

ANEXO 1

MANUAL DEL USUARIO

A.1. OBJETO DEL PROGRAMA.

La aplicación *INTERCAMBIADORES* es un programa de fácil manejo desarrollado para acometer el cálculo, el diseño y el análisis de intercambiadores de calor de carcasa y tubos, con objetivo eminentemente didáctico. Permite diseñar y analizar un intercambiador de calor siguiendo una serie de pasos, evitándose pasar directamente de los datos de entrada a los resultados, para que el que lo utilice comprenda toda la problemática del diseño y análisis de los intercambiadores de calor.

A.2. ESTRUCTURA Y MANEJO DEL PROGRAMA.

Lo primero que aparecerá una vez que se haya puesto en marcha el programa será la pantalla de presentación que se muestra en la figura A.1. Tendremos que elegir cual de los dos tipos de problemas que hay, el problema directo o de diseño y el problema indirecto o de análisis, queremos acometer. Veamos como se maneja la aplicación en cada uno de estos problemas.

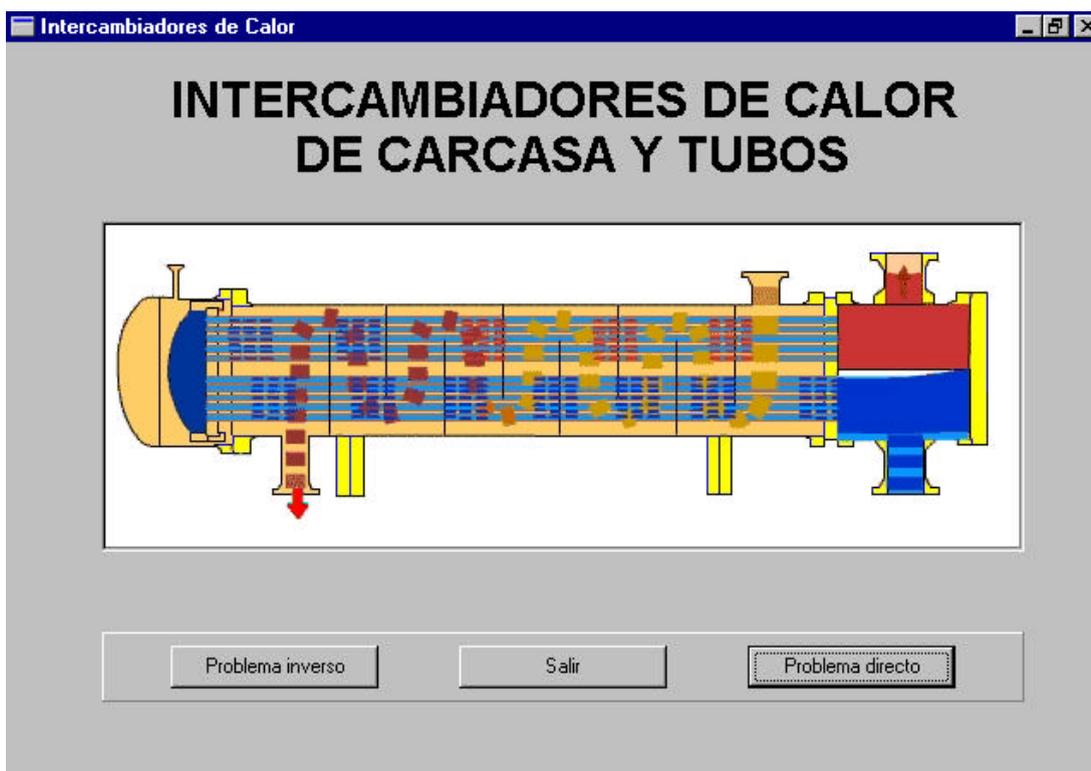


Figura A.1: Pantalla de presentación

A.2.1. PROBLEMA DIRECTO.

A.2.1.1. Datos de entrada.

Una vez que se haya pulsado el botón *Problema Directo* en la pantalla de presentación aparecerá la pantalla correspondiente al *Balance energético*, la cual se muestra en la figura A.2. Hay que señalar cuales de los siete valores relacionados con el balance energético conocemos. Estos valores son los flujos másicos de las corrientes, las temperaturas de entrada, las temperaturas de salida y el calor intercambiado. Los valores que no conozcamos los calculará el programa.

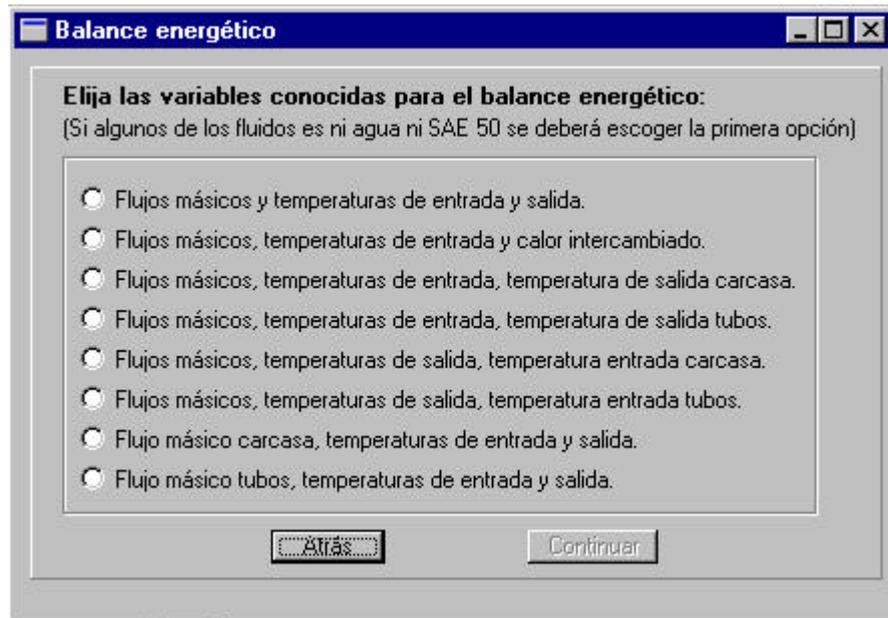


Figura A.2: Balance energético

Una vez elegida una opción se pulsa *Continuar* y aparecerá el *Menú del problema directo* (figura A.3). Aquí tendremos que introducir todos los datos de entrada. Sin embargo, para introducir valores compatibles con los especificados por las normas TEMA, algunos datos de entrada tienen que ser introducidos en un determinado orden. Por ejemplo, como hay una serie de diámetros normalizada para cada tipo de cabezal, antes de seleccionar un diámetro hay que haber elegido un tipo de cabezal, así que cuando se entre en la casilla del diámetro de la carcasa se desplegará la lista de diámetros normalizados para ese cabezal seleccionado previamente (ver figura A.4). También ocurre que el rango de valores posibles de un determinado dato de entrada se vea restringido por la elección que se ha hecho de otros datos de entrada. Por ejemplo, no podemos elegir un corte del deflector cualquiera, sino que el valor que elijamos tiene que estar comprendido entre un valor máximo y mínimo recomendados por las normas TEMA función del diámetro de la carcasa y la separación entre deflectores. Una vez elegidos estos dos, al entrar en la casilla correspondiente al corte del deflector, aparecerá un mensaje que muestra cuáles son estos valores máximo y mínimo. Para tener en cuenta esto, en la pantalla *Menú del problema directo*, en algunas casillas aparece un número entre paréntesis. Esto quiere decir que para rellenar esta casilla hay que rellenar previamente todas aquellas que tengan un número menor. Si una tiene un

(2) antes de rellenar ésta hay que rellenar antes las que tienen un (0) o un (1). Pulsando la tecla de tabulación se puede seguir también secuencia adecuada de introducción de datos. Para más información sobre los datos de entrada consultar las normas TEMA.

Figura A.3: Menú del problema directo

Figura A.4: Serie de diámetros normalizada que se despliega al haber elegido placa tubular fija

Los datos de entrada que hay que introducir son los siguientes:

- (0) Tipo de fluido en carcasa y en los tubos: Al entrar en las casillas correspondientes al fluido de la carcasa y al de los tubos se desplegará una lista con los fluidos que se pueden elegir. Estos son *agua* (cuyas propiedades están se encuentran en la base de datos para las temperaturas entre 0°C y 360°C), el aceite mineral *SAE 50* (cuyas propiedades están se encuentran en la base de datos para las temperaturas entre 0°C y 160°C) y *otros*. Si queremos hacer el estudio con otro fluido distinto del agua y del SAE 50, que son los únicos cuyas propiedades se encuentran en la base de datos, hay que escoger la opción *otros*. Entonces, una vez rellenados todos los datos de entrada y habiendo pulsado en botón *Calcular Area y P*, aparecerá la pantalla que se muestra en la figura A.5, donde debemos introducir las propiedades del fluido a la temperatura que se indica. Una vez introducidas éstas habrá que pulsar *Continuar* para continuar con los cálculos.. Si, habiendo elegido *agua* o *SAE 50*, la temperatura calórica se sale del rango que está tabulado el programa pedirá que el fluido se cambie a *otros*.

The screenshot shows a window titled "Propiedades otros" with a subtitle "Introduzca las propiedades del fluido que circula por la carcasa a 26,2 °C". The window contains several input fields with their respective units:

- Densidad: kg/m³
- Viscosidad: N*s/m²
- Conductividad: W/(m*K)
- Calor específico: kJ/(kg*K)
- Nº de Prandtl:
- Viscosidad a la temperatura de entrada: N*s/m²

At the bottom of the window is a button labeled "Continuar".

Figura A.5: Propiedades de *otros*

- Flujos másicos en carcasa y tubos.
- Temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos.
- (0) Tipo de cabezal: Al entrar en esta casilla se desplegará una lista en la que aparecen los tres tipos que podemos elegir: *placa tubular fija*, *placa tubular flotante* y *tubos en U*. Esta elección determina una serie normalizada de diámetros de la carcasa e influye mucho en el valor de la holgura diametral entre la pared interior de la carcasa y el exterior del banco de tubos.

- (1) Diámetro de la carcasa: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros normalizada determinada por la elección del tipo de cabezal. El diámetro de la carcasa influye en los valores posibles que pueden tomar el diámetro exterior de los tubos, las holguras entre carcasa y deflectores y entre carcasa y banco de tubos (las cuales determina automáticamente de acuerdo a las normas TEMA, aunque se pueden cambiar), la distancia entre deflectores y el corte del deflector.
- (1) Resistencias de ensuciamiento: Al entrar en estas casillas aparece un mensaje que muestra la resistencia de ensuciamiento recomendada por las normas para el fluido escogido (si se ha elegido *otros* no aparece nada), aunque si se quiere se puede introducir otro valor.
- (2) Número de pasos por los tubos: Al entrar en esta casilla aparece un mensaje que muestra los valores que debe tomar este dato, función del diámetro de la carcasa.
- (2) Separación entre deflectores: Al entrar en esta casilla aparece un mensaje que muestra los valores máximo y mínimo que debe tomar este dato, función del diámetro de la carcasa.
- (2) Holgura diametral entre carcasa y deflectores: Queda determinada automáticamente al elegir el diámetro de la carcasa, aunque se puede cambiar.
- (2) Holgura diametral entre la pared interior de la carcasa y el exterior del banco de tubos: Queda determinada automáticamente al elegir el diámetro de la carcasa (también es función del tipo de cabezal), aunque se puede cambiar.
- (2) Diámetro exterior de los tubos: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros exteriores normalizada. Si en diámetro de la carcasa no es muy grande no se permiten diámetros de tubos grandes.
- (3) Diámetro interior de los tubos: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros interiores normalizada determinada por el diámetro exterior de los tubos.
- (3) Paso: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de pasos normalizados determinada por el diámetro exterior de los tubos.
- (3) Corte del deflector (% del diámetro de la carcasa): Al entrar en esta casilla aparece un mensaje que muestra los valores máximo y mínimo que debe tomar este dato, función del diámetro de la carcasa y la separación entre deflectores.
- Disposición de los tubos: Al entrar en esta casilla se desplegará una lista en la que aparecen las tres disposiciones que podemos elegir: *cuadrado*, *triángulo* y *cuadrado invertido*.
- Espesor del deflector: Aparece por defecto un valor de 5 milímetros, que se puede cambiar. Se utiliza sólo en el método de Wilkis en la consideración de las corrientes de fuga.
- Holgura diametral entre tubos y deflector: Aparece por defecto un valor de 0,8 milímetros, que se puede cambiar.
- Número de tiras de sellado por fila de tubos: Al entrar en esta casilla aparece un mensaje que muestra los valores máximo y mínimo recomendados por TEMA.
- Rugosidad de los tubos.

A.2.1.2. Cálculo de los resultados y análisis paramétrico.

Una vez que se hayan introducido todos los datos hay que pulsar el botón *Calcular Area y P* de la pantalla *Menú del Problema Directo*. Si falta algún dato o hay alguno incorrecto aparece un mensaje que pide que se cambie. Si todo está bien se efectuarán los cálculos, que se mostrarán en la pantalla que se muestra en la figura A.6, *Resultados*

del problema directo y análisis (Si se hubiera elegido *otros* en tipo de fluido, esta pantalla aparecerá después de haber pulsado *Continuar* en la pantalla de la figura A.5).

Esta pantalla esta dividida en los partes. En la de la izquierda se muestran los resultados (área de transferencia, longitud del intercambiador y caída de presión en carcasa y tubos) calculados por los tres métodos (Kern, Delaware y Wilkis). Debajo de estos resultados aparece el botón *Corrientes de fuga por Wilkis&Johnson*. Si se pulsa este botón aparecerá la pantalla que se muestra en la figura A.7. En ésta, aparte de un esquema donde aparecen las corrientes de fuga, se muestran los porcentajes del flujo másico total que corresponden a cada corriente, calculados por el método de Wilkis. Pulsando el botón *Atrás* de esta pantalla volvemos a *Resultados del problema directo y análisis*.

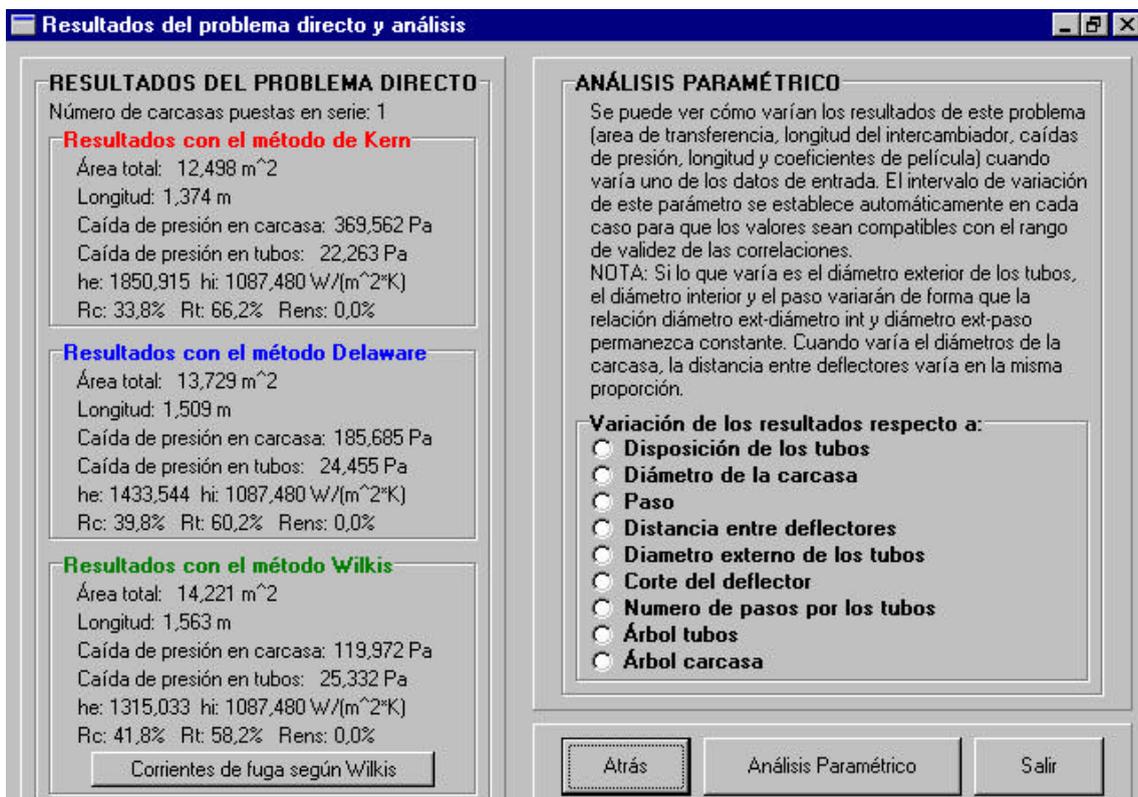


Figura A.6: Resultados del problema directo y análisis paramétrico

En la parte derecha de *Resultados del problema directo y análisis* se encuentra el menú del análisis paramétrico. Aparece la lista de las variables respecto a las cuales podemos hacer el análisis paramétrico. El rango de variación del parámetro se determina automáticamente de forma que sea coherente con los valores recomendados por TEMA. El análisis se efectúa, una vez elegida la variable, pulsando *Análisis Paramétrico*. Aparecerán entonces los resultados correspondientes en la pantalla *Gráficos del problema directo*, que se muestra en las figuras A.8 y A.9, o en la pantalla *Arbol del análisis paramétrico*, figuras A.10 y A.11, si se han elegido las opciones *Árbol carcasa* o *Árbol tubos*.

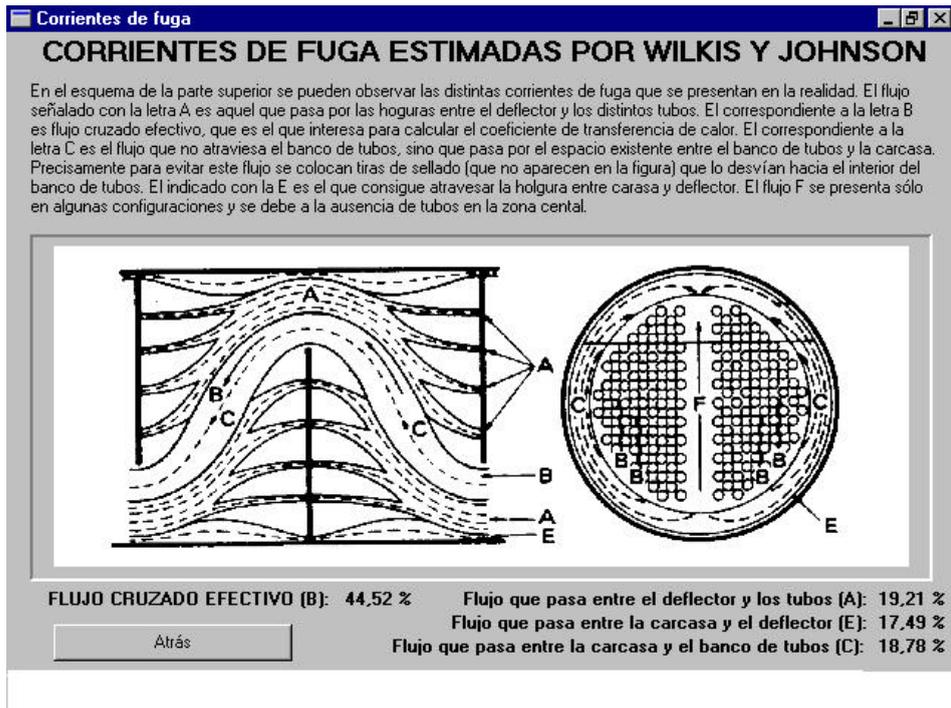


Figura A.7: Corrientes de fuga por Wilkis & Johnson

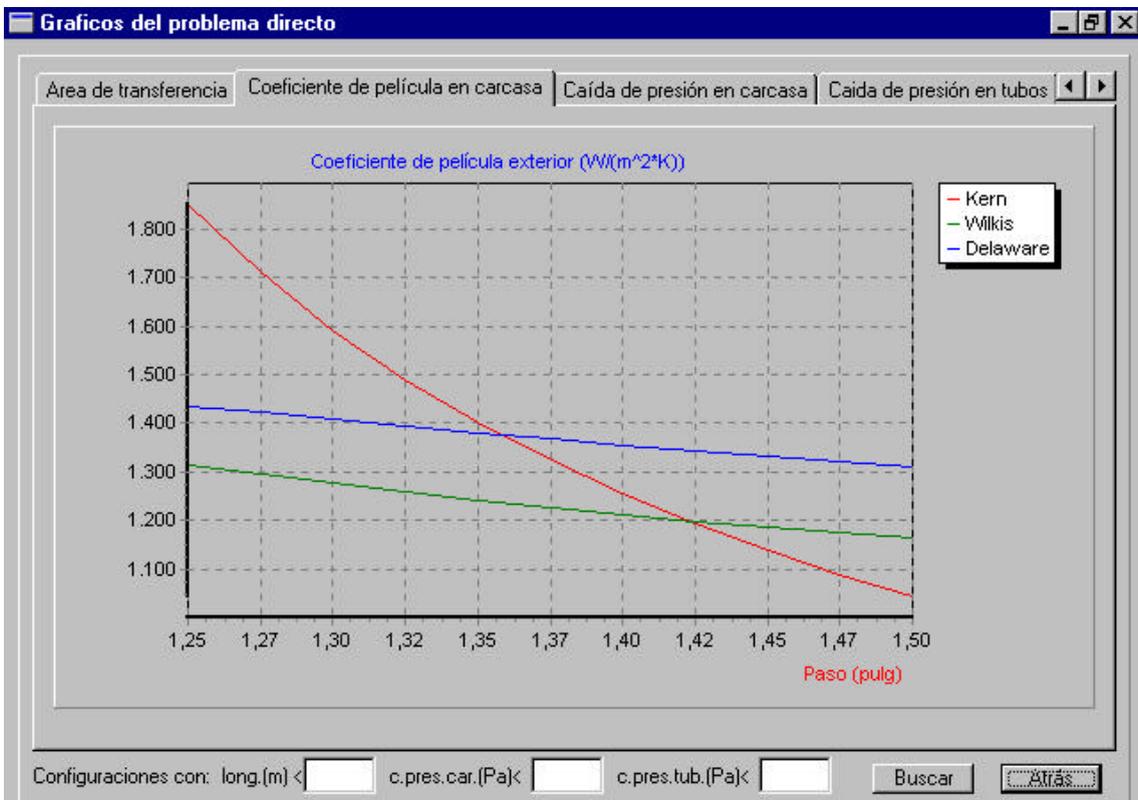


Figura A.8: Gráficos del problema directo

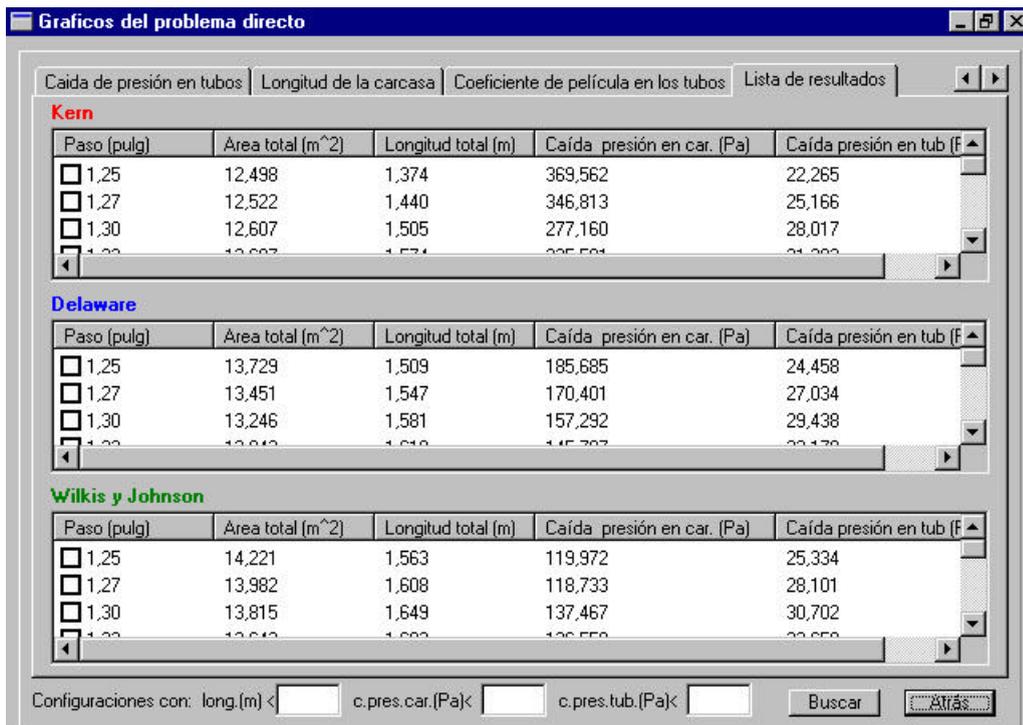


Figura A.9: Opción *Listas* de Gráficos del problema directo

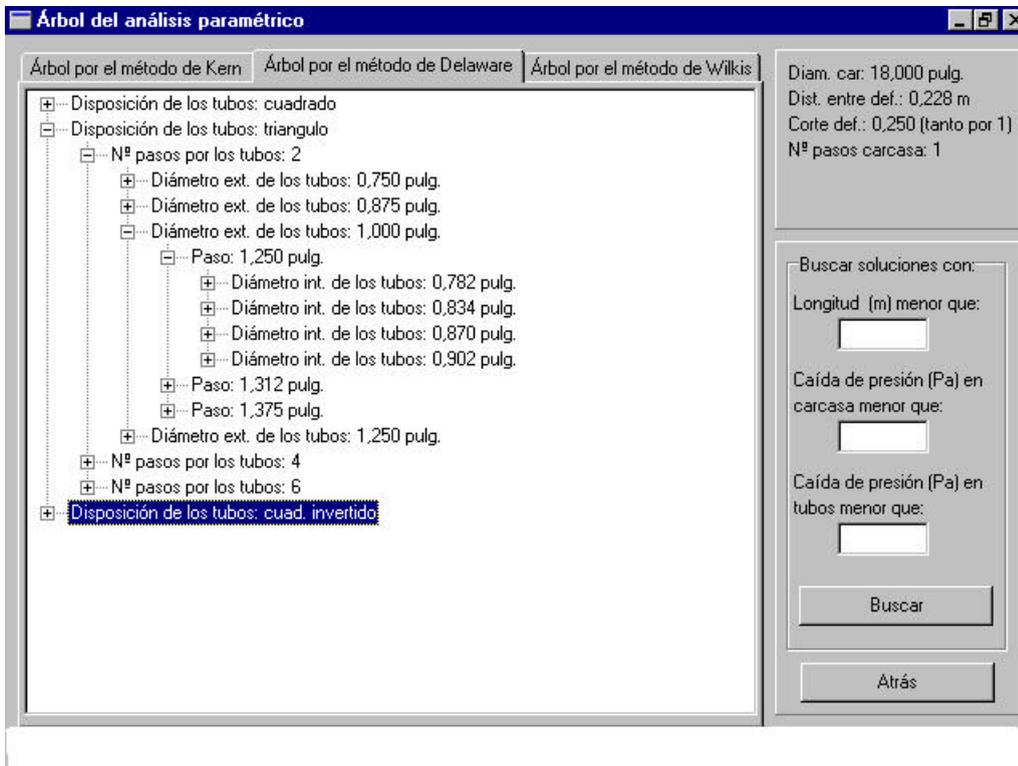


Figura A.10: Árbol del análisis paramétrico (tubos)

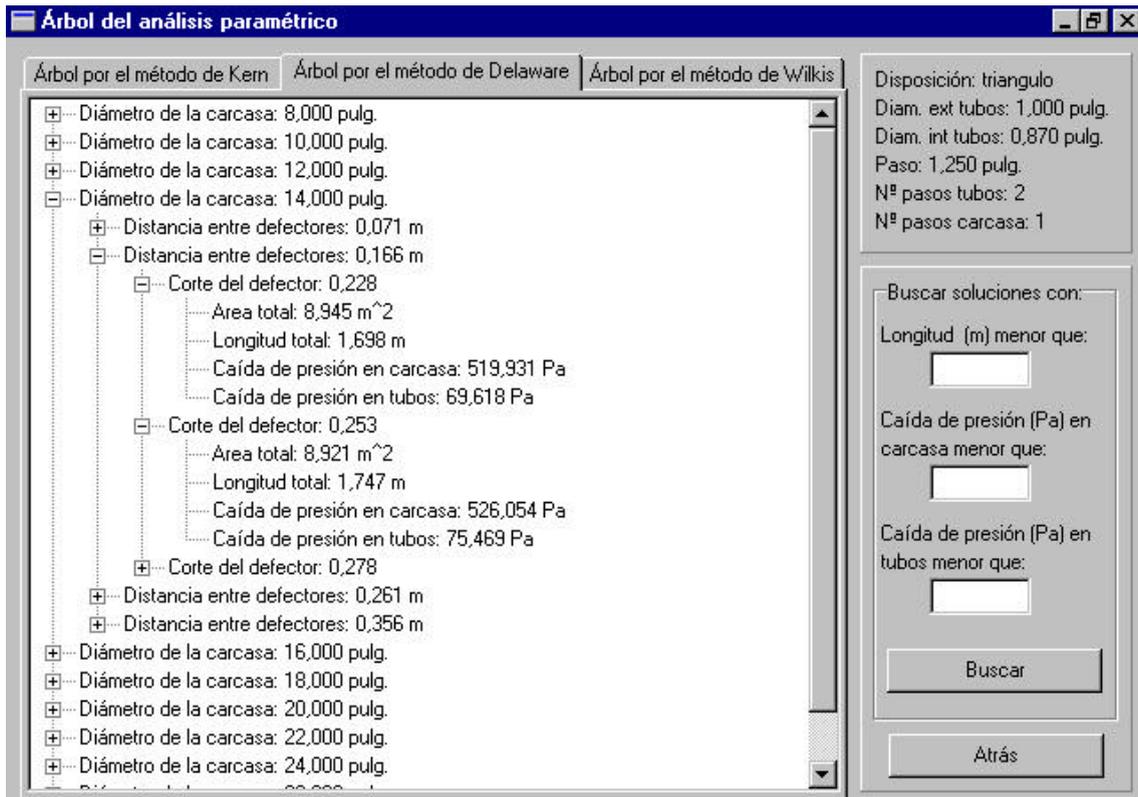


Figura A.11: Árbol análisis paramétrico (carcasa)

En *Gráficos del análisis paramétrico* se representan gráficamente en varias hojas las variaciones del área de transferencia, del coeficiente de película en la carcasa y de las caídas de presión en la carcasa y en los tubos respecto al parámetro elegido. En *Listas* aparecen estos resultados numéricamente en tres listas, una para cada método. En la parte inferior de esta pantalla aparece el botón *Buscar* que, después de haber introducido la longitud y caídas de presión máximas, busca en las listas las configuraciones que cumplen dichas restricciones.

En *Árboles del análisis paramétrico* se crea un árbol que puede ser explorado pinchando con el ratón en las distintas ramas de forma que podemos explorar todas las soluciones, bien con un diámetro de la carcasa, separación entre deflectores y corte del deflector fijos y variando disposición, número de pasos por tubos, diámetros de tubos y pasos (*Árbol tubos*) o con un banco de tubos de características fijas y variando el diámetro de la carcasa, la separación entre deflectores y el corte del deflector (*Árbol carcasa*).

Pulsando *Atrás* se vuelve a *Resultados del problema directo y análisis*.

A.2.2. PROBLEMA INVERSO.

A.2.2.1. Datos de entrada.

Una vez que se haya pulsado el botón *Problema Inverso* en la pantalla de presentación aparecerá la pantalla correspondiente al *Menú del problema inverso*, la cual se muestra en la figura A.12.

Figura A.12: Menú del problema inverso

En esta pantalla tendremos que introducir todos los datos de entrada. A diferencia de lo que sucede en el problema directo, en este caso sólo hay que tener en cuenta el orden de introducción de los valores con el objeto de que salgan las series normalizadas de diámetros adecuadas. Los datos de entrada que hay que introducir son los siguientes:

- (0) Tipo de fluido en carcasa y en los tubos: Al entrar en las casillas correspondientes al fluido de la carcasa y al de los tubos se desplegará una lista con los fluidos que se pueden elegir. Estos son *agua* (cuyas propiedades están se encuentran en la base de datos para las temperaturas entre 0°C y 360°C), el aceite mineral *SAE 50* (cuyas propiedades están se encuentran en la base de datos para las temperaturas entre 0°C y 160°C). En este caso no existe la opción *otros*.
- Flujos máxicos en carcasa y tubos.
- Temperaturas de entrada de los dos fluidos.
- (0) Tipo de cabezal: Al entrar en esta casilla se desplegará una lista en la que aparecen los tres tipos que podemos elegir: *placa tubular fija*, *placa tubular flotante* y *tubos en U*. Esta elección determina una serie normalizada de diámetros de la

carcasa e influye mucho en el valor de la holgura diametral entre la pared interior de la carcasa y el exterior del banco de tubos.

- (1) Diámetro de la carcasa: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros normalizada determinada por la elección del tipo de cabezal. El diámetro de la carcasa influye en los valores posibles que pueden tomar las holguras entre carcasa y deflectores y entre carcasa y banco de tubos (las cuales determina automáticamente de acuerdo a las normas TEMA, aunque se pueden cambiar).
- Longitud de la carcasa.
- (1) Resistencias de ensuciamiento: Al entrar en estas casillas aparece un mensaje que muestra la resistencia de ensuciamiento recomendada por las normas para el fluido escogido, aunque si se quiere se puede introducir otro valor.
- Número de pasos por los tubos.
- Separación entre deflectores.
- (2) Holgura diametral entre carcasa y deflectores: Queda determinada automáticamente al elegir el diámetro de la carcasa, aunque se puede cambiar.
- (2) Holgura diametral entre la pared interior de la carcasa y el exterior del banco de tubos: Queda determinada automáticamente al elegir el diámetro de la carcasa (también es función del tipo de cabezal), aunque se puede cambiar.
- (2) Diámetro exterior de los tubos: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros exteriores normalizada.
- (3) Diámetro interior de los tubos: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de diámetros interiores normalizada determinada por el diámetro exterior de los tubos.
- (3) Paso: Al entrar en esta casilla se despliega la lista de pasos normalizados determinada por el diámetro exterior de los tubos.
- Corte del deflector (% del diámetro de la carcasa).
- Disposición de los tubos: Al entrar en esta casilla se desplegará una lista en la que aparecen las tres disposiciones que podemos elegir: *cuadrado*, *triángulo* y *cuadrado invertido*.
- Espesor del deflector: Aparece por defecto un valor de 5 milímetros, que se puede cambiar. Se utiliza sólo en el método de Wilkis en la consideración de las corrientes de fuga.
- Holgura diametral entre tubos y deflector: Aparece por defecto un valor de 0,8 milímetros, que se puede cambiar.
- Número de tiras de sellado por fila de tubos.
- Rugosidad de los tubos.

A.2.2.2. Cálculo de los resultados y análisis paramétrico.

Una vez que se hayan introducido todos los datos hay que pulsar el botón *Calcular T y Q* de la pantalla *Menú del Problema Inverso*. Si falta algún dato o hay alguno incorrecto aparece un mensaje que pide que se cambie. Si todo está bien se efectuarán los cálculos, que se mostrarán en la pantalla que se muestra en la figura A.13, *Resultados del problema inverso y análisis*.

Esta pantalla esta dividida en los partes. En la de la izquierda se muestran los resultados (temperatura de salida de la carcasa, temperatura de salida de los tubos y calor intercambiado) calculados por los tres métodos (Kern, Delaware y Wilkis).

En la parte derecha de *Resultados del problema inverso y análisis* se encuentra el menú del análisis paramétrico. Se elegirá una variable de entre las que aparecen en la lista que se despliega al entrar en la casilla indicada respecto a la cual se realizará el análisis paramétrico. Las variables que se pueden elegir son las temperaturas de entrada de los fluido, los flujos máscicos y las resistencias de ensuciamiento. Una vez seleccionada la variable, habrá que introducir el rango de variación de ésta en las casillas que se indican, excepto en el caso de la resistencia de ensuciamiento, que se determina automáticamente. El análisis se efectúa, una vez elegida la variable, pulsando *Análisis Paramétrico*. Aparecerán entonces los resultados correspondientes en la pantalla *Gráficos del problema inverso*, que se muestra en la figura A.14. Se representan gráficamente en varias hojas la variación de la temperatura de salida de la carcasa, la temperatura de salida de los tubos y calor intercambiado respecto al parámetro elegido. Pulsando *Atrás* se vuelve a *Resultados del problema inverso y análisis*.

RESULTADOS DEL PROBLEMA INVERSO

Resultados con h en carcasa calculado por Kern

Temperatura de salida de la carcasa: 51,716 °C
 Temperatura de salida de los tubos: 68,307 °C
 Calor intercambiado: 482,994 kW
 Caída de presión en carcasa: 441,528 MPa
 Caída de presión en los tubos: 24,359 MPa

Resultados con h en carcasa calculado por Delaware

Temperatura de salida de la carcasa: 50,490 °C
 Temperatura de salida de los tubos: 69,838 °C
 Calor intercambiado: 468,813 kW
 Caída de presión en carcasa: 185,443 MPa
 Caída de presión en los tubos: 24,303 MPa

Resultados con h en carcasa calculado por Wilkiss

Temperatura de salida de la carcasa: 49,885 °C
 Temperatura de salida de los tubos: 70,592 °C
 Calor intercambiado: 461,816 kW
 Caída de presión en carcasa: 119,958 MPa
 Caída de presión en los tubos: 24,276 MPa

ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Puedes ver cómo varían las temperaturas de salida de la carcasa y de los tubos así como del calor intercambiado cuando varía uno de los parámetros de entrada.

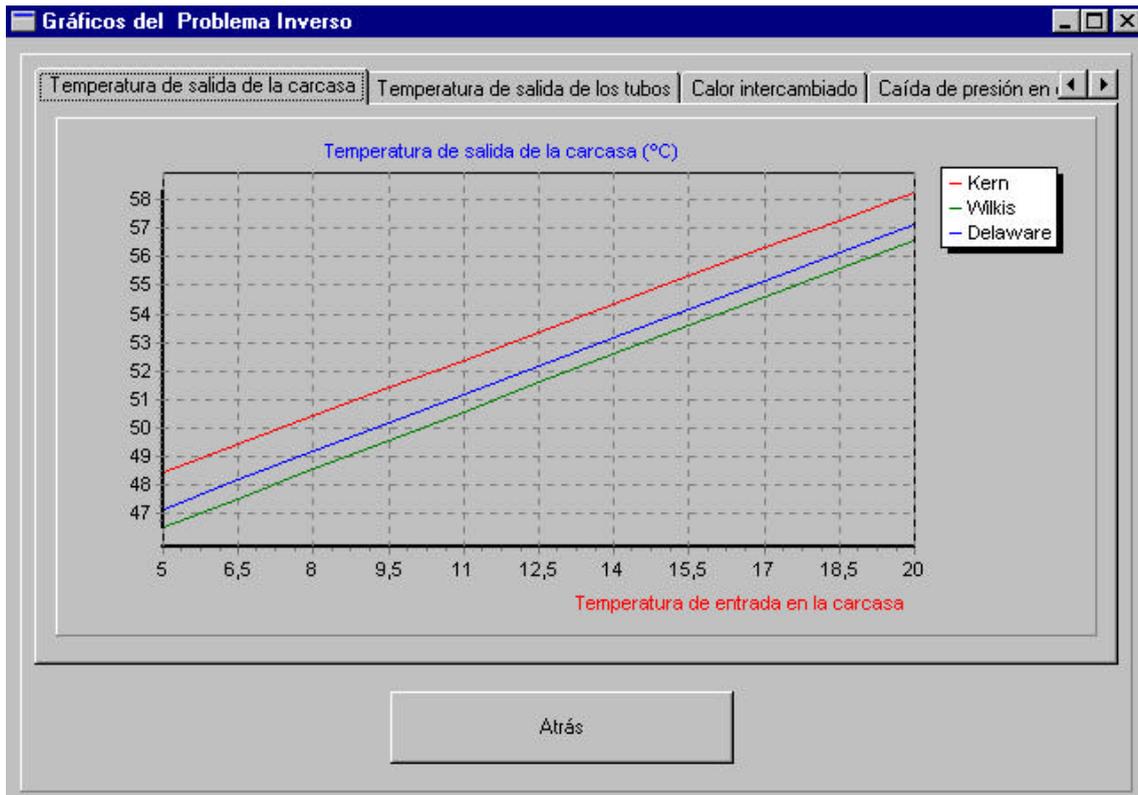
Parámetro que varía:

Rango de variación del parámetro:
 De m²k/W a m²K/W

Si lo que varían son las resistencias de ensuciamiento, el rango se establece automáticamente entre cero y el valor de diseño introducido antes.

Atrás Análisis Paramétrico Salir

Figura A.13: Resultados del problema inverso



A.14: Resultados del problema inverso

A.3. SALIDA DEL PROGRAMA.

Para salirse del programa basta con pulsar cualquiera de los botones *Salir* que aparecen a lo largo del programa.