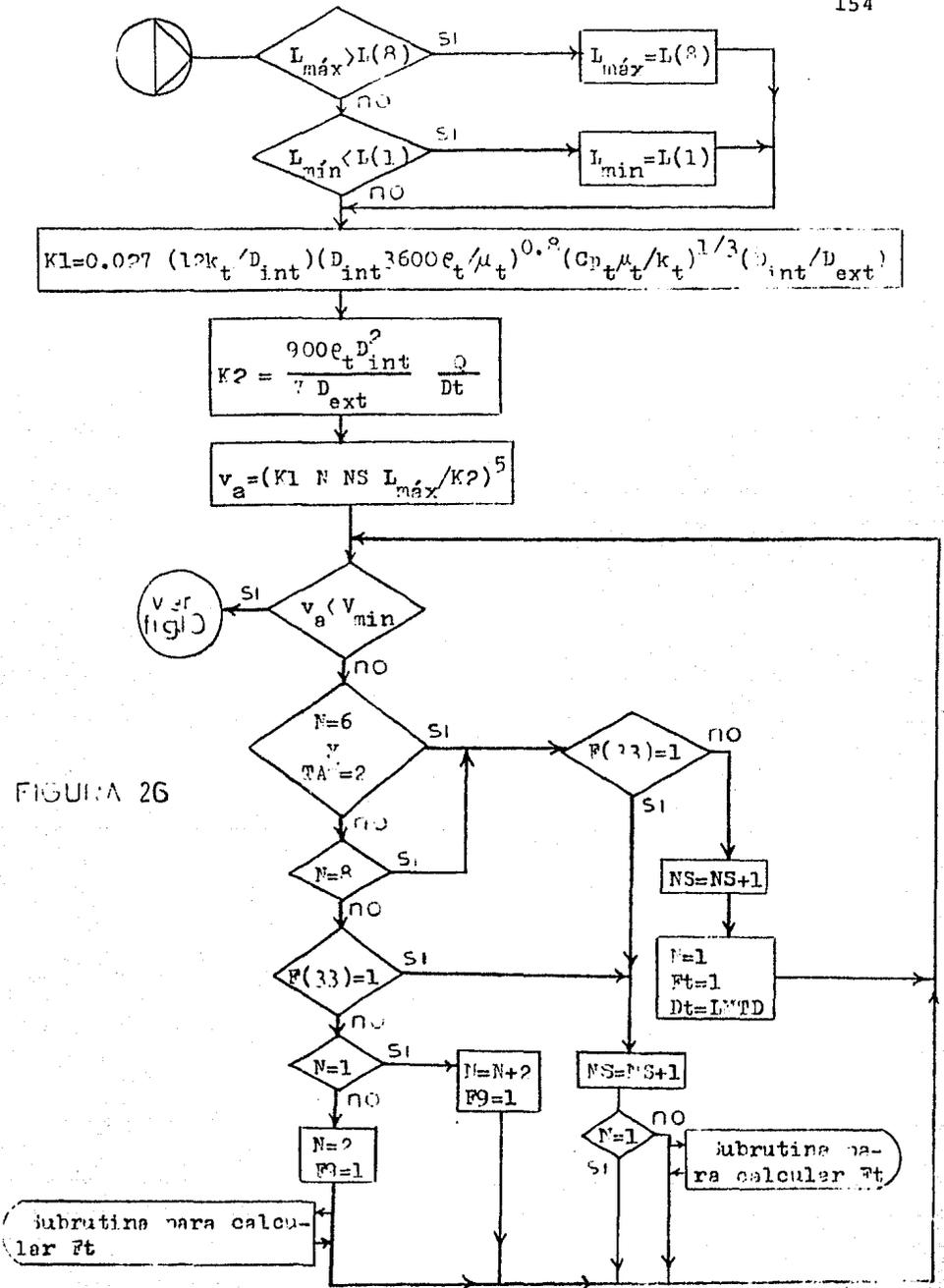


FIGURA 26

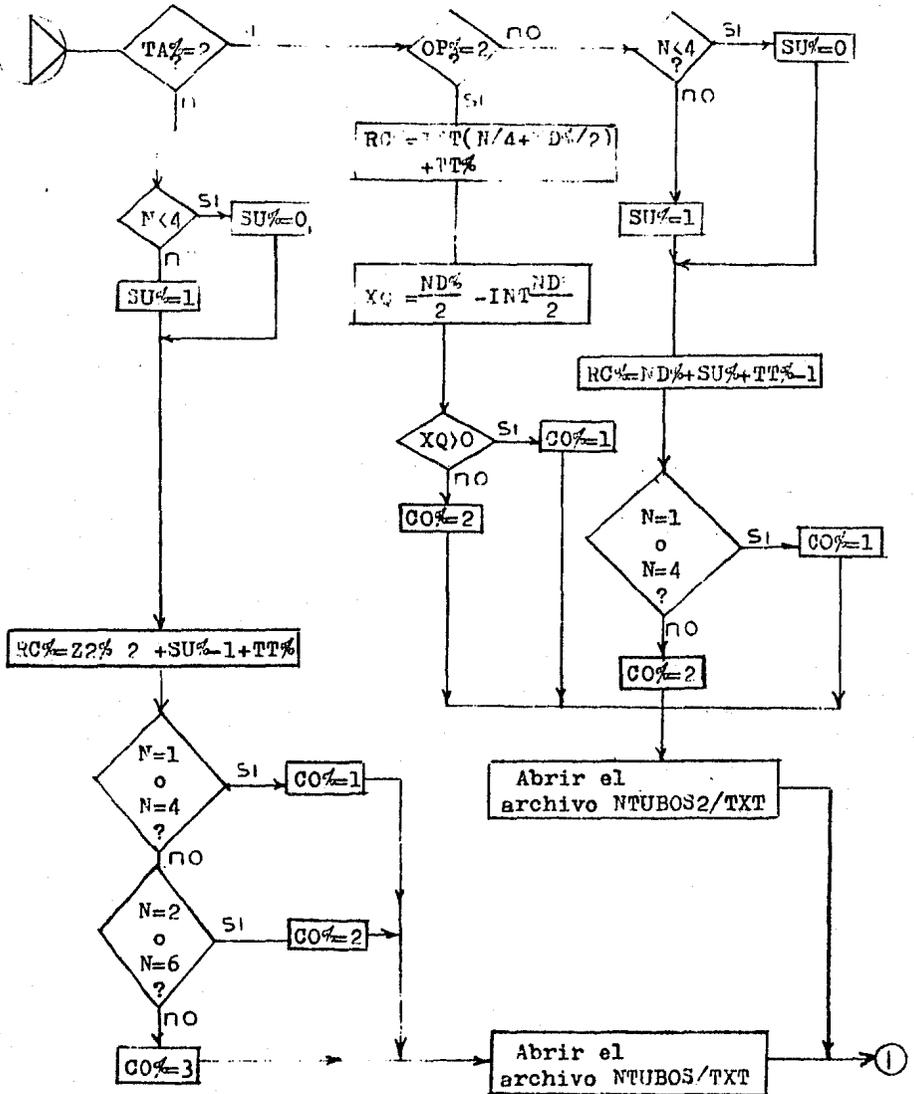


FIGURA 7  
pagina 1

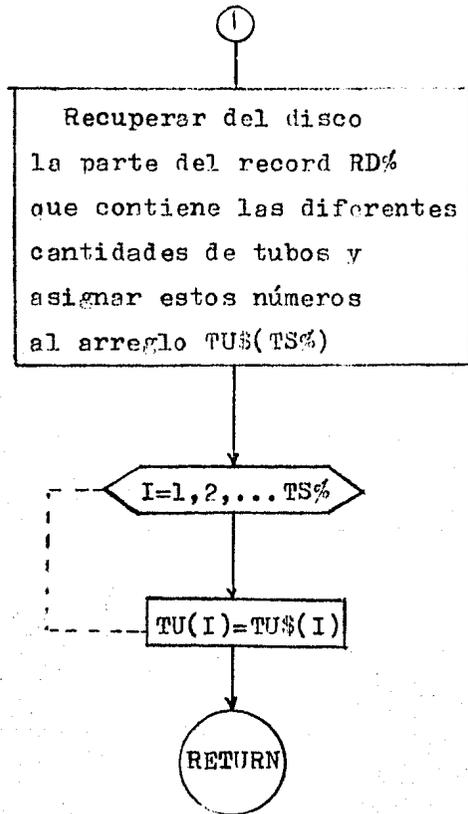


FIGURA 27  
pagina 2

de la tabla de cuenta de tubos que se requiere utilizando los datos que han obtenido las subrutinas que muestran los arreglos disponibles para los tubos y la sección que se encarga de obtener el número de pasos que tendrán los tubos por cada paso por la envolvente; después de que se han corrido estos subprogramas se conoce ya el tipo de arreglo que tendrá el haz de tubos, el diámetro externo de éstos, la distancia entre centros que guardarán entre sí y el número de pasos que debe haber por los tubos. Este programa utiliza estos datos para obtener el record y el subrecord (ver apéndice A) en los que se encuentra la tabla requerida de cuenta de tubos; una vez que obtiene la posición en el archivo en disco de dicha tabla, la carga a la memoria de la microcomputadora. El diagrama de flujo se muestra en la figura 27.

Subrutina para estandarizar el número de tubos.

A esta subrutina se le suministra un número de tubos cualquiera que se haya calculado y se encarga de aproximar lo al número que más se le asemeje de la tabla de cuenta de tubos que ha cargado a la memoria la sección anterior. Esta subrutina verifica que el número de Reynolds del flujo que circula por dentro de los tubos sea igual o mayor a 2,500 para el número de tubos que se haya escogido, si no lo es, disminuye el número de tubos para aumentar la velocidad del fluido y comprueba que el número de Reynolds

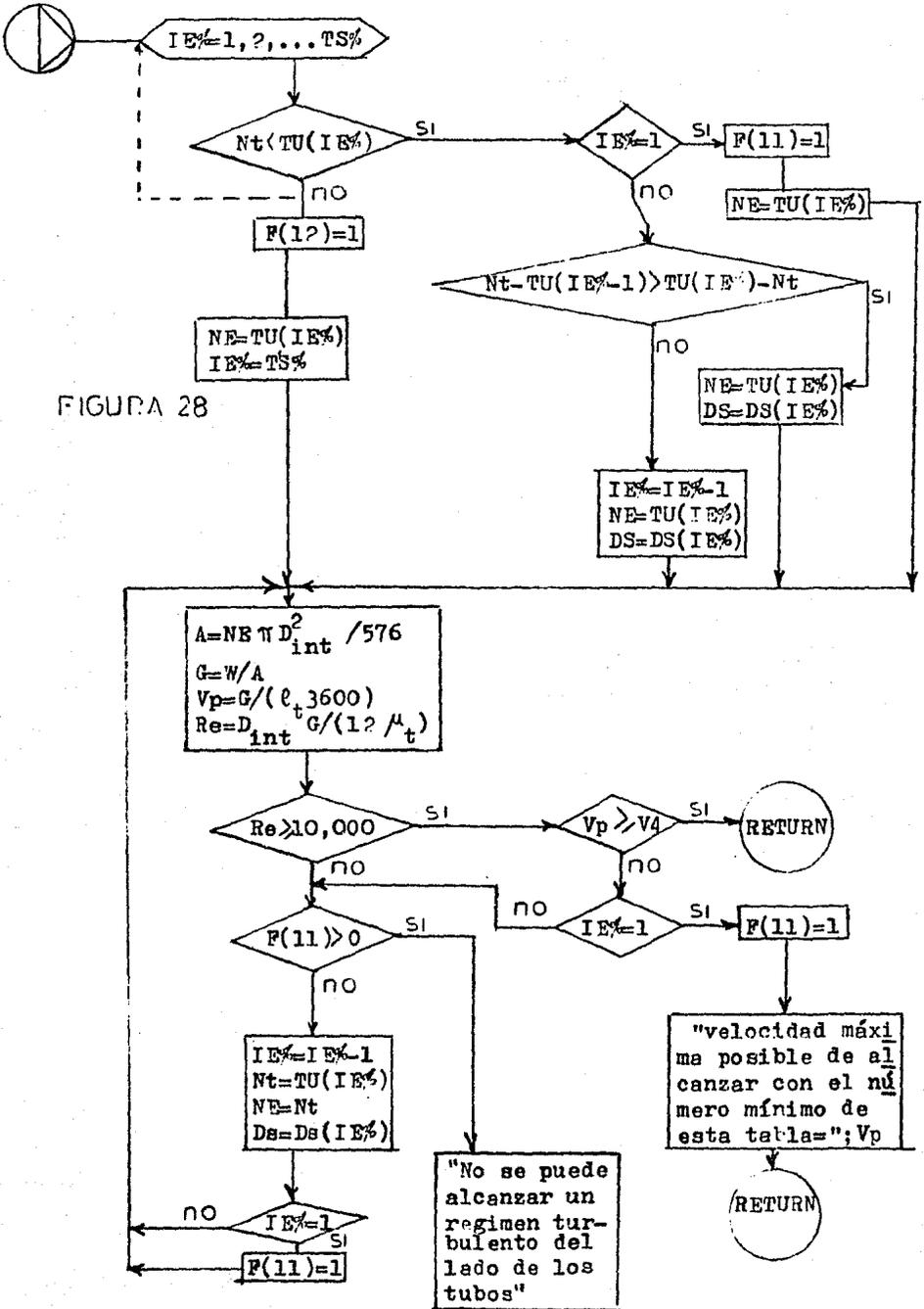


FIGURA 28

sea igual o mayor a 2,500. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 28.

Subrutina para estandarizar longitudes.

El haz de tubos no puede tener cualquier longitud, existen longitudes estandar. Las longitudes propuestas por T.E.M.A. las carga el programa a la memoria al principiar la ejecución, después de cargar las propiedades físicas de los flúidos. Esta subrutina aproxima la longitud que se le suministre a la estándar que más se le asemeje. Las longitudes estandares están guardadas en el arreglo L(I), el valor del subíndice que corresponda a la longitud elegida es guardado en la variable IS%, de esta manera si IS% tiene un valor de cuatro esto significará que la longitud que se está utilizando en ese momento es la cuarta del arreglo L(I). Si alguna sección requiere aumentar o disminuir la longitud a la estándar inmediata mayor e menor, debe aumentar o disminuir en una unidad, respectivamente, el valor de IS% y cuando en lo posterior se requiera utilizar la longitud se referirá a la variable L(IS%). El diagrama de flujo de esta subrutina aparece en la figura 29.

Sección I para aumentar el área de transferencia de calor.

Cuando es necesario aumentar el área de transferencia de calor y se propuso una velocidad o una longitud se uti

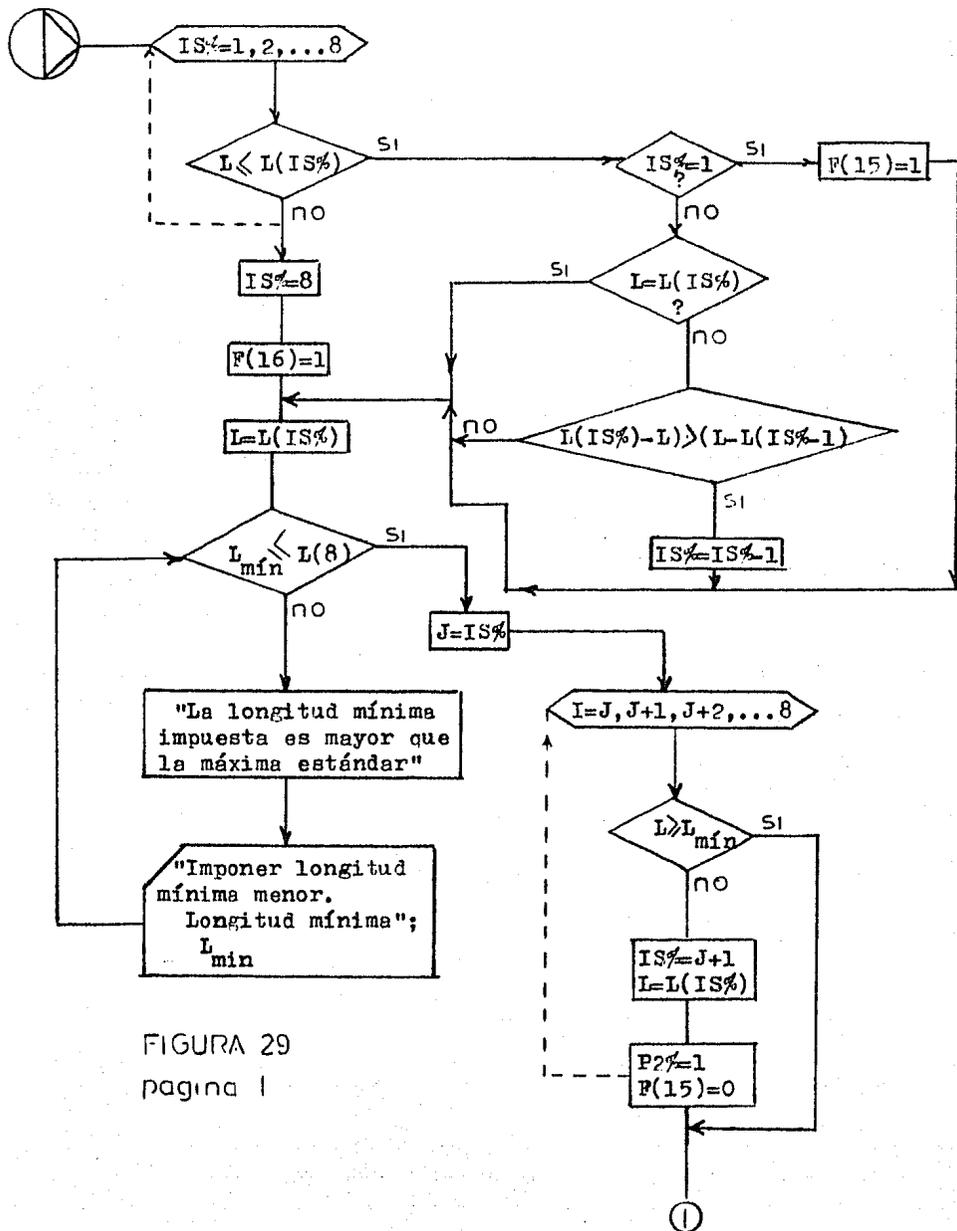
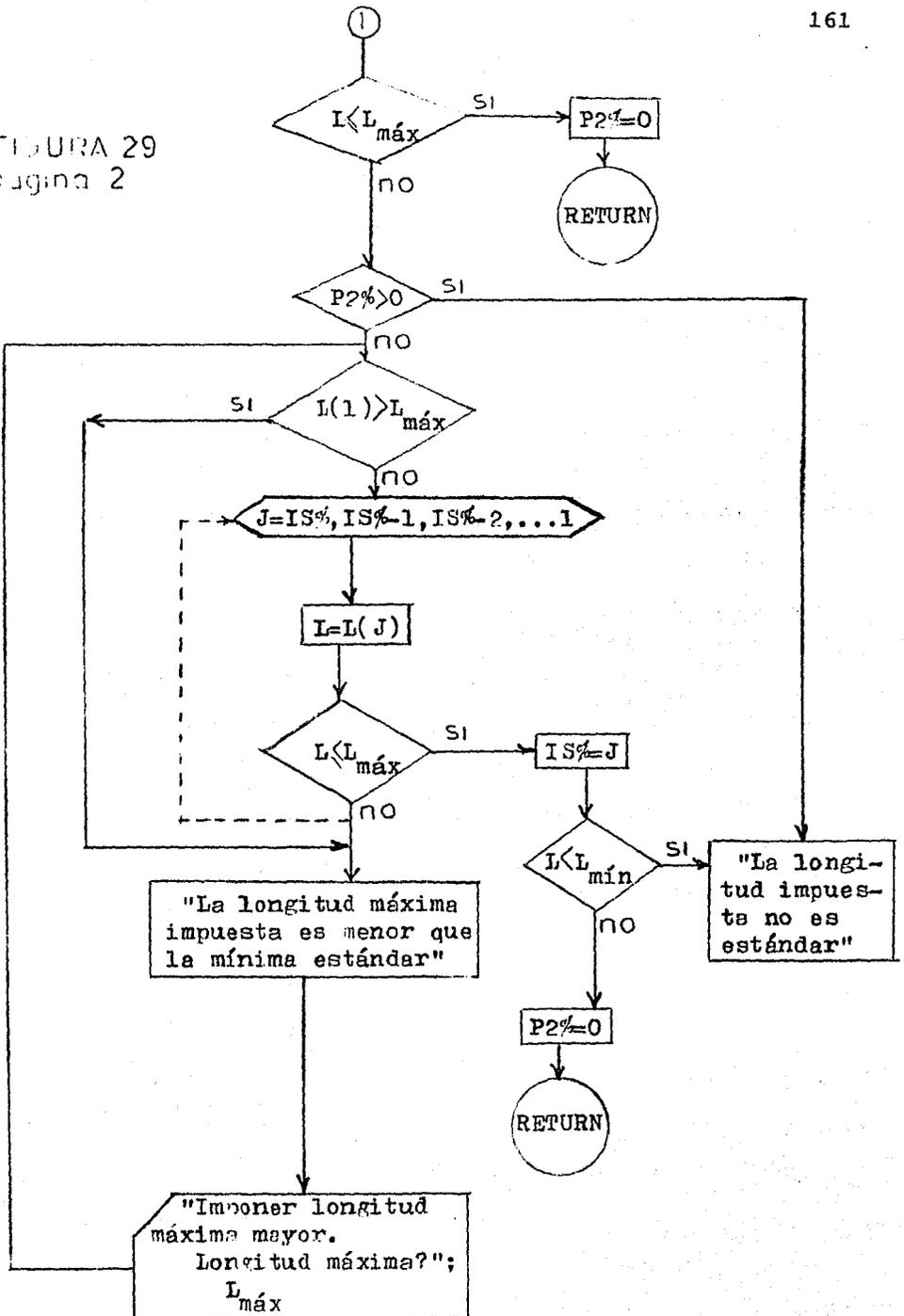


FIGURA 29

pagina 1

FIGURA 29  
 página 2



liza esta sección. Ya se comentó que si se propuso una longitud este subprograma tratará de respetarla aumentando el número de tubos para aumentar el área hasta donde sea posible (hasta que se utilice el número de tubos estándar que haga que el fluido se mueva a la velocidad mínima), y después, si se requiere seguir aumentando el área, se tratará de aumentar la longitud. Si se propuso un número de tubos este subprograma tratará de aumentar el área aumentando la longitud hasta donde sea posible (hasta que la longitud sea igual a la estándar correspondiente a la máxima impuesta por el usuario) y si después se requiere seguir aumentando el área lo hará tratando de aumentar el número de tubos.

Si ya se han hecho todos los aumentos de longitud y del número de tubos posibles para aumentar el área y se requiere seguir aumentándola, este subprograma tratará de aumentar el número de pasos por los tubos.

Si ya no es posible aumentar tampoco el número de pasos por los tubos por cada paso por coraza, este subprograma mandará la ejecución a una sección que se encarga de revisar las banderas que enciende el programa principal y los subprogramas que lo auxilian para dar un diagnóstico de las causas por las que alguna de las variables a las que se les han impuesto limitaciones no pueda tomar valores dentro del rango que le corresponda.

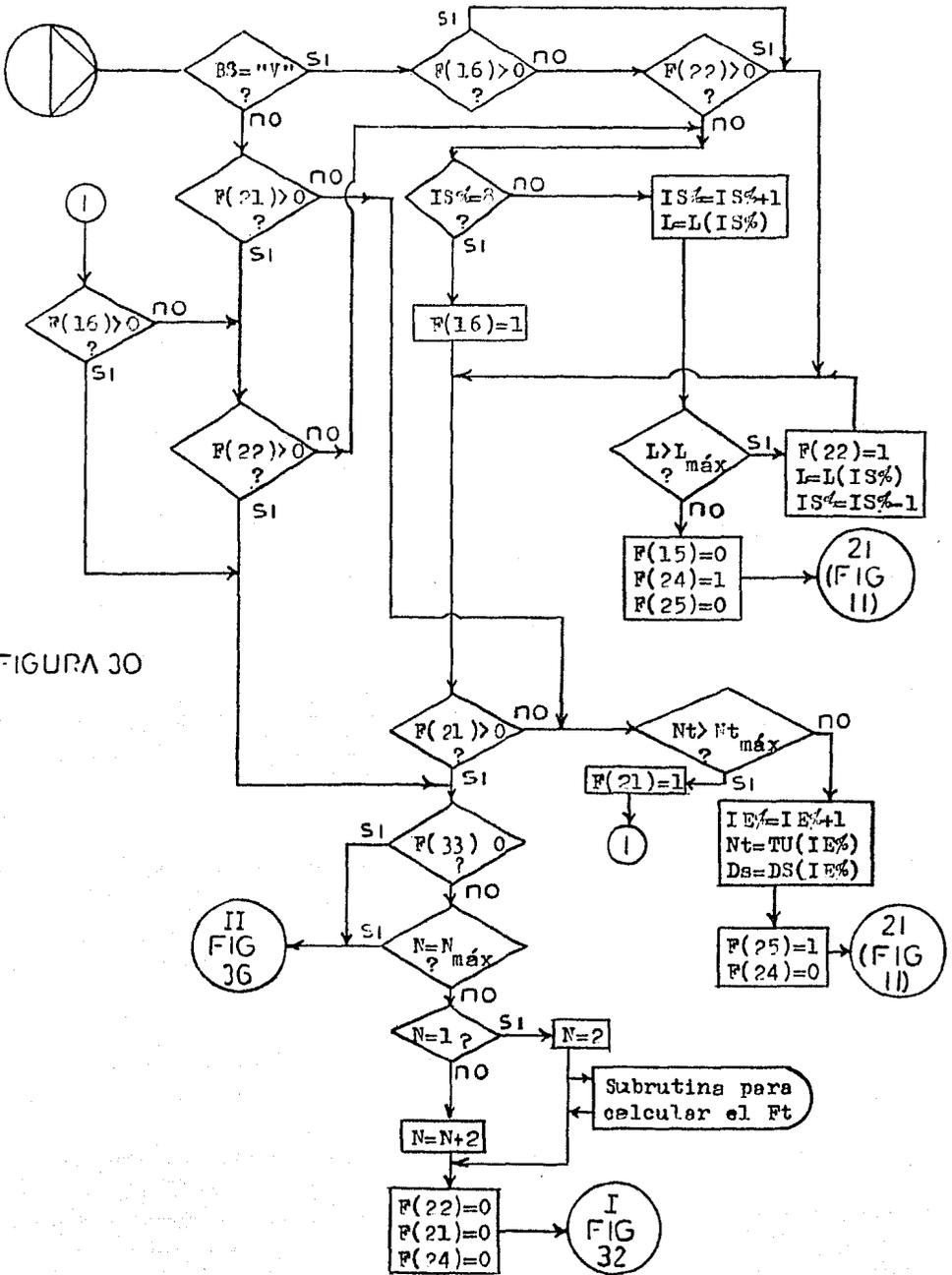


FIGURA 30

Como ya se ha visto en la sección que se encarga de encontrar el número mínimo de pasos que debe tener el haz de tubos, hay otra forma de aumentar el área de transferencia de calor: aumentando el número de pasos por la envolvente. Esta sección no utiliza esta opción. Al diseñar este programa se ha preferido que primero se utilice la sección de diagnósticos para que le informe al usuario las causas por las que no se pueda lograr que el coeficiente de diseño sea menor que el calculado, y después, por medio de otra sección que será llamada por aquella que da los diagnósticos, -sección piloto- se le dará la oportunidad de aumentar el número de pasos por la envolvente. Cuando se requiere aumentar el número de pasos por los tubos, esta sección hace uso de otra pequeña sección cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 32; esta pequeña sección también es utilizada por la sección II para aumentar el área de transferencia de calor.

El diagrama de flujo de esta sección se muestra en la figura 30.

Sección II para aumentar el área de transferencia de calor.

Esta sección se utiliza cuando es necesario aumentar el área de transferencia de calor y no se propuso ni una velocidad ni una longitud. Esta sección utiliza el subíndice  $IS_{\max}$  que indica cual es la longitud máxima estandar

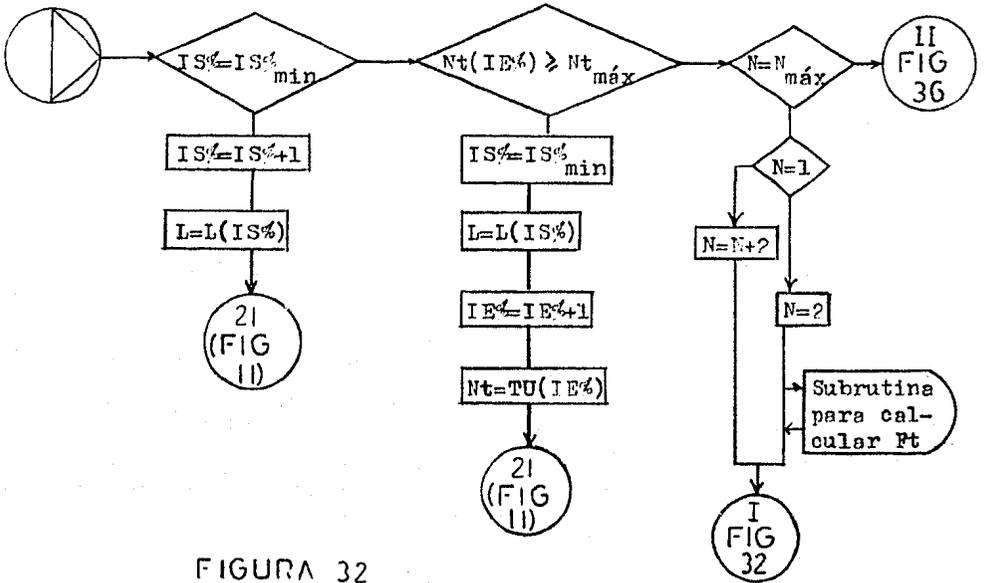
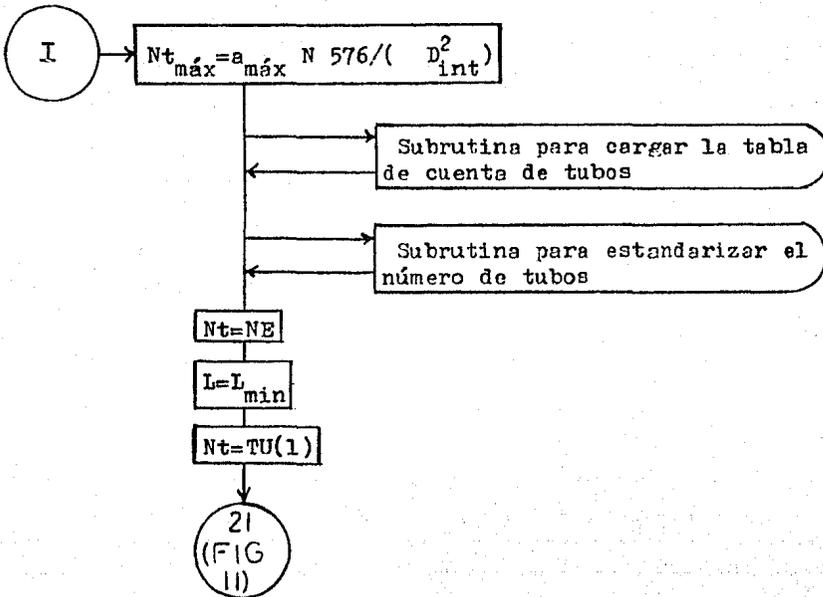


FIGURA 32



obtenida a partir de la máxima impuesta por el usuario, y el subíndice  $IS_{\min}$  que indica cuál es la longitud mínima estándar obtenida a partir de la mínima impuesta por el usuario; estos subíndices fueron obtenidos por el programa principal (ver figura 10).

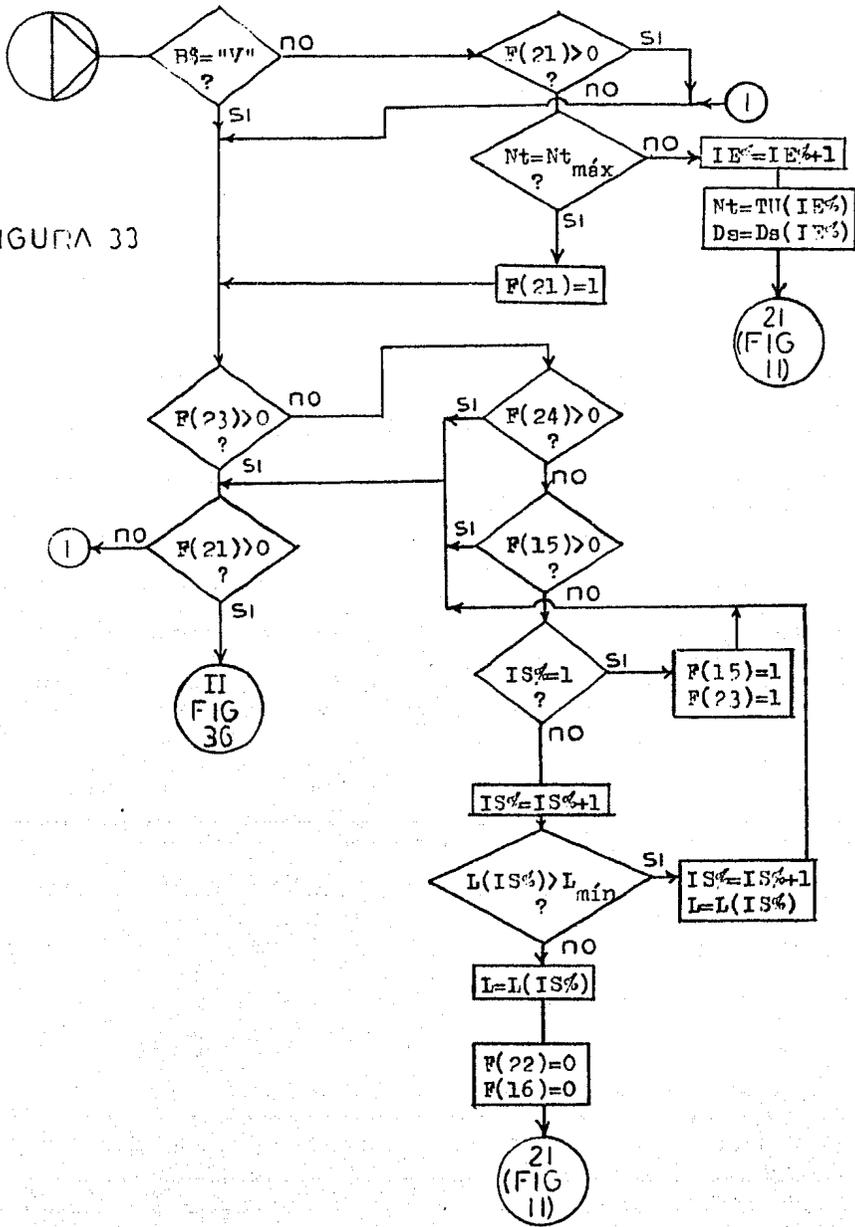
Esta sección trata primero de aumentar la longitud del haz de tubos para aumentar el área de transferencia de calor, si la longitud no se puede aumentar por ser ya igual a la máxima permitida entonces se aumentará el número de tubos del haz, así se hará hasta que el área obtenida sea la requerida o hasta que ya no se pueda aumentar la longitud ni el número de tubos. Cuando esto último ocurra se tratará de aumentar entonces el número de pasos que debe haber por los tubos. El diagrama de flujo de esta sección se muestra en la figura 31.

Sección I para disminuir la caída de presión.

Esta sección es utilizada para disminuir la caída de presión del fluido que circula por el interior de los tubos. Se usa cuando se ha propuesto una velocidad o una longitud.

Cuando se ha propuesto una velocidad se trata de disminuir la caída de presión disminuyendo la longitud del haz de tubos, de esta manera se trata de respetar la velocidad propuesta. Cuando se ha propuesto una longitud se trata de disminuir la caída de presión aumentando el número

FIGURA 33



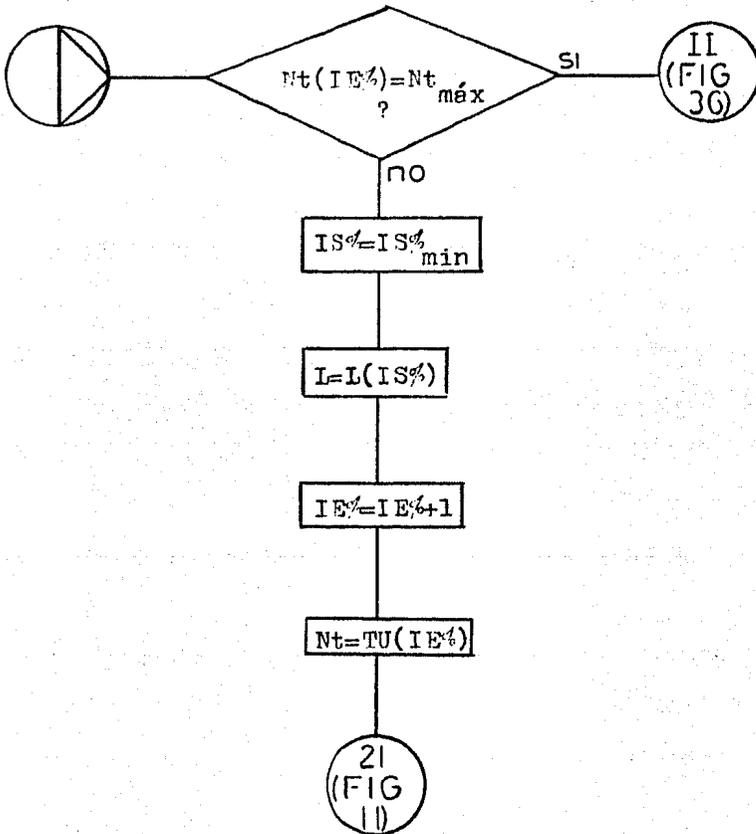
ro de tubos, tratando así de respetar la longitud propuesta. Si la variable que se está afectando para disminuir la caída de presión ya no puede ser modificada y es necesario seguir disminuyendo la caída de presión, entonces se tratará de modificar la otra variable, es decir, si ya no se puede disminuir la longitud se tratará de aumentar el número de tubos, y si se estaba aumentando el número de tubos y ya no es posible hacerlo se tratará entonces de disminuir la longitud.

Si no es posible aumentar el número de tubos ni disminuir la longitud y la caída de presión sigue siendo mayor a la máxima permitida, ya no hay otra variable que se pueda modificar para disminuir la caída de presión. El número de pasos por los tubos no se puede modificar ya que o es el mínimo que es posible utilizar o ha sido impuesto por el usuario, lo mismo ocurre con el número de pasos que se debe tener del lado de la envolvente. Por esto ya no será posible disminuir la caída de presión y la ejecución se continuará en la sección que hace diagnósticos. El diagrama de flujo se muestra en la figura 33.

#### Sección II para disminuir la caída de presión.

Esta sección sirve para disminuir la caída de presión del fluido que circula por el interior de los tubos, se utiliza cuando no se ha propuesto ni una velocidad ni una longitud.

FIGURA 34



Esta sección sólo modifica una variable para tratar de disminuir la caída de presión: el número de tubos. Por la forma en que la sección II para aumentar el área escoge los haces de tubos y por la forma en la que se propone el primer haz de tubos cuando no se ha propuesto ni una velocidad ni una longitud, no es necesario que la presente sección intente disminuir la longitud para disminuir la caída de presión ya que al disminuirla (cuando pueda) provocará que el haz de tubos ya no pueda cumplir térmicamente. Por las razones expuestas en la sección anterior, no se puede disminuir tampoco el número de pasos. Si no se puede aumentar el número de tubos la ejecución continuará en la sección de diagnósticos. El diagrama de flujo se muestra en la figura 34.

Subrutinas para obtener las temperaturas calóricas de los fluidos.

Esta subrutina se encarga de obtener las temperaturas calóricas de cada fluido. Para obtener estas temperaturas es necesario calcular los coeficientes globales en cada extremo del intercambiador y a su vez para obtener estos coeficientes es necesario calcular los coeficientes individuales de transferencia de calor de cada fluido en cada uno de esos extremos. Esta subrutina calcula cada coeficiente y la temperatura de la pared de los tubos en cada uno de los dos extremos, así que al evaluar los coe-

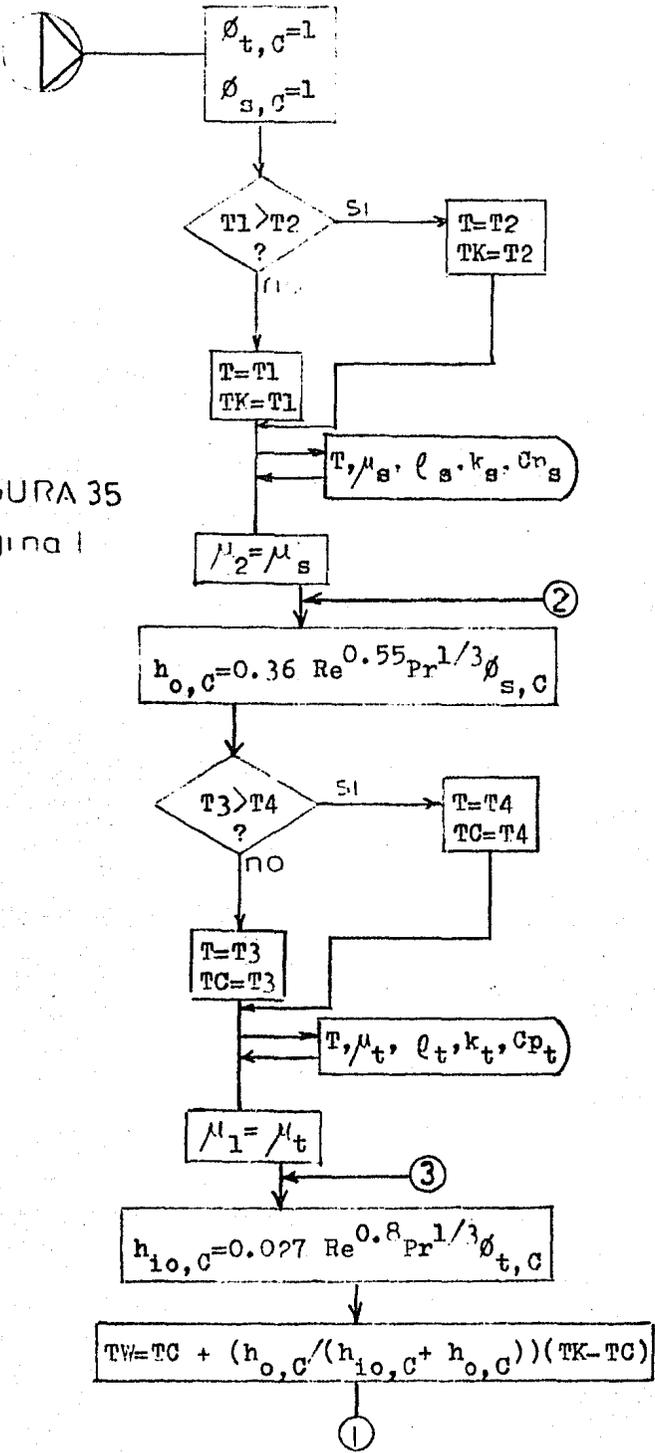


FIGURA 35  
pagina 1

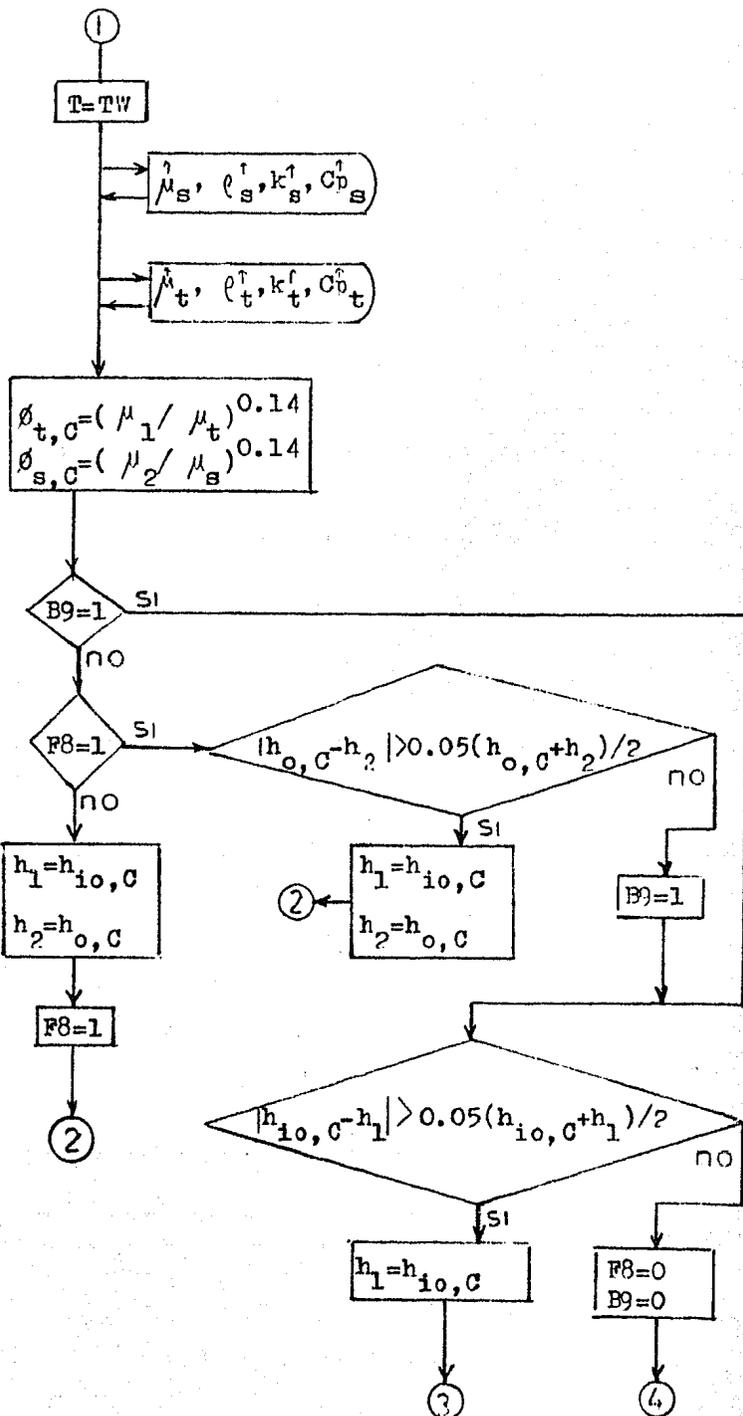


FIGURA 35  
pagina 2

FIGURA 35  
pagina 3

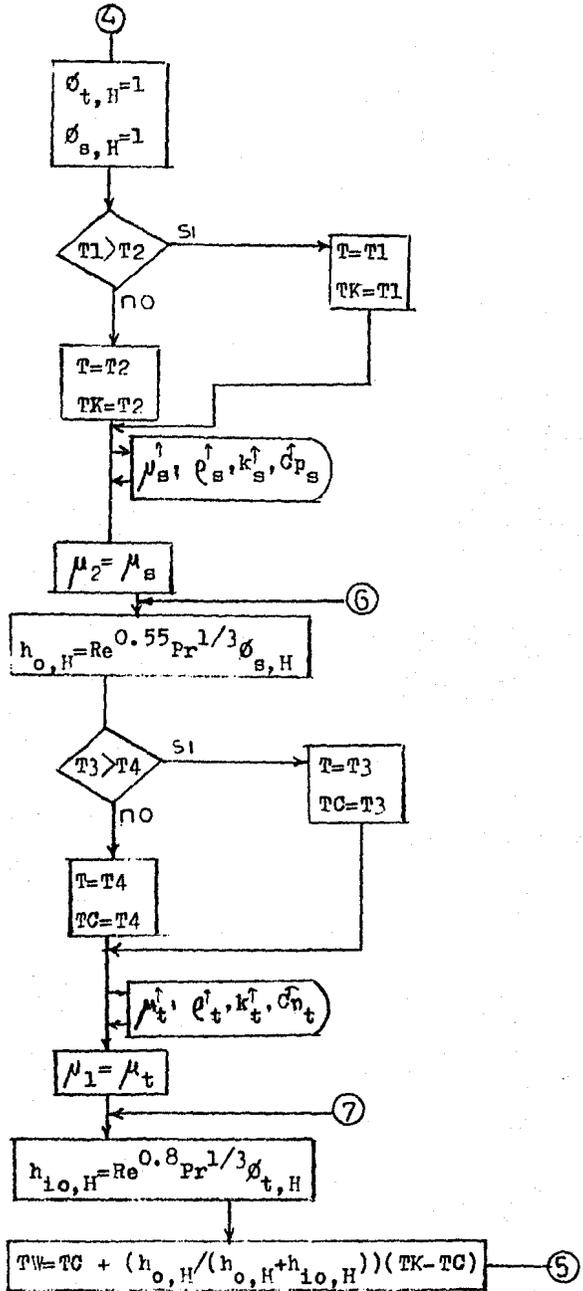
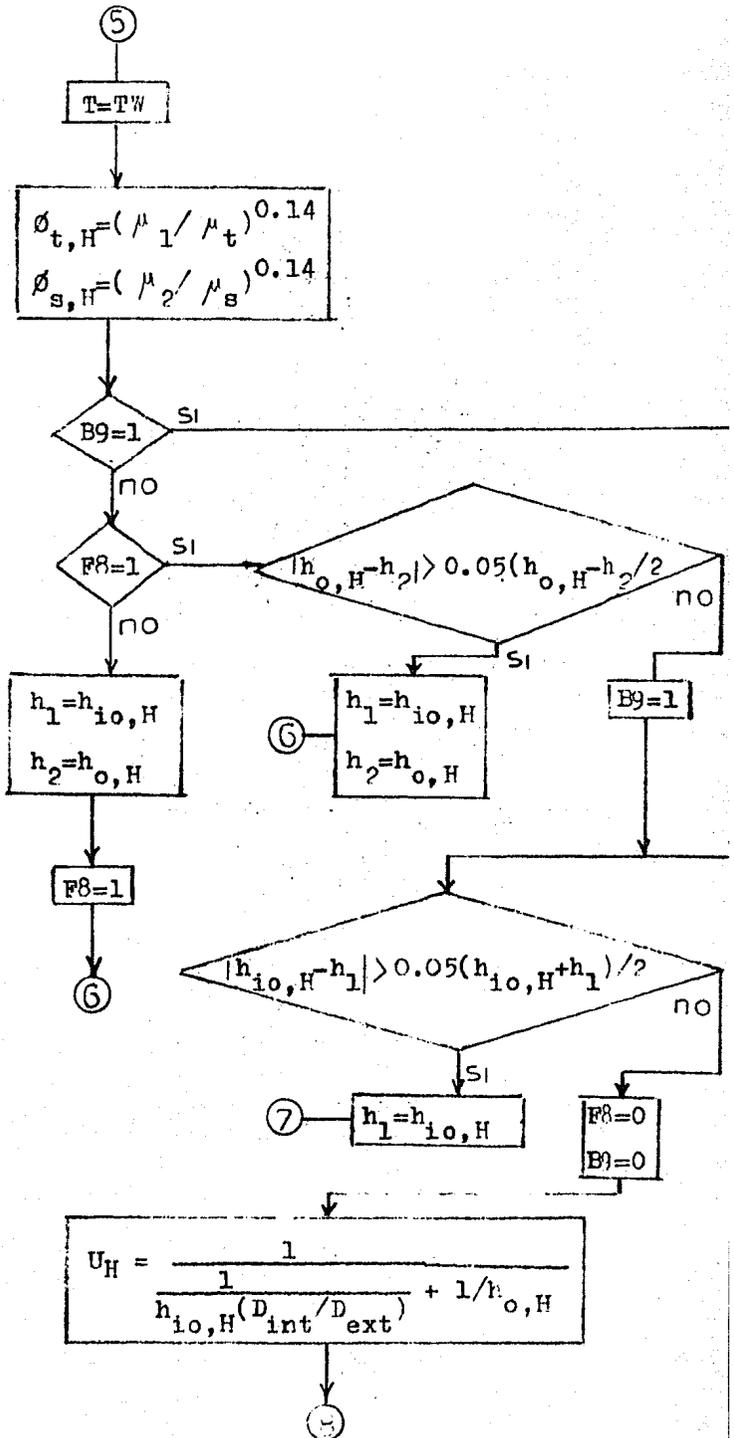


FIGURA 35  
pagina 3



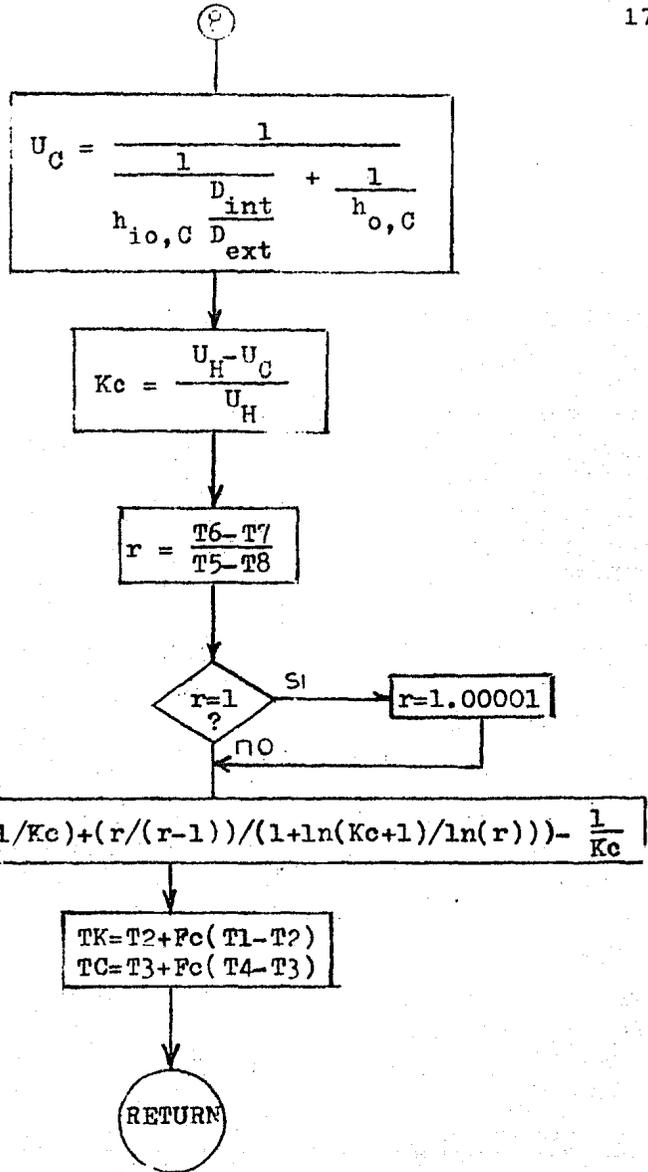


FIGURA 35  
pagina 5

ficientes lo hace tomando en cuenta a  $\phi_t$  y a  $\phi_s$  ya que al obtener la temperatura de la pared del tubo en cada extremo puede evaluar la viscosidad de los fluidos en la ve ci ndad de la pared en cada uno de esos extremos.

Una vez que se han calculado los coeficientes globales de transferencia de calor del extremo frío y del extremo caliente, se calculan las temperaturas calóricas y a partir de ellas se calcula la temperatura promedio de la pared de los tubos en todo el intercambiador. El diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 35.

#### Sección de diagnósticos.

Esta sección se encarga de informar al usuario por medio de mensajes explicativos las causas por las que no se pueda lograr que alguna de las variables a las que se han impuesto limitaciones tenga un valor dentro del rango que le corresponda.

Esta sección revisa los valores de las variables que han sido utilizadas como banderas y en base a éstos da un diagnóstico de la causa por la que no se pueda diseñar el intercambiador con las limitaciones impuestas.

Son dos las causas principales por las que puede ser utilizada esta sección:

- 1) Porque no se pueda cumplir con las limitaciones térmicas.
- 2) Porque no se pueda cumplir con las limitaciones hidráulicas.

licas.

Las limitaciones térmicas pueden reducirse a una básicamente para este programa: el intercambiador debe transferir la cantidad de calor que se requiera. Las limitaciones hidráulicas son dos: los fluidos deben tener números de Reynolds no menores a los que les correspondan y los fluidos deben sufrir una caída de presión menor o igual a la máxima permitida para cada uno.

Hay varias causas por las que es posible que no se pueda cumplir con estas limitaciones. En la lista de mensajes que aparece en esta sección se ennumeran estas causas.

A continuación se muestran las señales que toman diferentes valores durante una corrida y que auxilian a esta sección a escoger de entre las causas posibles las que provocaron que no fuera posible terminar el diseño del intercambiador.

Bandera

Prendida (cuando vale 1) significa:

F(11)

No se puede disminuir el número de tubos porque se está utilizando el mínimo que tiene la tabla de cuenta de tubos que se ha cargado en memoria.

F(12)

No se puede aumentar el número de

- tubos porque el que se está utilizando es el mayor que tiene la tabla de cuenta de tubos que se ha cargado en la memoria.
- F(15) La longitud que tiene el intercambiador es igual a la mínima impuesta por T.E.M.A. (8 piés).
- F(16) La longitud que tiene el intercambiador es igual a la máxima impuesta por T.E.M.A. (40 piés).
- F(20) El coeficiente interno no es lo suficientemente grande.
- F(21) Si se aumentara el número de tubos el número de Reynolds sería menor de 2,500.
- F(22) La longitud que tiene el intercambiador es igual a la máxima impuesta por el usuario.
- F(23) Si se disminuyera la longitud del intercambiador a la inmediata estándar inferior sería menor que la longitud mínima impuesta por el usuario.
- F(24) La longitud ha sido aumentada por alguna de las secciones que amen

- tan el área de transferencia de calor.
- F(26) La distancia entre mamparas ha tenido que ser disminuida para aumentar el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por la envolvente.
- F(27) La distancia entre mamparas que se está utilizando es la mínima.
- F(28) Si se aumentara el número de tubos la velocidad disminuiría por debajo de la mínima impuesta.
- F(33) No se puede alterar el número de pasos por los tubos por cada paso por la envolvente porque ha sido impuesto.
- F(35) No se propuso ni una velocidad ni una longitud.
- F(37) El coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por la envolvente no ha podido ser aumentado para que tome un valor dentro del rango que le es permitido.
- F(38) La caída de presión del fluido

que circula por la envolvente es mayor que la máxima permitida y no puede ser disminuida.

F (39)

No ha sido posible hacer que la caída de presión que sufre el fluido que circula por el interior de los tubos sea igual o menor a la máxima impuesta.

F (40)

No se puede aumentar el número de pasos por los tubos por cada paso por la envolvente porque el que se está utilizando es el mayor que tienen las tablas de la fuente que se está usando.

El diagrama de flujo de esta sección se muestra en la figura 36; los mensajes enumerados en el diagrama aquí se muestran entre comillas:

1. "El coeficiente de transferencia de calor del fluido que va por el interior de los tubos no puede ser lo suficientemente grande como para transferir la cantidad de calor requerida.

Debe tener un valor mayor a";  $U_D$

"y tiene un valor de:";  $h_{io}$

"No se puede aumentar el área por lo siguiente:"

- 1a. "No se puede aumentar la longitud porque sería

mayor que la longitud máxima impuesta

longitud=";1

"longitud máxima impuesta=";<sup>1</sup>max

- 1b. "No se puede aumentar la longitud porque sería mayor que la longitud máxima impuesta por T.E. M.A.:

longitud=";1

"longitud máxima recomendada por T.E.M.A.=";1(8)

- 2a. "No se puede aumentar el número de tubos porque disminuiría la velocidad por debajo de la velocidad mínima impuesta

velocidad=";v

"velocidad mínima impuesta=";<sup>v</sup>min

- 2b. "No se puede aumentar el número de tubos porque el número de Reynolds sería menor de 2,500

número de tubos="; Nt

"número de Reynolds="; Re

- 2c. "No se puede aumentar el número de tubos porque el que se está usando es el mayor de la tabla de cuenta de tubos utilizada:

número de tubos="; Nt

"número máximo de tubos de la tabla="; TU(IS%)

- 3a. "No se puede aumentar el número de pasos por los tubos porque ha sido impuesto

número de pasos=";N

- 3b. "No se puede aumentar el número de pasos porque el que se está usando es le mayor con el que cuentan las tablas de la fuente utilizada:  
 número de pasos="; N  
 "número de pasos máximo="; N6%
4. "La caída de presión que sufre el fluido que va por dentro de los tubos es mayor que la máxima permitida  
 caída de presión máxima permitida="; P<sup>max</sup>  
 "No se puede disminuir por lo siguiente:"
- 4a. "No se puede disminuir la longitud porque sería menor que la longitud menor impuesta  
 longitud="; 1  
 "longitud menor impuesta="; 1<sub>min</sub>
- 4b. "No se puede disminuir la longitud porque sería menor que la longitud mínima recomendada por T. E.M.A.:  
 longitud=";1  
 "longitud mínima recomendada por T.E.M.A.=";1(1)
- 4c. "No se puede disminuir la longitud porque si se utiliza la longitud estándar inmediata inferior el área disminuiría demasiado y ya no se podrá transferir la cantidad de calor requerida.  
 longitud=";1  
 "longitud estándar inmediata inferior=";1(IS%-1)

- 4d. "No se puede disminuir el número de pasos por los tubos porque ha sido impuesto número de pasos="; N
- 4e. "No se puede disminuir el número de pasos porque el que se está utilizando es el mínimo posible calculado para transferir la cantidad de calor requerida respetando las limitaciones impuestas número de pasos="; N
5. "El coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por el lado de la coraza no tiene el valor mínimo requerido para que el intercambiador transmita la cantidad de calor necesaria. No se puede aumentar el coeficiente por lo siguiente:"  
 "No se puede disminuir la distancia entre mamparas porque la que se está utilizando es la mínima posible:  
 distancia entre mamparas="; B  
 "distancia mínima entre mamparas=";  $B_{\min}$
6. "La caída de presión del fluido que circula por el lado de la envolvente es mayor que la máxima permitida  
 caída de presión="; P  
 "caída de presión máxima permitida=";  $P_{\max}$

6a. "No se puede aumentar la distancia entre mamparas porque el número de Reynolds tomaría valores menores a 1,000

distancia entre mamparas="; B

"número de Reynolds=";  $Re_s$

6b. "No se puede aumentar la distancia entre mamparas porque el coeficiente de transferencia de calor del fluido que circula por la coraza tomaría un valor menor al mínimo posible

tiene un valor de";  $h_o$

"y debería tener un valor mayor a";  $h_o$

7. "El número de Reynolds mínimo que puede alcanzar el fluido que circula por la coraza es menor de 1,000

número de Reynolds=";  $Re_s$

"No se puede aumentar porque:"

7a. "No se puede disminuir la distancia entre mamparas porque se está utilizando la menor

distancia entre mamparas="; B

"distancia mínima entre mamparas=";  $B_{min}$

7b. "No se puede disminuir el diámetro de la coraza disminuyendo el número de tubos porque el haz de tubos no cumpliría con las limitaciones impuestas"

8. "Se trató de aumentar el área de transferencia

para tratar de disminuir el valor que debe tener el coeficiente externo y poder modificar la distancia entre mamparas, pero al tratar de aumentar el área ocurre que:"

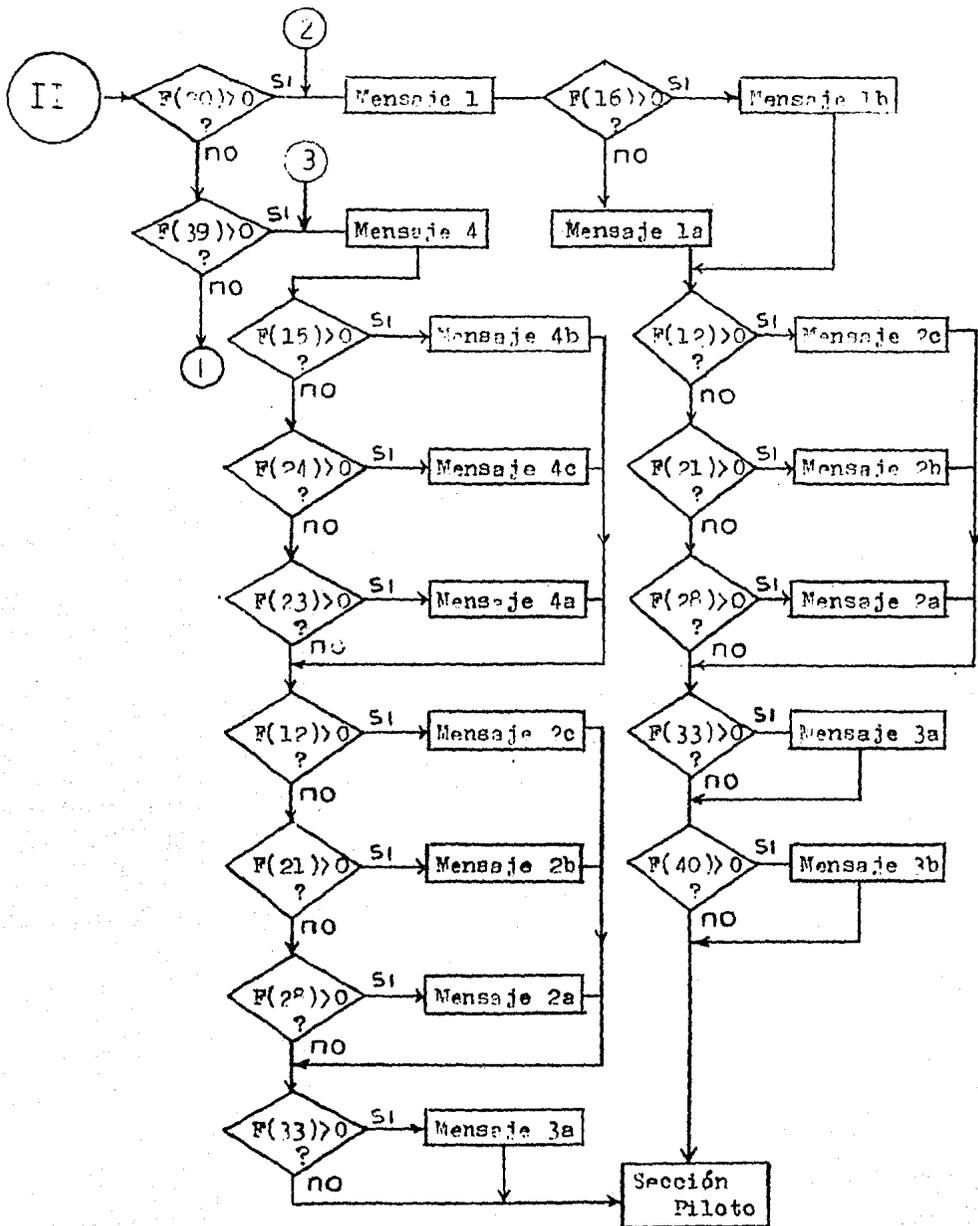


FIGURA 36  
pagina 1

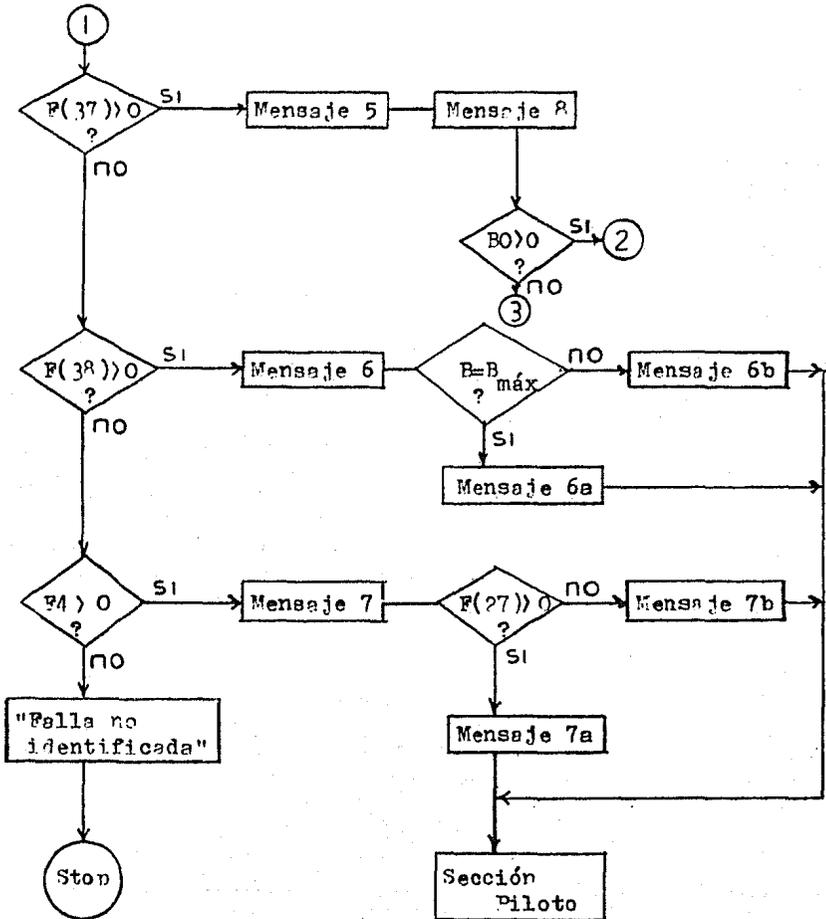


FIGURA 36  
pagina 2

Cálculo de las temperaturas de salida de los fluidos.

Una vez que ha sido diseñado térmicamente el intercambiador se deben calcular las temperaturas a las que saldrán los dos fluidos los primeros días de uso, cuando todavía esté limpio.

A partir de las expresiones de balance de calor se pueden obtener las temperaturas de salida de los fluidos para un intercambiador 1-1, (con un paso por la coraza y un paso por los tubos) como lo muestra Kern en su libro (6):

Para las siguientes ecuaciones

A es el área de transferencia de calor

U es el coeficiente global de transferencia de calor

Las demás variables han sido ya definidas al hablar del método de Kern.

Si los fluidos van en contracorriente:

$$Q = wc (t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$Q = UA \Delta t \quad (2)$$

donde

$$(3) \quad \Delta t = \text{LMTD} = (T_1 - t_2) - (T_2 - t_1) / (\ln((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)))$$

substituyendo 3 en 2 e igualando con 1

$$wc (t_2 - t_1) = UA ((T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)) / \ln((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1))$$

$$\ln((T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)) = UA / wc ((T_1 - T_2) / (t_2 - t_1) - 1)$$

por otra parte se tiene que:

$$WC (T_1 - T_2) = wc (t_2 - t_1)$$

$$\frac{wc}{WC} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

De aquí se observa que la relación entre los rangos de temperatura de los dos fluidos se puede conocer sin necesidad de conocer las temperaturas de salida de cada uno, porque se conoce a  $w$ ,  $W$ ,  $c$  y a  $C$ . A esta relación Kern la llama  $R$ :

$$R = \frac{wc}{WC} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

substituyendo en 4

$$\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} = \ln (UA/wc) (R-1) \quad (6)$$

de 5 se tiene

$$t_2 = t_1 + (T_1 - T_2)/R$$

substituyendo esta expresión en 6, eliminando logaritmos y despejando a  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{(1-R) T_1 + (1-e^{-UA/wc(R-1)}) R t_1}{1 - e^{-UA/wc(R-1)}} \quad (7)$$

Con esta ecuación se obtiene la temperatura de salida del fluido caliente; a partir de la ecuación 5 se puede obtener la temperatura de salida del fluido frío.

Si los fluidos van en paralelo se tendrá que

$$Q = wc(t_2 - t_1)$$

$$Q = UA \Delta t$$

donde

$$\Delta t = \text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln((T_1 - t_1)/(T_2 - t_2))}$$

$$wc(t_2 - t_1) = UA \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln((T_1 - t_1)/(T_2 - t_2))}$$

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} = \frac{UA}{wc} \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{t_2 - t_1}$$

simplificando

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} = \frac{UA}{wc} \left( \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} + 1 \right)$$

utilizando la ecuación 5 y despejando  $T_2$

$$T_2 = \frac{T_1 - t_1}{e^{(UA/wc)(R+1)}} + t_2$$

substituyendo en esta ecuación el valor de  $t_2$  obtenido a partir de la ecuación 5 y ordenando términos

$$T_2 = \frac{T_1 (e^{(UA/wc)(R+1)} + R) + t_1 R (e^{(UA/wc)(R+1)} - 1)}{e^{(UA/wc)(R+1)} (1+R)}$$

Con esta ecuación se obtendrá la temperatura de salida del fluido caliente cuando los flujos vayan en paralelo; como en el caso anterior, la temperatura de salida del fluido frío se puede obtener a partir de la ecuación 5.

Si el intercambiador tiene un paso por la envolvente y dos o más pasos por los tubos, las temperaturas de salida de los fluidos pueden obtenerse a partir de la siguiente ecuación mostrada por Kern en su libro (6):

$$\left(\frac{UA}{wc}\right) \text{verdad.} = \frac{1}{\sqrt{R^2+1}} \ln \frac{2-S(R+1) - \sqrt{R^2+1}}{2-S(R+1) + \sqrt{R^2+1}}$$

donde

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

despejando S

$$S = \frac{2 e^{(UA/wc)(\sqrt{R^2+1})} - 2}{(R+1+\sqrt{R^2+1}) e^{(UA/wc)(\sqrt{R^2+1})} - (R+1-\sqrt{R^2+1})}$$

A partir de S se puede obtener la temperatura de salida del fluido frío:  $t_2 = S(T_1 - t_1) + t_1$ , la temperatura de salida del fluido caliente se puede obtener a partir de la ecuación 5.

Si el intercambiador tiene más de un paso por los tu bos y por la envolvente, se pueden obtener las temperaturas de salida de los fluidos a partir de la ecuación de Bowman. Herkenhoff (5) publicó en un artículo una ecuación obtenida a partir de la de Bowman con la que se pueden obtener las temperaturas de salida de los fluidos:

$$X = \frac{2E - 2}{R+1+\sqrt{R^2+1} E - (R+1-\sqrt{R^2+1})}$$

donde

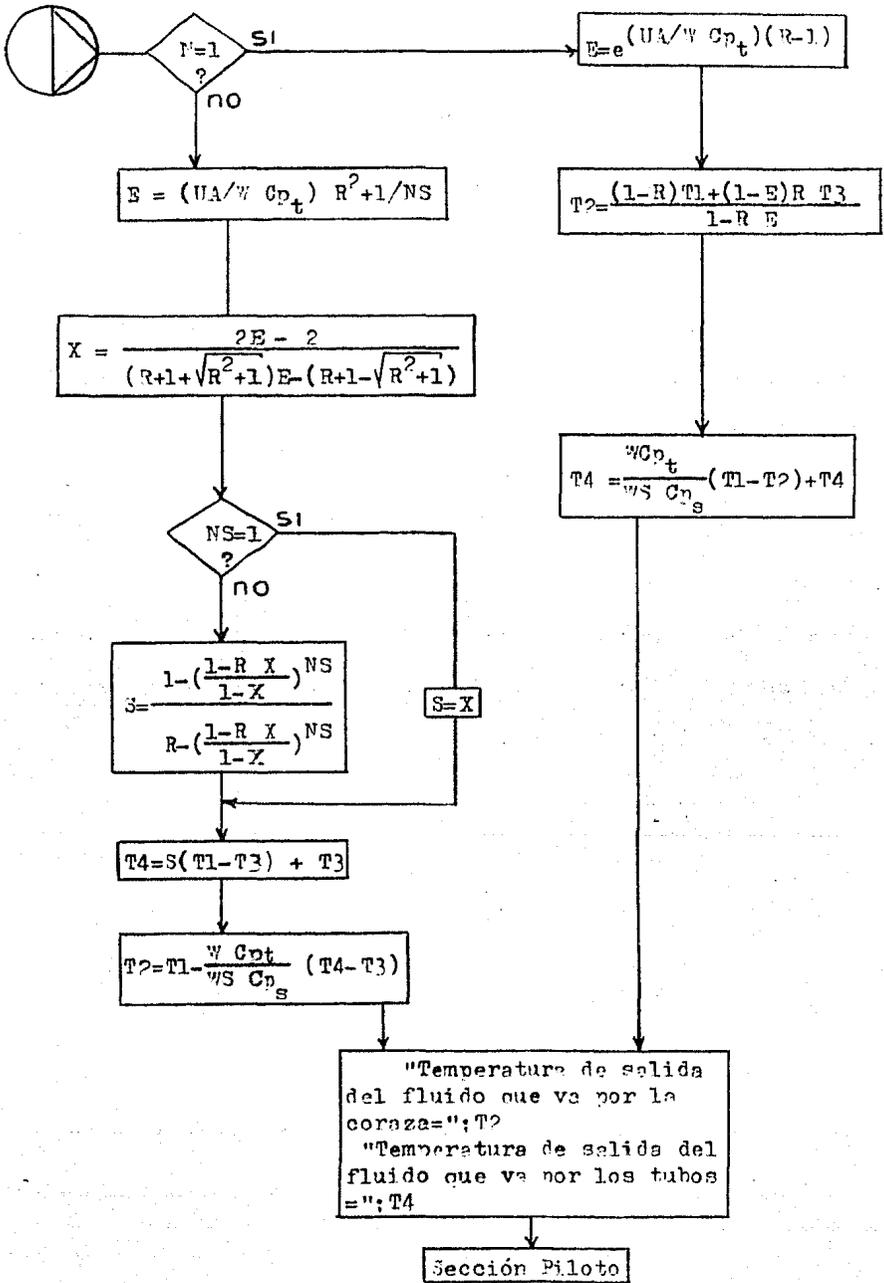
$$E = e^{(UA/wc)(\sqrt{R^2+1}/Ns)}$$

y

$$S = \frac{1 - \left(\frac{1-RX}{1-X}\right) Ns}{R - \left(\frac{1-RX}{1-X}\right) Ns}$$

A partir de S se pueden obtener las temperaturas de salida de los dos fluidos como en el caso anterior.

El diagrama de flujo de esta parte de programa se muestra en la figura 37.



Sección piloto para aumentar el número de pasos por la envolvente y para modificar algunos de los datos alimentados.

Esta sección se utiliza después de que la sección de diagnósticos ha explicado las causas por las que no pueda continuarse con el diseño del intercambiador o cuando una vez diseñado, el usuario desea hacerle algunas modificaciones.

Se le mostrará al usuario la siguiente lista:

- 1.- Alimentación de un número de pasos por los tubos.
- 2.- Alimentación de las limitaciones que se deben cumplir cuando se diseñe el haz de tubos.
- 3.- Elección del arreglo que tendrán los tubos.
- 4.- Alimentación de la caída de presión máxima que puede sufrir el fluido que circula por la envolvente.
- 5.- Alimentación de una distancia entre mamparas.
- 6.- Esta opción se debe utilizar si se desea aumentar en una unidad el número de pasos por la envolvente.

Se le pedirá al usuario que escoja alguna de las opciones que se le muestran. Si le hace falta área de transferencia de calor al intercambiador, el usuario deberá usar la opción 6 y se repetirán los cálculos desde la sec

ción que obtiene el número mínimo de pasos que debe tener el haz de tubos. Si escoge alguna de las primeras cinco opciones el programa se volverá a ejecutar desde la parte en la que se haga la pregunta o preguntas que se indican en la lista. Por ejemplo, si se escoge la opción 1 se repetirá la ejecución del programa desde la parte que pregunta al usuario las temperaturas de entrada y salida de los fluidos y sus flujos máxicos; si escoge la opción 4 sólo se repetirá la ejecución desde la parte que hace los cálculos por la envolvente.

#### Instructivo de uso.

En primer lugar se deben tener listos y a la mano los siguientes datos para poder suministrarlos cuando sean requeridos:

Para cada fluido:

Temperatura de entrada

Temperatura de salida

Flujo máxico

Las propiedades físicas de los fluidos. Deberán ser alimentadas en unidades del sistema inglés. Se pueden suministrar de tres formas:

1) Se puede alimentar una tabla de las propiedades físicas del fluido a diferentes temperaturas:

$T_1$	$\rho_1$	$\mu_1$	$k_1$	$Cp_1$
$T_2$	$\rho_2$	$\mu_2$	$k_2$	$Cp_2$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
$T_n$	$\rho_n$	$\mu_n$	$k_n$	$Cp_n$

donde

$$T_n > T_{n-1} \dots T_2 > T_1$$

se debe cumplir que

$$2 \leq n \leq 10 \quad n \text{ debe ser entero.}$$

El intervalo de temperaturas que debe abarcar esta tabla debe ser el siguiente para ambos fluidos: de la temperatura más alta del fluido más caliente. Es indispensable cumplir con esta restricción, de lo contrario pueden surgir errores al calcular las temperaturas calóricas o cualquier otra variable en la que se involucren las propiedades físicas para su cálculo.

2) Se pueden utilizar ecuaciones a partir de las cuales se obtengan las propiedades físicas de los fluidos en el rango de temperaturas que arriba se menciona.

3) Por último, se pueden alimentar las propiedades

físicas de los fluidos a su temperatura media.

Las limitaciones que debe cumplir el intercambiador:

El  $R_d$  requerido

Para el cálculo en los tubos:

Caída de presión máxima que puede sufrir el fluido que circula por los tubos.

Longitud máxima que pueden tener los tubos.

Longitud mínima que pueden tener los tubos.

Para el cálculo en la coraza:

Caída de presión máxima que puede sufrir el fluido que circula por la coraza.

Estas son las limitaciones que es indispensable conocer, se pueden imponer otras, pero no es indispensable hacerlo.

Iniciación de una Corrida.

Una vez que se haya inicializado el BASIC y que se haya colocado en la lectora el disco con el programa, hay que mandar ejecutar el disco con el programa contenido en el archivo PROFIIIN/BAS. En pantalla aparecerá lo siguiente:

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

ALIMENTACION DE DATOS DE PROPIEDADES FISICAS

DENSIDAD, VISCOSIDAD, CONDUCTIVIDAD TERMICA Y CAPACIDAD CALORIFICA

- 1 PUNTOS
- 2 ECUACIONES
- 3 PROPIEDADES PROMEDIO

CON QUE OPCION ALIMENTARA LOS DATOS?\_

Si se ha decidido alimentar las propiedades físicas del fluido que circula por el interior de los tubos en forma de tablas de las propiedades físicas a diferentes temperaturas, el usuario deberá escoger la primera opción:

1 ENTER

(la palabra ENTER encerrada en un rectángulo significa que se debe presionar la tecla que tiene escrita esa palabra)

A continuación aparecerá en la pantalla lo siguiente:

LOS PUNTOS DEBEN SER ALIMENTADOS EN ORDEN CRECIENTE CON RESPECTO A LA TEMPERATURA

SE PUEDEN ALIMENTAR LAS PROPIEDADES FISICAS A 10 TEMPERATURAS MAXIMO

CUANTOS PUNTO DESEA ALIMENTAR?\_

Se debe escribir el número de diferentes temperaturas a las cuales se alimentarán las propiedades, por ejemplo, si se tiene la tabla:

$T_1$	$\rho_1$	$\mu_1$	$CP_1$
$T_2$	$\rho_2$	$\mu_2$	$CP_2$
$T_3$	$\rho_3$	$\mu_3$	$CP_3$

se deberá teclear: 3

En pantalla:

NOMENCLATURA

T TEMPERATURA

RO DENSIDAD

MU VISCOSIDAD

K CONDUCTIVIDAD TERMICA

CP CAPACIDAD CALORIFICA

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Para continuar con la corrida el usuario deberá apretar cualquier tecla, excepto aquella que se encuentra en la parte derecha del teclado y que tiene escrita la palabra BREAK.

En pantalla:

T1?\_

el usuario deberá escribir el valor de la temperatura más baja de la tabla, supongamos que es 102, entonces la pantalla se verá así:

T1? 102

A continuación:

T1? 102 CP1?\_

esta vez deberá alimentar el valor de la capacidad calorífica del fluido a la temperatura T1. Los demás datos deberán alimentarse de manera similar.

Si las propiedades físicas serán obtenidas a partir de ecuaciones, el usuario deberá escoger la segunda opción; cuando el programa pregunta QUE OPCION ESCOGE?\_ deberá responder: 2 ENTER. En la pantalla aparecerán entonces las siguientes instrucciones:

CUANDO SE CARGUE EL PROGRAMA PRINCIPAL DEBERA INSERTAR EN LAS LINEAS QUE SE INDICAN LAS ECUACIONES A PARTIR DE LAS CUALES SE OBTENDRAN LAS PROPIEDADES FISICAS. DEBE RESPETAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE QUE SE ASIGNA A CADA PROPIEDAD. NOTE QUE AL FINAL DE CADA ECUACION DEBERA ESCRIBIR : RETURN

LINEA		COMENTARIO
10010	MU=MU(T):RETURN	MU(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA VISCOSIDAD A PARTIR DE LA TEMPERATURA
10020	RO=RO(T):RETURN	RO(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA DEN-

SIDAD A PARTIR DE LA TEMPE  
 RATURA  
 10030 K=K(T):RETURN K(T) ES UNA FUNCION PARA  
 OBTENER LA CONDUCTIVIDAD  
 TERMICA EN FUNCION DE LA  
 TEMPERATURA  
 10040 CP=CP(T):RETURN CP(T) ES UNA FUNCION PARA  
 OBTENER LA CAPACIDAD CALO-  
 RIFICA EN FUNCION DE LA  
 TEMPERATURA

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

El usuario deberá seguir estas instrucciones cuando aparezca el mensaje:

CARGANDO PROGRAMA PRINCIPAL

y un minuto después:

READY

esto ocurrirá después que haya alimentado la opción con la que se alimentarán las propiedades físicas del fluido que circula por la envolvente.

Si el usuario desea alimentar las propiedades físicas a la temperatura media del fluido deberá escoger la opción 3. Una vez escogida esta opción, se le preguntará la temperatura media y el valor de cada una de las

propiedades del fluido a esta temperatura.

Una vez que haya alimentado las propiedades físicas del fluido que circula por el interior de los tubos, el programa preguntará con que opción serán alimentadas las propiedades físicas del fluido que circula por la envolvente. El programa mostrará al usuario diferencia de que si el usuario escoge la opción 2, los números de línea en los que deberán insertarse las ecuaciones serán distintos, ya que estas ecuaciones corresponden al fluido que circula por la coraza:

10050 MU=MU(T): RETURN

10060 RO=RO(T): RETURN

10070 K=K(T): RETURN

10080 CP=CP(T) RETURN

Cuando se terminen de alimentar las propiedades para los dos fluidos ocurrirá lo siguiente:

Si se escogió la segunda opción para alimentar los datos de uno o de ambos fluidos aparecerá el mensaje

CARGANDO PROGRAMA PRINCIPAL

y un minuto después en la línea inferior

READY

En ese momento el usuario deberá insertar las ecuaciones en los números de línea que se le indicaron con cuidado de no cometer errores, sin olvidar que al final de la ecuación deberá insertar: RETURN.

Las ecuaciones deberán ser escritas en lenguaje BASIC. para continuar la ejecución el usuario deberá teclear: RUN ENTER.

Si no se escogió la segunda opción para alimentar las propiedades físicas de ninguno de los dos fluidos, aparecerá el siguiente mensaje:

CARGANDO Y EJECUTANDO EL PROGRAMA PRINCIPAL

Programa Principal.

Cuando comience a ejecutarse el programa principal aparecerán las siguientes preguntas:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA .....

TEMPERATURA DE SALIDA .....

FLUJO MASICO .....

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA .....

TEMPERATURA DE SALIDA .....

FLUJO MASICO .....

El usuario deberá alimentar los datos que se le piden y el programa comprobará el balance térmico, si no concuerda, pedirá al usuario que le suministre otra vez estos datos ya que es probable que alguno de ellos haya sido mal alimentado. Si se alimentaron correctamente estos datos y sigue sin concordar el balance térmico, entonces es probable que se haya cometido algún error al alimentar las

propiedades físicas o que el balance de energía que hizo el usuario esté mal hecho.

Si se sospecha que hubo algún error al alimentar las propiedades físicas se debe interrumpir la ejecución de este programa presionando el botón BREAK , y correr el programa PROFIOU/BAS (RUN PROFIOU/BAS) que mostrará al usuario las propiedades que alimentó, excepto si se optó por suministrar ecuaciones para obtener las propiedades físicas, en cuyo caso el usuario deberá revisar las ecuaciones de la siguiente manera: después de presionar el botón BREAK deberá escribir LIST y a continuación el número de línea donde se incertó la ecuación que se desea revisar, después deberá presionar el botón ENTER, en la pantalla aparecerá la ecuación con el número de línea, el usuario deberá revisarla y corregirla volviendo a escribir el número de línea y a continuación la ecuación correctamente si es que tiene algún error.

Si las propiedades físicas fueron alimentadas correctamente, el usuario deberá revisar el balance térmico y deberá alimentar las temperaturas de entrada y salida y los flujos másicos de cada fluido correctamente.

Una vez que concuerde el balance térmico se le hará la siguiente pregunta al usuario:

DESEA IMPONER UN NUMERO DE PASOS (SI, NO)?

Si responde "SI" a continuación se le mostrarán los

números de pasos por los tubos que puede escoger por cada coraza que se utilice; estos son: 1,2,4,6 y 8. Debe escoger alguno de estos números.

Si no desea imponer ningún número de pasos por los tubos por cada coraza deberá responder "NO".

A continuación el programa mostrará la diferencia media de temperaturas, si el usuario no impuso ningún paso por los tubos será igual al LMTD. Si el usuario impuso más de un paso por los tubos se le mostrará además el Ft.

Cada vez que aparezca en la pantalla la frase PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR el usuario deberá presionar cualquier tecla excepto la de BREAK .

La siguiente pregunta que hará el programa será:

RD COMBINADO?

el usuario deberá suministrar el Rd total que requiere el intercambiador.

Una vez que se haya alimentado el Rd el programa hará las siguientes preguntas sobre el cálculo del lado de los tubos:

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (LB/PULG.CUA.)?

El usuario deberá alimentar forzosamente la caída de presión máxima que puede sufrir el fluido.

La siguiente pregunta será:

VELOCIDAD MINIMA PERMITIDA (PIE/SEG)?

El usuario puede alimentar la velocidad mínima a la

que desea que circule el fluido por los tubos, esta velocidad mínima será respetada en todo momento, es decir, nunca se probará un haz de tubos que provoque que el fluido circule a velocidades menores a ésta. En un momento dado puede provocar que el programa se detenga por no poder disminuir la caída de presión. Se debe tomar esto en cuenta al proponer esta velocidad. Si el usuario no desea imponer una velocidad mínima no deberá alimentar nada, deberá presionar simplemente ENTER.

A continuación el programa preguntará:

LONGITUD MAXIMA (PIES)?

El usuario deberá alimentar forzosamente la longitud máxima que pueda tener el intercambiador. Esta longitud deberá tener cualquiera de los siguientes valores: 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30 o 40.

La pregunta inmediata será:

LONGITUD MINIMA (PIES)?

Como en el caso anterior, es forzoso alimentar la longitud mínima que pueda tener el intercambiador. Esta longitud deberá ser menor o igual a la longitud máxima.

A continuación se le preguntará al usuario como será el arreglo que llevará el intercambiador. En los ejemplos se mostrarán las preguntas que hará el programa para que el usuario elija un arreglo. Posteriormente se pregunta el BWG que tendrán los tubos, el usuario deberá elegir uno

de los que se le muestren.

Después se le hará al usuario la siguiente pregunta:

DESEA PROPONER UNA VELOCIDAD (SI, NO)?

Si el usuario desea que el fluido circule a una velo ci dad dada deberá responder "SI" a continuación se le pre gun tará:

VELOCIDAD PROPUESTA (PIE/SEG)?

y deberá proponer la velocidad a la que desea que circule el fluido. El programa tratará de mantener cuando sea po sible un número de tubos estandar tal que haga que el flui do que circula por los tubos vaya a una velocidad igual o similar a la propuesta.

Si el usuario no desea proponer una velocidad deberá responder "NO" cuando el programa se lo pregunta: a conti nuación el programa preguntará

DESEA PROPONER UNA LONGITUD (SI, NO)?

Si el usuario desea proponer una longitud deberá res ponder afirmativamente y se le preguntará inmediatamente:

LONGITUD PROPUESTA (PIES)?

El usuario deberá escribir una longitud dentro del in ter valo de longitudes que propuso. El programa tratará de respetar la longitud propuesta cuando sea posible.

Si el usuario propuso una velocidad o una longitud el programa le hará la siguiente pregunta:

DESEA PROPONER UN COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CA

LOR (SI, NO)?

Si el usuario responde afirmativamente se le preguntará el valor del coeficiente que desea proponer.

Si no desea proponer tampoco una longitud, el usuario deberá responder "NO" cuando se le haga la pregunta.

Cuando no se propone ni una velocidad ni una longitud, el programa no le preguntará al usuario si desea proponer un coeficiente de transferencia de calor. En este caso el programa probará todos los intercambiadores que es probable que satisfagan las limitaciones impuestas hasta que encuentre uno que lo haga.

A continuación se le hará al usuario la siguiente pregunta:

DESEA UTILIZAR LA OPCION DE RASTREO?

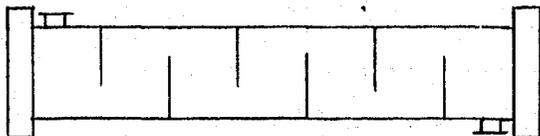
Si se responde afirmativamente a esta pregunta, cada vez que el programa requiera hacer algunas modificaciones para aumentar el área o para disminuir la caída de presión aparecerán mensajes en la pantalla mostrando los valores que tengan en ese momento las siguientes variables: el número de corazas, NS; el número de pasos por los tubos por cada coraza, N; el número de tubos contenidos en cada coraza, Nt; la longitud, L; los coeficientes interno y externo de transferencia de calor, HIO, HO; la caída de presión, DP; el término  $HIO(1-U_D R_d) - U_D$ , que debe ser positivo; también aparecerán mensajes que indicarán si se está aumen-

tando o disminuyendo el número de mamparas. Los mensajes irán pasando rápidamente uno detrás del otro, si se desea detener la imagen en la pantalla para observar los valores que van tomando las variables que se están rastreando se deben presionar al mismo tiempo las teclas SHIFT y en ese momento se mantendrá fija la imagen en la pantalla y se detendrá la ejecución del programa, para continuar la ejecución del programa hay que apretar cualquier tecla excepto BREAK .

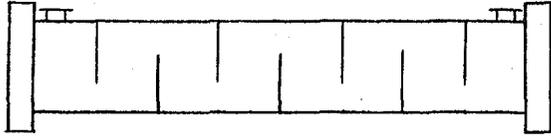
Una vez respondidas las anteriores preguntas, el programa comenzará a probar los haces de tubos hasta que encuentre uno que satisfaga las limitaciones impuestas o hasta que ya no sea posible hacer modificaciones, en cuyo caso mandará un mensaje. Una vez que encuentre un haz de tubos que satisfaga las limitaciones comenzarán los cálculos del lado de la envolvente.

Primero preguntará cuál es la caída de presión máxima permitida que puede sufrir el fluido que circula por la coraza, después preguntará si las boquillas irán colocadas diametralmente opuestas o del mismo lado del intercambiador:

Boquillas colocadas diametralmente opuestas entre sí



Boquillas colocadas del mismo lado del intercambiador



Una vez que se escoja la colocación de las boquillas el programa preguntará:

DESEA PROPONER UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS (SI,NO)?

Si el usuario responde afirmativamente se le mostrará el intervalo en el que puede proponer una distancia entre mamparas y se le pedirá que proponga una distancia dentro de ese intervalo. Si el usuario no desea proponer una distancia entre mamparas deberá responder negativamente y el programa propondrá la distancia mínima entre mamparas que es posible usar.

El programa revisará si el coeficiente externo de transferencia de calor tiene un valor igual o mayor al mínimo posible que le es permitido tener, si tiene un valor menor al mínimo permitido, se tratará de disminuir la distancia entre mamparas, si se está utilizando la mínima posible entonces aumentará el área del haz de tubos y repetirá los cálculos; así trabajará el programa hasta que encuentre un intercambiador que satisfaga las limitaciones impuestas o hasta que ya no pueda hacer más modificaciones.

Si el programa logra encontrar un intercambiador que cumpla con las limitaciones impuestas mostrará las especi

ficaciones de dicho intercambiador, si no puede encontrar un intercambiador que cumpla con ellas mostrará un mensaje explicando la causa.

#### Sección Piloto.

Una vez que se ha encontrado un intercambiador que satisfaga los requerimientos que se le piden o que se ha mostrado un mensaje que explique las causas por las que no es posible diseñar un intercambiador que satisfaga las limitaciones impuestas, se mandará correr una sección que se encarga de mostrar al usuario algunos puntos del programa a partir de los cuales se puede repetir la ejecución; esto se hace con el objeto de que el usuario pueda alimentar datos diferentes a los que alimentó con anterioridad a partir del punto que elija de entre los que se le muestren, para tratar de obtener el diseño térmico de otro intercambiador, si es que ya había obtenido el diseño térmico de alguno, o para obtener el diseño térmico del primero si es que en la corrida anterior se le mando un mensaje explicando las causas por las que no se pudo continuar el diseño. Esta sección también sirve para hacer que el intercambiador tenga una coraza más, esto se puede requerir si el área de transferencia de calor no es suficiente y ya se está usando el número máximo de pasos por los tubos. Esta sección ofrece los siguientes puntos a partir de los cuales se puede repetir la ejecución:

1. Alimentación de un número de pasos por los tubos.
2. Alimentación de las limitaciones que se deben cumplir cuando se diseñe el haz de tubos.
3. Elección del arreglo que tendrán los tubos.
4. Alimentación de la caída de presión máxima que puede sufrir el fluido que circula por la envolvente.
5. Alimentación de una distancia entre mamparas.

También aparecerá la siguiente opción:

6. Esta opción se puede utilizar si se desea aumentar en una unidad el número de pasos por al envolvente.

Si en la corrida anterior el programa mandó un mensaje en el que se indicó que no fue posible continuar con el diseño térmico porque no se pudo disminuir la caída de presión del lado de los tubos o porque no se logró que el coeficiente de diseño tomara un valor dentro del intervalo que le sea permitido, entonces el usuario no podrá utilizar la opción 4 ni la opción 5, ya que no se cuenta con un haz de tubos que satisfaga las limitaciones impuestas. Si se le mostraron estos mensajes al usuario en la corrida anterior, y utiliza la opción 4 o la 5 habrá errores en esa corrida.

Ejemplos.

Con los siguientes ejemplos se mostrará el uso, las limitaciones y las ventajas del programa.

En el ejemplo 7.4 del libro de Kern (6, pág. 155) se

pregunta si un intercambiador propuesto servirá para un servicio dado:

"Cálculo de un intercambiador de agua destilada-agua bruta.

175,000 lb/hr de agua destilada entran a un intercambiador a 93 grados F y salen a 85 grados F. El calor será transferido a 280,000 lb/hr de agua bruta que se alimenta al intercambiador a 75 grados F y sale a 80 grados F. Se puede permitir que ambos fluidos sufran caídas de presión de hasta 10 psi, el factor de ensuciamiento que debe proporcionar el intercambiador debe ser de 0.0005 para el agua destilada y 0.0015 para el agua bruta cuando la velocidad por los tubos exceda los 6 pies/seg"

A continuación se describe el intercambiador con el que se cuenta para que cumpla con este servicio:

"Para este servicio se cuenta con un intercambiador con una coraza de 15 1/4 pulgadas de diámetro interno con 160 tubos de 3/4 de pulgada de diámetro externo con un BWG de 18, una longitud de 16 pies y un arreglo triangular con una distancia entre centros de 15/16 de pulgada.

¿Servirá este intercambiador?

Diseñemos con el auxilio del programa un intercambiador que cumpla con las limitaciones que en el enunciado del problema se suministran.

Primero hay que obtener las propiedades físicas de

los fluidos. Como la viscosidad del agua no varía en gran medida en el intervalo de temperaturas de los dos fluidos se pueden alimentar las propiedades físicas de cada uno a sus temperaturas medias:

Agua bruta

Temperatura media 89 grad. F  
 viscosidad 1.96 lb/pie/seg  
 densidad 62.5 lb/pie cub.  
 conductividad térmica 0.36 BTU/(hr-pie cua.-grad.  
 F/pie)  
 capacidad calorífica 1 BTU/lb

Agua destilada

Temperatura media 77.5 grad. F  
 viscosidad 2.23 lb/pie/seg  
 densidad 62.5 lb/pie cub.  
 conductividad térmica 0.36 BTU/(hr-pie cua.-grad.  
 F/pie)  
 capacidad calorífica 1 BTU/lb

Mandemos el agua bruta por los tubos y el agua destilada por la coraza.

Una vez que se ha colocado el disco con el programa en la lectora y que se ha llamado al BASIC se deberá dar la instrucción:

RUN "PROFIIN/BAS"          ENTER

Aparecerá en pantalla:

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

ALIMENTACION DE DATOS DE PROPIEDADES FISICAS

DENSIDAD, VISCOSIDAD, CONDUCTIVIDAD TERMICA

CAPACIDAD CALORIFICA

1 PUNTOS

2 ECUACIONES

3 PROPIEDADES PROMEDIO

CON QUE OPCION ALIMENTARIA LOS DATOS?

Deberemos responder 3 ENTER . A continuación aparece  
rá en pantalla:

DEBE ALIMENTAR LAS PROPIEDADES A LA TEMPERATURA PROME-  
DIO DEL FLUIDO

NOMENCLATURA

T TEMPERATURA

RO DENSIDAD

MU VISCOSIDAD

K CONDUCTIVIDAD TERMICA

CP CAPACIDAD CALORIFICA

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Después de presionar cualquier tecla:

En pantalla:

Se deberá responder:

T MEDIA

89 ENTER

RO MEDIA

62.5 ENTER

MU MEDIA

1.96 ENTER

K MEDIA

.36 ENTER

CP MEDIA

1 ENTER

Después de alimentar el último dato se limpiará la pantalla y aparecerá lo siguiente:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

ALIMENTACION DE DATOS DE PROPIEDADES FISICAS

DENSIDAD, VISCOSIDAD, CONDUCTIVIDAD TERMICA

CAPACIDAD CALORIFICA

1 PUNTOS

2 ECUACIONES

3 PROPIEDADES PROMEDIO

CON QUE OPCION ALIMENTARIA LOS DATOS?

Deberemos escribir 3 ENTER .

Los letreros que aparecerán en la pantalla serán los mismos que aparecieron al alimentarse las propiedades físicas del fluido que circula por los tubos:

DEBE ALIMENTAR LAS PROPIEDADES A LA TEMPERATURA PROMEDIO DEL FLUIDO

NOMENCLATURA

T TEMPERATURA

RO DENSIDAD

K CONDUCTIVIDAD TERMICA

CP CAPACIDAD CALORIFICA

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Después de presionar cualquier tecla:

En pantalla:

Se deberá responder:

T MEDIA

77.5 ENTER

RO MEDIA 62.5 ENTER

MU MEDIA 2.23 ENTER

K MEDIA .36 ENTER

Aparecerá el mensaje:

CARGANDO Y EJECUTANDO EL PROGRAMA PRINCIPAL

Después de un intervalo de un minuto se borrará la pantalla, el programa principal ha comenzado a ejecutarse:

En pantalla

Deberemos responder:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA:

TEMPERATURA DE ENTRADA (GRAD F) .....? 93 ENTER

TEMPERATURA DE SALIDA (GRAD F) .....? 85 ENTER

FLUJO MASICO (LB/HR) .....? 175000 ENTER

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS:

TEMPERATURA DE ENTRADA (GRAD F) .....? 75 ENTER

TEMPERATURA DE SALIDA (GRAD F) .....? 80 ENTER

FLUJO MASICO (LB/HR).....? 280000 ENTER

A continuación aparecerán los letreros:

CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA FLU. TUB. 1

CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA FLU. COR. 1

estas son las capacidades caloríficas que hemos alimentado para cada fluido. Inmediatamente después aparecerá la pregunta

DESEA IMPONER UN NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS (SI, NO)?

Esta es la primera corrida que hacemos para diseñar

el intercambiador, dejemos que el mismo programa encuentre algún número de pasos por los tubos; deberemos responder:

NO ENTER

Inmediatamente aparecerá en la pantalla el mensaje

LMTD = 11.4345

DIFERENCIA REAL DE TEMPERATURAS 11.4345

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Como no impusimos ningún número de pasos por los tubos, el programa propuso que el intercambiador tendría un paso por los tubos y calculó el LMTD cuando los fluidos van a contracorriente. Después de presionar cualquier tecla aparecerá la pregunta

Responderemos:

RD COMBINADO (RD TUBOS+RD CORAZA)? 0.002 ENTER

En pantalla aparecerá entonces

CALCULO EN LOS TUBOS

DENSIDAD (LB/PIE CUB.) = 62.5

VISCOSIDAD (LB/PIE-SEG) = 1.96

CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/GRAD F-PIE-HR) = 0.36

CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/LB-GRAD F)

que son los datos de las propiedades físicas que suministramos a las temperaturas promedio. A continuación aparecerá la pregunta

Responderemos:

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (PSI)? 10 ENTER

Inmediatamente después aparecerá la pregunta:

VELOCIDAD MINIMA PERMITIDA (PIE/SEG) ?

En este caso entre las condiciones que impone el problema se encuentra la de una velocidad mínima; dice que el agua bruta, que va por los tubos, tendrá un  $R_d$  de 0.00 15 cuando circula a una velocidad mayor a 6 pies/seg.

Responderemos:

6 ENTER

A continuación aparecerá la pregunta:

LONGITUD MAXIMA (PIES)?

Supongamos que podemos aceptar que tenga una longitud de hasta 20 pies:

20 ENTER

La siguiente pregunta será:

LONGITUD MINIMA (PIES)?

Supongamos que podemos aceptar que tenga una longitud mínima de 10 pies:

10 ENTER

Se mostrará la siguiente indicación:

ESTE PROGRAMA PUEDE UTILIZAR TABLAS DE CUENTA DE TUBOS DE DOS FUENTES: 1) LAS DEL LIBRO DE KERN Y 2) LAS DEL MANUAL DEL ING. QUIMICO  
QUE TABLAS DESEA UTILIZAR (1,2)?

Escojamos el mismo arreglo que tiene el intercambiador que dice el enunciado del problema que está disponi-

ble. Utilicemos las tablas que se encuentran en el apéndice del libro de Kern (6, pág. 841, 842). Responderemos:

1 ENTER

En pantalla

QUE TIPO DE ARREGLO UTILIZARA: TRIANGULAR (T) O CUADRADO (C)?

Escribamos: T ENTER

En pantalla

SE PUEDE UTILIZAR LOS SIGUIENTES ARREGLOS:

DIAMETRO EXTERNO PASO TRIANGULAR

DE LOS TUBOS (PULG)

1.	3/4	15/16
2.	3/4	1
3.	1	1 1/4
4.	1 1/4	1 9/16
5.	1 1/2	1 7/8

QUE OPCION ESCOGE?

Escogeremos la primera opción:

1 ENTER

En pantalla:

DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO (OD) EN PULGADAS .75

BWG	OD/ID	ID (PULG)
10	1.556	.482005
11	1.471	.509857
12	1.41	.531915

BWG	OD/ID	ID (PULG)
13	1.339	.56012
14	1.284	.584112
15	1.238	.605816
16	1.21	.619835
17	1.183	.633981
18	1.15	.652174
20	1.103	.679964

#### QUE BWG ESCOGE?

Es obligación del usuario calcular al BWG que deberán tener los tubos, será función de la presión interna y externa que éstos sufrirán y de algunas otras variables. Es cojamos el mismo que tienen los tubos del intercambiador que se describe en el enunciado.

18 ENTER

Aparecerá la pregunta:

DESEA PROPONER UNA VELOCIDAD (SI, NO)?

Cuando se comienza a diseñar el intercambiador resulta ventajoso no proponer ni una velocidad ni una longitud para obligar al programa a que pruebe todos los intercambiadores que sea factible que puedan cumplir con las limitaciones impuestas; además si no se propone ni una velocidad ni una longitud, el intercambiador que se obtenga tendrá un porcentaje pequeño de sobrediseño.

Responderemos entonces: NO ENTER

A continuación aparecerá la pregunta: Responderemos:

DESEA PROPONER UNA LONGITUD (SI, NO)? NO ENTER

La siguiente pregunta será:

DESEA USAR LA OPCION DE RASTREO (SI, NO)?

Si respondemos afirmativamente, cada vez que trabajen las secciones para aumentar el área o para disminuir la caída de presión aparecerán mensajes en la pantalla indicando los valores que van tomando diversas variables. En esta ocasión respondamos negativamente:

NO ENTER

Comenzará el programa con los cálculos. En pantalla aparecerá después de un momento:

FT = .946547

NUMERO DE CORAZAS = 1

PASOS EN LOS TUBOS POR CADA CORAZA = 2

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Ha entrado en acción la subrutina que se encarga de proponer un número mínimo de pasos por los tubos, el programa había propuesto un paso, pero no es suficiente según los cálculos que ha hecho esta sección, por eso ha aumentado el número de pasos por los tubos por cada coraza a dos.

Después de presionar cualquier tecla el programa comenzará la búsqueda de algún haz de tubos que cumpla con las limitaciones impuestas. Por un momento parecerá que

el programa se ha detenido porque no cambiará la imagen en la pantalla ni se escuchará a las lectoras trabajar, pero en realidad está trabajando; si hubieramos respondido cuando se nos preguntó, que si deseabamos utilizar la opción de rastreo, en ese momento pasarían varios mensajes rápidamente.

Después de varios segundos aparecerá en pantalla:

CALCULO EN LA CORAZA

DENSIDAD (LB/PIE CUB.)=62.5

VISCOSIDAD (LB/PIE-SEG)=2.23

CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/HR-GRAD F-PIE)=0.36

CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/LB-GRAD F)=1

y hará la pregunta:

Responderemos:

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (PSI)? 10 ENTER

A continuación aparecerá en pantalla:

COLOCACION DE BOQUILLAS:

1 DIAMETRALMENTE OPUESTAS

2 DEL MISMO LADO

QUE OPCION ESCOGE (1,2)?\_

Escojamos la primera opción. 1 ENTER

Inmediatamente después preguntará el programa:

DESEA PROPONER UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS (SI, NO)?\_

Respondamos afirmativamente: SI ENTER

aparecerá en pantalla:

DISTANCIA MAXIMA ENTRE MAMPARAS 15.25

DISTANCIA MINIMA ENTRE MAMPARAS 3.05

QUE DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PROPONE?\_

La distancia entre mamparas que se debe proponer debe encontrarse dentro del intervalo que se muestra. Proponga mos una distancia de 5 pulgadas:

5 ENTER

Después de un momento aparecerá en pantalla:

CALCULO EN LA CORAZA

y a continuación las propiedades físicas, como arriba se mostraron.

Esto significa que se hicieron los cálculos del lado de la coraza, que esta coraza no pudo hacer que el fluido que circula por su interior cumpliera con las limitaciones térmicas o hidráulicas a pesar de todas las modificaciones que se hicieron a la distancia entre mamparas, por lo que se tuvo que modificar el haz de tubos, se repitieron los cálculos del lado de los tubos y en ese momento se llevan a cabo otra vez los cálculos del lado de la coraza.

Después de un momento aparecerán los resultados:

## RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDOS AL  
AREA EXTERNA DE LOS TUBOS:

INTERNO=1362.5

EXTERNO=1044.51

GLOBAL LIMPIO=591-248

GLOBAL SUCIO=170-904

DE DISEÑO=257=335

RD DISPONIBLE=2.19464E-3

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

## TUBOS

NUMEROS DE PASOS POR CADA CORAZA=2

NUMERO DE TUBOS=160

ARREGLO: TRIANGULAR

DISTANCIA ENTRE CENTROS=0.9375

LONGITUD=16

DIAMETRO EXTERNO=0.75

DIAMETRO INTERNO=0.65274

VELOCIDAD=6.7055

REYNOLDS=41835

CAIDA DE PRESION=7.10772 CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=15.25

VELOCIDAD=3.25137

REYNOLDS=14576.1

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=11.2941

CAIDA DE PRESION=9.72925

CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS

DIAS DE SERVICIO;

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=93

TEMPERATURA DE SALIDA;81.6516

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=75

TEMPERATURA DE SALIDA=82.0927

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Como se puede observar, en este caso el programa escogió el mismo intercambiador que se describe en el enun-

ciado del problema. Ahora presionemos cualquier tecla para continuar como lo indica la última instrucción. Se ejecutará la sección piloto que mostrará el siguiente mensaje:

EN LA SIGUIENTE LISTA SE MUESTRAN DIFERENTES PUNTOS A PARTIR DE LOS CUALES SE PUEDE REPETIR LA EJECUCION DEL PROGRAMA. PUEDE APROVECHAR ESTA LISTA PARA HACER OTRA CORRIDA CON DATOS DISTINTOS A LOS QUE SE USARON EN ESTA QUE SE ACABA DE EJECUTAR, A PARTIR DEL PUNTO QUE USTED ELIJA DE LA LISTA:

- 1 ALIMENTACION DE UN NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS
  - 2 ALIMENTACION DE LAS LIMITACIONES QUE SE DEBEN CUMPLIR CUANDO SE DISEÑE EL HAZ DE TUBOS
  - 3 ELECCION DEL ARREGLO QUE TENDRAN LOS TUBOS
  - 4 ALIMENTACION DE LA CAIDA DE PRESION MAXIMA QUE PUEDE SUFRIR EL FLUIDO QUE CIRCULA POR LA ENVOLVENTE
  - 5 ALIMENTACION DE UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS
  - 6 ESTA OPCION SE DEBE UTILIZAR SI SE DESEA AUMENTAR EN UNO EL NUMERO DE PASOS POR LA ENVOLVENTE
- QUE OPCION ESCOGE? \_

Supongamos que ahora requerimos que la longitud del haz de tubos sea de 12 pies, escogeremos entonces la segunda opción y la ejecución se repetirá desde la parte en la que se hace el diseño del haz de tubos:

2 ENTER

En pantalla:

Responderemos:

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (PSI)?10 ENTER

VELOCIDAD MINIMA PERMITIDA (PIES/SEG)? 6 ENTER

LONGITUD MAXIMA (PIES)?12 ENTER

LONGITUD MINIMA (PIES)? 12 ENTER

Escribiendo la longitud máxima igual a la mínima forzamos al programa a diseñar un intercambiador con esa longitud. Las preguntas que a continuación hará el programa las responderemos como la vez pasada. Después de que aparezcan en la pantalla varios mensajes similares a los de la corrida anterior aparecerá el siguiente:

EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL FLUIDO QUE CIRCULA POR EL LADO DE LA CORAZA NO TIENE EL VALOR MINIMO REQUERIDO PARA QUE EL INTERCAMBIADOR TRANSMITA LA CANTIDAD DE CALOR NECESARA. NO SE PUEDE AUMENTAR EL COEFICIENTE POR LO SIGUIENTE:

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

NO SE PUEDE DISMINUIR LA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PORQUE LA QUE SE ESTA UTILIZANDO ES LA MINIMA POSIBLE

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=3.06383

DISTANCIA MINIMA ENTRE MAMPARAS=3.05

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

SE TRATO DE AUMENTAR EL AREA DE TRANSFERENCIA PARA TRATAR DE DISMINUIR EL VALOR QUE DEBE TENER EL COEFICIENTE EXTERNO Y PODER MODIFICAR LA DISTANCIA ENTRE MAMPARRAS: PERO AL TRATAR DE AUMENTAR EL AREA OCURRE QUE:

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

LA CAIDA DE PRESION QUE SUFRE EL FLUIDO QUE VA POR DENTRO DE LOS TUBOS ES MAYOR QUE LA MAXIMA PERMITIDA:

CAIDA DE PRESION=12.2961

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

NO SE PUEDE DISMINUIR POR LO SIGUIENTE:

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

NO SE PUEDE AUMENTAR EL NUMERO DE TUBOS PORQUE DISMINUIR LA VELOCIDAD POR DEBAJO DE LA VELOCIDAD MINIMA IMPUESTA:

VELOCIDAD=6.833663

VELOCIDAD MINIMA IMPUESTA=6

NO SE PUEDE DISMINUIR EL NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS, EL QUE SE ESTA USANDO ES EL MINIMO REQUERIDO :

NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS POR CADA PASO POR CORAZA=4

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

No se puede utilizar un intercambiador de 12 pies de longitud con el arreglo escogido por las razones que el mensaje indica. Al imponer la longitud de 12 pies al intercambiador fue necesario aumentar el número de pasos por los tubos para aumentar el área, pero al aumentar el número de pasos por los tubos la caída de presión aumentó por encima de la permitida y ya no pudo ser disminuida.

Presionemos cualquier tecla para continuar. Aparecerán las opciones que brinda la sección piloto, no podemos utilizar la opción 4 ni la 5 porque el haz de tubos que en estos momentos tenemos provoca una caída de presión mayor a la máxima permitida para el flujo por los tubos. Esta vez propongamos otro arreglo para los tubos, escojamos la tercera opción:

3 ENTER

En pantalla aparecerá la pregunta sobre las tablas que podemos utilizar, escojamos las del libro de Kern y un arreglo triangular, cuando aparezcan los arreglos disponibles escojamos el tercero que aparece en la lista: 1" de diámetro externo y 1.25" de distancia entre centros. Las demás preguntas las responderemos como la vez anterior. Después de algunos momentos aparecerán los resultados:

RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDO AL

AREA EXTERNA DE LOS TUBOS:

INTERNO=1307.93

EXTERNO=895.686

GLOBAL LIMPIO=531.628

COEFICIENTE GLOBAL SUCIO=257.665

DE DISEÑO=242.198

RD DISPONIBLE=2.24784E-3

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TUBOS

NUMERO DE PASO POR CADA CORAZA=4

NUMERO DE TUBOS=170

ARREGLO: TRIANGULAR

DISTANCIA ENTRE CENTROS=1.25

LONGITUD=12

DIAMETRO EXTERNO=1

DIAMETRO INTERNO=0.901713

VELOCIDAD=6.60271

REYNOLDS=56955.5

CAIDA DE PRESION=9.2557 CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=21.25

VELOCIDAD=3.1111

REYNOLDS=18596.4

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=8.47059

CAIDA DE PRESION=8.88049 CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS DIAS  
DE SERVICIO:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=93

TEMPERATURA DE SALIDA=81.7943

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=75

TEMPERATURA DE SALIDA=82.0036

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

El encargado de realizar el diseño térmico no puede modificar el arreglo de los tubos para lograr que el intercambiador satisfaga las limitaciones impuestas. El arreglo que tendrán los tubos se escoge en base a la experiencia con intercambiadores que presten un servicio similar, al equipo con que se cuenta para su limpieza, etc.. En este caso cambiamos el arreglo para observar como funciona el programa y como influye el arreglo esco

gido en el diseño térmico, no como una alternativa para obtener un intercambiador que satisficiera las limitaciones impuestas.

Hagamos otra corrida más para este ejemplo. Presionemos cualquier tecla para continuar. Aparecerá otra vez el mensaje enviado por el programa piloto. Utilicemos esta vez el mismo arreglo del primer ejemplo que resolvimos, permitamos que la longitud pueda variar entre 10 y 20 pies y cuando el programa pregunte si deseamos proponer una velocidad responderemos que sí y propondremos una velocidad de 7, cuando pregunte si deseamos proponer un coeficiente responderemos afirmativamente y propondremos uno de 300, todas las otras preguntas las responderemos como en el caso anterior. Aparecerán los siguientes resultados:

#### RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDOS AL  
AREA EXTERNA DE LOS TUBOS:

INTERNO=1362.5

EXTERNO= 982.15

GLOBAL LIMPIO=570.737

GLOBAL SUCIO=266.516

DE DISEÑO=205.868

RD DISPONIBLE=3.10535E-3

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TUBOS

NUMERO DE PASOS POR CADA CORAZA=4

NUMERO DE TUBOS=160

ARREGLO: TRIANGULAR

DISTANCIA ENTRE CENTROS=0.9375

LONGITUD=20

DIAMETRO EXTERNO=.75

DIAMETRO INTERNO=.652174

VELOCIDAD=6.7055

REYNOLDS=41835

CAIDA DE PRESION=8.27898 CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=15.25

VELOCIDAD=2.9071

REYNOLDS=13032.8

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=12.6316

CAIDA DE PRESION=8.88355 CAIDA DE PRESION MAXIMA

PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS DIAS DE SERVICIO:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=93

TEMPERATURA DE SALIDA=81.1392

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=75

TEMPERATURA DE SALIDA=82.4127

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Veamos otro ejemplo de los que muestra Kern en su libro. En el ejemplo 7.3 se muestra un intercambiador que maneja fluidos más viscosos, veamos como funciona el programa con estos fluidos. El ejemplo 7.3 dice:

"Cálculo de un intercambiador de Queroseno-Petróleo crudo.

41,800 lb/hr de queroseno de 42 grados API sale del fondo de una torre de destilación a 190 grados F y será enfriado a 200 grados F por 149,000 lb/hr de un crudo de contenido medio de 34 grados API provenientes de almace-  
nes a 100 grados F y calentados a 170 grados F. Se puede permitir una caída de presión de 10 psi para ambas corrien-  
tes, de acuerdo con la tabla 12, se debe proveer un fac-  
tor combinado de suciedad de 0.003.

Para servicio se dispone de un intercambiador de 21

1/4" de diámetro interno conteniendo 158 tubos de 1" de diámetro externo, un BWG de 13 una longitud de 16'0" y un arreglo cuadrangular de 1 1/4" de distancia entre centros. Tiene cuatro pasos por los tubos y las mamparas están separadas 5" entre sí.

¿Servirá el intercambiador?, ¿Cual será su factor de suciedad?"

Como en el caso anterior diseñaremos un intercambiador que satisfaga el servicio que en el enunciado de este ejemplo se describe, utilicemos el arreglo y el BWG para los tubos del intercambiador que se dice en el ejemplo que se tiene.

En este caso utilizaremos ecuaciones para suministrar las propiedades físicas. Las siguientes ecuaciones han sido obtenidas por ajuste de datos de las propiedades físicas de ambos fluidos, son confiables en el rango de temperaturas en el que se encuentran los fluidos:

Petróleo crudo

$$\epsilon = 54.9565 e^{-4.6574 \cdot 10^{-4} T}$$

$$\mu = 24.676 e^{-8.117 \cdot 10^{-3} T}$$

$$k = 0.0799 e^{-3.179 \cdot 10^{-9} T}$$

$$C_p = 0.42 + 0.0006 T$$

Queroseno

$$\epsilon = 53.7 - 0.0322 T$$

$$\mu = 6.4827 e^{-6.452 \cdot 10^{-3} T}$$

$$k = 0.0835 - 2.5 \cdot 10^{-5} T$$

$$C_p = 0.435 + 0.0006 T$$

Corramos el programa que se encuentra en el archivo PROFIIN/BAS: RUN "PROFIIN/BAS" ENTER cuando se nos pregunte con que opción alimentaremos las propiedades físicas del fluido que circula por los tubos responderemos que con la 2, en pantalla aparecerá el mensaje que ya se mostró en las primeras páginas de este instructivo al hablar de la alimentación de ecuaciones:

CUANDO SE CARGUE EL PROGRAMA PRINCIPAL DEBERA INSERTAR EN LAS LINEAS QUE SE INDICAN LAS ECUACIONES A PARTIR DE LAS CUALES SE OBTENDRAN LAS PROPIEDADES FISICAS. DEBE RESPETAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE QUE SE ASIGNA A CADA PROPIEDAD. NOTE QUE AL FINAL DE CADA ECUACION DEBERA ESCRIBIR : RETURN

LINEA		COMENTARIO
10010	MU=MU(T):RETURN	MU(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA VISCOSIDAD A PARTIR DE LA TEMPERATURA
10020	RO=RO(T):RETURN	RO(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA DENSIDAD

DAD A PARTIR DE LA TEMPE-  
RATURA

10030 K=K(T):RETURN

K(T) ES UNA FUNCION PARA  
OBTENER LA CONDUCTIVIDAD  
TERMICA EN FUNCION DE LA  
TEMPERATURA

10040 CP=CP(T):RETURN

CP(T) ES UNA FUNCION PARA  
OBTENER LA CAPACIDAD CALO-  
RIFICA EN FUNCION DE LA  
TEMPERATURA

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

Después de presionar cualquier tecla en la pantalla aparecerán las opciones con las que se pueden alimentar las propiedades físicas del fluido que circula por la coraza, escogeremos la opción e. En la pantalla aparecerá un mensaje muy similar al anterior, con la única diferencia de que las líneas donde se indica que se deberán insertar las ecuaciones tienen los siguientes números: 10050 para la viscosidad, 10060 para la densidad, 10070 para la conductividad térmica y 10080 para la capacidad calorífica.

Después de presionar cualquier tecla aparecerá el mensaje:

## CARGANDO EL PROGRAMA PRINCIPAL

Después de un minuto aparecerá lo siguiente en los renglones inferiores:

READY

En ese momento ya podremos insertar las ecuaciones. Las ecuaciones deberán estar escritas en lenguaje BASIC:

Petroleo crudo

BASIC

$$\rho = 54.9565 e^{-4.6574 \cdot 10^{-4} T}$$

$$RO = 54.9565 * EXP(-4.6574E-4 * T)$$

$$\mu = 24.676 e^{-8.117 \cdot 10^{-3} T}$$

$$MU = 24.676 * EXP(-8.117E-3 * T)$$

$$k = 0.0799 e^{-3.179 \cdot 10^{-9} T}$$

$$K = .0799 * EXP(-3.179E-9 * T)$$

$$Cp = 0.42 + 0.0006 T$$

$$CP = .42 + 0.0006 * T$$

Queroseno

BASIC

$$\rho = 53.7 - 0.0322 T$$

$$RO = 53.7 - 0.0322 * T$$

$$\mu = 6.4827 e^{-6.452 \cdot 10^{-3} T}$$

$$MU = 6.4827 * EXP(-6.452E-3 * T)$$

$$k = 0.0853 - 2.5 \cdot 10^{-5} T$$

$$K = 0.0835 - 2.5E-5 * T$$

$$Cp = 0.435 + 0.0006 T$$

$$CP = 0.435 + 0.0006 * T$$

Insertemos las ecuaciones. Deberemos escribir el número de línea y a continuación la ecuación.

Mandaremos por la coraza el queroseno y por los tubos al petroleo crudo.

Escribiremos con cuidado de no equivocarnos en los números de línea ya que podemos alterar al programa si cometemos algún error:

10010 RO=54.9565\*EXP(-4.6574E-4\*T): RETURN ENTER

```

10020 MU=24.676*EXP(-8.117E-3*T): RETURN      ENTER
10030 K=0.0799*EXP(-3.179E-9*T): RETURN      ENTER
10040 CP=.42 + .0006*T: RETURN                ENTER
10050 RO=53.7 - .0322*T: RETURN              ENTER
10060 MU=6.4827*EXP(-6.452E-3*T): RETURN      ENTER
10070 K=.0835 - 2.5E-5*T: RETURN             ENTER
10080 CP=.435 + .0006*T: RETURN              ENTER

```

Las ecuaciones ya están insertadas en el programa.

Para iniciar la ejecución deberemos escribir:

```
RUN "HEATALL5/ BAS"      ENTER
```

El programa preguntará cuáles con las temperaturas de entrada y salida de los fluidos así como sus flujos mási-  
cos, estos datos se los alimentaremos como en los ejemplos  
anteriores. No propongamos ningún número de pasos, ni una  
velocidad mínima, tampoco propongamos ni una velocidad ni  
una longitud. Permitamos que la longitud pueda encontrar  
se entre los 12 y los 20 pies. Para observar las modifi-  
caciones que irá haciendo el programa respondamos afirma-  
tivamente cuando el programa haga la pregunta: ¿desea usar  
la opción de rastreo?

Los resultados que obtendremos serán:

RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDOS AL  
AREA  
EXTERNA DE LOS TUBOS

INTERNO=119.074

EXTERNO=184.742

GLOBAL LIMPIO=72.4058

GLOBAL SUCIO=59.4847

DE DISEÑO=57.4414

RD DISPONIBLE=3.59799E-3

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TUBOS

NUMERO DE PASOS POR CADA CORAZA=4

NUMERO DE TUBOS=158

ARREGLO: CUADRADO

DISTANCIA ENTRE CENTROS=1.25

LONGITUD=16

DIAMETRO EXTERNO=1

DIAMETRO INTERNO=0.810

VELOCIDAD=5.66047

REYNOLDS=8181.49

CAIDA DE PRESION=8.93669

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=21.25

VELOCIDAD=2.15786

REYNOLDS=26454.5

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=4.26667

CAIDA DE PRESION=5.43688

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS  
DIAS

DE SERVICIO:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=390

TEMPERATURA DE SALIDA=184.948

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=100

TEMPERATURA DE SALIDA=175.545

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

Entre los mensajes que aparecerán en la pantalla se encuentran algunos que indican que se calcula la temperatura calórica de cada fluido. En este caso se calcularán las temperaturas calóricas porque el programa puede disponer de las propiedades físicas de los fluidos a las temperaturas del lado frío y a las del lado caliente, y con ellas puede calcular los coeficientes globales de cada lado que son necesarios para calcular la fracción calórica, y a partir de ésta, las temperaturas calóricas.

Una forma de alimentar las propiedades físicas de los fluidos viscosos es calcular sus temperaturas calóricas con el auxilio de gráficas que para tal efecto existen en la literatura, buscar los valores de las propiedades físicas a esas temperaturas y alimentarlas posteriormente con la opción 3 al programa; de esta manera el tiempo que tardará en ejecutarse el programa será menor. El único inconveniente es que de esta forma no se tomarán en cuenta las diferencias de viscosidades entre el seno del fluido y su periferia en la vecindad con la pared de los tubos. En el siguiente ejemplo alimentaremos las propiedades físicas de esta manera.

En el ejemplo que acabamos de resolver el programa escogió el mismo intercambiador que en el enunciado se propone, al igual que en el primer intercambiador obtenido en el primer ejemplo; esto significa que ambos intercambiadores cumplen justo con el servicio al que fueron asignados; si tuvieran menos área, ya sea por tener menos tubos o menor longitud, ya no cumplirían con alguna o algunas de las limitaciones impuestas, es decir, ya no podrían suministrar el  $R_d$  requerido y/o ya no podrían provocar caídas de presión iguales o menores a las máximas permitidas. Siempre que se desee encontrar al intercambiador que suministre el área mínima que satisfará las limitaciones impuestas con el diámetro de coraza mínimo para el arreglo esco

gido que permita respetar dichas limitaciones, se deberá responder "NO" a las preguntas: ¿desea proponer una velocidad? y ¿desea proponer una longitud?

Veamos el ejemplo 11.1 del libro de Kern (6, pág.231, 234):

"Cálculo de un intercambiador de aceite residual-nafta. 29,800 lb/hr de un aceite ligero de 35 grados API a 340 grados F es usado para precalentar 103,000 lb/hr de nafta de 48 grados API de 200 a 230 grados F. La viscosidad del aceite es de 5 centipoises a 100 grados F y 2.3 centipoises a 210 grados F. La viscosidad de la nafta es de 1.3 centipoises a 100 grados F y 0.54 centipoises a 210 grados F. Se pueden permitir caídas de presión de hasta 10 psi.

Debido a que el aceite tiende a dejar residuos permite un factor de ensuciamiento de 0.005 y use un arreglo cuadrado. La práctica en la planta es emplear tubos de 3/4" de diámetro externo, con un BWG de 16 y una longitud de 16'0" siempre que sea posible"

En el ejemplo se comienza por llevar a cabo el balance térmico:

Aceite residual:  $Q=29,800 \cdot 0.58(340-240)=1,730,000$  BTU/hr

Nafta:  $Q=103,000 \cdot 0.56(230-200)=1,730,000$  BTU/hr

Después de calcular el LMTD y el Ft en este ejemplo, se calculan las temperaturas calóricas.

Tc y tc:

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta t_h} = \frac{240-200}{340-230} = 0.364$$

Kc=0.23 (el aceite residual controla)

Fc=0.405 (de la fig. 17 del mismo libro)

Tc=240 + 0.405 100=280.5 grad F

tc=200 + 0.405 30=212 grad F

Una vez encontradas las temperaturas calóricas debemos encontrar los valores de las propiedades físicas:

Aceite residual

Temperatura media=280.5 grad F

viscosidad 3.63 lb pie/seg

densidad 47.5 lb/pie cub.

conductividad térmica 0.0731 BTU/(hr-pie cua.-grad F/  
pie)

capacidad calorífica 0.58 BTU/lb-grad F

Nafta

Temperatura media=212 grad F

viscosidad 1.31 lb pie/seg

densidad 47 lb/pie cub.

conductividad térmica 0.0797 BTU/(hr-pie cuad.-grad  
F/pie)

capacidad calorífica 0.56 BTU/lb-grad F

Alimentando estos datos al programa, mandando el acei  
te por la coraza y la nafta por los tubos, obligando al

programa a que diseñe un intercambiador de 16 pies de longitud y permitiendo que el programa busque el intercambiador adecuado como en el ejemplo anterior, obtendremos los siguientes resultados:

RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDOS AL AREA

EXTERNA DE LOS TUBOS

INTERNO=122.971

EXTERNO=124.476

GLOBAL LIMPIO=61.8593

GLOBAL SUCIO=47.2462

DE DISEÑO=44.9452

RD DISPONIBLE= 6.0836E-3

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

TUBOS

NUMERO DE PASOS POR CADA CORAZA=1

NUMERO DE TUBOS=177

ARREGLO: CUADRADO

DISTANCIA ENTRE CENTROS=1

LONGITUD=16

DIAMETRO EXTERNO=0.75

DIAMETRO INTERNO=0.620

VELOCIDAD=1.64129

REYNOLDS=10949.81

CAIDA DE PRESION =0.210491

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=17.25

VELOCIDAD=1.66692

REYNOLDS=6201.15

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=3.49091

CAIDA DE PRESION=4.72225

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS  
DIAS

DE SERVICIO:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=340

TEMPERATURA DE SALIDA=226.293

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=200

TEMPERATURA DE SALIDA=234.076

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

Si deseamos aprovechar un poco más la caída de pre-

sión que se permite que tenga el fluido que circula por los tubos, podemos imponer dos pasos en éstos. Alimentando los datos igual que la vez pasada pero imponiendo dos pasos por los tubos obtendremos el siguiente intercambiador de calor:

#### RESULTADOS

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR REFERIDOS AL AREA

EXTERNA DE LOS TUBOS

INTERNO=225.382

EXTERNO=124.476

GLOBAL LIMPIO=80.1884

GLOBAL SUCIO=57.2589

DE DISEÑO=54.6035

RD DISPONIBLE=5.84323E-3

PRESIONE CUALQUIER TECHA PARA CONTINUAR

TUBOS

NUMERO DE PASOS POR CADA CORAZA=2

NUMERO DE TUBOS=166

ARREGLO: CUADRADO

DISTANCIA ENTRE CENTROS=1

LONGITUD=6

DIAMETRO EXTERNO=0.75

DIAMETRO INTERNO=0.620

VELOCIDAD=3.50009

REYNOLDS=23350.9

CAIDA DE PRESION=1.66705

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

CORAZA

NUMERO DE CORAZAS=1

DIAMETRO INTERNO=17.25

VELOCIDAD=1.66692

REYNOLDS=6201.15

DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=3.49091

CAIDA DE PRESION=4.72225

CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA=10

PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR

TEMPERATURAS QUE TENDRAN LOS FLUIDOS LOS PRIMEROS

DIAS

DE SERVICIO:

FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA

TEMPERATURA DE ENTRADA=340

TEMPERATURA DE SALIDA=229.158

FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS

TEMPERATURA DE ENTRADA=200

TEMPERATURA DE SALIDA=233.253

### Conclusiones

El presente programa sirve bien como un ejecutor del método de Kern, las ligeras discrepancias que presentan los resultados obtenidos y los que muestra Kern en su libro son debidos a que la computadora trabaja con más decimales.

Los mensajes explicativos que presenta el programa cuando no se puede continuar un diseño debido a que ya no se podría cumplir con alguna o algunas de las limitaciones impuestas, auxilian al usuario a comprender que variables se ven afectadas y en que forma al modificar dichas limitaciones. Por esto el programa es útil en el entrenamiento de personas que tengan que aprender a diseñar intercambiadores de calor.

Las alternativas que utiliza este programa para manejar líquidos que no sufran cambios de fase son sólo unas cuantas de las múltiples posibles. Sería conveniente adicionar a posteriores versiones la posibilidad de utilizar intercambiadores con mamparas longitudinales y corazas tipo F.

El programa realiza el trabajo deseado, pero está lejos de ser el más eficiente en cuanto a tiempo que tarda en correr y la memoria que utiliza. Sería conveniente modificar el diagrama para eliminar lo más que se pueda estas ineficiencias.

El método utilizado hace varias simplificaciones de lo

que en realidad ocurre con el fluido que circula por la coraza, por lo que no es muy confiable para hacer el dise  
ño térmico definitivo del intercambiador; sin embargo si  
ve para hacer estimaciones de las dimensiones que deberá tener.

## Apéndice A

Los archivos de datos que puede manejar esta máquina son de dos tipos: secuenciales y de acceso aleatorio. Todos los archivos de datos que utiliza este programa son de acceso aleatorio.

La forma en la que están compuestos los archivos aleatorios de disco es la siguiente:

Están constituidos por segmentos de 256 BYTES (elementos donde pueden representarse ocho dígitos binarios); cada uno de estos segmentos de memoria en el disco recibe el nombre de sector, un segmento del mismo tamaño almacenado en la memoria de la máquina (RAM) recibe el nombre de record. La mínima cantidad de información que puede ser transferida de la memoria de la máquina al disco es aquella que cabe en un record, y la mínima cantidad de información que puede ser transferida del disco a la memoria de la máquina es aquella que cabe en un sector; en otras palabras, entre la memoria de la máquina y el disco y entre el disco y la memoria de la máquina la mínima cantidad de información que puede transferirse es aquella que puede ser contenida por 256 BYTES.

Un archivo tiene varios sectores (el número de sectores en un archivo será siempre múltiplo de 5, el número mínimo de sectores que puede tener es 5) para identificarlos se les asignan números enteros progresivos, se puede

tener acceso a la información contenida en cualquiera de estos sectores sin necesidad de sacar la información de los sectores que le precedan, por eso se le llama a este tipo de archivo de acceso aleatorio.

En esta máquina los números enteros se representan en 2 BYTES, los de precisión sencilla en 4 y los de doble precisión en 8. O sea que en un sector caben 128 números enteros o 64 de precisión sencilla o 32 de doble precisión.

Se le pueden hacer divisiones ficticias a cada record para utilizar solamente la parte de éste que se necesite, a estas divisiones se les llama subrecords. Divisiones "ficticias" porque en realidad al pasar información de la memoria de la máquina al disco y del disco a la memoria de la máquina se deberán transferir como mínimo 256 BYTES, pero sólo se utilizará la parte de la información que se desee.

Se ha utilizado este método de subdividir records para almacenar varias tablas de cuenta de tubos en un solo sector.

Para recuperar los valores de la tabla de cuenta de tubos que se desee es necesario conocer el record y el subrecord en los que se encuentre dicha tabla. Las subrutinas que se encargan de mostrar los arreglos disponibles al usuario para que escoja uno de ellos, son las que suministran los datos a la subrutina que tiene que cargar la

tabla de cuenta de tubos con el arreglo escogido a la memoria de la máquina para que encuentre el record y el subrecord en los que esté esta tabla.

Los valores de BWG disponibles comercialmente para un tubo con un diámetro externo dado y los diámetros internos del tubo para cada BWG se encuentran almacenados en un archivo; el record y el subrecord en el que se encuentran los valores de BWG y los diámetros del tubo los obtiene la subrutina que se encarga de mostrar al usuario los valores de BWG y los diámetros internos correspondientes a cada uno para el tubo con el diámetro externo elegido.

El archivo en el que se encuentran las tablas de cuenta de tubos que aparecen en el libro de Kern están almacenadas en el archivo NTUBO/TXT; las tablas de cuenta de tubos que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico se encuentran almacenadas en el archivo NTUBOS 2/TXT; los diferentes valores de BWG y los diámetros internos disponibles para tubos con diferentes diámetros externos se encuentran en el archivo BWG/TXT.

En las siguientes tablas se muestran los records y los subrecords donde se encuentran las diferentes tablas de cuenta de tubos. En cada tabla se encuentran almacenados únicamente los diferentes números de tubos que caben en las diferentes corazas de diferentes diámetros; los diámetros de las corazas se encuentran almacenados en instruc

ciones DATA en el programa principal.

Archivo NTUBOS/TXT.

En este archivo se encuentran almacenadas las tablas de cuenta de tubos que aparecen en el libro de Kern; cada subrecord de este archivo está constituido por 64 BYTES donde se almacenan 17 números correspondientes a los diferentes números de tubos.

Arreglo Triangular:

Record	Subrecord	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los tubos
1	1	15/16	3/4	1
1	2	15/16	3/4	2
2	1	15/16	3/4	4
2	2	15/16	3/4	6
2	3	15/16	3/4	8
3	1	1	3/4	1
3	2	1	3/4	2
4	1	1	3/4	4
4	2	1	3/4	6
4	3	1	3/4	8
5	1	1 1/4	1	1
5	2	1 1/4	1	2
6	1	1 1/4	1	4
6	2	1 1/4	1	6
6	3	1 1/4	1	8

7	1	1 9/16	1 1/4	1
7	2	1 9/16	1 1/4	2
8	1	1 9/16	1 1/4	4
8	2	1 9/16	1 1/4	6
8	3	1 9/16	1 1/4	8
9	1	1 7/8	1 1/2	1
9	2	1 7/8	1 1/2	2
10	1	1 7/8	1 1/2	4
10	2	1 7/8	1 1/2	6
10	3	1 7/8	1 1/2	8

Arreglo Cuadrangular:

Record	Subrecord	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los tubos
11	1	1	3/4	1
11	2	1	3/4	2
12	1	1	3/4	4
12	2	1	3/4	6
12	3	1	3/4	8
13	1	1 1/4	1	1
13	2	1 1/4	1	2
14	1	1 1/4	1	4
14	2	1 1/4	1	6
14	3	1 1/4	1	8
15	1	1 9/16	1 1/4	1
15	2	1 9/16	1 1/4	2

16	1	1 9/16	1 1/4	4
16	2	1 9/16	1 1/4	6
16	3	1 9/16	1 1/4	8
17	1	1 7/8	1 1/2	1
17	2	1 7/8	1 1/2	2
18	1	1 7/8	1 1/2	4
18	2	1 7/8	1 1/2	6
18	3	1 7/8	1 1/2	8

Archivo NTUBOS2/TXT.

En este archivo se encuentran almacenadas las tablas de cuenta de tubos que aparecen en el Manual del Ingeniero Químico; cada subrecord de este archivo está constituido por 88 BYTES en donde se almacenan 22 números, excepto aquellos subrecords donde se encuentran almacenadas las tablas de cuenta de tubos para intercambiadores con cabezales L o M y tubos con arreglo triangular, que están constituidos por 120 BYTES donde se almacenan 30 números.

Arreglo Cuadrangular.

Record	Subrecord	Tipo de cabezal	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los tubos
1	1	P o S	13/16	5/8	1
1	2	P o S	13/16	5/8	2
2	1	P o S	13/16	5/8	4
2	2	P o S	13/16	5/8	6
3	1	P o S	1	3/4	1

3	2	P o S	1	3/4	2
4	1	P o S	1	3/4	4
4	2	P o S	1	3/4	6
5	1	P o S	1 1/4	1	1
5	2	P o S	1 1/4	1	2
6	1	P o S	1 1/4	1	4
6	2	P o S	1 1/4	1	6
7	1	P o S	1 9/16	1 1/4	1
7	2	P o S	1 9/16	1 1/4	2
8	1	P o S	1 9/16	1 1/4	4
8	2	P o S	1 9/16	1 1/4	6

Record	Subrecord	Tubos en U	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pa - sos por los tu - bos
--------	-----------	------------	--------------------------------	-------------------------	-------------------------------------

9	1	U	13/16	5/8	2
9	2	U	13/16	5/8	4
10	1	U	13/16	5/8	6
10	2	U	1	3/4	2
11	1	U	1	3/4	4
11	2	U	1	3/4	6
12	1	U	1 1/4	1	2
12	2	U	1 1/4	1	4
13	1	U	1 1/4	1	6
13	2	U	1 9/16	1 1/4	2
14	1	U	1 9/16	1 1/4	4
14	2	U	1 9/16	1 1/4	6

## Arreglo triangular.

Record	Subrecord	Tipo de Cabezal	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los tubos
15	1	P o S	15/16	3/4	1
15	2	P o S	15/16	3/4	2
16	1	P o S	15/16	3/4	4
16	2	P o S	15/16	3/4	6
17	1	P o S	1	3/4	1
17	2	P o S	1	3/4	2
18	1	P o S	1	3/4	4
18	2	P o S	1	3/4	6
19	1	P o S	1 1/4	1	1
19	2	P o S	1 1/4	1	2
20	1	P o S	1 1/4	1	4
20	2	P o S	1 1/4	1	6
21	1	P o S	1 9/16	1 1/4	1
21	2	P o S	1 9/16	1 1/4	2
22	1	P o S	1 9/16	1 1/4	4
22	2	P o S	1 9/16	1 1/4	6
Record	Subrecord	Tubos en U	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los <u>tu</u> bos
23	1	U	15/16	3/4	2
23	2	U	15/16	3/4	4

24	1	U	15/16	3/4	6
24	2	U	1	3/4	2
25	1	U	1	3/4	4
25	2	U	1	3/4	6
26	1	U	1 1/4	1	2
26	2	U	1 1/4	1	4
27	1	U	1 1/4	1	6
27	2	U	1 9/16	1 1/4	2
28	1	U	1 9/16	1 1/4	4
28	2	U	1 9/16	1 1/4	6

Record	Subrecord	Tipo de Cabezal	Distancia entre centros (pulg)	Diámetro externo (pulg)	Número de pasos por los tubos
--------	-----------	-----------------	--------------------------------	-------------------------	-------------------------------

29	1	L o M	15/16	3/4	1
29	2	L o M	15/16	3/4	2
30	1	L o M	15/16	3/4	4
30	2	L o M	15/16	3/4	6
31	1	L o M	1	3/4	1
31	2	L o M	1	3/4	2
32	1	L o M	1	3/4	4
32	2	L o M	1	3/4	6
33	1	L o M	1 1/4	1	1
33	2	L o M	1 1/4	1	2
34	1	L o M	1 1/4	1	4
34	2	L o M	1 1/4	1	6
35	1	L o M	1 9/16	1 1/4	1

35	2	L o M	1 9/16	1 1/4	2
36	1	L o M	1 9/16	1 1/4	4
36	2	L o M	1 9/16	1 1/4	6

Archivo BWG/TXT.

Este archivo contiene los valores de BWG y los diámetros internos correspondientes para tubos con cinco diferentes diámetros externos.

A continuación se muestran las tablas contenidas en este archivo, que han sido sacadas del Manual del Ingeniero Químico (9):

Tabla 1

Para tubos con diámetros externos de 5/8 "

BWG	Diámetro externo/diámetro interno
12	1.536
13	1.437
14	1.362
15	1.299
16	1.263
17	1.228
18	1.186
19	1.155
20	1.126

Tabla 2

Para tubos con diámetros externos de 3/4 "

BWG	Diámetro externo/diámetro interno
10	1.556
11	1.471
12	1.410
13	1.339
14	1.284
15	1.238
16	1.210
17	1.183
18	1.150
20	1.103

Tabla 3

Para tubos con diámetros externos de 1"

BWG	Diámetro externo/diámetro interno
8	1.493
10	1.366
11	1.316
12	1.279
13	1.235
14	1.199
15	1.167
16	1.149
18	1.109
20	1.075

Tabla 4

Para tubos con diámetros externos de 1 1/4"

BWG	Diámetro externo/diámetro interno
7	1.404
8	1.359
10	1.273
11	1.238
12	1.211
13	1.179
14	1.153
16	1.116
18	1.085
20	1.059

Tabla 5

Para tubos con diámetro externos de 1 1/2"

BWG	Diámetro externo/diámetro interno
10	1.218
12	1.170
14	1.124
16	1.095

Este archivo está constituido por subrecords de diferentes tamaños.

A continuación se muestran las partes del archivo donde se encuentran cada una de las anteriores tablas:

## Record 1:

Subrecord 1	del BYTE 1 al 72	Tabla 1
Subrecord 2	del BYTE 73 al 152	Tabla 2
Subrecord 3	del BYTE 153 al 232	Tabla 3

## Record 2:

Subrecord 1	del BYTE 1 al 80	Tabla 4
Subrecord 2	del BYTE 81 al 112	Tabla 5

Los listados de los programas con los que fueron introducidos estos datos en cada archivo se muestran al final de este apéndice, también se muestran los listados de los programas que sirven para observar el contenido del subrecord que se desee en un archivo dado.

Estos programas pueden utilizarse para reparar y revisar cualquiera de los archivos de datos aquí mencionados, que por accidente se dañen (esto puede ocurrir, por ejemplo, si en el momento en el que está abierto un archivo hay un corte en la energía eléctrica).

Al correr los programas para alimentar u observar las tablas de cuenta de tubos, se le preguntará al usuario el record y el subrecord donde se va a colocar o donde se encuentra colocada la tabla que se desea alimentar u observar. Al correr el programa para guardar una tabla con los valores de BWG y de las relaciones de los diámetros el programa preguntará a partir de que BYTE y en qué record irá guardada.

Así, por ejemplo, si se quiere almacenar la tabla 3, cuando el programa pregunte el record en el que irá guardada se le deberá responder que es el record 1, y cuando pregunte a partir de qué BYTE se le deberá responder 153.

```

1  C=1:DESEA VER MAS DATOS (SI,NO)";Z1
2  IF PRINT"DESEA"=SI THEN 300 SIN UNA TABLA DE CUENTA DE TUBOS";PRINT"2 ALIMENT
3  AR DATOS DE UNA TABLA DE CUENTA DE TUBOS";INPUT"QUE OPCION ESCOGE (1,2)";Z1%
4  IF Z1%1 OR Z1%2 THEN PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO DEL 1 AL 2";GOTO 10
5  PRINT"QUE LIBRO PERTENECE LA TABLA QUE DESEA";IF Z1%1 THEN PRINT" OBSERVA
6  2";ELSE PRINT" ALIMENTAR"
7  PRINT"1 AL LIBRO DE MESA";PRINT"2 AL MANUAL DEL INGENIERO QUIMICO"
8  INPUT"LIBRO (1,2)";Z2%;IF Z2%1 OR Z2%2 THEN GOTO 30
9  IF Z2%1 THEN FILE#="NTUBOS/TXT" ELSE FILE#="NTUBOS2/TXT"
10 PRINT"LA TABLA";IF Z1%1 THEN PRINT" SE ENCUENTRA";ELSE PRINT" SE ALIMENTAR
11 A"
12 PRINT" EN QUE RECORD";INPUT"RECORD";RZ;INPUT"EN QUE SUBCORD";SRZ
13 IF Z1%2 THEN IF RZ=28 TSZ=30 ELSE TSZ=22 ELSE TSZ=17
14 IF Z1%1 THEN 170
15 FOR I=1 TO TSZ
16 PRINT"TU";I;;INPUT TU(I)
17 NEXT I
18 NAZ=(CRZ-1)*4*TSZ
19 OPEN"R",1,FILE#
20 FOR I=1 TO TSZ
21 FIELD 1, (NAZ+4*(I-1)) AS NIENIE%, 4 AS TU%(I)
22 NEXT I
23 FOR I=1 TO TSZ
24 LSET TU%(I)=3*CR%(TU(I))
25 NEXT I
26 PUT 1,RZ
27 CLOSE
28 INPUT"DESEA INTRODUCIR MAS DATOS (SI,NO)";Z%
29 IF Z%="SI" THEN 30 ELSE END
30 NAZ=(SRZ-1)*4*TSZ
31 OPEN"R",1,FILE#
32 FOR I=1 TO TSZ
33 FIELD 1, (NAZ+4*(I-1)) AS NIENIE%, 4 AS TU%(I)
34 NEXT I
35 GET 1,RZ
36 CLOSE
37 FOR I=1 TO TSZ
38 TU(I)=CVS(TU%(I))
39 PRINT" ";I;" ";TU(I)
40 NEXT I
41 INPUT"DESEA VER MAS DATOS (SI,NO)";Z4
42 IF Z4="SI" THEN GOTO 30
43 END

```

PROGRAMA PARA ALIMENTAR Y OBSERVAR  
LOS DATOS DE UNA TABLA DE CUENTA  
DE TUBOS

```

10 CLEAR 100
20 DIM BW$(30),IO$(30),BW$(30),IO$(30)
40 CLS
50 PRINT"PAR LOS DATOS DEL NUMERO DE PAREJAS BWG-OD/ID"
60 INPUT"CUANTAS PAREJAS";TSZ
70 FOR I=1 TO TSZ
80 PRINT"BWG";I;:INPUT BW$(I);:PRINT"OD/ID";I;:INPUT IO$(I)
90 NEXT I:GOTO 250
100 INPUT"EN QUE RECORD ENTRARAN ESTOS DATOS";RX
110 INPUT"A PARTIR DE QUE BYTE ENTRARAN LOS DATOS";NNZ
120 NAX=NNZ
130 OPEN"R",1,"BWG/TXT"
140 FOR I=1 TO TSZ
150 FIELD 1, (NAX+8*(I-1)) AS NIENTE$, 4 AS BW$(I),4 AS IO$(I)
160 NEXT I
170 FOR I=1 TO TSZ
180 LSET BW$(I)=MKI$(BW$(I));LSET IO$(I)=MKI$(IO$(I))
190 NEXT I
200 PUT 1,RX
210 CLOSE
220 INPUT"DESEA INTRODUCIR MAS DATOS (SI,NO)";Z$
230 IF Z$="SI" THEN 40
240 END
250 DIM IO(30)
290 FOR I=1 TO TSZ
300 I$=STR$(IO(I))
310 C$=""
320 FOR J=1 TO LEN(I$)
330 D$=MID$(I$,J,1)
340 IF D$="." THEN J=J+1:GOTO 330
350 C$=C$+D$
360 NEXT J
370 IO$(I)=VAL(C$):NEXT I:GOTO 100

```

PROGRAMA PARA ALMACENAR  
EN DISCO LAS TABLAS DE BWG-OD/ID

**APENDICE B**

**LISTADOS**

PROGRAMA PARA CARGAR LAS  
PROPIEDADES FISICAS DE LOS DOS  
FLUIDOS EN ARCHIVOS EN DISCO

```

10 CLS: CLEAR 1000
20 PRINT "FLUIDO QUE VA POR LOS TUBOS": PRINT "": O2% = 1: FILE$ = "FLUTU/TXT"
30 PRINT "ALIMENTACION DE DATOS DE PROPIEDADES FISICAS"
40 PRINT "DENSIDAD, VISCOSIDAD, CONDUCTIVIDAD TERMICA,
CAPACIDAD CALORIFICA": PRINT ""
50 PRINT "1 PUNTOS"
60 PRINT "2 ECUACIONES"
70 PRINT "3 PROPIEDADES PROMEDIO"
80 INPUT "CON QUE OPCION ALIMENTARA LOS DATOS": O1%
90 IF O1% = 1 THEN 150
100 IF O1% = 2 THEN F0 = 1: GOTO 1050
110 IF O1% = 3 THEN 870
120 PRINT "LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL 3": PRINT "": IF O2% = 1 THEN 20 E
LSE 140
130 CLS
140 PRINT "FLUIDO QUE VA POR LA CORAZA": PRINT "": O2% = 2: FILE$ = "FLUSHE/TXT": GOTO 30

150 CLS: PRINT "LOS PUNTOS DEBEN SER ALIMENTADOS EN ORDEN CRECIENTE CON RESPECTO A
LA TEMPERATURA": PRINT "SE PUEDEN ALIMENTAR 10 PUNTOS MAXIMO": PRINT ""
160 INPUT "CUANTOS PUNTOS DESEA ALIMENTAR": NZ: IF NZ > 10 THEN 150 ELSE IF O2% = 2 THE
N 170 ELSE DIM T$(30), RD$(30), MU$(30), K$(30), CP$(30), T(30), RD(30), MU(30), K(30),
CP(30)
170 OPEN "R", 1, FILE$
180 FIELD 1, 250 AS NADA$, 2 AS OP$, 2 AS NU$
190 LSET OP$ = MKI$(O1%)
200 LSET NU$ = MKI$(NZ)
210 PUT 1, 1: CLOSE
220 GOSUB 240
230 GOTO 330
240 PRINT "NOMENCLATURA:"
250 PRINT "T TEMPERATURA"
260 PRINT "RD DENSIDAD"
270 PRINT "MU VISCOSIDAD"
280 PRINT "K CONDUCTIVIDAD TERMICA"
290 PRINT "CP CAPACIDAD CALORIFICA": PRINT ""
300 PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR"
310 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 310
320 RETURN
330 FI = 0: R = 0: CLS
340 RNZ = -1
345 FOR I = 1 TO NZ
350 FX = 1 + (RNZ + 1) * 64
355 PRINT FX, "T"; I; "=";: INPUT T(I)
360 FX = FX + 18
365 PRINT FX, "RD"; I; "=";: INPUT RD(I)
370 FX = FX + 18
375 PRINT FX, "MU"; I; "=";: INPUT MU(I)
380 RNZ = RNZ + 1: FX = (RNZ + 1) * 64 + 1
385 PRINT FX, "K"; I; "=";: INPUT K(I)
390 FX = FX + 18
395 PRINT FX, "CP"; I; "=";: INPUT CP(I)
400 IF RNZ > 10 THEN 405 ELSE 415
405 RNZ = -1: PRINT "PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR"
410 A$ = INKEY$: IF A$ = "" THEN 410 ELSE CLS
415 RNZ = RNZ + 1: NEXT I
420 RZ = INT(NZ / 6): OZ = NZ - RZ * 6
430 OPEN "R", 1, FILE$
440 IF RZ < 1 THEN 490
450 FOR J = 1 TO RZ
460 CNZ = (J - 1) * 6 + 1
470 OZ% = OZ% + 5

```

```

740 CX=-1
550 FOR I=CNZ TO CMZ
560 CX=CX+1
570 FIELD 1,(CX*40) AS NIENTE$,8 AS T$(I),8 AS RO$(I),8 AS MU$(I),8 AS K$(I)
8 CP$(I)
580 NEXT I
590 FOR I=CNZ TO CMZ
600 LSET T$(I)=MKS$(T(I))
610 LSET RO$(I)=MKS$(RO(I))
620 LSET MU$(I)=MKS$(MU(I))
630 LSET K$(I)=MKS$(K(I))
640 LSET CP$(I)=MKS$(CP(I))
650 NEXT I
660 PUT 1,J
670 NEXT J
680 IF SX=0 THEN 830
690 CNZ=RZ*6+1
700 CMZ=(SX-1)+CNZ
710 CX=-1
720 FOR I=CNZ TO CMZ
730 CX=CX+1
740 FIELD 1,(CX*40) AS NIENTE$,8 AS T$(I),8 AS RO$(I),8 AS MU$(I),8 AS K$(I)
8 CP$(I)
750 NEXT I
760 FOR I=CNZ TO CMZ
770 LSET T$(I)=MKS$(T(I))
780 LSET RO$(I)=MKS$(RO(I))
790 LSET MU$(I)=MKS$(MU(I))
800 LSET K$(I)=MKS$(K(I))
810 LSET CP$(I)=MKS$(CP(I))
820 NEXT I
830 PUT 1,(RZ+1)
840 CLOSE
850 IF OZX=1 THEN 130
860 GOTO 1140
870 CLS:PRINT"DEBE ALIMENTAR LAS PROPIEDADES A LA TEMPERATURA PROMEDIO DE OPER
ON DEL FLUIDO"
880 PRINT"SOLO SE DEBEN ALIMENTAR PROPIEDADES MEDIAS SI LOS CAMBIOS DE TEMPER
RA QUE SUFRE EL FLUIDO NO SON MUY GRANDES";GOSUB 240
890 CLS:INPUT"TEMPERATURA MEDIA";T
900 INPUT"DENSIDAD MEDIA";RO
910 INPUT"VISCOSIDAD MEDIA";MU
920 INPUT"CONDUCTIVIDAD TERMICA";K
930 INPUT"CAPACIDAD CALORIFICA";CP
940 OPEN"R",1,FILE#
950 FIELD 1,9 AS T$,8 AS RO$,8 AS MU$,8 AS K$,8 AS CP$,210 AS NIENTE$,2 AS OP
960 LSET T$=MKS$(T)
970 LSET RO$=MKS$(RO)
980 LSET MU$=MKS$(MU)
990 LSET K$=MKS$(K)
1000 LSET CP$=MKS$(CP)
1005 LSET OP$=MKS$(OP)
1010 PUT 1,1
1020 CLOSE
1030 IF OZX=1 THEN 130
1040 GOTO 1140
1050 PRINT" CUANDO SE CARGUE EL PROGRAMA PRINCIPAL DEBERA INSERTAR EN LAS CIE
NTES LINEAS LAS ECUACIONES A PARTIR DE LAS CUALES SE US- TENDRAN";
1055 PRINT" LAS PROPIEDADES FISICAS. DEBE RESPETAR EL NOMBRE DE LA VARIABLE A
SE LE ASIGNA A CADA PROPIEDAD. NOTE QUE AL FINAL DE LA ECUACION DEBERA ESCR
IR SIEMPRE"
1057 PRINT"LINEA          COMENTARIO"
1060 IF OZX=1 THEN PRINT"10010";ELSE PRINT"10050";

```

```

1070 PRINT " MU=MU(T):RETURN    MU(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA
      VISCOSIDAD A PARTIR DE T
1072 IF O2Z=1 THEN PRINT"10020";:ELSE PRINT"10060";
1075 PRINT" RO=RO(T):RETURN    RO(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA
      DENSIDAD A PARTIR DE T"
1080 IF O2Z=1 THEN PRINT"10030";:ELSE PRINT"10070";
1085 PRINT" K=K(T):RETURN      K(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENERLA
      CONDUCTIVIDAD TERMICA A PARTIR DE T"
1090 IF O2Z=1 THEN PRINT"10040";:ELSE PRINT"10080";
1095 PRINT" CP=CP(T):RETURN    CP(T) ES UNA FUNCION PARA OBTENER LA
      CAPACIDAD CALORIFICA A PARTIR DE T"
1100 PRINT"PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR"
1110 A1=INKEY$:IF A1="" THEN 1110
1120 OPEN"R",1, FILE$:FIELD 1,250 AS NIENTE$,2 AS OP$:LSET OP$=MKI$(O1Z):PUT 1,1
:CLOSE
1130 IF O2Z=1 THEN 130
1140 IF F0=1 THEN PRINT"CARGANDO PROGRAMA PRINCIPAL":LOAD"HEATALL5/BAS" ELSE PRI
NT"CARGANDO Y EJECUTANDO PROGRAMA PRINCIPAL":RUN"HEATALL5/BAS"

```

PROGRAMA PRINCIPAL CON  
LOS SUBPROGRAMAS QUE LO AUXILIAN

```

10 CLEAR 1000:O2X=1:FILE$="FLUTU/TXT"
20 OPEN"R",1,FILE$
30 FIELD 1,250 AS NIENTE$,2 AS OP$
40 GET 1,1
50 IF FILE$="FLUTU/TXT" THEN O1X=CVI(OP$):O2X=O1X:GOTO 70
60 O3X=CVI(OP$):O4X=O3X
70 IF O2X<1 THEN 710
80 FIELD 1,252 AS NIENTE$,2 AS NU$
90 GET 1,1
100 IF O2X=1 THEN N1X=CVI(NU$):GOTO 120
110 N2X=CVI(NU$)
120 NX=CVI(NU$)
130 IF O2X=2 THEN 160
140 DIM T$(10),RO$(10),MU$(10),K$(10),CP$(10)
150 DIM T9(10),R9(10),M9(10),K9(10),C9(10):GOTO 170
160 DIM T0(10),R0(10),M0(10),K0(10),C0(10)
170 RZ=INT(NX/6):SZ=NX-(RZ*6)
180 IF RZ=0 THEN 460
190 FOR J=1 TO RZ
200 CNZ=(J-1)*6+1
210 CMZ=CNZ+5
220 CZ=-1
230 FOR I=CNZ TO CMZ
240 CZ=CZ+1
250 FIELD 1,(CZ*40) AS NIENTE$,8 AS T$(I),8 AS RO$(I),8 AS MU$(I),8 AS K$(I),8 AS
CP$(I)
260 NEXT I
270 GET 1,J
280 IF O2X=2 THEN 370
290 FOR I=CNZ TO CMZ
300 T9(I)=CVS(T$(I))
310 R9(I)=CVS(RO$(I))
320 M9(I)=CVS(MU$(I))
330 K9(I)=CVS(K$(I))
340 C9(I)=CVS(CP$(I))
350 NEXT I
360 NEXT J:GOTO 450
370 FOR I=CNZ TO CMZ
380 T0(I)=CVS(T$(I))
390 R0(I)=CVS(RO$(I))
400 M0(I)=CVS(MU$(I))
410 K0(I)=CVS(K$(I))
420 C0(I)=CVS(CP$(I))
430 NEXT I
440 NEXT J
450 IF SZ=0 THEN 690
460 CNZ=RZ*6+1
470 CMZ=(SZ-1)+CNZ
480 CZ=-1
490 FOR I=CNZ TO CMZ
500 CZ=CZ+1
510 FIELD 1,(CZ*40) AS NIENTE$,8 AS T$(I),8 AS RO$(I),8 AS MU$(I),8 AS K$(I),8 AS
CP$(I)
520 NEXT I
530 GET 1,(RZ+1)
540 IF O2X=2 THEN 620
550 FOR I=CNZ TO CMZ
560 T9(I)=CVS(T$(I))
570 R9(I)=CVS(RO$(I))
580 M9(I)=CVS(MU$(I))

```

```

590 K9(I)=CVS(K$(I))
600 C9(I)=CVS(CP$(I))
610 NEXT I:GOTO 690
620 FOR I=CNZ TO CMX
630 T9(I)=CVS(T$(I))
640 R9(I)=CVS(RO$(I))
650 M9(I)=CVS(MU$(I))
660 K9(I)=CVS(K$(I))
670 C9(I)=CVS(CP$(I))
680 NEXT I
690 CLOSE:IF OZ%=1 THEN OZ%=2:FILE$="FLUSHE/TXT":GOTO 20
700 GOTO 800
710 IF OZ=2 THEN 760
720 FIELD 1,8 AS T$,8 AS R$,8 AS MU$,8 AS K$,8 AS CP$:GET 1,1
730 IF OZ=2 THEN 750
740 T9=CVS(T$):R9=CVS(R$):M9=CVS(MU$):K9=CVS(K$):C9=CVS(CP$):GOTO 690
750 T0=CVS(T$):R0=CVS(R$):M0=CVS(MU$):K0=CVS(K$):C0=CVS(CP$):GOTO 800
760 FIELD 1,2 AS E$
770 GET 1,1
780 IF OZ%=1 THEN AX=CVI(E$):GOTO 690
790 RX=CVI(E$):CLOSE
800 CLOSE:DIM B$(10)
810 P=41:I=1:CLS:GOSUB 970 :K=104
820 PRINT@ K,"?";
830 GOSUB 890
840 IF K=232 THEN K=K+192 ELSE K=K+64
850 I=I+1
860 IF K=552 THEN 820
870 T1=VAL(B$(1)):T2=VAL(B$(2)):W6=VAL(B$(3)):T3=VAL(B$(4)):T4=VAL(B$(5)):W=V
C$(6))
880 GOTO 990
890 PRINTCHR$(14):B$(I)=""
900 A$=INKEY$:IF A$="" THEN 900
910 IFA$=CHR$(13) THEN PRINTCHR$(15): RETURN
920 IFA$=CHR$(8) THEN IFB$(I)<>"" THEN PRINTA$:B$(I)=LEFT$(B$(I),LEN(B$(I))-1):G
930 ELSE GOTO 900
940 IFA$=CHR$(24) THEN PRINTCHR$(29);STRING$(P,CHR$(25));CHR$(30):GOTO 890
950 IF ASC(A$) < 45 OR ASC(A$) > 69 THEN 900
960 PRINTA$:IFA$="," THEN A$=","
970 B$(I)=B$(I)+A$:GOTO 900
980 PRINT"FLUIDO QUE VA POR LOS CORAZA:":PRINT"TEMPERATURA DE ENTRADA (GRAD F
STRING$(9,""):PRINT"TEMPERATURA DE SALIDA (GRAD F)":STRING$(10,""):PRINT"FL
MASICO (LB/HR)":STRING$(20,""):PRINT""
990 PRINT"FLUIDO QUE VA POR LA TUBOS:":PRINT"TEMPERATURA DE ENTRADA (GRAD F)
RING$(9,""):PRINT"TEMPERATURA DE SALIDA (GRAD F)":STRING$(10,""):PRINT"FLUJ
ASICO (LB/HR)":STRING$(20,""):RETURN
1000 IF OZ=1 THEN 975 ELSE DIM X(50),Y(50)
1010 IF OZ=1 THEN OZ=2 THEN PRINT" ":PRINT"CALCULANDO CP MED. FLU. TUB."
1020 IF OZ=1 THEN 1100
1030 IF OZ=2 THEN EX=1:T8=T4:TA=T3:GOSUB 1030 :C=AT/(T4-T3):GOTO 1030
1040 C=19:GOTO 1060
1050 XL=50
1060 XL=(T8-TA)/(XL-1)
1070 FOR I=1 TO XL
1080 T=TA+(I-1)*H
1090 IF OZ=1 THEN GOSUB 1090 ELSE GOSUB 1060
1100 GOTO 1110
1110 FOR I=2 TO (XL-1)
1120 C=C*(Y(I))
1130 NEXT I

```

```

1140 AT=(Y(1)+Y(XL))/2+SY)*H
1150 RETURN
1160 IF T4>T3 THEN T=T4 ELSE T=T3
1170 GOSUB 1490
1180 I2=I
1190 Y(I2)=CT:X(I2)=T
1200 IF T4>T3 THEN T=T3 ELSE T=T4
1210 GOSUB 1490
1220 IF (I-1)=0 THEN I1=I ELSE I1=I-1
1230 Y(I1)=CT:X(I1)=T
1240 IF (I1+1)=I2 THEN 1290
1250 FOR J=(I1+1) TO (I2-1)
1260 Y(J)=C9(J)
1270 X(J)=T9(J)
1280 NEXT J
1290 GOSUB 1310
1300 C=ABS(AT/(T4-T3)):GOTO 1360
1310 S=0:FOR J=I1 TO (I2-1)
1320 S=S+(Y(J)+Y(J+1))*X(J+1)-X(J)
1330 NEXT J
1340 AT=S/2
1350 RETURN
1360 IF O3%=1 OR O3%=2 THEN PRINT"CALCULANDO CP MED. FLU. COR."
1365 IF O3%=1 THEN 1390
1370 IF O3%=2 THEN E2=2:TB=T1:TA=T2:GOSUB 1030 :CS=AT/(T1-T2):GOTO 1540
1380 CS=C0:GOTO 1540
1390 IF T1>T2 THEN T=T1 ELSE T=T2
1400 GOSUB 1960
1410 I2=I
1420 Y(I2)=CS:X(I2)=T
1430 IF T1>T2 THEN T=T2 ELSE T=T1
1440 GOSUB 1960
1450 IF (I-1)=0 THEN I1=I ELSE I1=I-1
1460 Y(I1)=CS:X(I1)=T
1470 IF (I1+1)=I2 THEN 1520
1480 FOR J=(I1+1) TO (I2-1)
1490 Y(J)=C0(J)
1500 X(J)=T0(J)
1510 NEXT J
1520 GOSUB 1310
1530 CS=ABS(AT/(T1-T2))
1540 PRINT CHR$(26):PRINT"CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA TUBOS":C
1550 PRINT"CAPACIDAD CALORIFICA MEDIA CORAZA":CS
1560 GOTO 2140
1570 IF O1%=1 THEN 1490
1580 IF O1%=3 THEN 1640
1590 GOSUB 10010 :RT=RD
1600 GOSUB 10020 :MT=MD
1610 GOSUB 10030 :KT=K
1620 GOSUB 10040 :CT=CP
1630 RETURN
1640 RT=R9
1650 MT=M9
1660 KT=K9
1670 CT=C9
1680 RETURN
1690 ON I=1 TO N12
1700 IF T>T9(I) THEN 1730
1710 NEXT I
1720 PRINT"LA TEMPERATURA SE SALE DEL RANGO DE TEMPERATURAS ALIMENTADO":STOP
1730 T=T-T9(I)

```

```

1740 TJ=T9(I)-T9(I-1)
1750 RD=R9(I)-R9(I-1)
1760 MU=M9(I)-M9(I-1)
1770 K=K9(I)-K9(I-1)
1780 CP=C9(I)-C9(I-1)
1790 RT=TI*RO/TJ+R9(I-1)
1800 MT=TI*MU/TJ+M9(I-1)
1810 KT=TI*K/TJ+K9(I-1)
1820 CT=TI*CP/TJ+C9(I-1)
1830 RETURN
1840 IF O3%=1 THEN 1960
1850 IF O3%=3 THEN 1910
1860 GOSUB 10050 :RS=RO
1870 GOSUB 10060 :MS=MU
1880 GOSUB 10070 :KS=K
1890 GOSUB 10080 :CS=CP
1900 RETURN
1910 RS=RO
1920 MS=MU
1930 KS=K
1940 CS=CP
1950 RETURN
1960 FOR I=1 TO N2X
1970 IF T<=T0(I) THEN 2000
1980 NEXT I
1990 PRINT"LA TEMPERATURA SE SALE DEL RANGÓ DE TEMPERATURAS ALIMENTADO":STOP
2000 TI=T-T0(I-1)
2010 TJ=T0(I)-T0(I-1)
2020 RD=R0(I)-R0(I-1)
2030 ML=M0(I)-M0(I-1)
2040 K=K0(I)-K0(I-1)
2050 CP=C0(I)-C0(I-1)
2060 RS=TI*RO/TJ+R0(I-1)
2070 MS=TI*MU/TJ+M0(I-1)
2080 KS=TI*K/TJ+K0(I-1)
2090 CS=TI*CP/TJ+C0(I-1)
2100 RETURN
2110 PRINT" ":PRINT"PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR"
2120 A$=INKEY$:IFA$="" THEN 2120 ELSE 2130
2130 RETURN
2140 IF F1=0 THEN 2210 ELSE DIM F(50),TU(30),TU*(30),DS(30),IUX(4)
2150 IF F1<>1 THEN FOR I=1 TO 30:READ DS(I):NEXT I
2160 GOTO 2100
2170 DATA 8,10,12,13,25,15,25,17,25,19,25,21,25,23,25,25,27,29,31,33,35,37,39
,45,60,54,60,66,72,78,84,90,96,108,120
2180 IF F1<>1 THEN FOR I=1 TO 8:READ L(I):NEXT I
2190 GOTO 2210
2200 DATA 8,10,12,16,20,24,32,40
2210 QS=CS*MS*(T1-T2)
2220 Q2=C*H*(T4-T3)
2230 IF ABS((QS)-(Q2))>.05*ABS((QS+Q2)/2) OR QS*Q2=0 THEN PRINT"NO CONCUERDA E
ALANCE DE ENERGIA:":PRINT"Q. CORAZA=":QS:PRINT"Q. TUBOS=":Q2:PRINT" ":F1=1:GOSU
110 :GOTO 210
2240 Q=ABS(Q2+Q3)/2
2250 IF T1=T2 THEN 2270
2260 T5=T0:T4=T4:T7=T1:T8=T2:GOTO 2280
2270 T5=T1:T3=T2:T7=T3:T8=T4
2280 INPUT"DESEA IMPONER UN NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS (SI,NO)":A$
2290 IF A$<>"SI" THEN N=1:N1=1:NS=1:FT=1:GOTO 2460
2300 F(30)=1:PRINT"PUEDA IMPONER CUALQUIERA DE LOS SIGUIENTES NUMEROS DE PASO
,2,4,6,8,":INPUT"CUANTOS PASOS DESEA IMPONER POR LOS TUBOS":N

```

```

2310 IF N<=8 THEN IF N<=4 THEN IF N<=2 THEN IF N<=1 THEN PRINT"EL NU
MERO DE PASOS IMPUESTO NO PERTENECE AL RANGO PERMITIDO";GOTO 2300
2312 IF N=1 THEN FT=1;NS=1;GOTO 2316
2314 GOSUB 2330;GOTO 2460
2316 IF T6<T8 THEN D$="C";GOTO 2460
2320 INPUT"COMO CIRCULARAN LOS FLUIDOS; EN PARALELO O A CONTRACORRIENTE (F,C)";D
$:IF D$<>"P" AND D$<>"C" THEN 2320 ELSE 2462
2330 IF F(45)>0 THEN 2380 ELSE F(45)=1;R=(T5-T6)/(T8-T7);S=(T8-T7)/(T5-T7)
2340 IF R=1 THEN R=1.00001
2350 BU=SQR(RC2+1)
2360 NS=0
2370 NS=NS+1
2380 X=(1-((1-R*S)/(1-S))I(1/NS))/(R-((1-R*S)/(1-S))I(1/NS))
2390 SP=2-X*(R+1+BU)
2400 IF SP<=0 THEN 2370
2410 FT=BU*LOG((1-X)/(1-R*X))/(R-1)*LOG((2-X*(R+1+BU))/SP)
2420 IF FT<.75 THEN 2370
2430 N1=NS*N;PRINT"FT=";FT;PRINT"PASOS EN LA CORAZA=";NS;PRINT"PASOS EN LOS TUBO
S=";N1
2440 GOSUB 2110
2445 DT=FT*LMTD
2450 RETURN
2460 IF (ABS(T3-T2))=(ABS(T4-T1)) THEN LMTD=ABS(T1-T4);GOTO 2480
2462 IF D$="F" THEN LMTD=ABS(((T1-T3)-(T2-T4))/LOG((T1-T3)/(T2-T4)));GOTO 2480
2470 LMTD=ABS(((T1-T4)-(T2-T3))/(LOG((T3-T4)/(T2-T3))))
2480 PRINT"LMTD=";LMTD
2490 DT=FT*LMTD
2500 PRINT"DIFERENCIA REAL DE TEMPERATURAS";DT
2510 GOSUB 2110
2520 IF F9>0 THEN 4200
2530 T=(T3+T4)/2;GOSUB 1570
2545 INPUT"RD COMBINADO (RD TUBOS+RD CORAZA)";RD
2547 RU=2500
2550 PRINT"CÁLCULO EN LOS TUBOS";PRINT""
2560 PRINT"DENSIDAD (LB/CUFT)=";RT
2570 PRINT"VISCOSIDAD (LB/FT-SEC)=";MT
2580 PRINT"CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/GRAD F-FT-HR)=";KT
2590 PRINT"CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/LB-GRAD F)=";CT;PRINT""
2600 INPUT"CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (LB/SQ.IN.)";P1
2610 INPUT"VELOCIDAD MINIMA PERMITIDA (FT/SEG)";V3
2620 INPUT"LONGITUD MAXIMA (FT)";L1
2630 INPUT"LONGITUD MINIMA (FT)";L2
2640 IF N=8 THEN TAX=1;GOSUB 7080;N6%=8;GOTO 2670
2650 PRINT"ESTE PROGRAMA PUEDE UTILIZAR TABLAS DE CUENTA DE TUBOS DE DOS FUENT
ES: 1) LAS DEL LIBRO DE KERN Y 2) LAS DEL MANUAL DEL ING. QUIMICO"
2660 INPUT"QUE TABLAS DESEA UTILIZAR (1,2)";TAX;IF TAX=1 THEN GOSUB 7080;N6%=8;
GOTO 2670 ELSE IF TAX=2 THEN GOSUB 6510;N6%=6;ELSE GOTO 2660
2670 IF FT$="T" THEN DE=3.44*PTC2/(3.141593*DO)-DO ELSE DE=4*PTC2/(3.141593*DO)-
DO
2672 T=(T3+T4)/2;GOSUB 1570
2675 IF F6<1 THEN RA=1;RI=1;GOTO 2690
2680 IF O1%=3 OR O3%=3 THEN RA=1;RI=1;GOTO 2688
2682 TH=FHTP(M1,M2);T=TH;GOSUB 1570;M1=HT
2684 IF T1>T2 THEN T=TC ELSE T=TK
2686 GOSUB 1570;RA=(MT/M1)I.14
2688 IF F6>0 THEN 2770
2690 A$="";INPUT"DESEA PROPONER UNA VELOCIDAD (SI,NO)";A$
2700 IF A$="SI" THEN B$="V";INPUT"VELOCIDAD PROPUESTA";V;IF V<0 THEN V=3;GOTO 27
30;ELSE 2730
2710 INPUT"DESEA PROPONER UNA LONGITUD (SI,NO)";A$
2720 IF A$<>"SI" THEN 2760 ELSE B$="L";INPUT"LONGITUD PROPUESTA";L;IF L<0 OR L>4
0 THEN L=8
2730 A$="";INPUT"DESEA PROPONER UN COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR (SI,NO)
";A$

```

```

2740 IF A$="SI" THEN INPUT"COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA PROPUESTO";U9:IF U9=
HEM 2770 ELSE 2770
2750 F(36)=1:GOTO 2770
2760 F(35)=1
2770 INPUT"DESEA UTILIZAR LA OPCION DE RASTREO";D1$:IF D1$="SI"THEN F(48)=1:
F(49)=0
2775 V2=(12*2.5E3*MT)/(DI*RT*3600):IF V3>V2 THEN V4=V3:F(28)=1:ELSE V4=V2
2780 GOTO 4200
2790 G2=V4*RT*3600:AH=W/G2:NT=(AH*N*576)/(3.141593*DI*2)
2795 IF F6>0 THEN IF M6=NS AND M7=N THEN IF TU(M5)=0 OR B$<>"" THEN NT=TU(M
=MS:GOTO 2960:ELSE NT=TU(M5-1):IE%=M5-1:L=MS:GOTO 2960
2800 GOSUB 3950
2810 GOSUB 4000 :NT=NE
2820 N9=NE
2830 IF F(35)>0 THEN 2880
2840 IF F(36)>0 THEN 2870
2850 A=Q/(U9*DT)
2860 IF B$="V" THEN G=V*R9*3600:A=W/G:NT=A*N*576/(3.141593*DI*2):L=A*12/(3.1
3*G*NT):GOTO 2930 :ELSE NT=A*12/(3.141593*DI*L):GOTO 2930
2870 IF B$="V" THEN G=V*R9*3600:A=W/G:NT=A*N*576/(3.141593*DI*2):L=L1:GOTO 2
:ELSE NT=TU(1):GOTO 2950
2880 L=L2
2890 GOSUB 4450
2900 IV%=IS%:L=L1
2910 GOSUB 4450
2920 IE%=IS%:L=L(IV%):IE%=1:IS%=1
2922 IF TU(IE%)=0 THEN IE%=IE%+1: GOTO 2922 ELSE NT=TU(IE%):NE=NT:DS=DS(IE%)
C 2960
2930 IF NT>N9 THEN NT=N9:F(21)=1:GOTO 2950
2940 GOSUB 4000 :NT=NE
2950 GOSUB 4450
2960 A=3.141593*DO/12*L*NT*NS
2970 U9=Q/(A*DT)
2975 IF F(48)>0 THEN PRINT"UD=";U9
2980 AT=(NT*3.141593*DI*2)/(576*N):G=W/AT:V=G/(RT*3600):RE=DI*G/(12*MT)
2990 IF RE<1000 THEN J1=.027*RE(.8) ELSE IF RE>2100:GOSUB 8100:ELSE PRINT
FENDR A 2100"
3000 H1=J1*(KT*12/DO)*(CT*MT/KT)I(1/3)*RA
3005 IF F(48)>0 THEN PRINT"HID=";H1
3010 B1%=1
3020 IF H1<U9 THEN 4780
3030 EG=H1*(1-U9*RD)-U9
3035 IF F(48)>0 THEN PRINT"HID*(1-UD*RD)-UD=";EG
3040 IF RD=0 THEN GOTO 4780
3050 H0=U9*H1/EG
3060 F=0.0027*RE(-.2552)
3070 PP=(F*GE2*L*N*12)/(5.22E10*DI*RT/62.5*RA)
3080 PR=(4*N)*(RT/62.5)*(V2/64.34)*(62.4/144)
3090 F=(PP+PR)*NS
3095 IF F(48)=0 THEN PRINT"DP TUB.=";F
3100 IF F>F1 THEN GOTO 5130
3105 T=(T1+T2)/2
3107 IF D1%=3 OR D3%=3 OR F6=0 GOTO 3120
3110 T=TW:GOSUB 1840:M1=MS
3112 IF T1>T2 THEN T=TK ELSE T=TC
3114 RI=(MS/H1)I.14
3120 GOSUB 1840
3130 H0=H0:PRINT"":PRINT"CALCULO EN LA CORAZA":PRINT""
3140 PRINT"DENSIDAD (LB/CUFT)=";RS
3150 PRINT"VISCOSIDAD (LB/FT-SEG)=";MS

```

```

3160 PRINT"CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/HR-GRAD F-FT)=";KS
3170 PRINT"CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/LB-GRAD F)";CS:PRINT""
3175 IF F6>0 OR F7>0 THEN 3185
3180 INPUT"CAIDA DE PRESION MAXIMA PERMITIDA (LB/SQIN)";F2
3185 DS=DS(IEZ)
3190 F(27)=0:F(26)=0:F4=0:F(38)=0:F(37)=0
3200 B2=DS/5
3210 IF B2<2 THEN B2=2
3220 G3=12*3E3*MS/DE:A1=WS/G3:DS=DS(IEZ):B1=(144*PT*A1)/(DS*(PT-DD))
3230 IF B1>DS THEN B1=DS:GOTO 3246
3240 IF B1<B2 THEN B=B2:F4=1:F(27)=1:F(37)=0:F(38)=0:F(39)=0:F(40)=0:GOTO 5450
3246 IF F6>0 OR F7>0 THEN 3248 ELSE PRINT"COLOCACION DE LAS BOQUILLAS":PRINT"1
DIAMETRALMENTE OPUESTAS":PRINT"2 DEL MISMO LADO":INPUT"QUE OPCION ESCOGE";ZB%
3248 IF ZB%=2 THEN 3282
3250 NV=12*L/B1-1
3260 IF ((INT(NV/2)-INT(NV/2))>0 THEN NV=INT(NV)+1:ELSE NV=INT(NV)
3270 NB=12*L/B2-1
3280 IF ((INT(NB/2)-INT(NB/2))>0 THEN NB=INT(NB)-1:ELSE NB=INT(NB)
3281 GOTO 3290
3282 NV=12*L/B1-1
3284 IF ((INT(NV/2)-INT(NV/2))>0 THEN NV=INT(NV):ELSE NV=INT(NV)+1
3286 NB=12*L/B2-1
3288 IF ((INT(NB/2)-INT(NB/2))>0 THEN NB=INT(NB):ELSE NB=INT(NB)+1
3290 IF F6<1 AND F7=0 THEN INPUT"DESEA PROPONER UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS (S
I,NO)";A$:F7=1
3295 IF A$<>"SI" THEN B=B2:GOTO 3318
3300 IF F6>0 THEN IF A$<>"SI" OR B<B2 OR B>B1 THEN B=B2:GOTO 3318:ELSE GOTO 33
18
3310 PRINT"PROPONGA UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS DENTRO DEL SIGUIENTE RANGO":PR
INT"DISTANCIA MAXIMA ENTRE MAMPARAS";B1:PRINT"DISTANCIA MINIMA ENTRE MAMPARAS";B
2:INPUT"QUE DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PROPONE";B:IF B<B2 OR B>B1 THEN 3310
3318 NW=12*L/B-1:IF ZB%=1 THEN 3320 ELSE IF((INT(NW))/2-INT(NW/2))>0 THEN NW=INT
(NW):GOTO 3330:ELSE NW=INT(NW)+1:GOTO 3330
3320 NW=12*L/B-1:IF((INT(NW))/2-INT(NW/2))>0 THEN NW=INT(NW)+1:ELSE NW=INT(NW)
3330 IF NW>NB THEN NW=NB
3340 IF NW<NV THEN NW=NV
3350 B=L*12/(NW+1)
3360 AS=(DS*(PT-DD)*B)/(144*PT):GS=WS/AS:R2=DE*GS/MS/12:VS=GS/(RS*3600)
3370 J2=0.36*R2[0.55
3380 H2=J2*(KS*12/DE)*(CS*MS/KS)[(1/3)*RI
3385 IF F(48)>0 THEN PRINT"H0 MIN.=";H0:PRINT"H0=";H2
3390 IF H0<H2 THEN 3430
3400 IF F(27)>0 THEN F(37)=1:GOTO 4780
3410 IF NW>NV THEN F(27)=1:F(37)=1:GOTO 4780
3420 NW=NW+2:F(26)=1:IF F(48)>0 THEN PRINT"AUMENTANDO EL NUMERO DE MAMPARAS":GOT
O 3350:ELSE GOTO 3350
3430 CR=NW+1:F2=0.0125*R2[(-.1937)
3440 PS=(F2*GS[2*DS*CR*NS)/(5.22E10*DE*RS/62.5*RI)
3445 IF F(48)>0 THEN PRINT"DP COR.=";PS
3450 IF PS<P2 THEN 3490
3460 IF F(26)>0 THEN 3480
3470 IF NW=NV THEN NW=NW-2:IF F(48)>0 THEN PRINT"DISMINUYENDO EL NUMERO DE MAMPA
RAS":GOTO 3350:ELSE GOTO 3350
3480 F(38)=1:GOTO 4780
3490 IF O1%=3 OR O2%=3 THEN 3580
3500 IF F6>0 THEN 3515
3505 F6=1
3510 HX=H1:HY=H2:GOSUB 6180:GOTO 2480
3515 IF ABS(H1-HX)>0.05*ABS(H1+HX)/2 THEN 3510
3520 IF ABS(H2-HY)>0.05*ABS(H2+HY)/2 THEN 3510
3530 UC=(P1*H2)/(H1+H2)
3540 RR=1/U-1/UC

```

```

3600 CLS:PRINT"COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR (BTU/HR-SQFT-GRAD F)"I
T""
3610 PRINT"INTERNO REFERIDO AL AREA EXTERNA DEL TUBO=";H1
3620 PRINT"EXTERNO REFERIDO AL AREA EXTERNA DEL TUBO=";H2
3630 PRINT"GLOBAL LIMPIO (UC)=";UC:PRINT"COEFICIENTE GLOBAL SUCIO=";(1/UC+RD
1)
3640 PRINT"DE DISEÑO (UD)=";U9:PRINT"RD DISPONIBLE=";RR
3650 PRINT""
3660 GOSUB 2110
3670 PRINT"":PRINT"TUBOS=":IF PT$="T" THEN C$="TRIANGULAR" ELSE C$="CUADRANGU
"
3680 PRINT"NUMERO DE PASOS POR CUERPO=";N
3690 PRINT"NUMERO DE TUBOS POR CUERPO=";NT
3700 PRINT"ARREGLO=";C$:PRINT"PASO=";PT:PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"DIAMETRO EXT
D=";D0:PRINT"DIAMETRO INTERNO=";DI:PRINT"CAIDA DE PRESION=";P;" CAIDA DE P
ION PERMITIDA=";P1
3710 GOSUB 2110 :PRINT"CORAZA:"
3720 PRINT"NUMERO DE CUERPOS CON UN PASO POR CORAZA CADA UNO=";NS
3730 PRINT"DIAMETRO INTERNO=";DS
3740 PRINT"DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=";B
3750 PRINT"CAIDA DE PRESION=";PS;" CAIDA DE PRESION PERMITIDA=";P2:GOSUB 211
3755 IF N=1 THEN 3787
3760 IF T1>T2 THEN EZ=EXP(UC*A/(W*C)*SQR(RC2+(1/NS))) ELSE EZ=EXP(UC*A/(WS*CS
RR*(RC2+(1/NS)))
3770 XZ=(2*EZ-2)/((R+1+BU)*EZ-((R+1)-BU)) :IF NS=1 THEN SZ=XZ:GOTO 3785
3780 SY=((1-R*XZ)/(1-XZ))ENS:SZ=(1-SY)/(R-SY)
3785 TB=SZ*(T5-T7)+T7:TV=T5-R*(TB-T7):IF T2>T1 THEN TY=TV:TV=TB:TB=TY
3786 GOTO 3800
3787 IF T1>T2 THEN R=W*C/(WS*CS) ELSE R=WS*CS/(W*C)
3790 IF D$="F" THEN 3794 ELSE IF T1>T2 THEN EZ=EXP((UC*A/(W*C))*(R-1)) ELSE EZ
XP((UC*A/(WS*CS))*(R-1))
3792 TV=((1-R)*T5+(1-EZ)*R*T7)/(1-R*EZ):GOTO 3794
3794 IF T1>T2 THEN EZ=EXP(UC*A/(W*C)*(R+1)) ELSE EZ=EXP(UC*A/(WS*CS)*(R+1))
3795 TV=(T5*(EZ+R)+T7*R*(EZ-1))/(EZ*(1+R))
3796 TB=(T5-TV)/R+T7:IF T2>T1 THEN TY=TV:TV=TB:TB=TY
3798 PRINT"LAS TEMPERATURAS ALAS QUE TRABAJARA EL INTERCAMBIADOR LOS PRI-MEROS
IAS DE USO SERAN:"
3800 PRINT"CORAZA":PRINT"TEMPERATURA DE ENTRADA=";T1:PRINT"TEMPERATURA DE SALI
=";TV:PRINT"TUBOS":PRINT"TEMPERATURA DE ENTRADA=";T3:PRINT"TEMPERATURA DE SALI
=";TB
3810 GOSUB 2110
3820 PRINT"EN LA SIGUIENTE LISTA SE MUESTRAN DIFERENTES PUNTOS A PARTIR DE LOS
UALES SE PUEDE REPETIR LA EJECUCION DEL PROGRAMA. PUEDE A- PROVECHAR ESTA LIST
PARA HACER OTRA CORRIDA CON DATOS"
3825 PRINT"DISTINTOS A LOS QUE SE USARON EN ESTA QUE SE ACABA DE EJECUTAR, A P
TIR DEL PUNTO QUE USTED ELIJA DE LA LISTA:"
3830 PRINT"1 ALIMENTACION DE UN NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS"
3840 PRINT"2 ALIMENTACION DE LAS LIMITACIONES QUE SE DEBEN CUMPLIR CUANDO
DISEÑE EL HAZ DE TUBOS"
3850 PRINT"3 ELECCION DEL ARREGLO QUE TENDRAN LOS TUBOS"
3860 PRINT"4 ALIMENTACION DE LA CAIDA DE PRESION MAXIMA QUE PUEDE SUFRIR
FLUIDO QUE CIRCULA POR LA ENVOLVENTE"
3870 PRINT"5 ALIMENTACION DE UNA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS"
3875 PRINT"6 ESTA OPCION SE DEBE UTILIZAR SI SE DESCA AUMENTAR EN UNO EL
MERO DE PASOS POR LA ENVOLVENTE"
3880 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";Z3
3890 IF Z3%=1 THEN IUX(1)=0:IUX(2)=0: F1=1:F1=1:F4=0:F6=0:F7=0:FOR IX=1 TO 45:
IX)=0:NEXT IX:GOTO 2280
3900 IF Z3%=2 THEN IUX(1)=0:IUX(2)=0: F1=1:F4=0:F6=0:F7=0:FOR IX=1 TO 28:F(IX)
:NEXT IX:FOR IX=35 TO 40:F(IX)=0:NEXT IX:NS=1:IF F(39)>0 THEN 2600 ELSE N=1:DT
MTD:GOTO 2600

```

```

3910 IF Z3% = 3 THEN IUX(1) = 0 : IUX(2) = 0 : F6 = 0 : F7 = 0 : FOR IX = 1 TO 27 : F(IX) = 0 : NEXT IX
OR IX = 35 TO 40 : F(IX) = 0 : NEXT IX : NS = 1 : IF F(33) = 1 THEN 2650 ELSE N = 1 : GOTO 2650
3920 IF Z3% = 4 THEN F6 = 0 : F7 = 0 : F(26) = 0 : F(27) = 0 : F(37) = 0 : F(38) = 0 : GOTO 3180
3930 IF Z3% = 5 THEN F(26) = 0 : F(27) = 0 : F(37) = 0 : F(38) = 0 : GOTO 3310
3935 IF Z3% = 6 THEN NS = NS + 1 : F(21) = 0 : F(26) = 0 : F(27) = 0 : F(37) = 0 : F(39) = 0 : F(40) = 0 : F4 = 0
F6 = 0 : F7 = 0 : IF F(33) > 0 THEN 4200 ELSE N = 1 : DT = LMTD : GOTO 4200
3940 CLS : PRINT "LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL 6" : GOTO 3820
3950 IF TAX% = 2 THEN IF OPX% = 2 AND N = 2 THEN GOSUB 6840 : GOTO 3980 : ELSE GOSUB 6750
: GOTO 3980
3960 IF PT$ = "C" THEN ZZ% = ZZ% + 1
3970 GOSUB 7370 : OPEN "R", 1, "NTUBOS/TXT" : GOTO 3990
3980 OPEN "R", 1, "NTUBOS2/TXT"
3990 NAX% = (COZ - 1) * 4 * TSZ
4000 FOR IX = 1 TO TSZ
4010 FIELD 1, (NAX + 4 * (IX - 1)) AS NI%, 4 AS TU% (IX)
4020 NEXT IX
4030 GET 1, RCZ
4040 CLOSE
4050 FOR I = 1 TO TSZ
4060 TU(I) = CVS(TU%(I))
4070 NEXT I : RETURN
4080 FOR IEX = 1 TO TSZ
4090 IF NT < TU(IEX) THEN 4120
4100 NEXT IEX
4110 IEX = IEX - 1 : F(12) = 1 : NE = TU(IEX) : IEX = TSZ : GOTO 4150
4120 IF IEX = 1 THEN F(11) = 1 : NE = TU(IEX) : GOTO 4150
4130 IF (NT - TU(IEX - 1)) > (TU(IEX) - NT) THEN NE = TU(IEX) : DS = DS(IEX) : GOTO 4150
4140 IF TU(IEX - 1) > 0 THEN IEX = IEX - 1 : NE = TU(IEX) : DS = DS(IEX) : ELSE NE = TU(IEX) : DS = DS(IEX)
4150 A = (NE * 3.14159 * DIC2) / (576 * N) : G = H / A : VP = G / (RT * 3600) : RE = DI * G / (12 * MT)
4160 IF RE >= 2500 THEN IF VP >= V4 THEN NT = NE : RETURN ELSE IF IEX = 1 THEN F(11) = 1 : PRINT "VELOCIDAD MAXIMA POSIBLE DE ALCANZAR CON EL NUMERO MINIMO DE ESTA TABLA=" : VP : RETURN
4170 IF F(11) > 0 THEN 4190
4180 F(12) = 0 : IEX = IEX - 1 : NT = TU(IEX) : NE = NT : DS = DS(IEX) : IF TU(IEX) = 0 THEN IEX = IEX + 1 : NT = TU(IEX) : NE = NT : IF (11) = 1 : GOTO 4150 : ELSE GOTO 4150
4190 PRINT "NO SE PUEDE ALCANZAR UN REGIMEN TURBULENTO DEL LADO DE LOS TUBOS" : STO P
4200 IF L1 > L(8) THEN L1 = L(8)
4210 IF L1 < L(1) THEN L1 = L(1)
4230 K3 = 0.027 * (12 * KT / DI) * (DI * 3600 * RT / MT) / (0.8 * (CT * MT / KT) * ((1/3) * (DI / DO))
4240 K4 = 900 * RT * DIC2 / (H * DO) * Q / DT
4260 VA = (K3 * N * NS * L1 / K4) / 5
4270 IF VA > V4 THEN 2790
4280 IF N = 6 THEN IF TAX% = 2 THEN 4330
4290 IF N = 8 THEN 4330
4300 IF F(33) = 1 THEN 4340
4310 IF N > 1 THEN N = N + 2 : F9 = 1 : GOTO 4260
4320 N = 2 : F9 = 1 : GOSUB 2330 : GOTO 4260
4330 IF F(33) < 1 THEN NS = NS + 1 : N = 1 : FT = 1 : DT = LMTD : GOTO 4260
4340 NS = NS + 1 : IF N > 1 THEN GOSUB 2330
4350 GOTO 4260
4360 NT = AH * R * 576 / (3.14159 * DIC2)
4370 GOSUB 3950
4380 GOSUB 4080 : N9 = NE
4390 P1% = 1
4400 L = L2

```

```

4410 GOSUB 4450:IEZ=1
4420 IF TU(IEZ)=1 THEN IEZ=IEZ+1:GOTO 4420 ELSE NE=TU(IEZ):NT=TU(IEZ)
4440 IUZ(1)=IUZ(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8050:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
4450 FOR ISZ=1 TO 8
4460 IF L<L(ISZ) THEN 4490
4470 NEXT ISZ
4480 ISZ=8:IF(16)=1:GOTO 4520
4490 IF ISZ=1 THEN F(15)=1:GOTO 4520
4500 IF L=L(ISZ) THEN 4520
4510 IF L(ISZ-1)>(L-L(ISZ-1))THEN ISZ=ISZ-1
4520 L=L(ISZ)
4530 IF L2<L(8) THEN 4570
4540 PRINT"LA LONGITUD MINIMA IMPUESTA ES MAYOR A LA MAXIMA ESTANDAR:"
4550 PRINT"LONGITUD MINIMA SUPUESTA=";L2:PRINT"LONGITUD MAXIMA ESTANDAR=";L(8)
4560 PRINT"IMPONER UNA LONGITUD MINIMA MENOR:";INPUT"LONGITUD MINIMA";L2:GOTO
30
4570 J=ISZ
4580 FOR I=J TO 8
4590 IF L>L2 THEN 4620
4600 ISZ=J+1:L=L(ISZ):P2Z=1:F(15)=0
4610 NEXT I
4620 IF L>L1 THEN 4640
4630 P2Z=0:RETURN
4640 IF P2Z>0 THEN 4770
4650 IF L(1)>L1 THEN 4700
4660 FOR J=ISZ TO 1 STEP -1
4670 L=L(J)
4680 IF L<L1 THEN 4730
4690 NEXT J
4700 PRINT"LA LONGITUD MAXIMA IMPUESTA ES MANOR A LA MINIMA ESTANDAR"
4710 PRINT"LONGITUD MAXIMA IMPUESTA";L1:PRINT"LONGITUD MINIMA ESTANDAR";L(1)
4720 PRINT"IMPONER LONGITUD MAXIMA MAYOR:";INPUT"LONGITUD MAXIMA";L1:GOTO 4650
4730 ISZ=J
4740 IF L<L2 THEN 4770
4750 P2Z=0
4760 RETURN
4770 PRINT"LA LONGITUD IMPUESTA NO ES ESTANDAR":STOP
4780 IF F(48)>0 THEN PRINT"AUMENTANDO AREA DE TRANSFERENCIA"
4785 IF F(35)=1 THEN 5010
4790 IF B$="V" THEN 4830
4800 IF F(21)<1 THEN 4910
4810 IF F(22)>0 THEN 4930
4820 GOTO 4950
4830 IF F(16)>0 THEN 4900
4840 IF F(22)>0 THEN 4900
4850 IF ISZ=8 THEN F(16)=1:GOTO 4900
4860 ISZ=ISZ+1:L=L(ISZ)
4870 IF L>L1 THEN 4890
4890 F(15)=0:F(24)=1:F(25)=1:IUZ(1)=IUZ(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8050:GOTO 2
0:ELSE GOTO 2960
4890 ISZ=ISZ-1:L=L(ISZ):F(22)=1
4900 IF F(21)>0 THEN 4930
4910 IF NT=N9 THEN F(21)=1:IF F(16)>0 THEN 4930 ELSE 4810
4920 IEZ=IEZ+1:NT=TU(IEZ):DS=DS(IEZ):F(25)=1:F(24)=0:IUZ(1)=IUZ(1)+1:IF F(48)
THEN GOSUB 8050:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
4930 IF F(33)>0 THEN 4950
4940 IF N<N6Z THEN 4970
4950 IF F(37)>0 THEN 5450
4960 F(20)=1:GOTO 5450
4970 IF N=1 THEN GOSUB 2330 :DT=FT*LMTD:N=2: ELSE N=N+2
4980 N1=N*NS
4990 F(21)=0:F(22)=0:F(24)=0:F(34)=1
5000 GOTO 4340

```

```

5010 IF ISZ=IWZ THEN F(22)=1:GOTO 5040
5020 IXZ=ISZ+1:L=L(IXZ)
5030 IUX(1)=IUX(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8050:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
5040 IF TU(IEZ)>=N9 THEN IF F(28)=0 THEN F(21)=1:GOTO 5070 ELSE GOTO 5070
5050 ISZ=IVZ:L=L(ISZ):IEZ=IEZ+1:NT=TU(IEZ)
5060 IUX(1)=IUX(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8050:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
5070 IF N=N6Z OR F(33)>0 THEN 5110
5080 IF N=1 THEN GOSUB 2330 :DT=LMTD*FT:N=2: ELSE N=N+2
5090 N1=N*NNS
5100 GOTO 4360
5110 IF F(37)>0 THEN 5450
5120 F(20)=1:GOTO 5450
5130 IF F(48)>0 THEN PRINT"DISMINUYENDO CAIDA DE PRESION"
5135 IF F(35)>0 THEN 5400
5140 IF B#="V"THEN 5210
5150 IF F(21)>0 THEN 5210
5160 IF NT=N9 THEN F(21)=1:GOTO 5210
5170 IEZ=IEZ+1
5180 NT=TU(IEZ)
5190 DS=DS(IEZ)
5200 IUX(1)=IUX(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8060:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
5210 IF F(23)>0 THEN 5290
5220 IF F(24)>0 THEN 5290
5230 IF F(15)>0 THEN 5290
5240 IF ISZ=1 THEN F(15)=1:F(23)=1:GOTO 5290
5250 ISZ=ISZ-1
5260 IF L(ISZ)<L2 THEN ISZ=ISZ+1:L=L(ISZ):F(23)=1:GOTO 5290
5270 L=L(ISZ):F(22)=0:F(16)=0
5280 IUX(1)=IUX(1)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8060:GOTO 2960: ELSE GOTO 2960
5290 IF F(21)>0 THEN 5310
5300 GOTO 5160
5310 IF F(33)>0 THEN 5340
5320 IF F(34)>0 THEN 5360
5330 IF N=1 THEN 5450
5340 IF F(38)>0 THEN 5450
5350 F(39)=1:GOTO 5450
5360 IF N=2 THEN N=1:FT=1:DT=LMTD:NS=1 ELSE N=N-2
5370 FOR IX=21 TO 24:F(IX)=0:NEXTIX
5380 N1=N*NNS
5390 GOTO 4360
5400 IF TU(IEZ)=N9 THEN IF F(28)=0 THEN F(21)=1:GOTO 5430 ELSE GOTO 5430
5410 ISZ=IVZ:L=L(ISZ):IEZ=IEZ+1:NT=TU(IEZ)
5420 IUX(2)=IUX(2)+1:IF F(48)>0 THEN GOSUB 8060:GOTO 2960:ELSE GOTO 2960
5430 IF F(38)>0 OR F(37)>0 THEN F(39)=0:GOTO 5450
5440 F(39)=1
5442 IF ISZ=1 THEN F(15)=1 ELSE IF ISZ>IVZ THEN F(24)=1:F(15)=0 ELSE F(23)=1:GO
TO 5450
5450 IF F(20)>0 THEN 5510
5460 IF F(39)>0 THEN 5550
5470 IF F(37)>0 THEN 5610
5480 IF F(38)>0 THEN 5640
5490 IF F4>0 THEN 5680
5500 PRINT"FALLA NO IDENTIFICADA"
5510 GOSUB 5810 :GOSUB 2110
5520 IF F(16)>0 THEN GOSUB 5830 :GOTO 5710
5530 IF F(22)>0 THEN GOSUB 5840 :GOTO 5710
5540 PRINT"FALLA EN LOS TUBOS NO IDENTIFICADA":STOP
5550 GOSUB 5920 :GOSUB 2110
5560 IF F(15)>0 THEN GOSUB 5950 :GOTO 5710
5570 IF F(24)>0 THEN GOSUB 5960 :GOTO 5710
5580 IF F(23)>0 THEN GOSUB 5940 :GOTO 5710

```

```

5590 IF F(35)>0 THEN 5710
5600 PRINT"FALLA TERMICA EN LOS TUBOS NO IDENTIFICADA":STOP
5610 GOSUB 6020 :GOSUB 2110
5620 IF F(27)>0 THEN GOSUB 6040 :GOSUB 2110:GOTO 6010:GOTO 3820
5630 PRINT"FALLA TERMICA EN LA CORAZA NO IDENTIFICADA":STOP
5640 GOSUB 6080 :GOSUB 2110
5650 IF B=B1 THEN GOSUB 6100 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5660 IF F(26)>0 THEN GOSUB 6110:GOSUB 2110:GOTO 6010
5670 PRINT"FALLA TERMICA EN LA CORAZA NO IDENTIFICADA":STOP
5680 GOSUB 6130:GOSUB 2110
5690 IF F(27)>0 GOSUB 6150
5695 IF F(35)>0 GOSUB 6170
5700 GOSUB 2110:GOSUB 3820
5710 IF F(12)>0 THEN GOSUB 5680 :GOTO 5740
5720 IF F(21)>0 THEN GOSUB 5870 :GOTO 5740
5730 IF F(26)>0 THEN GOSUB 5850
5740 IF F(39)>1 THEN 5770
5750 IF F(33)>0 THEN GOSUB 5890 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5760 IF F(40)>0 THEN GOSUB 5910 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5770 IF F(33)>0 THEN GOSUB 5890 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5780 IF N=1 THEN GOSUB 5980 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5790 GOSUB 6005 :GOSUB 2110:GOTO 3820
5800 GOSUB 2110:GOTO 3820
5810 PRINT"EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL FLUIDO QUE VA POR EL
TERIOR DE LOS TUBOS NO PUEDE SER LO SUFICIENTEMENTE GRANDE COMO PARA TRANSFERIR
LA CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA"
5820 PRINT"DEBE TENER UN VALOR MAYOR A ";U9:PRINT"Y TIENE UN VALOR DE ";H1:PR
"NO SE PUEDE AUMENTAR EL AREA DEL INTERCAMBIADOR POR LO SIGUIENTE:"
URN
5830 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR LA LONGITUD PORQUE SERIA MAYOR A LA LONGI- TUD
AXIMA RECOMENDADA POR TEMA:";PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"LONGITUD MAXIMA RECOMEN
A POR TEMA=";L(B):RETURN
5840 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR LA LONGITUD PORQUE SERIA MAYOR A LA LONGI- TUD
AXIMA IMPUESTA:";PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"LONGITUD MAXIMA IMPUESTA=";L1:RETURN
5850 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR EL NUMERO DE TUBOS PORQUE DISMINUIRIA LA VE
IDAD POR DEBAJO DE LA VELOCIDAD MINIMA IMPUESTA:"
5860 PRINT"VELOCIDAD=";V:PRINT"VELOCIDAD MINIMA IMPUESTA=";V3:RETURN
5870 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR EL NUMERO DE TUBOS PORQUE EL NUMERO DE REY-NO
SERIA MENOR DE ";RU:PRINT"NUMERO DE TUBOS=";NT:PRINT"NUMERO DE REYNOLDS=";RE
TURN
5880 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR EL NUMERO DE TUBOS PORQUE EL QUE SE ESTA. US
O ES EL MAYOR DE LA TABLA DE CUENTA DE TUBOS UTILIZADA:";PRINT"NUMERO DE TUBO
:NT:PRINT"NUMERO MAXIMO DE TUBOS DE LA TABLA=";TU(TSZ):RETURN
5890 PRINT"NO SE PUEDE. ";:IF F(39)>0 THEN PRINT"DISMINUIR";:GOTO 5900 :ELSE PR
I"AUMENTAR":
5900 PRINT" EL NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS PORQUE HA SIDO IMPUESTO:";PRINT"
ERO DE PASOS=";N:RETURN
5910 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR EL NUMERO DE PASOS PORQUE EL QUE SE ESTA. US
O ES EL MAYOR CON EL QUE CUENTAN LAS TABLAS DE LA FUENTE U-TILIZADA:";PRINT"NO
RO DE PASOS=";N:PRINT"NUMERO DE PASOS MAXIMO=";N6%:RETURN
5920 PRINT"LA CAIDA DE PRESION QUE SUFRE EL FLUIDO QUE VA POR DENTRO DE LOSTUB
ES MAYOR QUE LA MAXIMA PERMITIDA:";PRINT"CAIDA DE PRESION=";P:PRINT"CAIDA DE
ESION MAXIMA PERMITIDA=";P1:PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR POR LO SIGUIENTE:"
5930 RETURN
5940 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR LA LONGITUD PORQUE SERIA MENOR QUE LA LONGI- TUD
MENOR IMPUESTA:";PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"LONGITUD MINIMA IMPUESTA=";L2:RETURN
5950 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR LA LONGITUD PORQUE SERIA MENOR QUE LA LONGI- TUD
MINIMA RECOMENDADA POR TEMA:";PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"LONGITUD MINIMA RECOMI
ADA POR TEMA=";L(1):RETURN
5960 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR LA LONGITUD PORQUE SI SE UTILIZA LA LONGI-TUD
STANDAR INMEDIATA INFERIOR EL AREA DISMINUIR DEMASIADO Y YA NO SE PODRIA TR
FERIR LA CANTIDAD DE CALOR REQUERIDA"

```

```

5970 PRINT"LONGITUD=";L:PRINT"LONGITUD ESTANDAR INMEDIATA INFERIOR=";L*(IGX-1):RE
TURN
5980 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR EL NUMERO DE PASOS PORQUE SE ESTA UTILI- ZANDO
EL MINIMO POSIBLE!"
5990 PRINT"NUMERO MINIMO DE PASOS =" ;N:IF N=2 THEN PRINT"(PORQUE LOS TUBOS UTILI
ZADOS SON TUBOS EN U)"
6000 RETURN
6005 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR EL NUMERO DE PASOS POR TUBOS, EL QUE SE ESTÁ
USANDO ES EL MINIMO REQUERIDO:";PRINT"NUMERO DE PASOS POR LOS TUBOS POR CADA PAS
O POR CORAZA=";N:RETURN
6010 PRINT"SE TRATO DE AUMENTAR EL AREA DE TRANSFERENCIA PARA TRATAR DE DISMI
NUIR EL VALOR QUE DEBE TENER EL COEFICIENTE EXTERNO Y PODERMODIFICAR LA DISTANCI
A ENTRE MAMPARAS; PERO AL TRATAR DE AUMEN- TAR EL AREA OCURRE QUE:"
6012 GOSUB 2110:IF H1<U9 OR B0<=0 THEN GOTO 5510 ELSE GOTO 550
6020 PRINT"EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL FLUIDO QUE CIRCULA POR E
L LADO DE LA CORAZA NO TIENE EL VALOR MINIMO REQUERIDO PARAQUE EL INTERCAMBIADOR
TRANSMITA LA CANTIDAD DE CALOR NECESARIA"
6030 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR EL COEFICIENTE POR LO SIGUIENTE:";RETURN
6040 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR LA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PORQUE LA QUE SE ES
TA UTILIZANDO ES LA MINIMA POSIBLE"
6050 PRINT"DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=";B:PRINT"DISTANCIA MINIMA ENTRE MAMPARAS=";
B2:RETURN
6060 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR EL VALOR MINIMO QUE DEBE TENER EL COEFICIENTE P
ORQUE NO SE PUEDE AUMENTAR LA DIFERENCIA ENTRE EL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA D
E CALOR DEL FLUIDO QUE CIRCULA"
6070 PRINT"POR DENTRO DE LOS TUBOS Y EL COEFICIENTE DE DISEÑO";RETURN
6080 PRINT"LA CAIDA DE PRESION DEL FLUIDO QUE CIRCULA POR LA ENVOLVENTE ES MAYOR
A LA MAXIMA PERMITIDA:";PRINT"CAIDA DE PRESION=";PS:PRINT"CAIDA DE PRESION MAXI
MA PERMITIDA=";P2
6090 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR POR LO SIGUIENTE:";RETURN
6100 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR LA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PORQUE EL NU- MERO
DE REYNOLDS TOMARIA VALORES MENORES A 10,000";PRINT"DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=";B
:PRINT"NUMERO DE REYNOLDS=";R2:RETURN
6110 PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR LA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PORQUE EL COE- FICIE
NTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL FLUIDO QUE CIRCULA POR LA CORAZA TOMARIA UN VAL
OR MENOR AL MINIMO POSIBLE"
6120 PRINT"HO=";H2:PRINT"VALOR MINIMO QUE PUEDE TENER HO=";HO:PRINT"DISTANCIA EN
TRE MAMPARAS=";B:RETURN
6130 PRINT"EL NUMERO DE REYNOLDS MAXIMO QUE SE PUEDE ALCANZAR DEL LADO DE LA CO
RAZA ES MENOR A ";RU
6140 PRINT"RE=";G3*B1/B2*DE/12/MS:PRINT"NO SE PUEDE AUMENTAR PORQUE!";RETURN
6150 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR MAS LA DISTANCIA ENTRE MAMPARAS PORQUE LA QUE S
E ESTA USANDO ES LA MINIMA POSIBLE"
6160 PRINT"DISTANCIA ENTRE MAMPARAS=";B:PRINT"DISTANCIA MINIMA POSIBLE=";B2:RETU
RN
6170 PRINT"NO SE PUEDE DISMINUIR EL DIAMETRO DE LA CORAZA DISMINUYENDO EL NUMERO
DE TUBOS PORQUE EL HAZ DE TUBOS NO CUMPLIRIA CON LAS LIMITACIONES IMPUESTAS";RE
TURN
6180 IF F(48)>0 THEN PRINT"CALCULANDO TEMPS. CALORICAS"
6185 DEF FNH(C,D,G,K,M,K3,K4)=K3*(12*K/D)*(DG/(M*12))[(K4*(C*M/K))^(1/3)]
6190 DEF FNU(HI,HO,DI,DO)=1/(1/(HI*(DI/DO))+1/HO)
6200 DEF FNTP(HI,HO)=TC+(HO/(HO+HI))*(TK-TC)
6210 RA=1:RI=1
6220 IF T1>T2 THEN T=T2:TK=T2:ELSE T=T1:TK=T1
6230 GOSUB 1840 :M2=MS
6240 H4=FNH(CS,DE,CS,KS,MS,0.36,0.55)*RI
6250 IF T3>T4 THEN T=T4:TC=T4:ELSE T=T3:TC=T3
6260 GOSUB 1570 :M1=MT
6270 H5=FNH(CT,DI,G,KT,MT,0.27,0.8)*RA
6280 TH=FNTP(H5,H6)
6290 T=TH:GOSUB 1570 :GOSUB 1840
6300 RA=(M1/MT)[0.14:RI=(M2/MS)[0.14

```

```

6308 IF B9%=1 THEN 6320
6308 IF F8<>1 THEN HG=H5:HF=H6:F8=1:GOTO 6240
6310 IF ABS(H6-HF)<0.05*(H6+HF)/2 THEN B9%=1:GOTO 6320
6315 HG=H5:HF=H6:GOTO 6240
6320 IF ABS(H5-HG)<0.05*(H5+HG)/2 THEN F8=0:B9%=0:GOTO 6330
6325 HG=H5:GOTO 6270
6330 RA=1:RI=1
6340 IF T1>T2 THEN T=T1:TK=T1:ELSE T=T2:TK=T2
6350 GOSUB 1840 :M2=MS
6360 H8=FNH(CS,DE,GS,KS,MS,0.36,0.55)*RI
6370 IF T3>T4 THEN T=T3:TC=T3:ELSE T=T4:TC=T4
6380 GOSUB 1570 :M1=MT
6390 H7=FNH(CT,DI,G,RT,MT,0.027,0.8)*RA
6400 TW=FNTF(H7,H8)
6410 T=TW:GOSUB 1570 :GOSUB 1840
6420 RA=(M1/MT)C0.14:RI=(M2/MS)C0.14
6424 IF B9%=1 THEN 6440
6428 IF F8<>1 THEN HG=H7:HF=H8:F8=1:GOTO 6360
6430 IF ABS(H8-HF)<0.05*(H8+HF)/2 THEN B9%=1:GOTO 6440
6435 HG=H7:HF=H8:GOTO 6360
6440 IF ABS(H7-HG)<0.05*(H5+HG)/2 THEN F8=1:B9%=0:GOTO 6450
6445 HG=H7:GOTO 6390
6450 UH=FNU(H5,H6,DI,DO):UF=FNU(H7,H8,DI,DO)
6460 KC=(UH-UF)/UH:RM=(T6-T7)/(T5-T8):IF RM=1 THEN RM=1.00001
6470 FC=((1/KC)+(RM/(RM-1)))/(1+(LOG(KC+1)/LOG(RM)))-(1/KC)
6480 TR=T6+FC*(T5-T6):TC=T7+FC*(T8-T7):RA=1:RI=1
6490 PRINT"TEMPERATURA CALORICA DEL FLUIDO CALIENTE";TK:PRINT"TEMPERATURA CAL
6500 DEL FLUIDO FRIO";TC
6500 RETURN
6510 INPUT"QUE TIPO DE ARREGLO UTILIZARA: TRIANGULAR (T) O CUADRANGULAR (C)";
6520 IF RT="C" AND N<>2 THEN OPX=1:CLS:GOTO 6560
6530 PRINT"TUROS QUE PUEDE UTILIZAR:";PRINT"1  TUBOS PARA CABEZAL P O S";IF N
6540 THEN 6540 ELSE PRINT"2  TUBOS EN U"
6540 IF RT="T" AND N<>2 THEN PRINT"2  TUBOS PARA CABEZAL L O M";GOTO 6890 ;E
6550 PRINT"3  TUBOS PARA CABEZAL L O M";GOTO 6890
6550 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";OPX:CLS
6560 IF OPX=1 THEN ITX=1:ISX=22:GOTO 6590
6570 IF OPX=2 THEN ITX=8:GOTO 6590
6580 PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL 2";GOTO 6530
6590 PRINT"SE PUEDEN UTILIZAR LOS SIGUIENTES ARREGLOS:"
6600 PRINT"          DIAMETRO EXTERNO          PASO CUADRANGULAR"
6610 PRINT"          DE LOS TUBOS (IN)          (IN)"
6620 PRINT"1.-  5/8          13/16"
6630 PRINT"2.-  3/4          1"
6640 PRINT"3.-  1          1 1/4"
6650 PRINT"4.-  1 1/4          1 9/16"
6660 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";Z2X
6670 IF OPX=2 THEN 6790
6680 IF Z2X=1 THEN NDZ=1:GOSUB 7030 :GOSUB 6750 :GOTO 7070
6690 IF Z2X=2 THEN NDZ=3:GOSUB 7040 :GOSUB 6750 :GOTO 7070
6700 IF Z2X=3 THEN NDZ=5:GOSUB 7050 :GOSUB 6750 :GOTO 7070
6710 IF Z2X=4 THEN NDZ=7:GOSUB 7060 :GOSUB 6750 :GOTO 7070
6720 IF ITX=15 THEN 7020
6730 IF ITX=29 THEN 7020
6740 PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL 4";GOTO 6590
6750 IF N<6 THEN SUZ=0 ELSE SUZ=1
6760 CZX=NDZ+SUZ+ITX-1
6770 IF N=1 OR N=4 THEN COZ=1 ELSE COZ=2
6780 RETURN
6790 IF Z2X=1 THEN NDZ=1:GOSUB 7030 :GOSUB 6840 :TSX=22:GOTO 7070

```

```

6800 IF Z2Z=2 THEN NDZ=4:GOSUB 7040 :GOSUB 6840 :TSZ=22:GOTO 7070
6810 IF Z2Z=3 THEN NDZ=7:GOSUB 7050 :GOSUB 6840 :TSZ=22:GOTO 7070
6820 IF Z2Z=4 THEN NDZ=10:GOSUB 7060 :GOSUB 6840 :TSZ=22:GOTO 7070
6830 IF TTZ=22 THEN NDZ=10 ELSE 6740
6840 RCZ=INT(N/4+NDZ/2)+TTZ
6850 XQ=NDZ/2-INT(NDZ/2)
6860 IF XQ>0 THEN IF N<>4 COZ=1 ELSE COZ=2
6870 IF XQ=0 THEN IF N<>4 COZ=2 ELSE COZ=1
6880 RETURN
6890 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";OPZ:CLS
6900 IF OPZ=1 THEN TTZ=15:TSZ=22:GOTO 6940
6910 IF OPZ=2 AND N<>2 THEN OPZ=3:GOTO 6920 :ELSE IF OPZ=2 THEN TTZ=22:GOTO 6940

6920 IF OPZ=3 THEN TTZ=29:TSZ=30:GOTO 6940
6930 PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL ";IF N<>2 THEN PRINT"2":GOTO
6530 :ELSE PRINT"3":GOTO 6530
6940 PRINT"SE PUEDEN UTILIZAR LOS SIGUIENTES ARREGLOS"
6950 PRINT" DIAMETRO EXTERNO PASO TRIANGULAR"
6960 PRINT" DE LOS TUBOS (IN) (IN)"
6970 PRINT"1.- 3/4 15/16"
6980 PRINT"2.- 3/4 1"
6990 PRINT"3.- 1 1 1/4"
7000 PRINT"4.- 1 1/4 1 9/16"
7010 GOTO 6660
7020 PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL 4":GOTO 6940
7030 IF PT$="T" THEN DO=3/4:PT=15/16:RETURN:ELSE DO=5/8:PT=13/16:RETURN
7040 DO=3/4:PT=1:RETURN
7050 DO=1:PT=1.25:RETURN
7060 DO=1.25:PT=1+9/16:RETURN
7070 GOSUB 7440 :RETURN
7080 TSZ=17:CLS:INPUT"QUE TIPO DE ARREGLO UTILIZARA: TRIANGULAR (T) O CUADRANGU
AR (C)";PT$:CLS
7090 PRINT"SE PUEDEN UTILIZAR LOS SIGUIENTES ARREGLOS:"
7100 IF PT$="C" THEN 7250
7110 TTZ=0:PRINT" DIAMETRO EXTERNO PASO TRIANGULAR"
7120 PRINT" DE LOS TUBOS (IN) (IN)"
7130 PRINT"1.- 3/4 15/16"
7140 PRINT"2.- 3/4 1"
7150 PRINT"3.- 1 1 1/4"
7160 PRINT"4.- 1 1/4 1 9/16"
7170 PRINT"5.- 1 1/2 1 7/8"
7180 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";Z2Z
7190 IF Z2Z=1 THEN 7320
7200 IF Z2Z=2 THEN 7330
7210 IF Z2Z=3 THEN 7340
7220 IF Z2Z=4 THEN 7350
7230 IF Z2Z=5 THEN 7360
7240 PRINT"LA OPCION ES UN NUMERO ENTERO DEL 1 AL ";IF PT$="C" THEN PRINT"4":G
TO 7250 :ELSE PRINT"5":GOTO 7090
7250 TTZ=10:PRINT" DIAMETRO EXTERNO PASO CUADRANGULAR"
7260 PRINT" DE LOS TUBOS (IN) (IN)"
7270 PRINT"1.- 3/4 1"
7280 PRINT"2.- 1 1 1/4"
7290 PRINT"3.- 1 1/4 1 9/16"
7300 PRINT"4.- 1 1/2 1 7/8"
7310 INPUT"QUE OPCION ESCOGE";Z2Z:Z2Z=Z2Z+1:GOTO 7200
7320 DO=3/4:PT=15/16:GOSUB 7370 :GOSUB 7440 :RETURN
7330 DO=3/4:PT=1:GOSUB 7370 :GOSUB 7440 :RETURN
7340 DO=1:PT=1+1/4:GOSUB 7370 :GOSUB 7440 :RETURN
7350 DO=1+1/4:PT=1+9/16:GOSUB 7370 :GOSUB 7440 :RETURN
7360 DO=1+1/2:PT=1+7/8:GOSUB 7440:RETURN

```

```

7370 IF N<4 THEN SUZ=0 ELSE SUZ=1
7380 IF FT#="C" THEN ZZX=ZZX-1
7390 RCX=ZZX*2+SUZ-1+ITX
7400 IF N=1 OR N=4 THEN COX=1:RETURN
7410 IF N=2 OR N=6 THEN COX=2:RETURN
7420 IF N=8 THEN COX=3:RETURN
7430 PRINT"EL NUMERO DE PASOS NO ESTA DENTRO DEL RANGO DE LOS PROPUESTOS":SI
7440 IF DO=5/8 THEN RZX=1:NMZ=9:NNZ=0:GOTO 7490
7450 IF DO=3/4 THEN RZX=1:NMZ=10:NNZ=9:GOTO 7490
7460 IF DO=1 THEN RZX=1:NMZ=10:NNZ=19:GOTO 7490
7470 IF DO=1+1/4 THEN RZX=2:NMZ=10:NNZ=0:GOTO 7490
7480 RZX=2:NMZ=4:NNZ=10
7490 NAZ=NNZ*8:OPEN"R",1,"BWG/TXT":FOR IX=1 TO NMZ:FIELD 1,(NAZ+B*(IX-1)) AS
,4 AS BW*(IX),4 AS IO*(IX):NEXT IX:GET 1,RZX
7500 FOR IX=1 TO NMZ:BW*(IX)=CVI(BW*(IX)):IO*(IX)=CVI(IO*(IX)):DI(IX)=DO/IO
*1000:NEXT IX:CLOSE:CLS
7510 PRINT"DIAMETRO EXTERNO DEL TUBO (OD) EN INCHES";DO:PRINT"BWG
D/ID
ID(IN)"
7520 FOR IX=1 TO NMZ:PRINT BW*(IX),IO*(IX)/1000,DI(IX):NEXT IX
7530 INPUT"QUE BWG ESCOGE";Z4%
7540 FOR IX=1 TO NMZ
7550 IF Z4%=BW*(IX) THEN DI=DI(IX):RETURN
7560 NEXT IX
7570 PRINT"EL BWG ESCOGIDO NO PERTENECE AL RANGO MOSTRADO":GOTO 7510
8000 PRINT"ESTA SECCION HA SIDO USADA ";IU*(I);" VECES":RETURN
8010 PRINT"NT=";NT:RETURN
8020 PRINT"L=";L:RETURN
8030 PRINT"N=";N:RETURN
8040 PRINT"N COR.=";NS:RETURN
8050 I=1:GOSUB 8000:GOSUB 8010:GOSUB 8020:GOSUB 8030:GOSUB 8040:RETURN
8060 I=2:GOSUB 8000:GOSUB 8010:GOSUB 8020:GOSUB 8030:GOSUB 8040:RETURN
8100 IF F(47)>0 THEN B150
8110 DIM K1(9),K2(9),J1(9),LD(9)
8120 DATA -5.06985,.0042,-4.79566,.0042,-4.22734,.0041,-3.83329,.0041,-3.044
0041,-2.47649,.0041,-1.7987,.0041
8130 DATA 800,360,240,180,120,72,48,36,24
8140 FOR I=1 TO 7:READ K1(I),K2(I):NEXT I:FOR I=1 TO 9:READ LD(I):NEXT I:F(4
8150 FOR I=1 TO 7:J1(I)=K1(I)+K2(I)*RE:NEXT I:J1(8)=2.58807E-3*REC(1.04335):
)=3.89918E-3*REC(1.00419):J1=0:LD=L*12/DO
8160 FOR I=1 TO 9:IF LD>=LD(I) THEN 8170 ELSE NEXT I:I=I-1:GOTO 8180
8170 IF LD=LD(I) THEN J1=J1(I):RETURN:ELSE IF LD>LD(I) THEN I=2
8180 M=(J1(I)-J1(I-1))/(LD(I)-LD(I-1)):J1=M*LD+J1(I)-M*LD(I):RETURN
10010 RO=54.9565*EXP(-4.6574E-4*T):RETURN
10020 MU=24.676*EXP(-8.117E-3*T):RETURN
10030 K=.0799*EXP(-3.179E-9*T):RETURN
10040 CF=.42+.0006*T:RETURN
10050 RO=53.7-.0322*T:RETURN
10060 MU=6.4827*EXP(-6.452E-3*T):RETURN
10070 K=.0835-2.5E-5*T:RETURN
10080 CF=.435+.0006*T:RETURN

```

## BIBLIOGRAFIA

1. Bell, K.J., "Exchanger Design Based on the Delaware Research Programa", Petrochemical Engineering, october 1960 p.p. 26-40
2. Bell, K.J., "The Proper Use of the Computer in Process Heat Exchanger Design and Utilization", a paper of Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma
3. Gardner, K.A., "Mean Temperature Difference in an Array of Identical Exchangers", Industrial and Engineering Chemistry, september 1942, vol. 34, No. 9 p.p. 1083-1087
4. Gulley, D.L., "Use Computers to Select Exchangers", Petroleum Refiner, july 1960, vol. 39, No. 7, p.p. 149-156
5. Herkenhoff, R.G., "A New Way to Rate an Existing Heat Exchanger", Chemical Engineering, march 23 1981, p.p. 213-215
6. Kern, D.Q., "Process Heat Transfer", McGraw-Hill, New York 1950
7. Luthe, R., Olivera, A. y Schutz, F., "Métodos Numéricos", LIMUSA, México, 1980
8. McAdams, W.H., "Heat Transmission", 3rd Edition, McGraw-Hill Kogakusha, 1954
9. Perry, R. and Chilton, C., "Chemical Engineers' Handbook", 5th Edition, McGraw-Hill, Kogakusha, 1973

10. Tayyabkhan, M.T., "Heat Exchanger Design by Computer",  
Industrial and Engineering Chemistry, october 1962, vol.  
54, No. 10, p.p. 25-30
11. TRS80 Disk Operating System and Disk Basic Manual fo m  
del 1 microcomputer, Tandy Corporation, 1979