

02.82.13

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
2	

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE TECNOLOGIA NUCLEAR



ACTAS de la IX Reunión Científica

3 al 7 de noviembre de 1980

TOMO II

SAN CARLOS DE BARILOCHE
Provincia de Río Negro

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 2	AÑO 1982

853 - 857

08.82.43

INTERCAMBIADORES DE CALOR
DISEÑO Y VERIFICACION POR COMPUTADORA

F.Tasso

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

1- INTRODUCCION

Con el objeto de promover la aplicación de técnicas computacionales a problemas de ingeniería de procesos se desarrolló una serie de trabajos de los cuales forma parte este programa de cálculo de intercambiadores. El mismo tiene por objeto el diseño y la verificación de intercambiadores de casco y tubos, así como de equipos de tubos concéntricos, para sistemas sin cambio de fase. Se ha ampliado posteriormente a fin de permitir su aplicación a equipos que operan con vapor de agua como medio calefactor.

Entre sus características más sobresalientes corresponde citar :

-Utilización de información detallada sobre la geometría del equipo, no obstante, el programa puede proveer estimaciones apropiadas toda vez que el usuario no sea capaz de aportar ciertos datos de influencia relativamente pequeña en el resultado final.

-Empleo de una biblioteca de valores normalizados para los tamaños y características de cascos y tubos.

- Posibilidad de utilizar una rutina de predicción de propiedades físicas.

-Entrada de datos flexible y eficiente.

En lo sucesivo se considerarán exclusivamente los aspectos del cálculo de equipo de casco y tubos, por tratarse estos últimos de los más representativos.

2- ELEMENTOS DE CALCULO

Las propiedades físicas de los fluidos requeridas para el cálculo (densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica) se evalúan a una temperatura cualquiera por medio de correlaciones semi-empíricas. Las correlaciones emplean parámetros suministrados por el usuario, o bien tomados de una biblioteca de datos. En este último caso, se han provisto los datos necesarios para manejar los tipos de fluidos más comunes en los procesos estudiados en el Departamento Ingeniería de Plantas Químicas.

Para el cálculo de coeficientes peliculares de transferencia se dispone de un juego de correlaciones que cubre un amplio rango de flujo y características geométricas.

Los coeficientes globales de transferencia en un punto dado del equipo se estiman a partir de la temperatura media de los fluidos en dicho punto; un cálculo preliminar da como resultado los coeficientes peliculares, deduciéndose de ellos las temperaturas de pared. Con estos datos es posible entonces una nueva evaluación, mas ajustada, de los coeficientes peliculares; el coeficiente global se obtiene a partir de los valores corregidos.

Tanto el cálculo de diseños como la verificación de un equipo dado involucran de algún modo la estimación del calor transferido a equipo dado, y con temperaturas terminales y caudales también fijos. Para ciertos parámetros, los valores considerados como "fijos" con respecto a este cálculo pueden ser simplemente valores de prueba.

El calor transferido se estima a través de un algoritmo basado en la generalización del método de temperaturas calóricas de Colburn.

La evaluación se lleva a cabo a partir de las temperaturas y los coeficientes globales en los extremos del equipo; el producto de ambos da como resultado el flujo local de calor en los puntos considerados. Es posible obtener un flujo térmico medio ponderado de modo análogo a como se calculan diferencias de temperaturas medias a partir de temperaturas terminales.

Las pérdidas de carga se calculan empleando un sistema de correlaciones homólogo al referido al tratar la evaluación de coeficientes peliculares.

3- VERIFICACION

Se contempla la resolución de dos problemas típicos: la simulación del estado estacionario del intercambiador, esto es, el cálculo de las temperaturas de salida cuando se conocen ambos caudales y por otra parte, el cálculo del caudal necesario de fluido secundario para obtener un determinado salto de temperaturas en el fluido de proceso. En ambos casos se debe resolver el mismo sistema de ecuaciones, si bien para diferentes incongnitas:

Calor transferido:

$$Q = Q(T_{ent_1}, T_{sal_1}, T_{ent_2}, T_{sal_2}, G_1, G_2)$$

Balances Térmicos:

$$(T_{sal_1} - T_{ent_1}) \cdot Cp_1 G_1 = Q$$

$$(t_{sal_2} - T_{ent_2}) \cdot Cp_2 \cdot G_2 = -Q$$

Cuando el par de temperaturas de salida es la incógnita, el sistema se resuelve por el método de las cuerdas. En el caso en que se desconoce uno de los caudales, éste y la temperatura de salida correspondiente son las incógnitas del problema. En una primera etapa se calcula, el salto térmico máximo obtenible.

Si el salto térmico encontrado de este modo fuera menor que el exigido, el problema carece de solución. De otro modo se resuelve el sistema por el método de las cuerdas, usando como valores de arranque caudales tales que la relación de capacidades caloríficas resultante sea próxima a la unidad.

4- DISEÑO

Junto a la condición principal de diseño, esto es, la obtención de una dada transferencia de calor, se imponen restricciones adicionales:

- Velocidad máxima en tubos
- Velocidad máxima en casco .
- Pérdida de carga máxima en casco.
- Longitud máxima de tubos.

Se fijó como objetivo la posibilidad de ajustar los valores de una serie de variables de diseño, entre límites que el usuario debería establecer.

Tales variables son:

Variables Primarias: Diámetro de tubos, Espaciado entre tubos, Número de pasos por tubo, Número de pasos por casco, Número de equipos en serie y Número de equipos en paralelo.

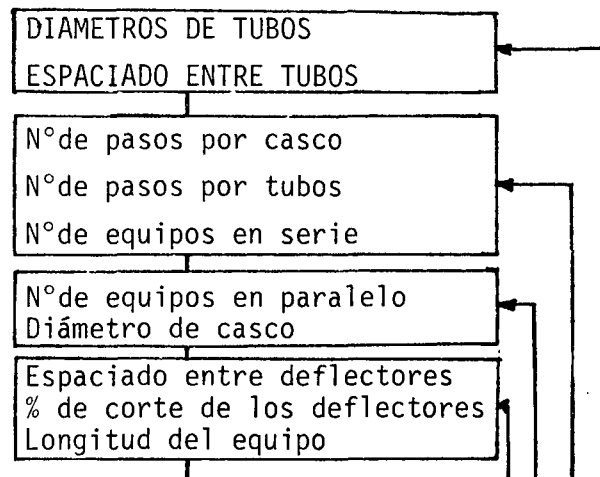
Variables Secundarias: Diámetro de casco, Espaciado entre deflectores, Porcentaje de corte de los deflectores y Longitud del equipo (tubos).

La discriminación entre variables primarias y secundarias obedece a que los efectos causados por una alteración mínima en el valor tentativo de una variable puede originar modificaciones sustanciales en las características del diseño (variables primarias), o bien, cambios graduales en tales características (variables secundarias). El efecto de una modificación en el valor de una variable primaria es suficientemente grande como para que se presenten discontinuidades que dificultan el empleo de métodos de programación lineal.

Por esta razón se ha optado por un método de variación discreta y controlada de los valores tentativos de las variables de diseño. Esta determinación hace que se deban considerar como de variación discreta variables que teóricamente pueden tomar cualquier valor, como lo es la longitud de tubos.

Sin embargo, tal arbitrio no es meramente un artificio necesario para el cálculo, ya que en la práctica variables como esa se hallan limitadas a una serie de valores normalizados (En el ejemplo anterior, a un número entero de pies).

El método de diseño consiste esencialmente en un algoritmo de exploración de diferentes combinaciones de variables de diseño. Dicha exploración puede describirse como unidireccional, y controlada. Unidireccional pues existe una secuencia maestra de exploración que indica en qué orden se ensayarán las combinaciones citadas. La secuencia puede simbolizarse por medio del siguiente diagrama:



El orden en que se toman las combinaciones es el mismo que se encontraría si esas combinaciones se generaran alterando los valores de las variables de diseño por medio de un sistema de ciclos anidados como el que se muestra.

La exploración es además controlada, pues no se ensayan todas las combinaciones, sino que se introducen mecanismos que detectan cuando una condición de diseño es transgredida. Esos mecanismos forman parte de un sistema lógico de cierta complejidad que, en base a las características del diseño que se acaba de ensayar, determina de qué manera se modificarán los valores tentativos de las variables para que la próxima combinación a probar sea potencialmente satisfactoria.

Cuando por fin se cumplen las condiciones de diseño en su totalidad, se está frente a un diseño satisfactorio, aunque no necesariamente óptimo.

El programa continúa entonces ejecutándose, a fin de encontrar otros diseños idóneos, pero previamente se modifican los valores de las variables primarias. De este modo, se obtendrá como resultado una serie de diseños posibles, que difieren sustancialmente, ya que sus variables primarias son distintas.

Queda a cargo del usuario la elección de uno de esos diseños básicos con el objeto de introducirle modificaciones, o bien de proceder a su optimización. El control sobre la extensión del cálculo se ejerce a través de la acotación inferior y superior de las variables primarias. Del mismo modo que una buena estimación inicial reduce considerablemente el tiempo de procesamiento para un algoritmo iterativo, una acotación inferior apropiada produce efectos análogos en el algoritmo que se está describiendo.

5- CONCLUSIONES

De acuerdo con la metodología descrita, se implementó un programa en lenguaje BASIC para su operación en un equipo Hewlett-Packard 9831. Si bien el requerimiento de memoria resultó bastante mayor que la disponible, fue posible dividir al programa en tramos compatibles con las facilidades que proporciona el equipo. El seccionamiento del programa no ofrece dificultades ya que un 90% de la memoria requerida se emplea para soportar el programa y no los datos que éste maneja. En estas condiciones, la verificación de intercambiadores toma un tiempo que se puede estimar en alrededor de diez minutos, correspondiendo la mayor parte a la introducción de los datos del problema. El diseño de equipos exige un tiempo considerablemente mayor, que depende fuertemente de las condiciones del problema y de la acotación del campo de variación de las variables de diseño. Un valor típico del tiempo insumido es de una hora y media a dos horas.

Se desea destacar que la complejidad del programa ha originado dificultades en lo concerniente a su implementación en BASIC, habiéndose empleado este lenguaje por motivos circunstanciales. Dichas dificultades han surgido principalmente a raíz del gran número de variables en juego y de la relativa rigidez del lenguaje para el manejo de subrutinas. Se espera que una implementación en lenguaje FORTRAN o, mejor aún, en PL/1 carezca de los inconvenientes citados.