



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

*** Z A R A G O Z A ***

**SINTESIS DE REDES DE
INTERCAMBIO DE CALOR**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A

Juan Salvador Gómez Morán

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

INDICE

| | | |
|-----------|---|----|
| | OBJETIVOS | iv |
| I.- | INTRODUCCION | 1 |
| II.- | GENERALIDADES | 4 |
| III.- | METODOS DE SINTESIS DE REDES DE INTERCAMBIO DE CALOR | 13 |
| III.1.- | Algoritmo de Area Mínima | 13 |
| III.1.1.- | Bases Teóricas | 15 |
| III.1.2.- | Algoritmo de Area Mínima para la Síntesis de Redes con costo cercano al mínimo..... | 17 |
| III.1.3.- | Reglas evolutivas para el mejoramiento de la red | 26 |
| III.1.4.- | Aplicación del método | 28 |
| III.2.- | Método de Intervalo de Temperatura .. | 50 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| III.2.1.- | Desarrollo del Método (TI) | 52 |
| III.3.- | Método Termodinámico/Combinatorio (TC) | 80 |
| III.3.1.- | Bases Teóricas | 80 |
| III.3.2.- | Aplicación | 83 |
| III.4.- | Método de Hohmann | 95 |
| III.4.1.- | Factibilidad | 95 |
| III.4.2.- | Redes con mínimo área de Intercambio de Calor | 97 |
| III.4.3.- | Mínimo acercamiento de Temperatura . | 103 |
| III.4.4.- | Número cercano al mínimo de Intercam biadores de Calor | 105 |
| III.4.5.- | Diseño de Redes de Intercambio de Calor..... | 109 |
| III.4.6.- | Ejemplo de Aplicación | 113 |
| IV.- | RESULTADOS | 121 |

V.- CONCLUSIONES 130

VI.- BIBLIOGRAFIA 136

APENDICES

A.- Descripción del Programa de Cómputo 142

B.- Listados de Resultados 149

B.1.- Problema 4SP2 149

B.2.- Problema 6SP1 165

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

1. Analizar los métodos de resolución de síntesis de redes de intercambio de calor.
2. Revisar las variables que más influencia tienen en las redes de intercambio de calor.
3. Analizar la factibilidad de llevar a cabo la síntesis de redes a través de un programa de cómputo.
4. Obtener la secuencia de pasos necesarios para la síntesis de redes de intercambio de calor con máxima recuperación de energía, mínimo número de unidades y mínimo costo.

I. INTRODUCCION.

El rápido incremento de los costos de energía ha motivado un mayor interés por el uso más eficiente y conservación de ésta.

Un campo concerniente a la conservación de la energía es la recuperación y reuso de calor en los procesos. Esto no solo reduce el consumo de combustible, sino que también minimiza la cantidad de calor relegado al sistema de enfriamiento.

En la industria de los procesos químicos algunas corrientes de proceso tienen que ser enfriadas y otras tienen que ser calentadas. Es generalmente eficiente, y de bajo costo, transferir la energía de las corrientes que tienen que ser enfriadas con las corrientes que tienen que ser calentadas. El determinar la combinación óptima de las corrientes para transferir calor es el objetivo de la síntesis de redes de intercambio de calor.

La síntesis de redes de intercambio de calor es un área de la síntesis de procesos, la cual ha recibido gran atención en la literatura de Ingeniería Química en los últimos catorce años.

La síntesis de procesos tiene como objetivo seleccionar la estructura del proceso (arreglo del equipo, secuencia de etapas, etc.), así como el tipo y diseño de las unidades. Evaluar todas las posibilidades que un proceso tiene involucraría tiempo y costo, por lo que la síntesis de procesos permite desarrollar una estrategia para determinar la mejor alternativa sin tener que evaluar todas las posibilidades.

El presente trabajo tiene el siguiente alcance:

En el capítulo II se describe de manera general la clasificación de la síntesis de procesos de acuerdo a la naturaleza del problema; Síntesis de rutas de reacción, Síntesis de secuencias de separación, Síntesis de sistemas de control y Síntesis de redes de intercambio de calor.

El capítulo III está formado de la descripción de cuatro métodos para la resolución de redes de intercambio de calor:

- Algoritmo de área mínima, el cual genera la estructura de una red que es óptima desde un punto de vista de recuperación de calor así como con mínimo costo de inversión.

- Método del intervalo de temperatura (TI), en el que se desarrolla la estructura de una red que es óptima con respecto a recuperación de calor.

- Método termodinámico/combinatorio (TC), el cual genera las soluciones posibles para un problema dado bajo las restricciones de máxima recuperación de energía, mínimo número de unidades de intercambio de calor y sin división de corrientes.

- Método de Hohmann, el cual tiene dos enfoques:
 - a) Desarrollar la estructura de una red con área total mínima en la cual se lleva a cabo una máxima recuperación de calor.

 - b) Obtener la estructura de una red con el mínimo número de unidades de intercambio de calor.

Los capítulos IV y V presentan los resultados y conclusiones de los métodos utilizados en este trabajo.

Finalmente, en los apéndices se incluye la descripción del programa de cómputo, así como los listados de resultados para dos casos de estudio (problemas 4SP2 y 6SP1), utilizando el método de Hohmann para la obtención de redes con área total mínima.

II.- GENERALIDADES

La ingeniería de Procesos proporciona las herramientas necesarias para concebir y diseñar, en forma integral, un proceso capaz de producir a un costo mínimo los productos deseados, conociendo únicamente los datos que se refieren a materias primas y servicios disponibles.

Dentro del área de Ingeniería de Procesos, los trabajos realizados en los últimos años en Síntesis de Procesos han conducido al desarrollo de una gama considerable de herramientas y técnicas de diseño que permiten la generación y evaluación de las alternativas más prometedoras para la configuración de un proceso.

La síntesis de Procesos se basa en diferentes métodos de diseño:

a) Diseño Heurístico.

Es un método de diseño que se basa en el análisis de las alternativas desarrolladas en experiencias anteriores para situaciones similares y que permite la deducción de una serie de reglas empíricas o heurísticas que, de ser seguidas, conducirán a la selección de la mejor alternativa en todos o en la mayoría de los casos.

Estas reglas ahorran gran cantidad de esfuerzo y dinero, sobre todo en las etapas iniciales del diseño de un proceso, donde resultaría incosteable optimizar la condición de diseño de cada una de las alternativas consideradas.

b) Diseño Evolutivo.

Tiene como meta la adquisición sistemática de la experiencia (por ejemplo, adquirir mayor conocimiento del sistema - por simulación de un modelo) que permita proponer modificaciones al diseño base de un proceso, tendientes a mejorar la economía - o confiabilidad del mismo, sin pasar por la etapa de implementación a escala comercial de cada una de las etapas intermedias.

c) Diseño Algorítmico.

Los métodos agrupados bajo esta clasificación están basados en algoritmos matemáticos que permiten generar en forma - exhaustiva todas las posibles alternativas y evaluarlas, explícita o implícitamente, para determinar cual es la óptima de acuerdo con la función previamente establecida. Estos métodos tienen la ventaja de garantizar que la configuración de proceso seleccionada será la óptima, pero están limitados a la resolución de un número reducido de problemas cuyas posibles alternativas de configuración están perfectamente definidas y, por lo tanto, no

se prestan fácilmente para el estudio de problemas abiertos, (problemas que no están totalmente definidos). En algunos casos es posible restringir mediante reglas heurísticas, las posibles alternativas de un problema abierto permitiendo la aplicación de alguno de estos métodos.

La clasificación que se ha realizado de síntesis de procesos, de acuerdo a la naturaleza del problema es:

- Síntesis de rutas de reacción, cuyo objetivo es encontrar una secuencia de reacciones que pueda ser utilizada para obtener un producto determinado a partir de diferentes materias primas, utilizando más eficientemente estas, así como los productos intermedios y subproductos.
- Síntesis de secuencias de separación, en la cual a partir de una mezcla multicomponente el objetivo es encontrar una secuencia óptima de separación, el tipo de cada separador, así como las condiciones de operación de cada separador.
- Síntesis de sistemas de control, cuyo objetivo es seleccionar los controladores necesarios para satisfacer las condiciones de control especificadas.

para una configuración de planta. Se seleccionan las variables a medir, cuales manipular y que tipo de controladores usar.

- Síntesis de redes de intercambio de calor, al cual se enfoca este trabajo y cuyo objetivo es el siguiente: Dado un conjunto de corrientes de proceso calientes a ser enfriadas y otro conjunto de corrientes frías a ser calentadas, disponiendo de un conjunto de corrientes de servicio (vapor y agua de enfriamiento), desarrollar la estructura de la red de menor costo para lograr el calentamiento y enfriamiento requerido. El costo incluye los servicios auxiliares así como la inversión de las unidades de intercambio de calor.

Los trabajos que se han publicado se enfocan a la obtención de la red de intercambio de calor con máxima recuperación de energía y mínima área de intercambio de calor, ó máxima recuperación de energía y mínimo número de unidades de intercambio de calor.

En cada corriente de proceso se especifica su temperatura inicial, temperatura final, velocidad de flujo y capacidad calorífica. El efecto de la temperatura sobre la capacidad caló

rífica se ignora, pero se pueden modificar los algoritmos para tomar en cuenta dicho efecto. Además se especifican los coeficientes de transferencia de calor para las posibles combinaciones entre las corrientes.

Al producto de la velocidad de flujo por capacidad calorífica se le denomina velocidad de flujo de capacidad calorífica. El término intercambiador involucra intercambio de calor entre dos corrientes de proceso, así como calentador y enfriador - intercambio de calor entre una corriente de proceso y servicios de calentamiento y enfriamiento, respectivamente.

Existen diferentes representaciones que son utilizadas en el desarrollo de las redes de intercambio de calor. Con estas representaciones se visualiza más fácilmente el planteamiento de los algoritmos que resuelven la síntesis de redes de intercambio de calor.

Una primera representación es el diagrama "temperatura/entalpia" (Whistler, 1948) - La figura (1) ilustra esta representación.

La temperatura (ordenada) para cada corriente se grafica contra su entalpia (abscisa). La escala de la entalpia es relativa ya que las corrientes pueden ser desplazadas a la dere-

cha ó a la izquierda de este diagrama. Una combinación entre dos corrientes se representa colocando una corriente fría (aquella que debe ser calentada en la combinación) debajo de la corriente caliente (aquella que debe ser enfriada). La distancia vertical entre las corrientes es la diferencia de temperatura experimentada a lo largo de la combinación. La figura (1) representa el caso de dos corrientes calientes (C_1 y C_2) que se combinan con una corriente fría (F_1). La corriente fría necesita combinarse con servicios de calentamiento para lograr su temperatura objetivo. La figura también representa la estructura de la red resultante.

Una segunda representación introducida por Pho y Lapidus (1973) es la "combinación matricial" que se representa en la figura (2).

Las redes son limitadas a aquellas que puedan ser representadas como una secuencia ordenada de combinaciones entre las corrientes, con solamente una combinación entre cualquier par de corrientes.

Una tercera representación es el "diagrama de contenido calorífico" de Nishida, Kobayashi, Ichikawa (1971), Figura (3).

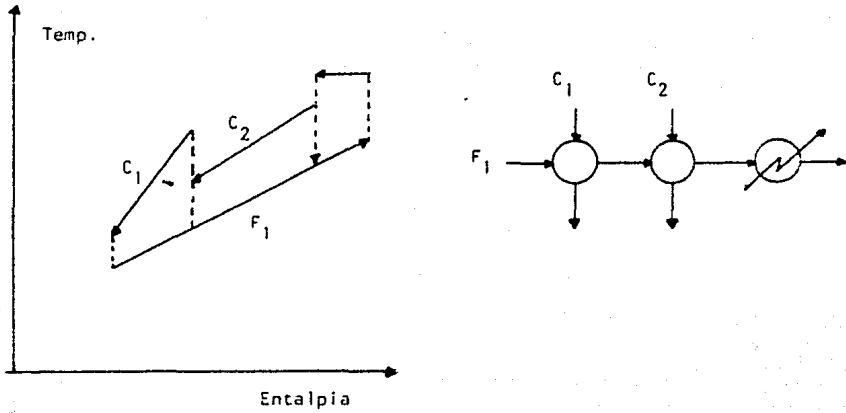


Figura (1) Diagrama temperatura/entalpia.

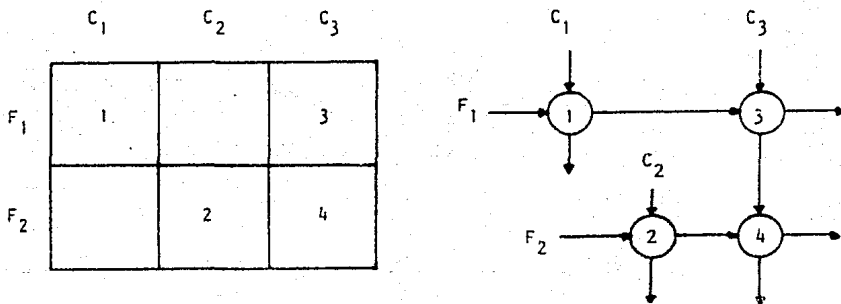


Figura (2) Representación matricial.

El eje vertical del diagrama representa las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de proceso, y/o las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de servicio. En la parte superior del eje horizontal se localizan las corrientes calientes de proceso y los servicios de calentamiento, y en la parte inferior las corrientes frías de proceso y los servicios de enfriamiento. El eje horizontal representa la magnitud relativa de la velocidad de flujo de capacidad calorífica (mC_p) de las corrientes.

El área de cada bloque representa la cantidad de energía a ser removida o adicionada a la corriente para lograr la temperatura objetivo deseada. El área sombreada en los bloques corresponde al intercambio de calor con corrientes de servicio.

La figura (3) representa la combinación de dos corrientes de proceso frías (F_1 y F_2) con una corriente de proceso caliente (C_1), requiriendo servicios de calentamiento.

Otra representación, de Linnhoff y Flower (1978), representa directamente la estructura de la red, figura (4).

Una combinación entre corrientes se indica colocando un par de círculos en cada una de las corrientes y conectándolos con una línea.

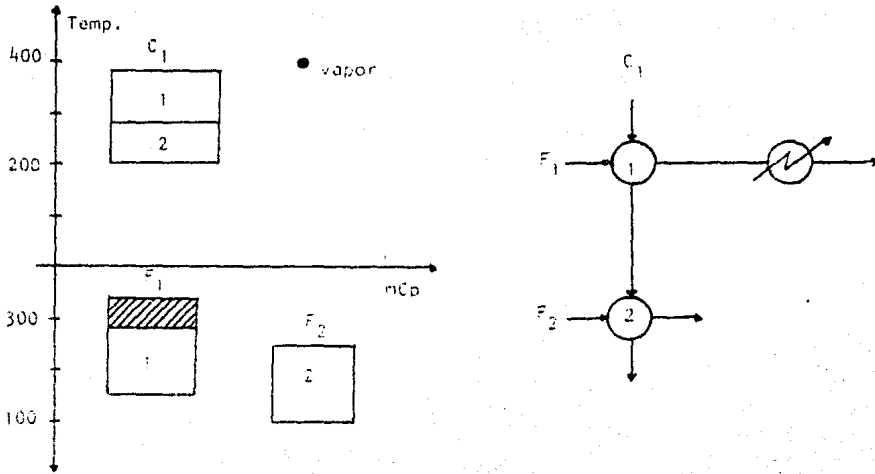


Figura (3) Diagrama de Contenido Calorífico.

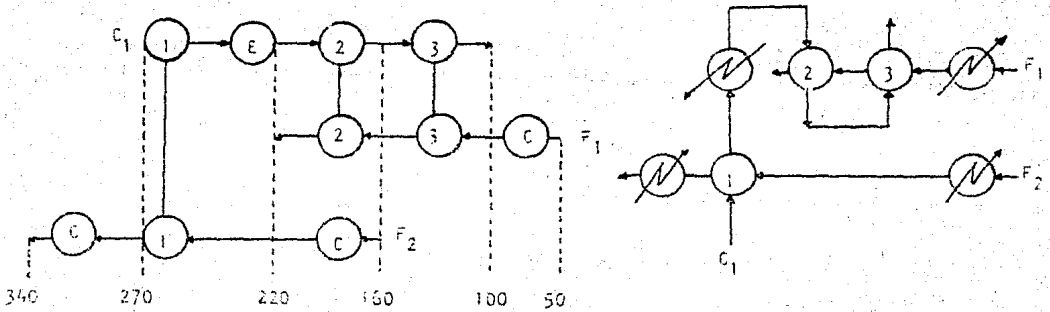


Figura (4) Diagrama Intervalo de Temperatura.

III.- METODOS DE SINTESIS DE REDES DE INTERCAMBIO DE CALOR

III.1.- Algoritmo de área mínima.

El método del área mínima es un método algorítmico-evolutivo para la síntesis de redes de intercambio de calor de costo mínimo. Propuesto por N. Nishida, Y.A. Liu, y Leon Lapidus (1977).

El método considera que se tienen N_c corrientes calientes S_{ci} ($i = 1, 2, \dots, N_c$) a ser enfriadas y N_f corrientes frías representadas por S_{fj} ($j = 1, 2, \dots, N_f$) a ser calentadas. Asociadas a cada corriente su temperatura de suministro T_i , temperatura objetivo T_i^* , y la velocidad de flujo de capacidad calorífica W_i . Además se dispone de servicios de calentamiento y enfriamiento, con vapor y agua respectivamente, representadas por S_{uk} ($k = 1, 2, \dots, P$).

El objetivo del método es desarrollar una red de costo mínimo para lograr la temperatura objetivo deseada de cada corriente de proceso. El costo de inversión para el i -ésimo intercambiador, calentador y enfriador se denota por C_{Ii} , C_{Ci} , y C_{Ei} y estén relacionados con sus áreas correspondientes de transferencia de calor A_{Ii} , A_{Ci} y A_{Ei} , mediante la expresión empírica:

$$C_{Ii} = a A_{Ii}^b, C_{Ci} = a A_{Ci}^b, C_{Ei} = a A_{Ei}^b$$

Donde a y b son constantes, cuyos valores son 350 y 0.6 respectivamente.

El costo de inversión y servicios anual a ser minimizado, para la red, se expresa por:

$$J = \xi \left[\sum a A_{Ii}^b + \sum a A_{Ci}^b + \sum a A_{Ei}^b \right] + K \quad (3-1)$$

J = costo anual de inversión y servicios (\$/año)

ξ = tasa de amortización (0.1/año)

A = área de transferencia de calor (ft^2)

K = costo anual de servicios de calentamiento
y/o enfriamiento (\$/año)

Se deben tomar en cuenta las siguientes restricciones:

- Utilización de intercambiadores de tubos y coraza a contracorriente.
- No hay cambio de fase en las corrientes de proceso.
- Los coeficientes de transferencia de calor efectivos para todos los intercambiadores, son constantes.

III.1.1.- Bases Teóricas.

La red de costo mínimo depende del costo de inversión de intercambiadores, calentadores y enfriadores, así como del costo de los servicios. Los costos de servicios representan una porción significativa del costo total de la red, por lo que es deseable intercambiar tanto calor como sea posible técnicamente entre las corrientes de proceso para reducir este costo.

La cantidad de los servicios, es fijada por la carga de calor residual, y los costos correspondientes de servicios es prácticamente mínimo cuando hay una máxima cantidad de calor intercambiado entre las corrientes de proceso.

Se utilizan un conjunto de reglas para modificar la red obtenida inicialmente mediante el algoritmo de área mínima para reducir el costo total de inversión y servicios.

La idea principal se ilustra a partir de la relación que expresa el costo de inversión como una función del área de transferencia de calor. Como el factor de costo, b , en la expresión de costo de inversión de los intercambiadores $C_{ii} = a A_{ii}^b$ es tomado normalmente como 0.6, se tienen las siguientes desigualdades:

$$a (A_{11}^b + A_{12}^b + \dots + A_{1m}^b) \geq a (A_{11} + A_{12} + \dots + A_{1m})^b$$

$$0 \leq b \leq 1 \quad (3-2)$$

$$a (A_{11}^b + A_{12}^b + \dots + A_{1m}^b) \geq a (A_{11} + A_{12})^b +$$

$$a (A_{13} + \dots + A_{1i})^b + a (A_{1i+1} + \dots + A_{1m})^b$$

$$0 \leq b \leq 1 \quad (3-3)$$

-Esto implica que sin modificar el área de transferencia de calor de los intercambiadores, el costo de inversión de éstos se puede reducir, si se combinan varios intercambiadores como uno solo, ó son utilizados un número pequeño de intercambiadores.

La ecuación (3-2) corresponde al caso donde m intercambiadores son reducidos a un intercambiador simple; la ecuación (3-3) representa el caso donde m intercambiadores son reducidos a tres intercambiadores. La misma idea es aplicable también a la reducción del costo de inversión de calentadores ó enfriadores.

III.1.2.- Algoritmo de Area mínima para la síntesis de redes con costo cercano al mínimo.

El algoritmo utiliza una representación gráfica denominada "diagrama de contenido calorífico" como se muestra en la figura (5), en éste se representa un sistema formado de una corriente caliente, S_{c1} , dos corrientes frías, S_{f1} y S_{f2} , y una corriente de servicios (vapor).

El eje vertical del diagrama, representa las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de proceso, y/o las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de servicio. Las corrientes calientes de proceso y los servicios de calentamiento se localizan en la parte superior del eje horizontal, y en la parte inferior las corrientes frías de proceso y servicios de enfriamiento. El eje horizontal representa la magnitud relativa de la velocidad de flujo de capacidad calorífica ($m \cdot Cp$) de las corrientes. El área de cada bloque representa la cantidad de calor a ser removido ó adicionado a la corriente para lograr la temperatura objetivo deseada.

Las corrientes de proceso y servicios se representan en el diagrama de tal forma que los servicios de calentamiento y corrientes calientes de proceso sean localizados en orden de-

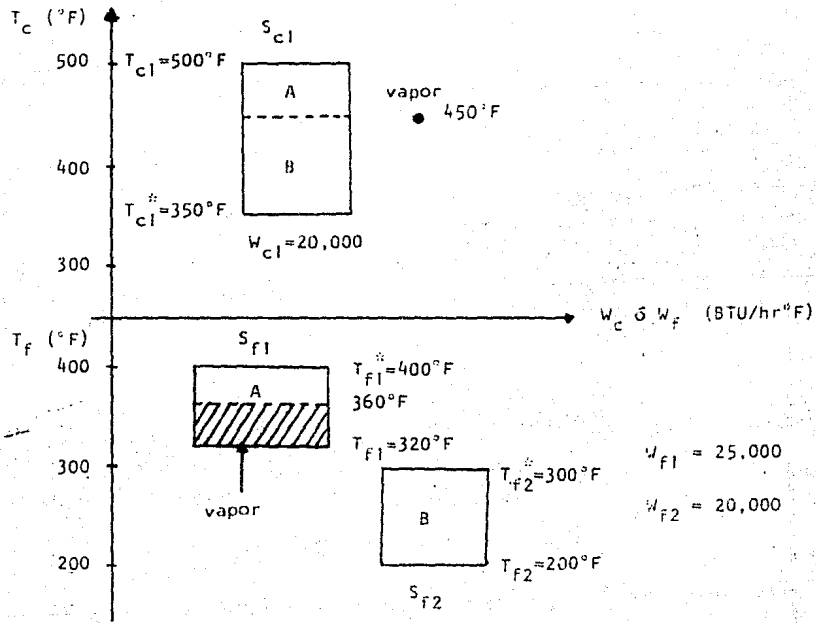


Figura (5). Representación del problema mediante el diagrama de contenido calorífico.

creciente de sus temperaturas de entrada en la parte superior del eje horizontal; las corrientes de servicio de enfriamiento y las corrientes frías de proceso se localizan en orden decreciente de sus temperaturas de salida, en la parte inferior del eje horizontal.

En muchos casos, la temperatura de salida y la velocidad de flujo de capacidad calorífica de las corrientes de servicio son desconocidas antes de combinarse con las corrientes de proceso, por lo que la representación de las corrientes de servicio se denotan inicialmente por un punto sobre el diagrama, especificando su temperatura de entrada. En la figura (5) una corriente de vapor a 450°F se representa como un punto en la parte superior del eje horizontal.

También sobre el diagrama, el intercambio de calor entre las corrientes de proceso calientes y frías se indica asignando el mismo número o letra a los correspondientes bloques calientes y fríos (letras A y B en la figura (5)).

La cantidad de calor de las corrientes de proceso, caliente y fría, a ser intercambiado debe ser igual ó sea que los bloques caliente y frío designados por los mismos números o letras sobre el diagrama deben tener idéntica área.


La división horizontal de un bloque representa el intercambio de calor múltiple, y la división vertical representa la división de corrientes.

- Teorema: Si una red de intercambiadores, calentadores y/o enfriadores es la solución al problema de síntesis de redes de área mínima, o es una red de costo cercano al mínimo, entonces el diagrama de contenido calorífico de la red tienen las siguientes características.

- 1.- Las corrientes calientes, frías y servicios en sus bloques respectivos son combinados consecutivamente en orden decreciente de sus temperaturas.
- 2.- Clasificando los bloques en orden decreciente de sus temperaturas de suministro, la temperatura de salida del i -ésimo bloque caliente nunca es más baja que la temperatura de entrada del $(i+1)$ -ésimo -bloque caliente. Similarmente, la temperatura de entrada del i -ésimo bloque frío nunca es más baja que la temperatura de salida del $(i+1)$ -ésimo bloque frío.


De acuerdo a la figura (5), el área de intercambio de calor requerida, combinando los bloques de las corrientes de pro

céso y servicio en orden decreciente de sus temperaturas es:

| Bloque | Q(BTU/hr) | MLTD (°F) | Area (ft ²) |
|---|-----------|-----------|-------------------------|
| A | 1,000,000 | 94.91 | 70.24 |
| B | 2,000,000 | 150.0 | 88.89 |
|  | 1,000,000 | 108.77 | 45.97 |

Siendo la inversión anual de equipo de 1313.6 \$/año que corresponde a un área total de 205.1 ft².

Si la corriente de servicio de calentamiento (vapor) - se introdujera hasta la última etapa, o sea, combinando la parte superior del bloque de la corriente fría S_{f1} con vapor y la parte inferior con el bloque A de la corriente caliente S_{c1} , - entonces estas combinaciones en el diagrama de contenido calorífico de la figura (5) serían equivalentes a reetiquetar la parte sombreada del bloque frío S_{f1} por A y la parte superior del bloque, la cual es denotada por A, por el bloque sombreado. - Los requerimientos de área de esta alternativa son:

| Bloque | Q(BTU/hr) | MLTD (°F) | Area (ft ²) |
|---|-----------|-----------|-------------------------|
| A | 1,000,000 | 134.94 | 49.4 |
| B | 2,000,000 | 150.0 | 88.89 |
|  | 1,000,000 | 68.05 | 73.47 |

con una inversión anual de equipo de 1341.27\$/año y un área total de transferencia de calor de 211.77 ft², que son superiores a la alternativa anterior en la cual las corrientes de proceso y servicio se combinan en orden decreciente de sus temperaturas (de acuerdo al Teorema planteado).

Corolario 1:

Quando un calentador con vapor se introduce en una red, y la temperatura del vapor es más grande que la temperatura de entrada de las corrientes calientes, el calentador con vapor se coloca al final de la red. Igualmente si la temperatura de agua de servicios es más baja que la temperatura de entrada de las corrientes frías, el enfriador con agua se coloca al final de la red.

Corolario 2:

Si el problema de síntesis es representado gráficamente en el diagrama de contenido calorífico, la máxima cantidad de calor intercambiado entre las corrientes de proceso, Q_h , es determinada de la siguiente forma:

a) Si $T_{fk} + \Delta T_m > T_{ck}^*$ suprimir los bloques calien-

tes por debajo de la temperatura de $T_{fk} + \Delta T_m$, los cuales no pueden intercambiar con los bloques fríos debido al mínimo acercamiento de temperatura permitido (ΔT_m). T_{fk} es la temperatura de entrada más baja de los bloques fríos, T_{ck}^* es la temperatura de salida más baja de los bloques calientes. Si $T_{ck} - \Delta T_m < T_{fk}^*$, suprimir los bloques fríos por arriba de la temperatura $T_{ck} - \Delta T_m$, los cuales no pueden intercambiar con los bloques calientes. T_{ck} es la temperatura de entrada más alta de los bloques calientes y T_{ck}^* la temperatura de salida más alta de los bloques fríos.

b) Posteriormente de que los bloques calientes y/o fríos son suprimidos, el contenido de calor total del resto de los bloques calientes y fríos, Q_c^i y Q_f^i , son evaluados no importando si la velocidad de flujo de capacidad calorífica, W_c y W_f , de las corrientes de proceso calientes y frías varían o no con la temperatura de la corriente.

Si $Q_c^i > Q_f^i$, la cantidad Q_f^i del contenido calorífico de las corrientes frías es intercambiado con las corrientes calientes; y el contenido de calor residual, $\Delta Q = Q_c^i - Q_f^i$, el cual no puede ser intercambiado con las corrientes de proceso calientes y frías, puede ser combinado con servicios de enfriamiento. Si $Q_f^i > Q_c^i$, la cantidad Q_c^i del contenido calorífico -

de las corrientes calientes es intercambiado con las corrientes frías, y $\Delta Q = Q'_f - Q'_c$ es combinado con servicios de calentamiento.

Corolario 3:

La red de área mínima o de costo cercano al mínimo tiene las siguientes características:

- a) La corriente caliente con la temperatura de suministro mayor se combina con la corriente fría que tiene la temperatura objetivo más alta.
- b) Las corrientes calientes con temperaturas de suministro intermedias deben ser combinadas con las corrientes frías con temperaturas de salida intermedias.
- c) La corriente caliente con la temperatura de suministro menor se combina con la corriente fría que tiene la temperatura objetivo más baja.

El corolario 1 y las reglas a y c del corolario 3 son importantes no solo como guía teórica del intercambio de calor-

entre las corrientes de proceso, sino también en la determinación de la posición de los servicios de calentamiento y enfriamiento.

El procedimiento para la síntesis de redes de área mínima o costo cercano al mínimo es el siguiente:

Etapa 1: Construcción del diagrama de contenido calorífico del problema.

Etapa 2: Basado en el contenido de calor total de las corrientes de proceso, y el mínimo acercaamiento de temperatura permitido para los intercambiadores, así como con las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes, identificar en el diagrama de contenido calorífico la máxima cantidad de calor a intercambiar entre las corrientes de proceso. El contenido de calor residual que no pueda ser intercambiado entre las corrientes de proceso es intercambiado con los servicios.

Etapa 3: Dividir cada bloque horizontalmente en los puntos donde se encuentran localizados los

ejes horizontales de los otros bloques.

Etapa 4: Aplicación de las reglas de combinación del corolario 3.

Etapa 5: Si un bloque caliente (o frío) se encuentra involucrado con diferentes bloques, el bloque frío (o caliente) que intercambia con este bloque caliente (o frío) se divide verticalmente para combinarse con los distintos bloques. Esta etapa permite la división de corrientes.

Etapa 6: Dibujar el esquema de flujo de la red resultante con área mínima o de costo cercano al mínimo.

III.1.3.- Reglas evolutivas para el mejoramiento de la red,

Regla 1: Comparar las áreas (contenido de calor) de varios bloques calientes y fríos en el diagrama. Suprimir el intercambiador, calentador, o enfriador con el área más pequeña o la menor cantidad de intercambio de calor,

incrementando la carga de calor de las demás corrientes de proceso y/o servicio. Aplicar repetidamente este procedimiento hasta que el costo total de la red resultante no pueda ya ser reducido.

Regla 2: Si una red contiene una subred local en la cual una corriente caliente (o fría) se combina con la misma corriente fría (o caliente) que fué combinada anteriormente, suprimir cualquiera de éstas combinaciones repetidas.

Regla 3: Reemplazar la corriente dividida con la corriente no dividida. Combinar las corrientes calientes y fría en la red no-dividida en orden decreciente de sus temperaturas promedio de suministro y objetivo.

La aplicación de la regla 1 siempre produce redes de bajo costo total. Se ha observado que es más conveniente aplicar la regla 1 en conjunto con las etapas 3 a 5 en el algoritmo de área mínima.

Aplicaciones sucesivas de las reglas 2 a 3, dependen de si el costo total calculado de la red modificada es más bajo o no que el de la red de área mínima.

III.1.4.- Aplicación del Método.

El problema (6SP1) que se muestra en las tablas (1) y (2) es utilizado para la aplicación del algoritmo.

El diagrama de contenido calorífico se representa en la figura (6).

De acuerdo al corolario 2, la máxima cantidad de intercambio de calor entre las corrientes de proceso es determinado como sigue:

a) Si $T_{fk} + \Delta T_m > T_{ck}^*$ los bloques calientes por debajo de la temperatura $T_{fk} + \Delta T_m$ no pueden ser intercambiados por los bloques fríos.

Para el problema:

$$T_{fk} = 100^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_m = 20^{\circ}\text{F}$$

$$T_{ck}^* = 150^{\circ}\text{F}$$

| Corrientes | Velocidad de Flujo de Capacidad Calorífica. (BTU/hr, °F) | Temperatura Suministro (°F) | Temperatura Objetivo (°F) |
|-----------------|---|-----------------------------|---------------------------|
| S _{f1} | 16,000.00 | 100 | 430 |
| S _{f2} | 32,760.00 | 180 | 350 |
| S _{f3} | 26,350.00 | 200 | 400 |
| S _{c1} | 28,000.00 | 440 | 150 |
| S _{c2} | 23,800.00 | 520 | 300 |
| S _{c3} | 33,600.00 | 390 | 150 |

Tabla (1) Datos de las corrientes, problema (6SP1), algoritmo área mínima.

| Vapor | | Agua de Enfriamiento | |
|------------------------------|-------|--|-------------------------------|
| Presión (psia) | 450 | Temperatura (°F) | 100 |
| Calor latente (BTU/lb) | 767.5 | Cp. (BTU/lb°F) | 1.0 |
| Temperatura (°F) | 456 | Temperatura máxima de salida | 180 |
| Mínimo acercamiento de Temp. | | Coeficientes globales de Transferencia de calor. | |
| Intercambiadores | 20°F | Intercambiadores | 150 BTU/hr.ft ² °F |
| Calentadores | 25°F | Calentadores | 200 |
| Enfriadores | 20°F | Enfriadores | 150 |

Tabla (2) Datos Adicionales, problema (6SP1)

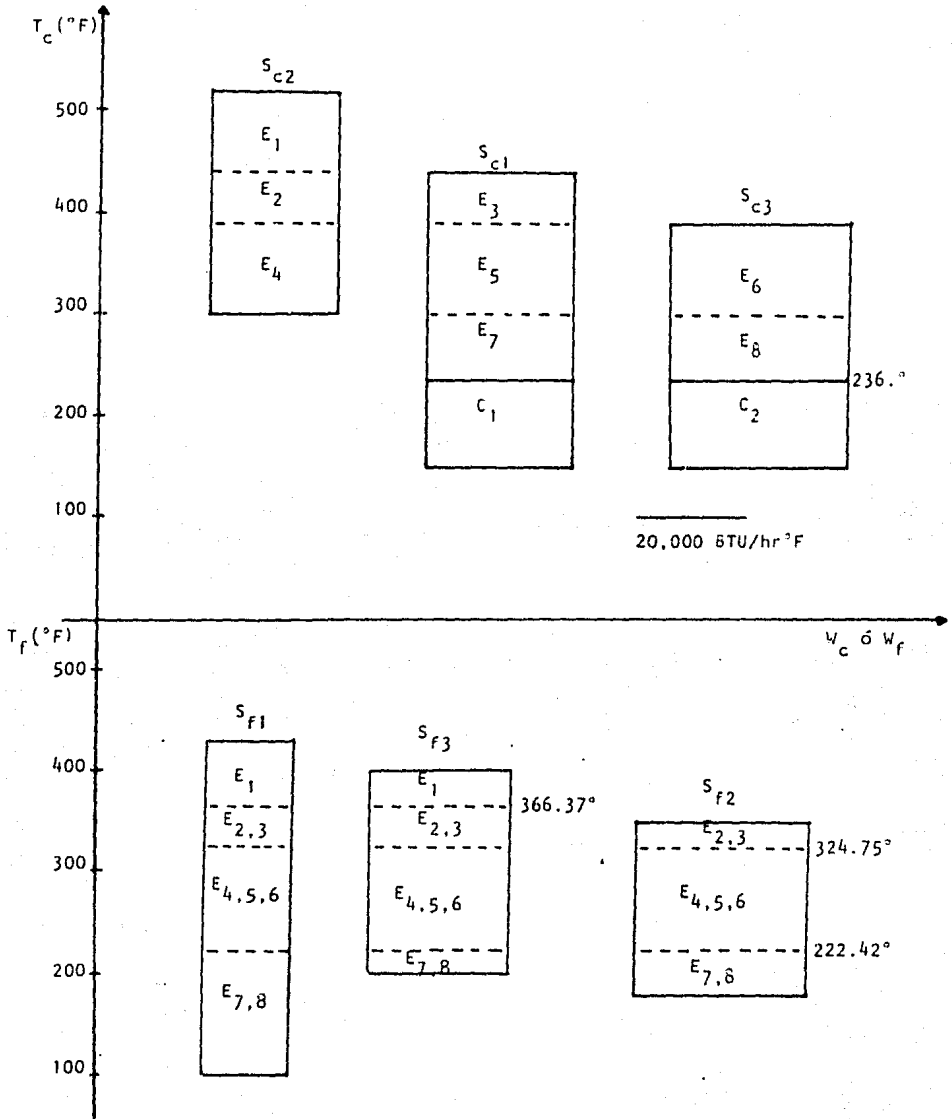


Figura (6). Diagrama de contenido calorífico problema (6SP1)

$$100 + 20 > 150$$

120 > 150 ∴ no hay restricción

Si $T_{ck} - \Delta T_m < T_{fk}^*$ los bloques fríos por arriba de la temperatura de $T_{ck} - \Delta T_m$, no pueden ser intercambiados por los bloques calientes.

$$T_{ck} = 520$$

$$T_{fk}^* = 430$$

$$520 - 20 < 430$$

500 < 430 ∴ no hay restricción

b) Contenido de calor total de los bloques calientes y fríos.

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q_{c1} = 28,000 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (440-150) = 8,120,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q_{c2} = 23,800 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (520-300) = 5,236,000$$

$$Q_{c3} = 33,600 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (390-150) = 8,064,000$$

$$Q_{f1} = 16,000 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (430-100) = 5,280,000$$

$$Q_{f2} = 32,760 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (350-180) = 5,569,200$$

$$Q_{f3} = 26,350 \text{ BTU/hr. } ^\circ\text{F} (400-200) = 5,270,000$$

$$Q'_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} = 21,420,000 \text{ BTU/hr.}$$

$$Q'_f = Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3} = 16,119,200 \text{ BTU/hr.}$$

Como $Q'_c > Q'_f$, la cantidad Q'_c (16,119,200 BTU/hr) es intercambiado con las corrientes de proceso calientes y $\Delta Q = Q'_c - Q'_f = 5,300,800 \text{ BTU/hr.}$, es intercambiado con servicios de enfriamiento.

El contenido de calor residual (ΔQ) se muestra en el diagrama de contenido calorífico de la figura (6), en las corrientes calientes S_{c1} y S_{c3} etiquetados como C_1 y C_2 .

En la figura (6), se muestra también la división horizontal de los bloques correspondientes a las corrientes calientes de acuerdo a la etapa 3..

De acuerdo a la etapa 4.

Para el bloque E1 de la corriente S_{c2} :

$$Q_{E1} = 23,800 \text{ BTU/hr}^\circ\text{F} (520-440)^\circ\text{F}$$

$$Q_{E1} = 190,400 \text{ BTU/hr.}$$

Con la ecuación (3-4), se calculan los balances de los bloques receptores y de suministro:

$$m C_{p_c} (T_1 - T_2) = m C_{p_f} (t_2 - t_1) \quad (3-4)$$

Intercambiando primero con la parte superior del bloque S_{f1} , hasta una temperatura de 400°F :

$$Q_{f1}(430-400) = 16,000 (430-400) = 48,000 \text{ BTU/hr}$$

Todavía hay $1,424,000 \text{ BTU/hr}$ disponibles (del bloque E_1) a ser intercambiado con los bloques S_{f1} y S_{f3} , hasta una temperatura t :

$$1,424,000 \text{ BTU/hr} = 16,000 \text{ BTU/hr}^\circ\text{F} (400-t)^\circ\text{F} + 26,350 \text{ BTU/hr}^\circ\text{F}$$

$$(400-t), t = 366.37^\circ\text{F}$$

Para los bloques E_2 y E_3 de las corrientes S_{c2} y S_{c1} :

$$Q_{E2} = 23,800 (440-390) = 1,190,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E3} = 28,000 (440-390) = 1,400,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E2} = Q_{E3} = 2,590,000 \text{ BTU/hr}$$

Intercambiando una parte con los bloques fríos S_{f1} y S_{f3} hasta una temperatura de 350°F :

$$Q = 16,000 (366.37-350) + 26,350 (366.37-350)$$

$$Q = 693,269.5 \text{ BTU/hr}$$

Intercambiando $Q = 2,590,000 - 693,269.5 = 1,896,730.5$ BTU/hr, con los bloques fríos S_{f1} , S_{f2} y S_{f3} hasta una temperatura t :

$$1,896,730.5 \text{ BTU/hr} = 16,000 (350-t) + 26,350 (350-t)$$

$$+ 32,760 (350-t)$$

$$t = 324.75^{\circ}\text{F}$$

Para los bloques E_4 , E_5 y E_6 , de las corrientes calientes S_{c2} , S_{c1} y S_{c3} :

$$Q_{E4} : 23,800 (390-300) = 2,142,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E5} : 28,000 (390-300) = 2,520,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E6} : 33,600 (390-300) = 3,024,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E4} + Q_{E5} + Q_{E6} = 7,686,000 \text{ BTU/hr}$$

Intercambiando esta cantidad de calor, con los bloques fríos S_{f1} , S_{f2} y S_{f3} hasta una temperatura t :

$$\begin{aligned} 7,686,000 \text{ BTU/hr} &= 16,000 (324.75-t) + 26,350 (324.75-t) \\ &+ 32,760 (324.75-t) \\ t &= 222.42^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Se tiene que $Q'_f = 16,119,200 \text{ BTU/hr}$, y se han intercambiado $12,180,000 \text{ BTU/hr}$, por lo que resta intercambiar $3,939,200 \text{ BTU/hr}$ de las corrientes frías con las corrientes calientes S_{c1} y S_{c3} hasta una temperatura T :

$$\begin{aligned} 3,939,200 \text{ BTU/hr} &= 28,000 (300-T) + 33,600(300-T) \\ T &= 236.052^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Calculando la cantidad de calor que resta intercambiar con las corrientes frías S_{f1} , S_{f2} y S_{f3} :

$$\begin{aligned} Q &= 16,000(222.42-100) + 32,760 (222.42-180) \\ &+ 26,350(222.42-200) = 3,939,200 \text{ BTU/hr} \end{aligned}$$

En la figura (6) se muestra el calor intercambiado de los bloques correspondientes a las corrientes calientes con los bloques de las corrientes frías.

De acuerdo a la etapa 5, el diagrama de contenido calórico utilizando división de corrientes se muestra en la figura (7).

Aplicando la regla evolutiva 1:

Agrupando E_2 y E_4 del bloque S_{f3} en el bloque S_{f1} , de la figura (7):

$$Q_{E2} = 1,190,000 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{E4} = 2,142,000 \text{ BTU/hr}$$

Para el bloque S_{f1} , se intercambia Q_{E2} del bloque S_{c2} hasta una temperatura t :

$$1,190,000 \text{ BTU/hr} = 16,000 (366.37 - t)$$

$$t = 292.0^\circ\text{F}$$

Intercambiando Q_{E4} hasta una temperatura t :

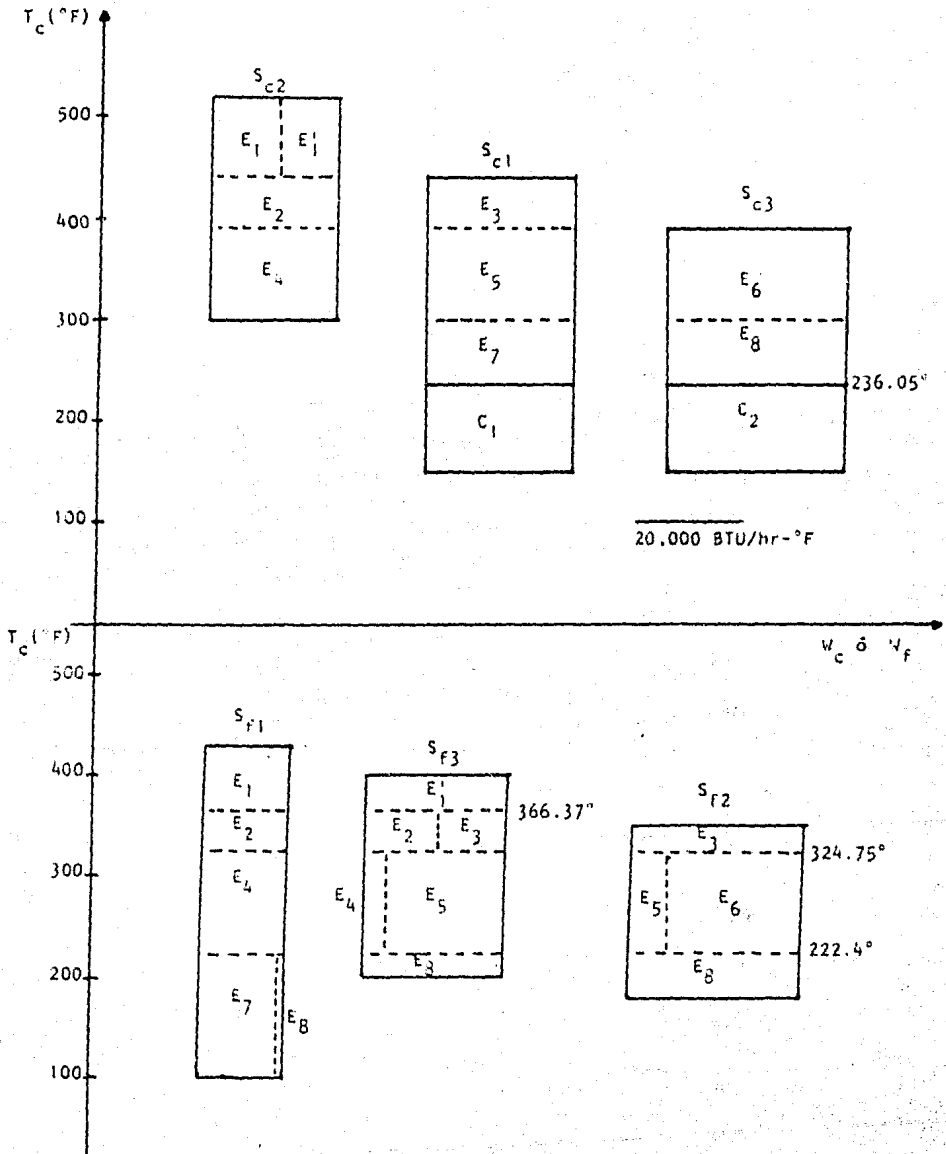


Figura (7) Diagrama de contenido calorífico, de acuerdo a la etapa 5, problema (6SPI)

$$2,142,000 \text{ BTU/hr} = 16,000 (292-t)$$

$$t = 158.12^\circ\text{F}$$

Para el bloque S_{f3} ; intercambiando Q_{E3} hasta una temperatura t :

$$Q_{E3} = 1,400,000 \text{ BTU/hr} = 26,350 (366.37-t)$$

$$t = 313.24^\circ\text{F}$$

Agrupando E_5 del bloque S_{f2} en el bloque S_{f3} , e intercambiando Q_{E5} hasta una temperatura t :

$$Q_{E5} = 2,520,000 \text{ BTU/hr} = 26,350 (313.24-t)$$

$$t = 217.60^\circ\text{F}$$

El bloque de la corriente S_{f3} , para lograr su temperatura objetivo, necesita intercambiar la cantidad de calor:

$$Q = 26,350 (217.6-200) = 463,992.93 \text{ BTU/hr}$$

Tomando esta cantidad necesaria del bloque E_7 (corriente caliente S_{c1}) la temperatura de éste queda:

$$463,992.93 = 28,000 (300-t)$$

$$t = 283.43^{\circ}\text{F}$$

La corriente S_{f1} necesita una dada cantidad de intercambio de calor, esta es:

$$Q = 16,000 (158.12-100)$$

$$Q = 930,007.04 \text{ BTU/hr}$$

Intercambiando el calor necesario con el bloque E_7 (de la corriente S_{c1}), desde una temperatura $t = 283.43^{\circ}\text{F}$ hasta una temperatura t :

$$930,007.04 = 28,000 (283.43-t)$$

$$t = 250.21^{\circ}\text{F}$$

Para el bloque S_{f2} :

Intercambiando Q_{E6} hasta una temperatura t :

$$Q_{E6} = 3,024,000 \text{ BTU/hr} = 32,760 (350-t)$$

$$t = 257.7^{\circ}\text{F}$$

Intercambiando el Q_{E8} desde 257.7°F hasta una temperatura t :

$$Q_{E8} = 33,600 (300-236.05) = 2,148,654.5 \text{ BTU/hr}$$

$$2,148,654.5 \text{ BTU/hr} = 32,760 (257.7-t)$$

$$t = 192.1^{\circ}\text{F}$$

La cantidad necesaria de calor a intercambiar de la corriente fría S_{f2} para lograr su temperatura objetivo es:

$$Q = 32,760 (192.1-180) = 396,545.71 \text{ BTU/hr}$$

Esta cantidad la intercambia con la corriente caliente S_{c3} , desde $t = 236.05^{\circ}\text{F}$ hasta una temperatura t :

$$396,545.71 \text{ BTU/hr} = 33,600 (236.05-t)$$

$$t = 224.25^{\circ}\text{F}$$

Calculando la cantidad de intercambio de calor de las corrientes calientes S_{c1} y S_{c3} , con servicios (agua de enfriamiento):

$$Q = 33,600 (224.25-150) + 28,000 (250.21-150)$$

$$Q = 5,300,800. \text{ BTU/hr}$$

que es la carga de calor a ser combinada con servicios de enfriamiento calculado al principio como $\Delta Q = Q_c^i - Q_f^i$

En la figura (8) se muestra el diagrama de contenido - calorífico aplicando la regla evolutiva 1.

En la figura (9) se muestra el esquema de flujo de la red resultante aplicando la regla evolutiva 1.

Aplicando la regla evolutiva 2, eliminando el intercambiador E_1 (de la red obtenida con la regla evolutiva 1) en el cual se combinan las corrientes S_{c2} y S_{f1} , se obtiene la red de la figura (10), y aplicando la regla evolutiva 3, se obtiene la red final representada en la figura (11).

Determinación de Costos.

Para la red obtenida aplicando la regla evolutiva 1:

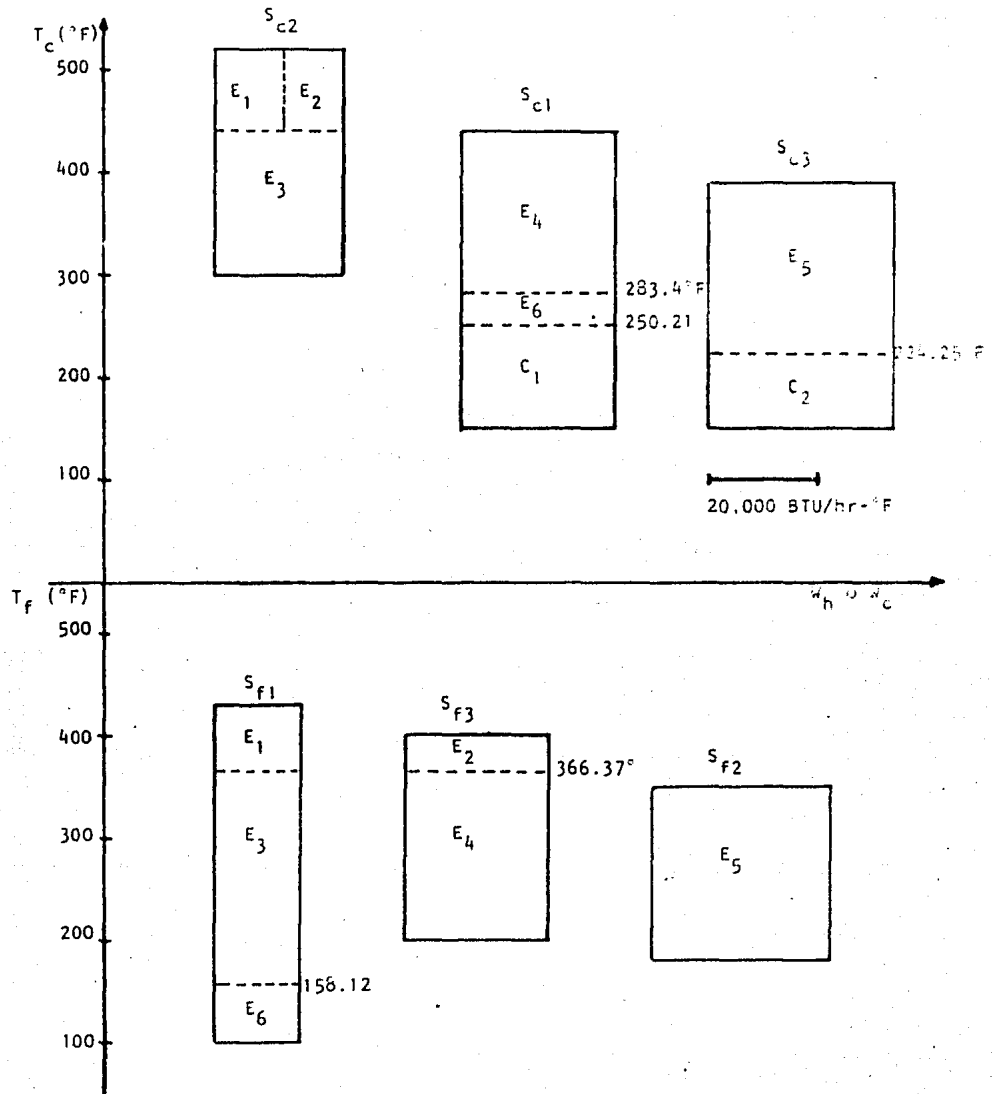


Figura (8) Diagrama de contenido calorífico utilizando la regla evolutiva I, problema (6SP1)

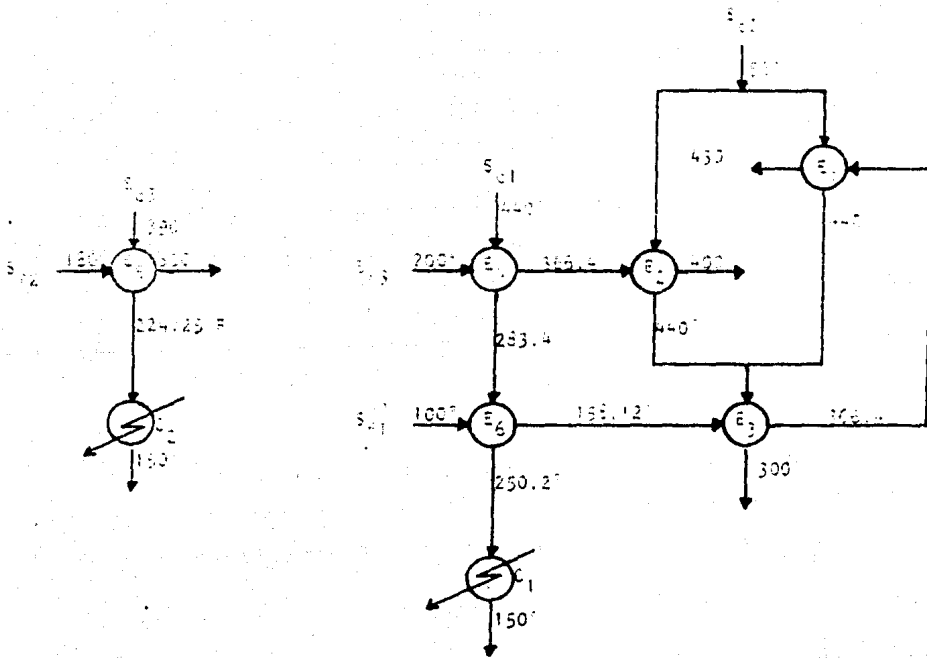


Figura (9) Esquema de flujo de la red resultante, problema (65P1)

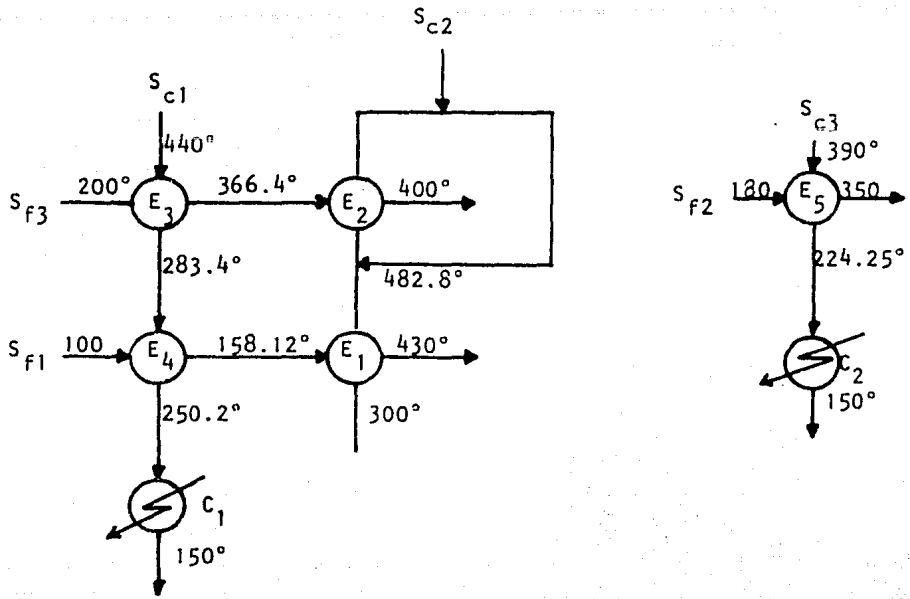


Figura (10) Red aplicando la regla evolutiva 2.

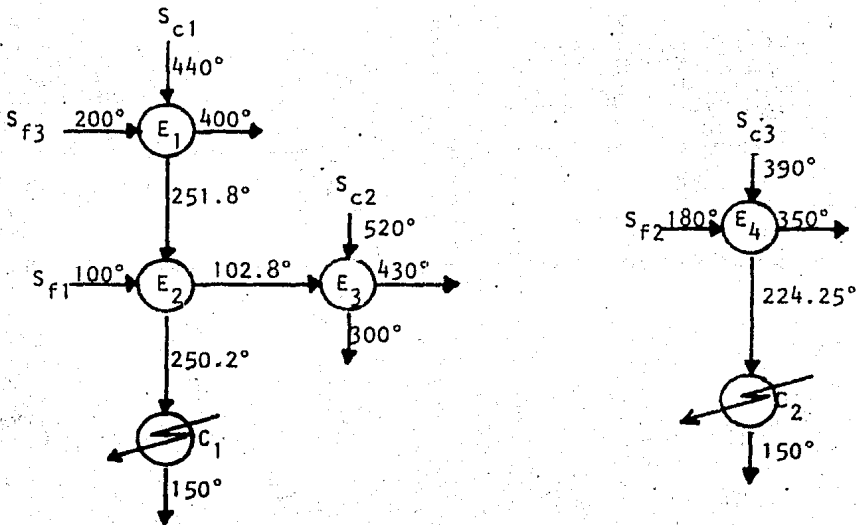


Figura (11) Red final, problema (6SP1)

El área de transferencia se obtiene a partir de la ecuación:

$$Q = U A \text{MLTD} \quad (3-5)$$

U = coeficiente global de transferencia de calor.

MLTD = diferencia de temperaturas media logarítmica.

$$\text{MLTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln (T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)} \quad (3-6)$$

T = temperaturas de las corrientes calientes

t = temperaturas de las corrientes frías

Para intercambiadores, $U = 150 \text{ BTU/hr ft}^2\text{°F}$

De la ecuación de costos

$$J = \left\{ \sum a A_{Ii}^b + \sum a A_{Ci}^b + \sum a A_{Ei}^b \right\} + K \quad (3-1)$$

Tiempo muerto del equipo 380 hrs/año.

$$\sum_{i=1}^{i=6} a A_{Ii}^b = 41,351.6 \$$$

| Intercambiador | MLTD (°F) | Q (BTU/hr) | Area (ft ²) |
|----------------|-----------|--------------|-------------------------|
| E ₁ | 71.5 | 1,017,992.96 | 94.918 |
| E ₂ | 53.5 | 886,007.156 | 110.398 |
| E ₃ | 171.87 | 3,332,000.0 | 129.243 |
| E ₄ | 161.42 | 4,383,992.84 | 181.056 |
| E ₅ | 167.86 | 5,569,200.0 | 221.177 |
| E ₆ | 44.51 | 930,007.04 | 139.283 |

Considerando que la temperatura de salida del agua en los enfriadores es 180°F:

| Enfriador | MLTD (°F) | Q (BTU/hr) | Area (ft ²) |
|----------------|-----------|-------------|-------------------------|
| C ₁ | 89.728 | 2,805,999.8 | 208.482 |
| C ₂ | 77.089 | 2,494,799.6 | 215.750 |

$$\sum_{i=1}^{i=2} a A_{Ei}^b = 17419.14 \text{ \$}$$

$$\sum_{i=1}^{i=6} a A_i^b + \sum_{i=1}^{i=2} a A_E^b = 0.1 \quad 41,351.6 + 17,419.14$$

$$= 5,877.074 \text{ \$/año}$$

Para los servicios:

Costo agua de enfriamiento: 5×10^{-5} \\$/lb

$$C_{p_{H_2O}} = 1.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}$$

La cantidad de calor intercambiado por libra

$$1.0 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}} * (180-100)^\circ\text{F} = 80 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$Q_{f1} = 2,805,999.8 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{f2} = 2,494,799.6 \text{ BTU/hr}$$

La cantidad necesaria de agua de enfriamiento por año:

$$Q_{f1} + Q_{f2} = 5,300,799.4 \text{ BTU/hr}$$

$$5,300,799.4 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} * \frac{1}{80 \text{ BTU/lb}} = 66,259.9925 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

$$= 580,437,534.3 \frac{\text{lb}}{\text{año}}$$

la cantidad real de agua por año es $555,258,737.2 \frac{\text{lb}}{\text{año}}$
(considerando el tiempo muerto del equipo)

$$K = 555,258,737.2 \frac{\text{lb}}{\text{año}} * 5 \times 10^{-5} \frac{\$}{\text{lb}}$$
$$= 27,762.937 \text{ \$/año}$$

y el costo total, incluyendo equipo y servicios es 33,640 \\$/año

Para la red obtenida aplicando las reglas evolutivas -
2 y 3:

| Intercambiador | MLTD (°F) | Q(BTU/hr) | Area (ft ²) |
|----------------|-----------|-----------|-------------------------|
| E ₁ | 194.047 | 5,270,000 | 181.055 |
| E ₂ | 2.106 | 44,000 | 139.279 |
| E ₃ | 270.085 | 5,236,000 | 129.243 |
| E ₄ | 167.866 | 5,569,200 | 221.176 |

$$\sum_{i=1}^{i=4} a_{i,i}^b = 30,088.923 \text{ \$}$$

$$\sum_{i=1}^{i=4} a A_{Ii}^b + \sum_{i=1}^{i=2} a A_{Ei}^b = 4,750.806 \text{ \$/año}$$

El costo total, incluyendo equipo y servicios es:

32,513.74 \\$/año

el cual es menor que el de la red obtenida aplicando la regla -
evolutiva 1.

III.2.- Método de Intervalo de Temperatura (TI)

El método de intervalo de temperatura fué desarrollado por Linnhoff y Flower en 1978. El método resuelve el problema de síntesis de redes de intercambio de calor generando la estructura de la red en la cual la recuperación de calor es máxima.

El problema es descompuesto en subredes en las cuales hay requerimientos de calentamiento y enfriamiento de las corrientes frías y calientes de proceso. La combinación de estas subredes se realiza de acuerdo a las siguientes etapas:

1. Clasificación de las corrientes calientes y frías en orden decreciente de las velocidades de flujo de capacidad calorífica.
2. Determinación de los intervalos de temperatura de las subredes para las corrientes frías y caliente. Para las corrientes calientes se determinan por dos temperaturas consecutivas de la cadena formada por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes calientes, y por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes

frías incrementadas por el mínimo acercamiento de temperatura permitido en la red.

Para las corrientes frías, los intervalos se determinan por dos temperaturas consecutivas de la cadena formada por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes frías, y por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes calientes reducidas por el mínimo acercamiento de temperatura.

3. Combinación entre las subredes ya definidas y las corrientes frías y calientes, para determinar la subred de intercambio óptima (desde un punto de vista de recuperación de calor).

En esta etapa se seleccionan las corrientes fría y caliente a ser combinadas, eligiendo las corrientes caliente y fría con la mayor carga de calor. También se evalúa la cantidad de calor a combinar y los requerimientos de calentamiento y enfriamiento residuales. Este procedimiento se realiza hasta la última subred determinando la cantidad de servicios de enfriamiento y/o calentamiento necesarios para que las corrientes de proceso logren su temperatura objetivo.

III.2.1.- Desarrollo del Método (TI).

El método se ilustra resolviendo el caso, ejemplo 4SP2 presentado por Linnhoff y Flower (1978). Los datos se muestran en la tabla (3).

| Corriente | Velocidad de flujo de capacidad calorífica. (KW°C). | Temperatura (°C) suministro objetivo. | |
|-----------|---|---------------------------------------|-----|
| Fría | 3.0 | 60 | 180 |
| Caliente | 2.0 | 180 | 40 |
| Fría | 2.6 | 30 | 105 |
| Caliente | 4.0 | 150 | 40 |

Tabla (3) Datos para el ejemplo 4SP2, método (TI)

Las etapas del método (TI) son:

- Clasificación de las corrientes calientes y frías, en orden decreciente de las velocidades de flujo de capacidad calorífica.

El propósito de esta etapa es determinar una secuencia de combinación preferenciales.

- Determinación de los intervalos de temperatura de las subredes para las corrientes frías y calientes.

El propósito de esta etapa es descomponer el problema de síntesis en subproblemas. Las corrientes en la subred se encuentran en el mismo intervalo de temperatura.

Para las corrientes calientes los intervalos de la subredes se determinan por dos temperaturas consecutivas de la cadena formada por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes calientes, y por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes frías incrementadas por el mínimo acercamiento de temperatura establecido en la red. Si en la cadena existen temperaturas mayores que la temperatura de suministro más alta de las corrientes calientes, estas deben ser reemplazadas por esta última. Si hay temperaturas más bajas que la temperatura objetivo menor de las corrientes calientes, estas deben ser reemplazadas por esta última.

Para el caso prueba:

a) Temperaturas de las corrientes calientes (°C)

180, 150, 40

b) Temperaturas de las corrientes frías, incrementadas por ΔT_m (10°C):

190, 115, 70, 40

c) Ordenando: 190,180,150,115,70,40

Eliminando 190 tenemos:

| d) Intervalo | Subred |
|--------------|--------|
| 180-180 | H1 |
| 180-150 | H2 |
| 150-115 | H3 |
| 115- 70 | H4 |
| 70- 40 | H5 |

En las corrientes frías los intervalos para las subredes son determinados por dos temperaturas consecutivas de la cadena formada por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes frías, y por las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes calientes reducidas por el mínimo acercamiento de temperatura establecido en la red. Si en la cadena hay temperaturas más altas que la temperatura objetivo mayor de las corrientes frías, estas son reemplazadas por esta última. -

Si hay temperaturas más bajas que la temperatura de suministro - menor de las corrientes frías, estas son reemplazadas por esta - última.

Para el caso prueba:

a) Temperaturas de las corrientes frías (°C):

180, 105, 60, 30

b) Temperaturas de las corrientes calientes reducidas por ΔT_m :

170, 140, 30

c) Ordenando: 180, 170, 140, 105, 60, 30

| d) Intervalos | Subred |
|---------------|--------|
| 180-170 | C1 |
| 170-140 | C2 |
| 140-105 | C3 |
| 105- 60 | C4 |
| 60- 30 | C5 |

- Identificación de las subredes e intervalos de temperatura de las corrientes frías y calientes. Una vez que se establecen los intervalos, se requiere definir la corresponden-

cia entre las subredes ya definidas y las corrientes frías y calientes, para encontrar la subred de intercambio óptima (desde un punto de vista de recuperación de calor).

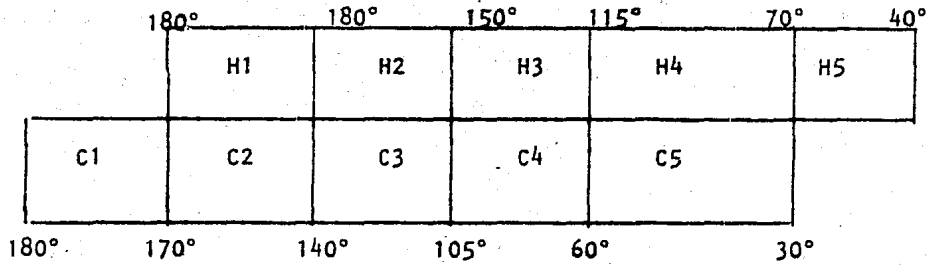
El problema es encontrar la subred fría que deba ser combinada con alguna subred caliente fija, para maximizar el intercambio de calor.

La figura (12) muestra tres combinaciones:

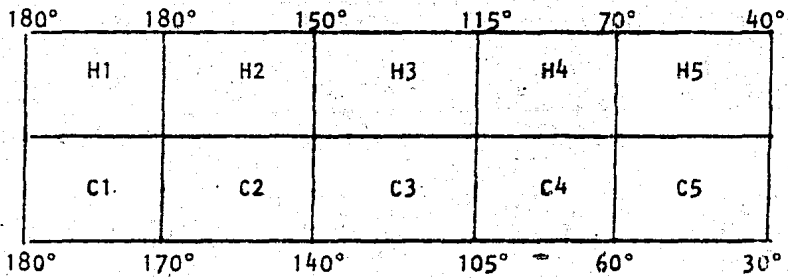
Combinación a). Representa las posibles combinaciones de la subred HJ ($J = 1, 2, 3, \dots, N$) con la subred fría CK, tal que $K \geq J$. Con esta representación, las subredes C1 y H5 deben ser combinadas con servicios auxiliares. Además de los requerimientos de Servicios Auxiliares que se determinan con un balance de calor global para las corrientes frías y calientes, se requiere un servicio (para C1 y H5).

Cuando $K-J$ se incrementa, los requerimientos de servicios auxiliares se incrementan, y cuando $K-J$ decrece los requerimientos de servicios disminuyen.

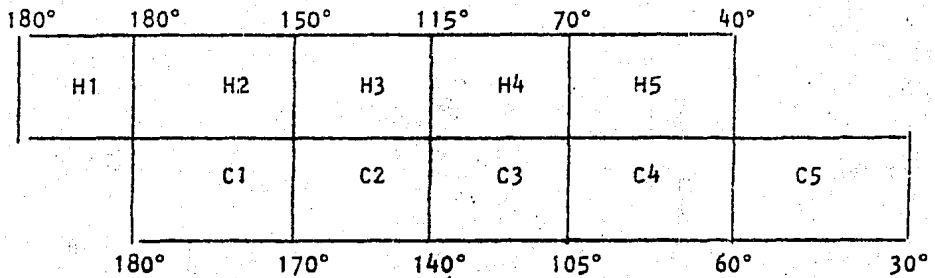
Cuando $K > J$, la diferencia entre los intervalos de temperatura en el lado frío y/o caliente de cualquier subred es



a) No óptima



b) Óptima



c) No factible

Figura (12) Caso Ejemplo 4SP2, tres combinaciones para subredes.

más grande ó igual a la mínima diferencia de temperatura.

El número de subredes que definen la red es: $N + N_1$, donde N_1 es el número de subredes calientes (o frías) combinadas con las corrientes auxiliares $N_1 = K - J$.

Combinación b). Para esta estructura, la diferencia entre el intervalo de temperatura de las corrientes fría y caliente, en el lado frío o caliente de cualquier subred es menor o igual al mínimo acercamiento de temperatura. Las subredes, donde la diferencia es cero o negativa, se combinan con servicios. Esto se presenta solamente en la primera y última subred. El número de subredes que definen la red es N .

Combinación c). Esta representa las posibles combinaciones de la subred HJ ($J = 1, 2, 3, \dots, N$) con la subred fría CK tal que $K < J$. La estructura no es factible debido a que la diferencia de temperaturas es negativa entre el intervalo de temperatura en el lado frío y caliente de cualquier subred. Además las corrientes calientes y frías deben ser combinadas con servicios auxiliares.

El requerimiento mínimo de servicios depende de las temperaturas de suministro y objetivo de las corrientes frías y calientes y del mínimo acercamiento de temperatura; y no

siendo así de la estructura de la red de intercambio de calor.

Para el caso prueba, la mejor correspondencia es cuando la diferencia entre los intervalos de temperatura correspondientes para una subred es el mínimo acercamiento de temperatura; las subredes están definidas por los intervalos:

| Subred | Intervalos (°C) | |
|--------|----------------------|------------------|
| | Corrientes Calientes | Corrientes frías |
| 1 | 180-180 | 180-170 |
| 2 | 180-150 | 170-140 |
| 3 | 150-115 | 140-105 |
| 4 | 115- 70 | 105- 60 |
| 5 | 70- 40 | 60-30 |

Las subredes son mostradas en la figura (13)

- Combinación de las corrientes frías y calientes, -
empezando con la última subred.

El propósito es generar los elementos de la red de intercambio de calor final. La idea general es primero combinar los requerimientos de calentamiento y enfriamiento, subred por-

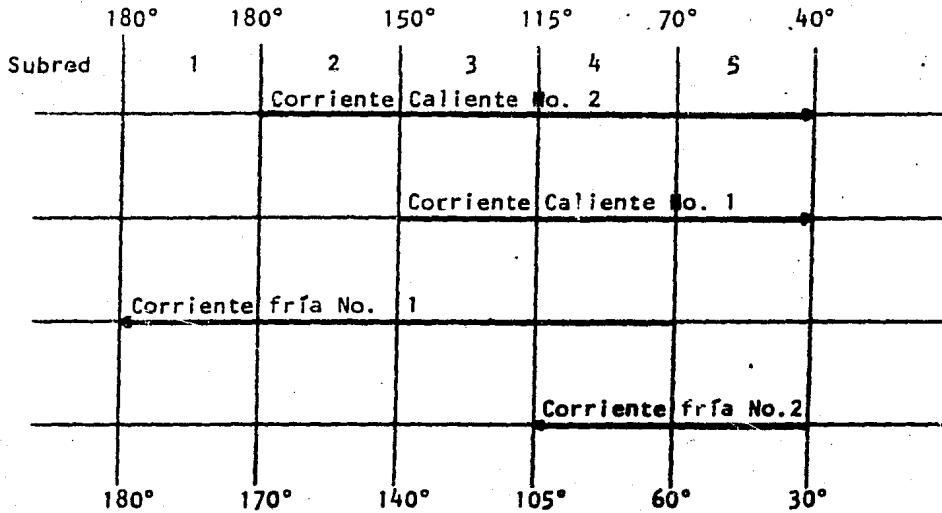


Figura (13) Intervalos de Temperatura para las subredes (°C)

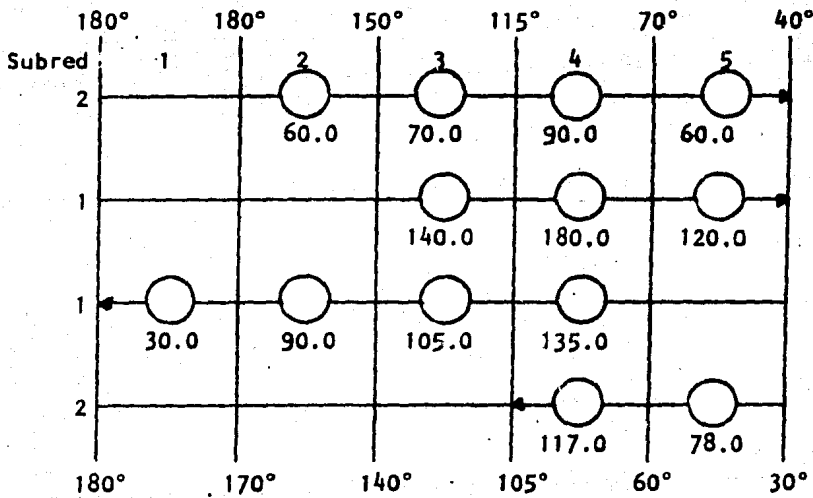


Figura (14) Cambio de contenido calorífico de corrientes a través de las subredes (Kw)

subred. Después de que todas las posibles combinaciones son llevadas a cabo en una subred, los requerimientos de enfriamiento restantes de cualquier subred número K, son combinados con los requerimientos de calentamiento restantes de la subred K+1.

En este procedimiento, las combinaciones en una subred y después entre subredes son alternadas en lugar de secuenciales.

Los requerimientos de calentamiento y/o enfriamiento-residuales, son combinados con servicios auxiliares.

El procedimiento es dividido en cuatro sub-etapas:

- a) Determinación del cambio de contenido de calor de cada corriente, como fué pasando a través de cada subred.
- b) Combinación del intercambio de contenido calorífico de corrientes, en la subred K ($K = 1, 2, 3, \dots$), empezando con la última.
- c) Combinación de los requerimientos de enfriamiento restantes de las corrientes, en la subred K, con los requerimientos de calentamiento restantes, acumulados hasta la subred K+1.

- d) Combinación de los requerimientos de calentamiento y enfriamiento finales, con los servicios auxiliares.
- a) El cambio de contenido calorífico es un simple balance de calor para cada corriente, restringido por la diferencia de temperatura de los intervalos de la subred. Para el problema, la representación gráfica de los resultados se muestran en la figura (14).
- b) En esta sub-etapa, el procedimiento de combinación es dividido en cuatro partes:
1. Selección de las corrientes caliente y fría a ser combinadas.
 2. Determinación del contenido calorífico a ser combinado, y la combinación.
 3. Determinación del orden secuencial para el siguiente intercambio de calor a sintetizar.
 4. Determinación del calentamiento y enfriamiento restantes.

Este procedimiento es realizado hasta que no exista otra combinación factible en la subred.

Selección de las corrientes fría y caliente a ser combinadas; las reglas son: Elegir la corriente con el mayor contenido calorífico de las corrientes caliente y fría por separado.- Al menos una de las corrientes deben ser la primer corriente a combinar. Si ninguna de las dos corrientes seleccionadas es primera corriente de combinación, cambiar una de ellas, de preferencia la corriente con la capacidad calorífica mayor.

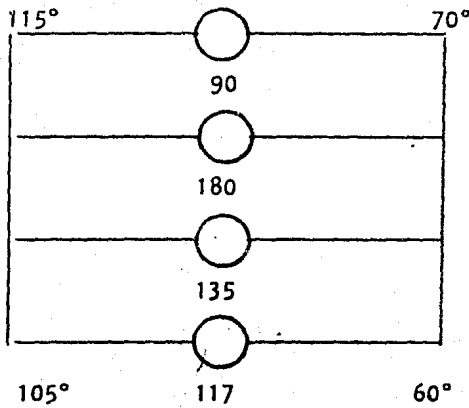
La condición de que al menos una de las corrientes debe ser primera combinación, se requiere para generar la mínima diferencia de temperatura a través de todos los intercambiadores de calor, como se muestra en la figura (15).

Determinación del contenido calorífico a ser combinado. Ya que han sido determinadas las dos corrientes a combinar, se calcula el cambio de contenido calorífico a combinar.

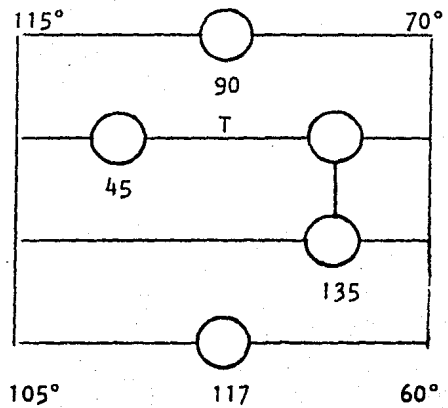
$$Q = m C_p (\Delta T)$$

donde:

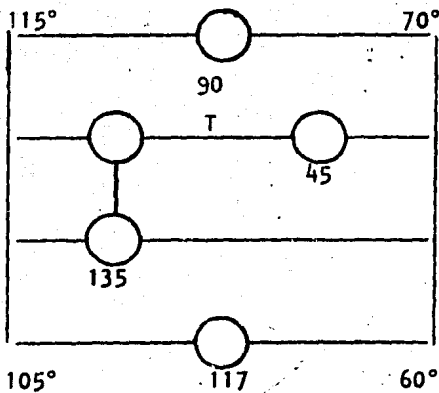
$$m C_p = \min (m c_{p_f}, m c_{p_c})$$



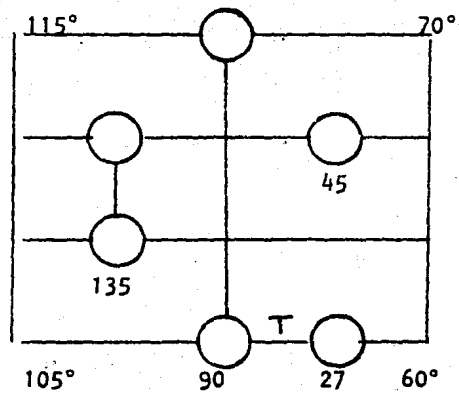
a) Subred No. 4
Problema 4SP2



b) Estructura no factible des-
pués de la primera combina-
ción. $T = 103.75^\circ$

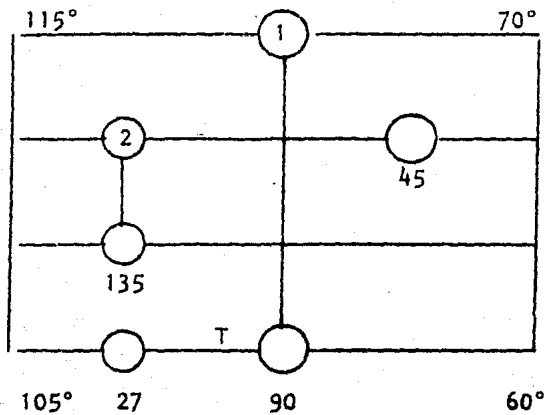


c) Estructura factible después
de la primera combinación -
 $T = 81.25^\circ$

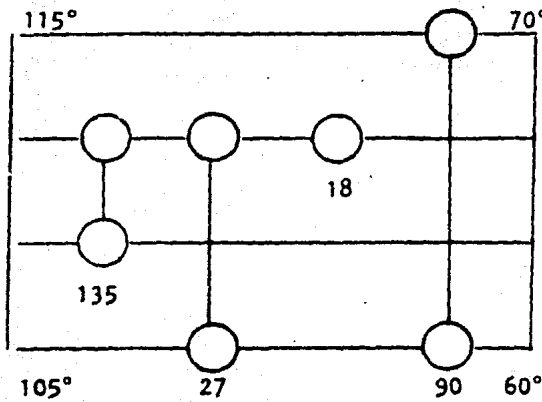


d) Estructura no factible -
después de la segunda com-
binación $T = 70.38^\circ$

Figura (15) Algunas combinaciones y localización de Intercambiadores de calor.



e) Estructura factible después de la segunda combinación
 $T = 94.62^\circ$



f) Tercera combinación
 No factible

Continuación de la figura (15)

$$\Delta T = \min (Q_f / mcp_f, Q_c / mcp_c)$$

mcp_f = velocidad de flujo de capacidad calorífica -
de la corriente fría.

mcp_c = velocidad de flujo de capacidad calorífica -
de la corriente caliente.

Q_f = cambio de contenido calorífico de la corrien-
te fría.

Q_c = cambio de contenido calorífico de la corrien-
te caliente.

Determinación del orden secuencial para el siguiente intercambiador sintetizado. Cuando se combina una corriente caliente, el primer intercambiador de calor es localizado en el lado caliente de la subred; el segundo intercambiador de calor sobre la misma corriente caliente, debe ser localizado hacia el lado derecho, cerca del lado frío de la subred. Cuando se combina una corriente fría, el primer intercambiador de calor es localizado en el lado frío de la subred; el segundo intercambiado de calor sobre la misma corriente fría, es localizado en el lado izquierdo, cerca del lado caliente de la subred.

Este procedimiento presenta dos implicaciones: se asegura la diferencia de temperatura mínima a través de los intercambiadores. Cualquier corriente, combinada previamente, no puede ser nuevamente combinada con otra corriente que ya ha sido combinada.

Determinación de los requerimientos de calentamiento y enfriamiento residuales. Antes de seleccionar las siguientes dos corrientes a combinar, se deben calcular los requerimientos de calentamiento y enfriamiento.

El procedimiento es realizado hasta que no exista combinación posible en la subred. Los requerimientos de calentamiento y enfriamiento residual son considerados en combinaciones entre subredes.

- c) Combinación de los requerimientos de enfriamiento restantes en la subred K, con los requerimientos de calentamiento también restantes, acumulados en la subred K + 1. La combinación se realiza empezando con la última subred, a partir del lado frío de la subred.

Después de que han sido realizadas todas las combinaciones posibles en una subred, la estructura general está forma

da por una subred de intercambiadores de calor y de requerimientos de calentamiento y enfriamiento. Los de enfriamiento son localizados en el lado frío de la subred, y los de calentamiento, del lado caliente. Los requerimientos de enfriamiento restantes de las corrientes calientes, en la subred k , ($k=1,2,3, \dots$) son combinados con los de calentamiento, a partir de la última subred hasta la subred $K + 1$.

El procedimiento de combinación sigue las mismas reglas que las de combinación en subredes. La diferencia es solo que en el cálculo de la cantidad de calor a ser combinado está dada por:

$$Q = \min (Q_f , Q_c)$$

Después de que se han realizado las combinaciones, la estructura general acumulada, a partir de la última subred hacia la subred K , está formada por una red de intercambiadores y de algunos requerimientos de enfriamiento y/o calentamiento. Los de enfriamiento se localizan en el lado frío de la estructura, y los de calentamiento en el lado caliente. Estos últimos se combinan con los requerimientos de enfriamiento residuales de la subred $K-1$, después de que las combinaciones en esa subred han sido realizadas.

Este procedimiento de combinación se realiza hasta la subred uno. En esta etapa final, la estructura sintetizada está formada por una subred de intercambiadores y por requerimientos de enfriamiento y calentamiento, que no pueden ser combinados entre las corrientes de proceso.

- d) Combinación de los requerimientos finales de calentamiento y enfriamiento con los servicios. Debido a que éstos requerimientos no pueden ser combinados entre las corrientes de proceso, son combinados con los servicios.

Procedimiento de combinación para el problema 4SP2.

La tabla (4) muestra un resumen de los datos y del contenido calorífico a través de las subredes.

| | Velocidad de flujo de capacidad calorífica. | Contenido calorífico (KW) en subredes. | | | | |
|--------------|---|--|----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Corrientes 2 | 2.0 | 0 | 60 | 70 | 90 | 60 |
| Calientes 1 | 4.0 | 0 | 0 | 140 | 180 | 120 |
| Corrientes 1 | 3.0 | 30 | 90 | 105 | 135 | 0 |
| Frías | 2.6 | 0 | 0 | 0 | 117 | 78 |

Tabla (4) Datos del problema 4SP2 y contenido calorífico en las subredes.

Subred 5

Primera combinación.

Corrientes a ser combinadas: caliente 1, fría 2 contenido calorífico a ser combinado:

$$\Delta T = \min (120/4, 78/2.6) = 30$$

$$Q = \min (30 \times 4, 30 \times 2.6) = 78$$

Orden secuencial: primer intercambiador sintetizado.

Contenido de calor remanente

| | Previo | Combinado | Balance |
|--------------|--------|-----------|---------|
| Corriente 2 | 60 | -- | 60 |
| Caliente 1 | 120 | 78 | 42 |
| Corrientes 1 | 0 | -- | 0 |
| Frías 2 | 78 | 78 | 0 |

Segunda combinación: Debido a que hay requerimiento de calentamiento, no es necesario más combinaciones.

Combinación entre subredes: Debido a que la subred -
5 es la primera subred combinada, este paso se omite.

Cambio de contenido de calor residual.

| | | |
|-----------|---|----|
| Corriente | 2 | 60 |
| Caliente | 1 | 42 |
| Corriente | 1 | 0 |
| Frías | 2 | 0 |

Subred 4

Primera Combinación

Corrientes a combinar: Caliente 1, fría 1

Cambio de contenido de calor a ser combinado:

$$\Delta T = \min (180/4, 135/3) = 45$$

$$Q = \min (45 \times 4, 45 \times 3) = 135$$

Orden secuencial: primer intercambiador sintetizado -
en esta subred.

Cambio de contenido de calor remanente:

| | Previo | Combinado | Balance |
|-------------|--------|-----------|---------|
| Corriente 2 | 90 | -- | 90 |
| Caliente 1 | 180 | 135 | 45 |
| Corriente 1 | 135 | 135 | 0 |
| Fría 2 | 117 | -- | 117 |

Segunda combinación:

Corriente a combinar: caliente 2, fría 2

Cambio de contenido de calor a ser combinado:

$$\Delta T = \min (90/2, 117/2.6) = 45.$$

$$Q = \min (45 \times 2, 45 \times 2.6) = 90$$

Orden secuencial: el intercambiador es localizado a la izquierda del primer intercambiador sintetizado en esta subred.

Tercera combinación:

Corrientes a combinar: Las corrientes calientes 1 y fría 2 no pueden ser combinadas a que ninguna de las corrientes calientes o fría es una primer corriente de combinación.

Combinación entre subredes: Debido a que no hay requerimiento de calentamiento residual en la subred 5, no existe com

binación factible.

Cambio de contenido de calor residual acumulado
(subredes 4 y 5)

| | | Balance |
|-----------|---|---------|
| Corriente | 2 | 60 |
| Caliente | 1 | 87 |
| Corriente | 1 | 0 |
| Fría | 2 | 27 |

Subred 3

Primera combinación

Corrientes a combinar: caliente 1 y fría 1.

Cambio de contenido de calor a ser combinado:

$$\Delta T = \min (140/4, 105/3) = 35$$

$$Q = \min (35 \times 4, 35 \times 3) = 105$$

Orden secuencial: Primer intercambiador de calor sintetizado en esta subred.

Contenido calorífico restante

| | | Previo | Combinado | Balance |
|-----------|---|--------|-----------|---------|
| Corriente | 2 | 70 | -- | 70 |
| Caliente | 1 | 140 | 105 | 35 |
| Corriente | 1 | 105 | 105 | 0 |
| Fría | 2 | 0 | -- | 0 |

Segunda combinación: como no hay requerimiento de ca lentamiento, no es posible otra combinación:

Combinación entre subredes:

Primera combinación

Corriente a combinar: caliente 2, fría 2.

Contenido calorífico a ser combinado

$$Q = \min (70, 27) = 27$$

Orden secuencial: este intercambiador está localizado entre los intercambiadores sintetizados en la subred 4 y en la subred 3.

Contenido de calor remanente.

| | | Previo | Disponibile | Combinado | Balance |
|-----------|---|--------|-------------|-----------|---------|
| Corriente | 2 | 70 | -- | 27 | 43 |
| Caliente | 1 | 35 | -- | -- | 35 |
| Corriente | 1 | 0 | 0 | -- | 0 |
| Fría | 2 | 0 | 27 | 27 | 0 |

Segunda combinación: como se requiere calentamiento - extra, esta etapa termina.

Contenido de calor residual acumulado.

| | | Previo | Balance | Acumulación |
|-----------|---|--------|---------|-------------|
| Corriente | 2 | 60 | 43 | 103 |
| Caliente | 1 | 87 | 35 | 122 |
| Corriente | 1 | -- | 0 | 0 |
| Fría | 2 | -- | 0 | 0 |

Subred 2

Primera combinación.

Corrientes a combinar: caliente 2, fría 1.

Cambio de contenido de calor a ser combinado:

$$\Delta T = \min (60/2, 90/3) = 30$$

$$Q = 60$$

Orden secuencial: Es el primer intercambiador a ser sintetizado en esta subred.

Contenido calorífico remanente

| | | Previo | Combinado | Balance |
|-----------|---|--------|-----------|---------|
| Corriente | 2 | 60 | 60 | 0 |
| Caliente | 1 | 0 | -- | 0 |
| Corriente | 1 | 90 | 60 | 30 |
| Fría | 2 | 0 | -- | 0 |

Segunda combinación: Como no hay requerimiento de enfriamiento adicional, no hay combinación posible.

Combinación entre subredes: No hay combinación posible.

Cambio de contenido de calor residual acumulado (subredes 2 a 5).

| | | Acumulado Previamente | Balance Subred 2 | Balance Acumulado |
|-----------|---|--------------------------|---------------------|----------------------|
| Corriente | 2 | 103 | 0 | 103 |
| Caliente | 1 | 122 | 0 | 122 |
| Corriente | 1 | 0 | 30 | 30 |
| Frías | 2 | 0 | 0 | 0 |

Subred 1

Primera combinación

Corrientes a combinar: Ninguna

Combinación entre subredes: Ninguna

Contenido de calor residual acumulado (subredes 1 a 5)

| | | Acumulado Previamente | Balance Subred 1 | Balance Acumulado |
|-----------|---|--------------------------|---------------------|----------------------|
| Corriente | 2 | 103 | 0 | 103 |
| Caliente | 1 | 122 | 0 | 122 |
| Corriente | 1 | 30 | 30 | 60 |
| Frías | 2 | 0 | 0 | 0 |

Combinación final

1.- Con servicio de enfriamiento

| Corriente caliente | Carga de enfriamiento |
|--------------------|-----------------------|
| 2 | 103 |
| 1 | 122 |

2.- Con servicios de calentamiento

| Corriente fría | Carga de calor |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 60 |
| 2 | 0 |

Estructura sintetizada

| Intercambiador de calor | Carga de calor | Corrientes fría caliente | |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 78 | 2 | 1 |
| 2 | 135 | 1 | 1 |
| 3 | 90 | 2 | 2 |
| 4 | 27 | 2 | 2 |
| 5 | 105 | 1 | 1 |
| 6 | 60 | 1 | 2 |

Servicios de calentamiento

| Corriente fría | Carga de calentamiento |
|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 60 |

Servicios de enfriamiento

| Corriente caliente | Carga de enfriamiento |
|---------------------------|------------------------------|
| 1 | 122 |
| 2 | 103 |

La estructura final se muestra en la figura (16).

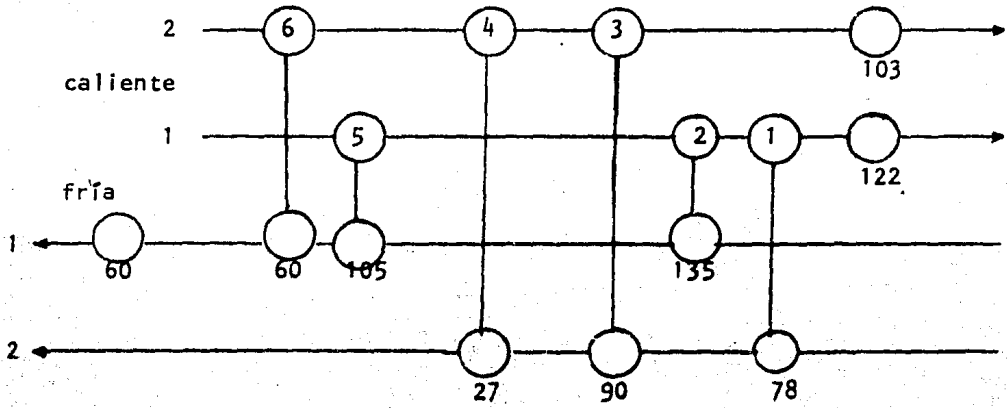


Figura (16). Estructura final del procedimiento de combinación.

III.3.- Método Termodinámico/Combinatorio (TC)

El método TC permite enumerar todas las soluciones posibles para un problema dado sujeto a las siguientes condiciones:

- Máxima recuperación de energía.
- Mínimo número de unidades.
- Evitar la división de corrientes.

Entre todas las soluciones que son consideradas, se determina la red (o redes) más apropiada(s).

El método está basado en principios combinatorios, y utiliza argumentos termodinámicos y topológicos para reducir el tamaño del problema combinatorial y eliminar las soluciones no factibles.

III.3.1.- Bases Teóricas.

Si consideramos un problema con N_c corrientes calientes y N_f corrientes frías, y se especifica para cada una su capacidad calorífica y las temperaturas de suministro y objetivo, el mínimo número de calentadores, enfriadores e intercambiadores, para la resolución del problema, es:

$$N_{\min} = N_c + N_f + N_{cs} + N_{fs} - 1 \quad (3-7)$$

N_{cs} = número de corrientes de servicio (calientes)

N_{fs} = número de corrientes de servicio (frías)

N_{\min} = mínimo número de unidades de intercambio de calor

El número de las posibles combinaciones que pueden existir en el problema, N_{pos} , puede ser evaluado como se muestra en la figura (17) y expresado por la ecuación (3-8).

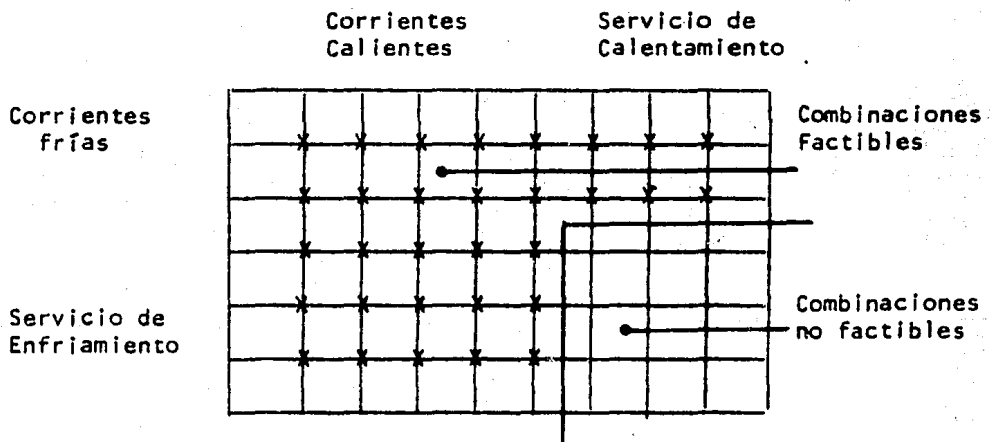


Figura (17). Identificación de las posibles combinaciones en un problema.

$$N_{\text{pos}} = N_c (N_f + N_{fs}) + N_f N_{cs} \quad (3-8)$$

El problema combinatorio consiste en determinar los conjuntos de combinaciones de N_{min} que pueden ser formados cuando se seleccionan a partir de las diferentes N_{pos} , de acuerdo a la ecuación - (3-9)

$$C \frac{N_{pos}}{N_{min}} = \frac{N_{pos}!}{N_{min}! \times (N_{pos} - N_{min})!} \quad (3-9)$$

El número de redes a evaluar es reducido utilizando argumentos topológicos y termodinámicos, como son:

a). Factibilidad de la temperatura objetivo.

Cada combinación que conduce a una corriente a su temperatura objetivo, debe ser tratada con una corriente de proceso o de servicio cuya temperatura de suministro sea compatible con la temperatura objetivo.

b) Factibilidad topológica.

Cada corriente de proceso o de servicio, debe estar involucrada en al menos una combinación.

c) Factibilidad de carga de calor

Si una corriente de proceso o servicio se combina solo

una vez, su pareja debe tener una carga de calor igual o mayor.

Para cualquier red factible, (involucrando más de una unidad de intercambio de calor) la corriente de proceso o servicio con mayor carga de calor debe ser combinada al menos dos veces. La corriente de proceso o servicio que sigue en orden decreciente de carga de calor debe tener por lo menos dos combinaciones, a menos que esté combinada con la corriente de proceso o servicio con la mayor carga de calor.

Estas restricciones son condiciones necesarias, pero no son suficientes, por lo que es necesario realizar un análisis cuantitativo sobre las cargas de calor para asegurar la compatibilidad en cada una de las combinaciones.

III.3.2.- Aplicación.

Para la aplicación del método se utiliza un problema (6SP1) formado de seis corrientes de proceso y una de servicio (agua de enfriamiento con una carga de 1553.4 KW).

En la figura (18) se muestran las temperaturas de suministro y objetivo ($^{\circ}\text{C}$), así como sus velocidades de flujo de capacidad calorífica de cada corriente.

| | | | <u>mCp (KW/°C)</u> |
|---|--------|--------|--------------------|
| 2 | 22.67° | 65.6° | 14.77 |
| 4 | 271.1° | 148.9° | 12.56 |
| 6 | 198.8° | 65.6° | 17.72 |
| | 221.1° | 37.8° | 8.44 |
| | 176.7° | 82.2° | 17.28 |
| | 204.4° | 93.3° | 13.9 |

Figura (18). Corrientes de Proceso para el
Problema 6SP1

Si se considera un mínimo acercamiento de temperatura de 11.11°C, el número mínimo de unidades se evalúa por medio de la ecuación (3-7).

$$N_{\min} = 3 + 3 + 1 - 1 = 6$$

El número de combinaciones posibles es determinado mediante la ecuación (3-8).

$$N_{\text{pos}} = 3 (3 + 1) + 0 = 12$$

Estas combinaciones se muestran en la figura (19).

| | | Corrientes Calientes | | |
|------------------|----------|----------------------|---|---|
| | | 2 | 4 | 6 |
| Corrientes Frías | 1 | ↓ | ↓ | ↓ |
| | 3 | ↓ | ↓ | ↓ |
| | 5 | ↓ | ↓ | ↓ |
| | Servicio | ↓ | ↓ | ↓ |

Figura (19) Combinaciones Posibles para el Problema 6SP1

Los conjuntos posibles de combinaciones es evaluado con la ecuación (3-9).

$$C_{12}^6 = \frac{12!}{6! \times (12 - 6)!} = 924$$

Esto muestra que hay 924 conjuntos de 6 combinaciones.

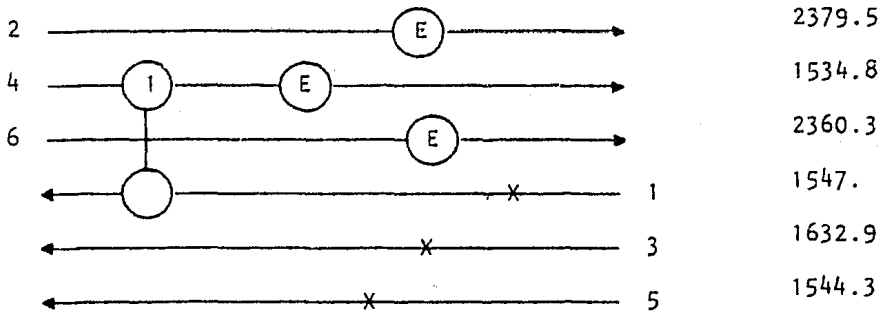
El número de redes a ser evaluadas, es reducido utilizando los argumentos topológicos y termodinámicos.

De los datos del problema se observa que se requieren 2 - enfriadores, uno para la corriente 2 y otro para la 6. También se requiere una combinación entre las corrientes 4 y 1 y otra combinación entre las corrientes 2 y 5 o entre las corrientes 4 y 5 (ver - figura (19)).

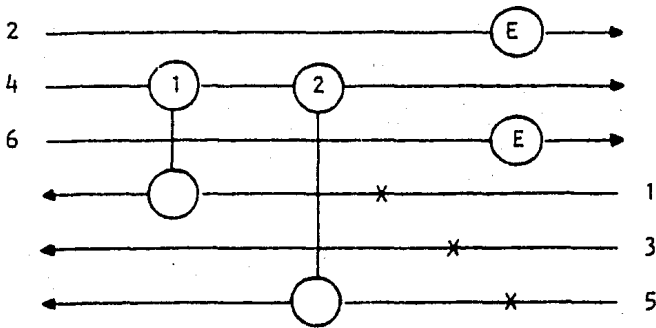
El propósito de estos esquemas es para facilitar la formulación de los argumentos topológicos por medio de los cuales es posible confirmar o no una solución.

Consideremos la figura (20-a), en este arreglo surge la - necesidad de una combinación posterior para la corriente 1, ya que la carga de calor de la corriente 4 no es tan grande para satisfa - cer por completo a la corriente 1. Esta combinación adicional se - indica por medio de una cruz sobre la corriente 1. También al me - nos una conexión se debe de hacer con las corrientes 3 y 5. Con - tres conexiones fijas requeridas en las corrientes frías, y solamen - te dos combinaciones más a escoger, E, para proporcionar el total - de 6 combinaciones, no es factible, con este arreglo, una solución - para una máxima recuperación de energía con un mínimo número de uni - dades.

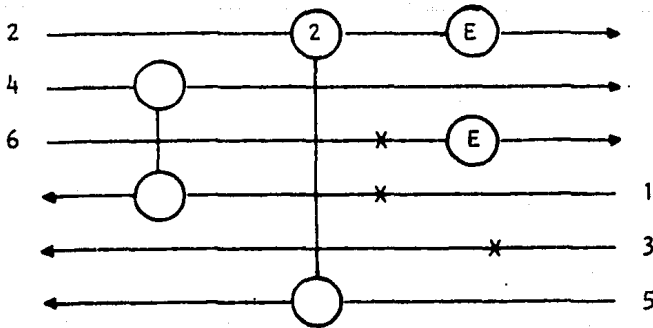
Carga de Calor (KW)



(a)



(b)



(c)

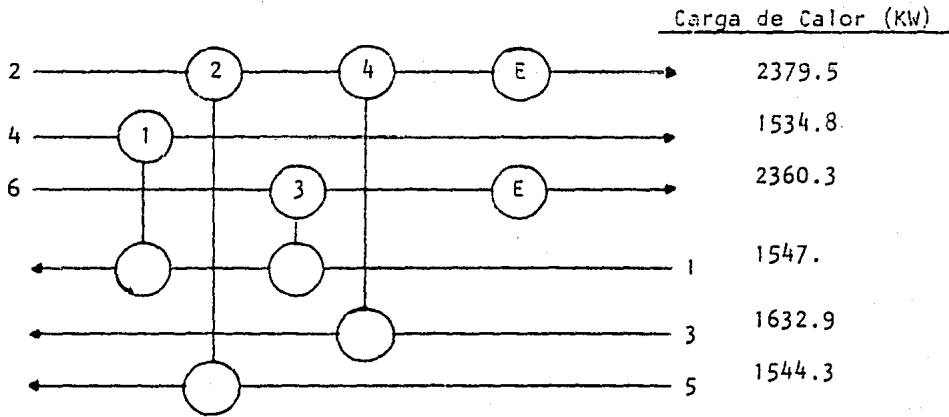
Figura (20) arreglos iniciales para el problema 6SP1

En la figura (20-b), al menos una conexión se requiere para las corrientes 1 y 3. También se requiere otra conexión para la corriente 5, ya que la carga de calor de la corriente 4 es menor. Con tres conexiones frías requeridas y solamente dos combinaciones más a elegir, no es factible la solución.

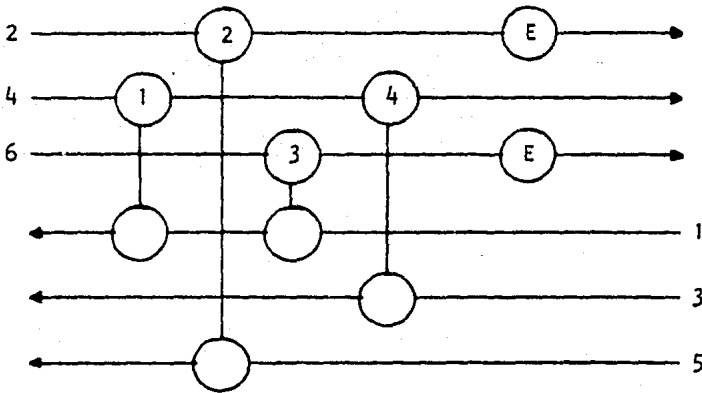
Finalmente, en la figura (20-c), como el enfriador de la corriente 6 no puede tener una carga mayor de 1553.4 KW, que es la carga del agua de enfriamiento, al menos requiere una conexión. También por lo menos una conexión se debe especificar para las corrientes 1 y 3. Hay solamente una conexión fija caliente y dos frías, con dos combinaciones a escoger, por lo que puede existir una solución factible.

El problema es ahora menor. Hay solamente seis posibilidades para introducir las dos últimas combinaciones necesarias. Si las corrientes 6 y 1 se combinan, quedan tres posibles combinaciones para la corriente 3, o si las corrientes 6 y 3 se combinan quedan 3 posibles combinaciones para la corriente 1. En la tabla (5) se muestran estas posibilidades.

La posibilidad 5 en la tabla (5) conduce a una topología cíclica (no factible en una solución de mínimo número de unidades) y la posibilidad 6 es idéntica a la 3. Por lo que, solamente las primeras cuatro posibilidades tienen que ser evaluadas. La representación de estas combinaciones se muestra en la figura (21).



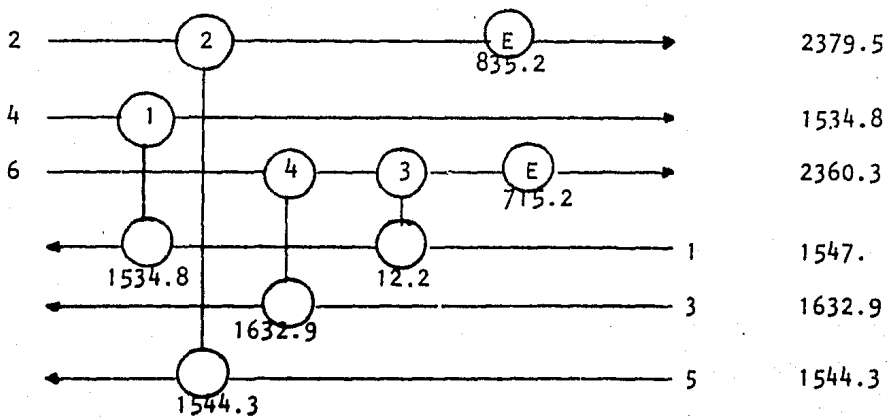
(a)



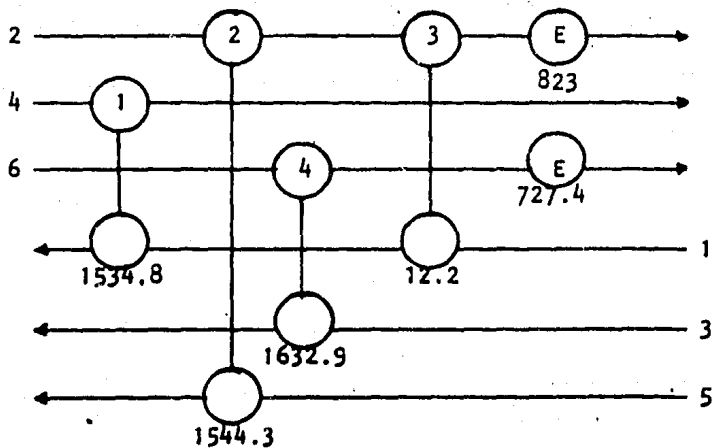
(b)

Figura (21) Combinaciones para el problema 6SP1.

Carga de Calor (KW)



(c)



(d)

Continuación de la figura (21)

| Posibilidad Nº | Combinación Nº | | Discusión |
|-------------------|----------------|-----|----------------------|
| | (3) | (4) | |
| 1 | 6/1 | 2/3 | Ver figura (21-a) |
| 2 | 6/1 | 4/3 | Ver figura (21-b) |
| 3 | 6/1 | 6/3 | Ver figura (21-c) |
| 4 | 2/1 | 6/3 | Ver figura (21-d) |
| 5 | 4/1 | 6/3 | Cíclica |
| 6 | 6/1 | 6/3 | Ver posibilidad No.3 |

Tabla (5) Posibilidades para las dos últimas
Combinaciones de la figura (20-c)

La combinación mostrada en la figura (21-a) no es factible debido a que la carga de calor de la corriente 2 no es tan grande para combinarla con las corrientes 3 y 5.

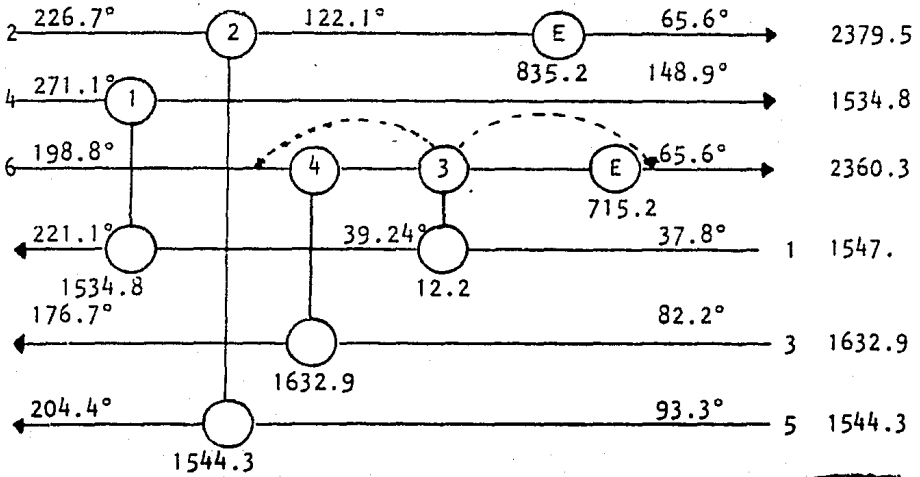
La combinación de la figura (21-b) tampoco es factible ya que la carga de calor de la corriente 4 no es tan grande para combinarla con la corriente No. 3.

Las dos últimas combinaciones son factibles. Las cargas de calor de las combinaciones individuales se muestran en la figura (21-c) y (21-d).

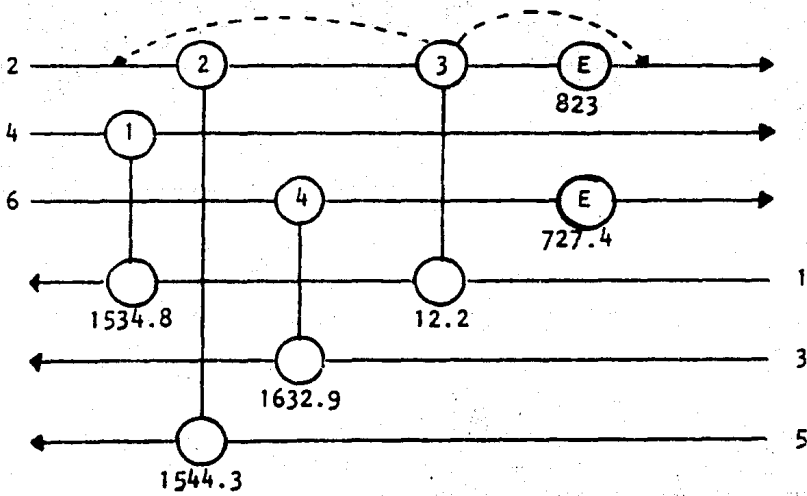
Estas selecciones representan redes factibles basada en - temperaturas intermedias. En la figura (22) las dos primeras redes se basan en estas selecciones. La combinación 3 puede ser colocada en tres posiciones diferentes.

Por lo que no existen más de 6 posibles redes que resuelvan el problema 6SPI teniendo la máxima recuperación de calor y con el mínimo número de unidades, sin utilizar división de corrientes y tomando en cuenta la restricción del $\Delta T_{\min} = 11.11^{\circ}\text{C}$.

Carga de -
Calor (KW)



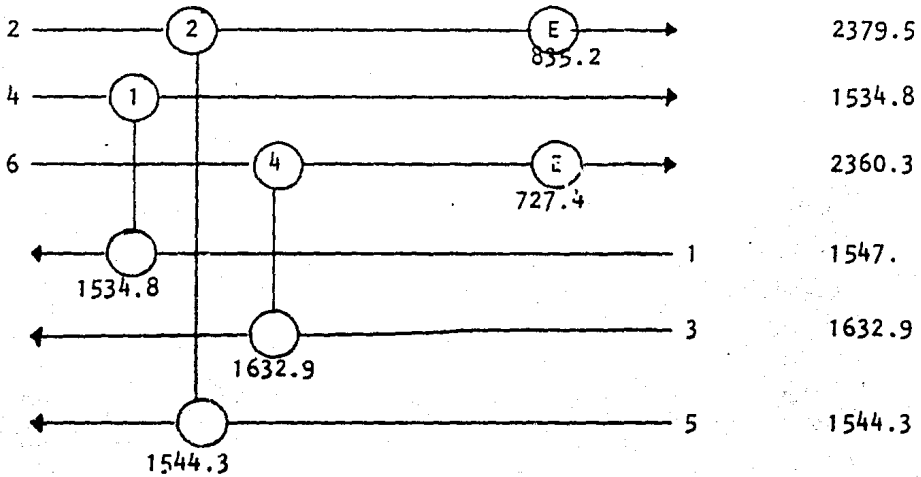
(a)



(b)

Figura (22).. Solución para 6SP1

Carga de calor (KW)



Continuación de la figura (22)

- (a) Tres soluciones basadas en la figura (21-c)
- (b) Tres soluciones basadas en la figura (21-d)
- (c) Solución aproximada.

III.4.- Método de Hohmann

La información necesaria para la síntesis de redes de intercambio de calor es: velocidad de flujo de capacidad calorífica de las corrientes, temperaturas de suministro y objetivo, así como servicios de calentamiento y enfriamiento requeridos.

III.4.1.- Factibilidad.

Esta etapa permite analizar si es o no factible la obtención de una red de intercambio de calor, sin violar la restricción de mínimo acercamiento de temperatura.

Esto se lleva a cabo dividiendo el conjunto de corrientes en rangos de temperaturas. La tabla (7) muestra la relación de factibilidad para el ejemplo 3SP1 de la tabla (6).

Cada rango tiene columnas por separado para las corrientes calientes y frías. El nivel de temperatura de la sección corriente fría de cada rango es menor que el nivel de la sección corriente caliente por 20°F. (mínimo acercamiento de temperatura).- En cada rango se especifican las temperaturas iniciales y finales de las corrientes involucradas, así como el cambio de entalpía - (Q).

| Corriente | Temperatura (°F) Suministro Objetivo. | | Velocidad de flujo de capacidad-calorífica (BTU/hr°F) | Carga de Calor Q(MMBTU/hrs). |
|-----------|--|-----|---|------------------------------|
| A | 600 | 500 | 70,000 | -7.0 |
| B | 550 | 350 | 48,000 | -9.6 |
| C | 130 | 430 | 55,333 | 16.6 |

$$U_{AC} = U_{BC} = 100 \text{ BTU/hr ft}^2\text{°F}$$

Tabla (6) Datos para el sistema 3SP1.

| Rango | Corrientes Calientes Tem. °F | Nombre | Q | Corrientes frías Tem. °F | nombre | Q | Q Rango | Rango Factibilidad |
|-------|---------------------------------|--------|------|-----------------------------|--------|-------|---------|--------------------|
| 1 | 600 - 550 | A | -3.5 | 530 - 580 | | | -3.5 | |
| 2 | 550 - 500 | A | -3.5 | 480 - 530 | | | -5.9 | |
| | | B | -2.4 | | | | | |
| 3 | 500 - 450 | B | -2.4 | 430 - 480 | | | -2.4 | |
| 4 | 450 - 350 | B | -2.4 | 330 - 430 | C | 5.53 | .73 | |
| 5 | 350 - 150 | | | 130 - 330 | C | 11.07 | 11.07 | |

Tabla (7) Tabla de Factibilidad para el sistema 3SP1
con $\Delta T_{\min} = 20^\circ\text{F}$.

La carga de calor total para cada rango de temperatura se registran en la columna "rango Q". Esta columna (suma de los Q de las corrientes calientes y fría) representa el exceso o falta de energía en cada rango de temperatura. En la tabla (7) los rangos 1 a 3 tienen exceso de energía, y los rangos 4 y 5 requieren energía. La factibilidad de la red se determina a partir de estos valores si se combinan en una columna final "Rango de Factibilidad". Empezando con el primer rango de la tabla de factibilidad, los Q negativos se utilizan para cancelar toda o una porción del Q positivo en cualquier rango inferior. Este procedimiento se lleva a cabo para cada rango sucesivo con Q negativo hasta que no más calor (Q negativo) puede ser transferido. Si la columna "rango de factibilidad" es toda cero, entonces es posible construir una red en la cual todos los intercambiadores tengan al menos un mínimo acercamiento de temperatura de 20°F.

La figura (23) muestra los 5 rangos de temperatura para este sistema.

III.4.2.- Redes con mínima área de intercambio de calor

La ecuación de conducción de calor en estado estacionario, para cualquier sistema de corrientes, es:

$$\frac{dq}{dA} = U (t_{cc} - t_{cf}) \quad (3-10)$$

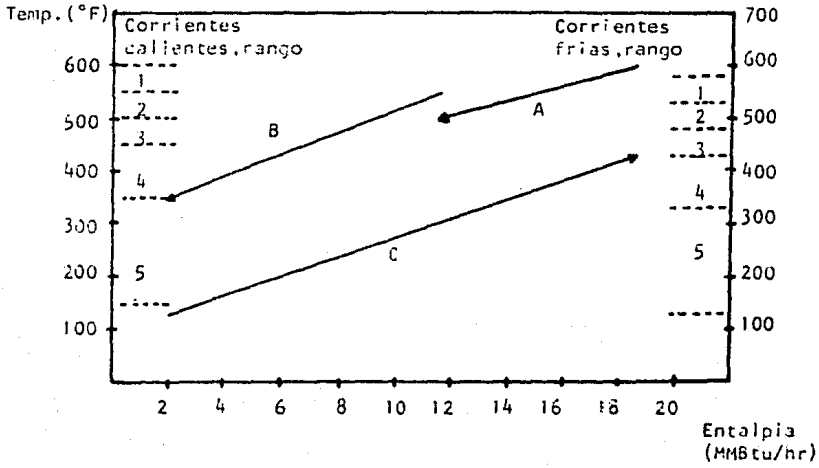


Figura (23) Rangos de Temperatura para el sistema de tres corrientes

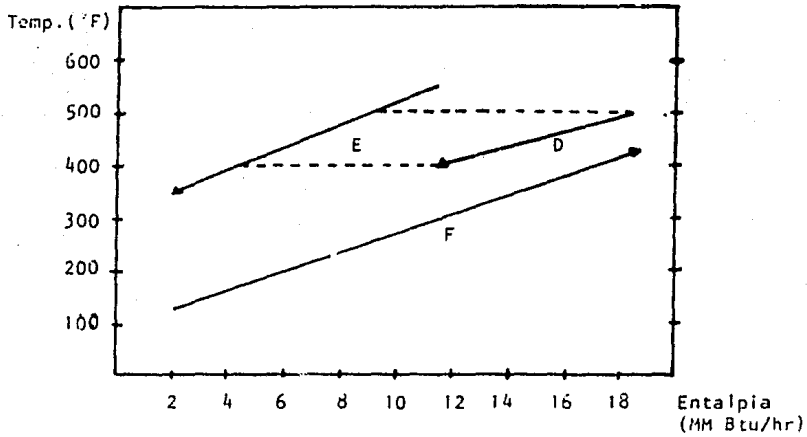


Figura (24) Rangos de temperatura de contención

Si dos corrientes calientes están a la misma temperatura y tienen el mismo coeficiente de transferencia de calor con respecto a una corriente fría dada, el flujo de calor puede ser el mismo. En tal caso, las corrientes están en "temperatura de contención". Es decir, una u otra corriente caliente puede transferir calor a la corriente fría al mismo costo en términos del área de intercambio de calor. En la figura (24) se presenta la "temperatura de contención" para el sistema de 3 corrientes de la tabla (8).

Una red puede tener el área de transferencia de calor total mínima si cada elemento diferencial de calor, para todas las corrientes, es intercambiado en forma similar a la de dos corrientes en un intercambiador a contra-corriente. Esto es, iniciando con la temperatura más alta de la corriente caliente, cada elemento diferencial de calor es transferido a la corriente fría con la temperatura disponible más alta. Este proceso continúa hasta que la transferencia de calor de la corriente caliente con la temperatura más baja es cedido a la corriente fría con la temperatura más baja. Para rangos en los cuales está presente la "temperatura de contención", todas las corrientes en contención son requeridas para transferir su calor con el mismo flujo de calor (dq/dA).

Las tablas (9) y (10) muestran los datos de la red de área mínima para dos sistemas con diferentes valores de "temperatura de contención" correspondientes a los sistemas de tres corrientes de las tablas (6) y (8).

| Corriente | Temperatura °F Suministro Objetivo | | Velocidad de flujo de capacidad-calorífica (BTU/hr°F) | Carga de calor Q(MMBTU/hr). |
|-----------|--|-----|---|-----------------------------|
| D | 500 | 400 | 70,000 | -7.0 |
| E | 550 | 350 | 48,000 | -9.6 |
| F | 130 | 430 | 55,333 | 16.6 |

Tabla (8). Datos para el sistema de 3 corrientes que presenta "temperatura de contención"

La tabla de área mínima está formada de rangos de temperatura divididos en secciones de corrientes calientes y frías.

θ_1 es la diferencia entre la temperatura de entrada de la corriente caliente y la temperatura de salida de la corriente fría.

θ_2 es la diferencia entre la temperatura de salida de la corriente caliente y la temperatura de entrada de la corriente fría.

| Rango # | Corrientes Calientes | | | Corrientes frías | | | Calculos del Intercambiador | | | | |
|---------|----------------------|--------|------|------------------|--------|-----|--|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| | Temp. °F | Nombre | Q | Temp.(°F) | Nombre | Q | U | θ_1 (°F) | θ_2 (°F) | $\Delta\theta$ (°F) | Area (ft ²) |
| 1 | 600-550 | A | -3.5 | 367-430 | C | 3.5 | 100 | 170 | 183 | 177 | 198 |
| | | A | -3.5 | | | | | | | | |
| 2 | 550-500 | B | -2.4 | 260-367 | C | 5.9 | 100 | 183 | 240 | 210 | 281 |
| 3 | 500-350 | B | -7.2 | 130-260 | C | 7.2 | 100 | 240 | 220 | 230 | 313 |
| | | | | | | | E ⁺ =4, θ_{min}^+ = 170 A* = 792 | | | | |

Tabla (9) Tabla de área mínima para el sistema de la Tabla (6).

| Rango # | Corrientes Calientes | | | Corrientes Frías | | | Cálculos del Intercambiador | | | | |
|---------|----------------------|--------|------|------------------|--------|------|--|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| | Temp. °F | Nombre | Q | Temp. °F | Nombre | Q | U | θ_1 (°F) | θ_2 (°F) | $\Delta\theta$ (°F) | Area (ft ²) |
| 1 | 550-500 | E | -2.4 | 387-430 | F | 2.4 | 100 | 120 | 113 | 117 | 206 |
| | | D | -7.0 | | | | | | | | |
| 2 | 500-400 | E | -4.8 | 173-387 | F | 11.8 | 100 | 113 | 227 | 164 | 722 |
| 3 | 400-350 | E | -2.4 | 130-173 | F | 2.4 | 100 | 227 | 220 | 223 | 107 |
| | | | | | | | $E^+ = 4, \theta_{\min}^+ = 113, A^* = 1035$ | | | | |

Tabla (10) Tabla de área mínima para el sistema de la
Tabla (8)

Si se conocen los valores de los coeficientes de transferencia de calor (U) para cada combinación de corrientes, se puede determinar un valor de área para cada rango. La suma de éstos valores de área es el área total mínima de intercambio de calor para el sistema de corrientes.

El mínimo acercamiento de temperatura para la red de área mínima (ΔT_{\min}^+) es el valor más pequeño de las columnas θ_1 y θ_2 .

La red de área mínima puede requerir un número relativamente grande de intercambiadores de calor si se encuentran en "temperatura de contención" varias corrientes. El número de intercambiadores requeridos, E^+ , es un número máximo efectivo de intercambiadores. Las redes se pueden construir con más intercambiadores, pero la adición de unidades de intercambio de calor puede no servir para disminuir el área de transferencia de calor total por debajo de la red de área mínima.

III.4.3.- Mínimo acercamiento de Temperatura.

La fuerza impulsora térmica o diferencia de temperatura (ΔT) puede variar de un extremo a otro del intercambiador, a menos que las corrientes calientes y frías tengan idénticos gastos de capacidad calorífica.

El mínimo acercamiento de temperatura (ΔT_{\min}) para un intercambiador es el valor más pequeño de (ΔT) en el intercambiador. Este valor puede encontrarse generalmente en uno de los dos extremos del intercambiador.

A bajos acercamientos de temperatura el requerimiento de área se incrementa, por lo que se requiere un diseño económico y análisis de costos.

Con la tabla de factibilidad es posible determinar si es factible sintetizar una red de intercambio de calor para un sistema dado de corrientes. Esta tabla se construye utilizando un acercamiento mínimo de temperatura (ΔT_{\min}). La columna rango de factibilidad de la tabla contiene ceros si es posible sintetizar una red en la cual el mínimo acercamiento de temperatura para cualquier intercambiador es al menos el ΔT_{\min} utilizando para construir la tabla.

Entonces el cálculo de varias tablas de factibilidad - variando los valores de ΔT_{\min} hace posible determinar el efecto del mínimo acercamiento de temperatura para cualquier sistema de corrientes.

Se ha reportado que el rango de interés para los valores de ΔT_{\min} es de 0 a 50°F.

III.4.4.- Número cercano al mínimo de Intercambiadores de calor.

El número casi-mínimo de Intercambiadores de calor para un sistema de corrientes es:

$$E = M + N - 1 \quad (3-11)$$

M : es el número de corrientes calientes

N : número de corrientes frías

Una red que utiliza únicamente el número cercano al mínimo de intercambiadores se puede construir para cualquier sistema de corrientes.

La figura (25) muestra un sistema en el cual las corrientes calientes están por arriba del nivel de temperatura de la corriente fría justamente por ΔT_{\min} . La red factible para tal sistema involucra un número cercano al mínimo de intercambiadores arreglados en serie.

La figura (26) muestra un sistema de corrientes para el que las dos corrientes calientes intercambian al mismo nivel de temperatura. Las temperaturas terminales de las corrientes

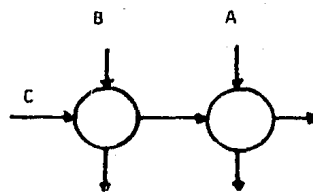
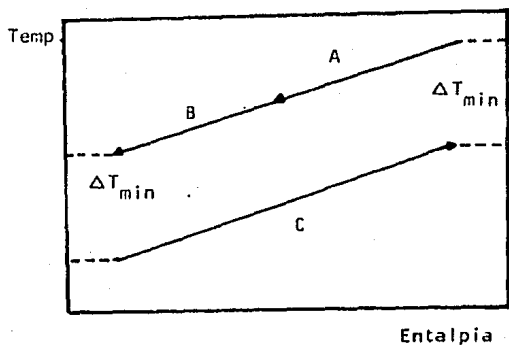


Figura (25) Sistema de corrientes el cual requiere intercambiadores de calor en serie.

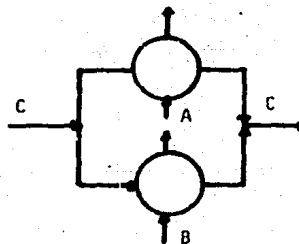
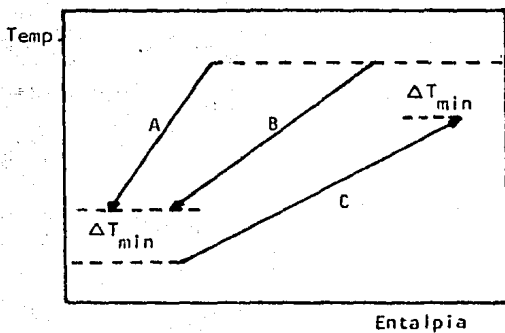


Figura (26) Sistema de corrientes el cual requiere intercambiadores de calor en paralelo.

calientes están por arriba de la corriente fría por ΔT_{\min} . La red posible para tal sistema involucra un número cercano al mínimo de intercambiadores arreglados en paralelo.

Todos los sistemas de corrientes posibles caen entre estos casos. Por lo que es siempre posible construir una red con un número cercano al mínimo de intercambiadores de calor.

Una forma matricial resulta útil para visualizar las redes con diferentes números de intercambiadores de calor. La representación no muestra las temperaturas de las corrientes pero es útil cuando se considera la relación entre el número de intercambiadores requeridos para una red y el número de corrientes en el sistema. La tabla (11) muestra tres posibles redes para un sistema de siete corrientes. En cada matriz, las columnas representan las corrientes calientes y los renglones representan las corrientes frías.

Los cuadros representan a los intercambiadores con el valor numérico referido a la carga de calor del intercambiador. La parte B de la tabla corresponde a una red con el número cercano al mínimo de intercambiadores ($\bar{E} = 4 + 3 - 1 = 6$).

Si se utilizan más unidades que el número cercano al mínimo (parte A de la tabla 11), un ciclo de carga de calor se pue-

corrientes calientes

| | A | B | C | D | Q (corrientes frias) |
|--------------------------|----|----|----|----|----------------------|
| E | 20 | 13 | | | 33 |
| Corrientes frias | | | | | |
| F | 10 | 27 | 63 | | 100 |
| G | | | 7 | 60 | 67 |
| Q (corrientes calientes) | 30 | 40 | 70 | 60 | 200 |

ciclo

A. Siete intercambiadores resultan en un ciclo de carga de calor

| | A | B | C | D | Q |
|---|----|----|----|----|-----|
| E | 30 | 3 | | | 33 |
| F | | 37 | 63 | | 100 |
| G | | | 7 | 60 | 67 |
| Q | 30 | 40 | 70 | 60 | 200 |

B. Seis es el número casi-mínimo de Intercambiadores.

| | A | B | C | D | Q |
|---|----|----|----|----|-----|
| E | 30 | | 3 | | 33 |
| F | | 40 | | 60 | 100 |
| G | | | 67 | | 67 |
| Q | 30 | 40 | 70 | 60 | 200 |

C. Cinco es el número mínimo de intercambiadores.

Tabla (11). Número de intercambiadores de calor en varias redes para un sistema de siete corrientes.

de presentar en la red. El significado del ciclo es que las cargas de calor del intercambiador en el ciclo pueden ser alteradas sin causar perturbaciones en el balance de calor global de la red.

Para construir una red con menos del número cercano al mínimo de intercambiadores, se requiere que algún subconjunto de corrientes calientes tenga carga de calor igual en magnitud a la carga de calor de algún subconjunto de corrientes frías. Esto corresponde a la parte C de la tabla, ya que $Q_B + Q_D + Q_F = 0$.

III.4.5.- Diseño de Redes de Intercambio de Calor.

El diagrama temperatura-entalpia involucra graficar las corrientes a ser incluidas en una red sobre una escala temperatura vs. entalpia. Como la escala entalpia es solo relativa, las corrientes pueden ser transferidas horizontalmente o segmentadas para visualizar varias combinaciones de intercambiadores de calor. El desplazamiento vertical de cada línea o segmento de línea representa su nivel de temperatura. La distancia vertical entre las corrientes calientes y frías corresponde a la diferencia de temperatura o fuerza impulsora para transferir calor.

Al utilizar el diagrama entalpia-temperatura se trata de construir intercambiadores con la fuerza impulsora más grande posible.

Las figuras (27) y (28) representan la construcción de dos redes utilizando el diagrama temperatura-entalpia. El sistema ilustrado corresponde al de la tabla (6).

Una vez seleccionada la configuración de la red, las temperaturas internas y las velocidades deben ser ajustadas para optimizar el área requerida de transferencia de calor.

La primera indicación en cuanto a que si la temperatura interna de una red dada se puede ajustar para producir un óptimo se realiza a partir de una comparación del número cercano al mínimo de intercambiadores para el sistema de corrientes y el número de intercambiadores presentes en la red. Solamente si están presentes más del número cercano al mínimo de intercambiadores se puede ajustar la temperatura interna sin perturbar el balance de calor del sistema de corrientes ó violar las restricciones del sistema. En tal caso, un ciclo de carga de calor se puede presentar. El servicio de los intercambiadores en el ciclo se puede ajustar para minimizar los requerimientos de área.

La tabla (12) es un ejemplo de un sistema de cuatro corrientes. Se propone una red para este sistema (figura (29)) y se desea una optimización de la temperatura interna de la red. La red de área total mínima se presenta cuando la temperatura t_1

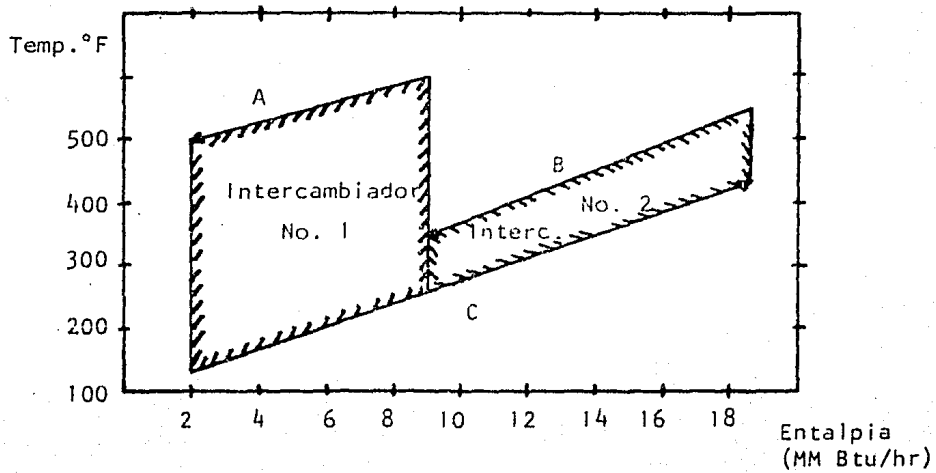


Figura (27) Síntesis del diagrama entalpia Alternativa A.

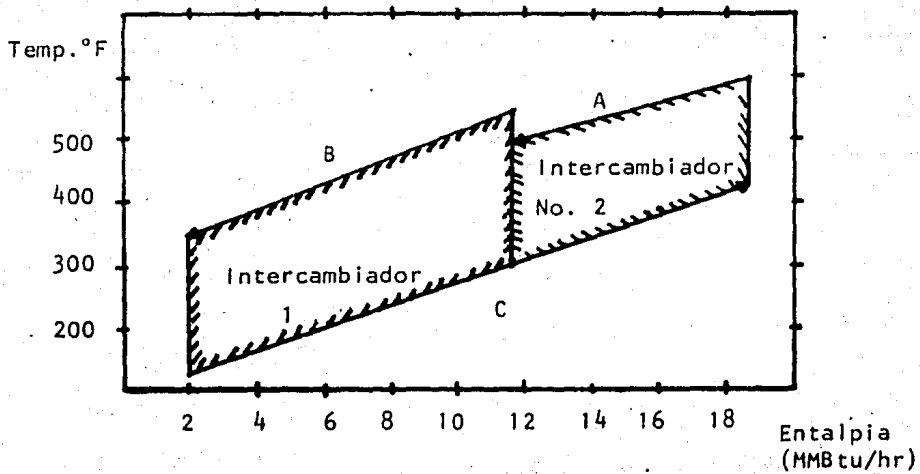


Figura (28) Síntesis del diagrama entalpia Alternativa B.

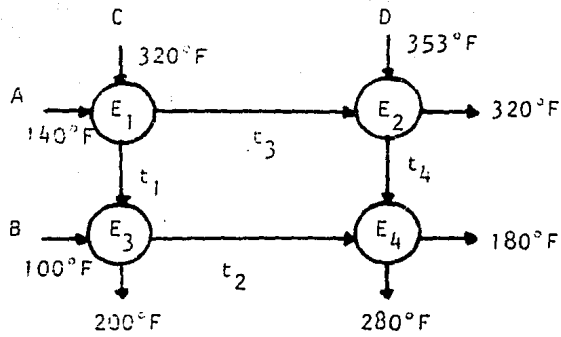


Figura (29) Red con un ciclo de carga de calor

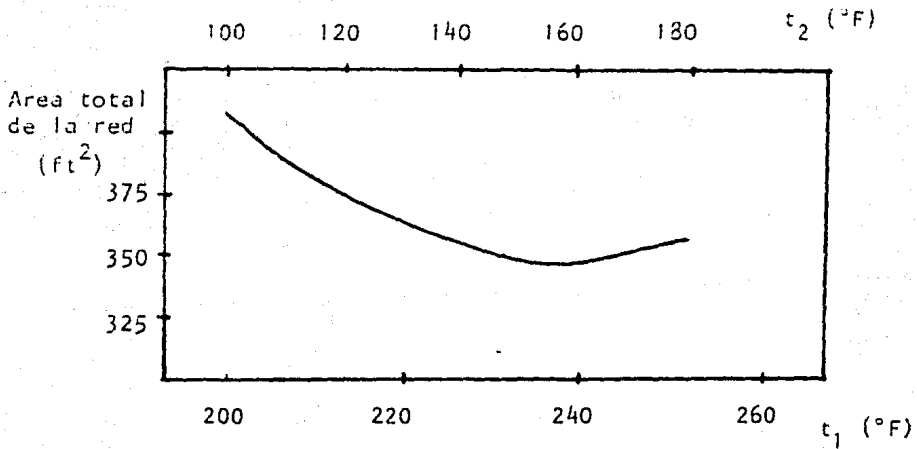


Figura (30) Efecto de la distribución de carga de calor sobre el área de la red.

es 235°F. La figura (30) muestra detalles del área total de la red. En el rango de temperatura de t_1 (222-252°F) el área total es del orden de $\pm 2.5\%$ con respecto al área mínima. Seleccionando $t_1 = 252^\circ\text{F}$ los intercambiadores 1, 2 y 3 llevan a cabo la carga de calor total de la red y el intercambiador 4 no es necesario.

| Corriente | Velocidad de flujo de capacidad calorífica (BTU/hr°F) | Temperaturas °F | | Carga de calor Q(MMBTU/hr) |
|-----------|---|-----------------|--------|----------------------------|
| | | Entrada | Salida | |
| A | 14450 | 140 | 320 | 2.6 |
| B | 10820 | 100 | 180 | 0.86 |
| C | 16722 | 320 | 200 | -2.0 |
| D | 20000 | 353 | 300 | -1.46 |

Tabla (12) Datos para el ejemplo con ciclo de carga de calor

III.4.6.- Ejemplo de Aplicación.

El sistema consta de cuatro corrientes de proceso, agua de enfriamiento y vapor (servicios). Los datos se presentan en la tabla (13).

Tabla (13)

Datos para el sistema de cuatro corrientes de proceso
(4SP1)

| Corrientes Proceso | Velocidad de flujo de capacidad calorífica (BTU/hr °F). | Temperatura °F | | Carga de Calor Q (MMBTU/hr) |
|-----------------------|---|----------------|----------|-----------------------------|
| | | Suministro | Objetivo | |
| 1 | 14450 | 140 | 320 | 2.6 |
| 2 | 16667 | 320 | 200 | -2.0 |
| 3 | 11530 | 240 | 500 | 3.0 |
| 4 | 20000 | 480 | 280 | -4.0 |

| Servicios Auxiliares | Descripción |
|---------------------------|--|
| Vapor | Saturado a 540°F, calor latente 656.6 BTU/lb |
| Agua de - Enfriamiento | Temperaturas: Suministro 100°F Meta 180°F |

$U_{\text{todas las combinaciones}} = 150 \text{ BTU/hr ft}^2\text{°F}$

$U_{\text{calentadores}} = 200 \text{ BTU/hr ft}^2\text{°F}$

La tabla de factibilidad para este sistema, tabla (14), muestra que son necesarios los servicios de agua de enfriamiento y vapor.

De acuerdo a la tabla de área mínima, tabla (15), se requiere una red de 15 intercambiadores para proporcionar el área total mínima de 663.6 ft^2 .

El diagrama entalpia-temperatura se presenta en la figura (31). La figura (32) muestra como fué construida la red sobre el diagrama, involucrando una posible red con cinco intercambiadores.

La red obtenida con el diagrama entalpia-temperatura requiere un área de 706 ft^2 , que es mayor que la mínima pero con el número casi mínimo de intercambiadores de calor.

La estructura final de la red se muestra en la figura (33).

| Rango No. | Corrientes Calientes | | | Corrientes frías | | | Carga de Calor (Caliente + - fría) |
|-----------|----------------------|--------|----------------------|----------------------|--------|----------------------|------------------------------------|
| | Rango de Temperatura | Nombre | Q | Rango de Temperatura | Nombre | Q | |
| 1 | 520 - 480 | | 0.0 | 460 - 500 | 3 | 4.612×10^5 | 4.612×10^5 |
| 2 | 480 - 340 | 4 | -2.8×10^6 | 320 - 460 | 3 | 1.6142×10^6 | -1.1858×10^6 |
| 3 | 340 - 320 | 4 | -4×10^5 | 300 - 320 | 1 | 2.89×10^5 | 1.196×10^5 |
| | | 2 | -6.066×10^5 | | 3 | 2.306×10^5 | |
| 4 | 320 - 280 | 4 | -8×10^5 | 260 - 300 | 3 | 4.612×10^5 | -4.2747×10^5 |
| | | | | | 1 | 2.89×10^5 | |
| 5 | 280 - 260 | 2 | -3.33×10^5 | 240 - 260 | 3 | 2.306×10^5 | 1.8627×10^5 |
| 6 | 260 - 200 | 2 | $-1. \times 10^6$ | 180 - 240 | 1 | 8.67×10^5 | -1.33×10^5 |
| 7 | 200 - 160 | | 0.0 | 140 - 180 | 1 | 5.78×10^5 | 5.78×10^5 |

Tabla (14) Tabla de Factibilidad para el Sistema 4SP1

| Rango No. | Corrientes Calientes | | | Corrientes frías | | | Cálculos de Intercambiador | | | | |
|-----------|----------------------|--------|-----------------------|------------------|--------|----------------------|----------------------------|------------|----------------|-----|-------------------------|
| | Rango Temp. | Nombre | Carga de Calor | Rango Temp. | Nombre | Carga de Calor | θ_1 | θ_2 | $\Delta\theta$ | U | Area (ft ²) |
| 1 | 540-540 | Vapor | -4.612×10^5 | 460-500 | 3 | 4.612×10^5 | 40 | 80 | 57.7 | 200 | 40 |
| 2 | 480-399.3 | 4 | -1.6142×10^6 | 320-460 | 3 | 1.6142×10^6 | 20 | 79.3 | 43.0 | 150 | 250 |
| | | | | | 1 | 8.8202×10^5 | | | | | |
| 3 | 399.3-320 | 4 | -1.5858×10^6 | 259-320 | 3 | 7.0378×10^5 | 79.3 | 61.0 | 69.8 | 150 | 151.5 |
| | | 2 | -2.2391×10^5 | | 1 | 2.7399×10^5 | | | | | |
| 4 | 320-306.6 | 4 | -2.6869×10^5 | 240-259 | 3 | 2.1862×10^5 | 61.0 | 66.6 | 63.8 | 150 | 51.5 |
| | | 2 | -3.941×10^5 | | | | | | | | |
| 5 | 306.6-282.9 | 4 | -4.729×10^5 | 180-240 | 1 | 8.6701×10^5 | 66.6 | 102.9 | 83.4 | 150 | 69.3 |
| | | 2 | -4.865×10^4 | | 1 | 6.1309×10^4 | | | | | |
| 6 | 282.9-280 | 4 | -5.8389×10^4 | 175.8-180 | Agua E | 4.5737×10^4 | 102.9 | 104.2 | 103.6 | 150 | 6.9 |
| | | | | | 1 | 5.1669×10^5 | | | | | |
| 7 | 280-225.9 | 2 | -9.021×10^5 | 140-175.8 | Agua E | 3.8546×10^5 | 104.2 | 85.9 | 94.8 | 150 | 63.5 |
| 8 | 225.9-200 | 2 | -4.3119×10^5 | 100-140 | Agua E | 4.3119×10^5 | 85.9 | 100.0 | 92.8 | 150 | 31.0 |

Tabla (15) Tabla de área mínima para el sistema 4SP1

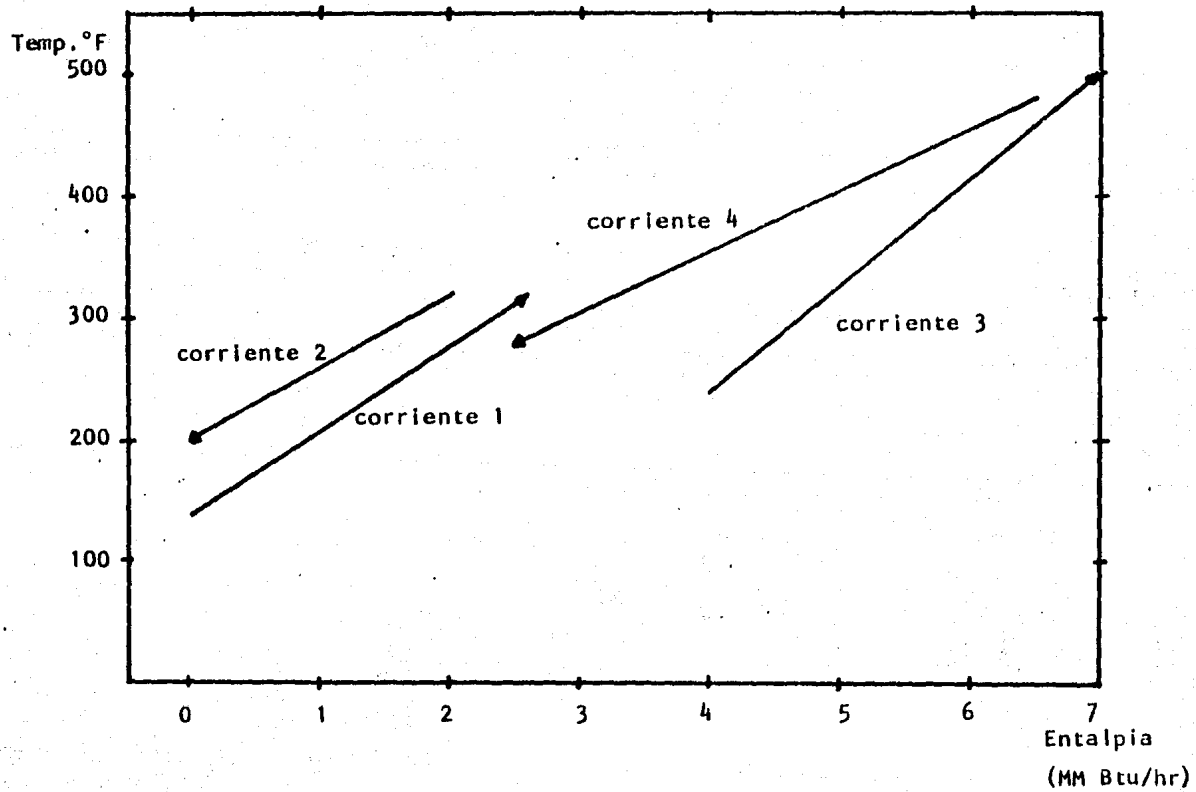


Figura (31) Diagrama Entalpia para el sistema de cuatro corrientes de proceso.

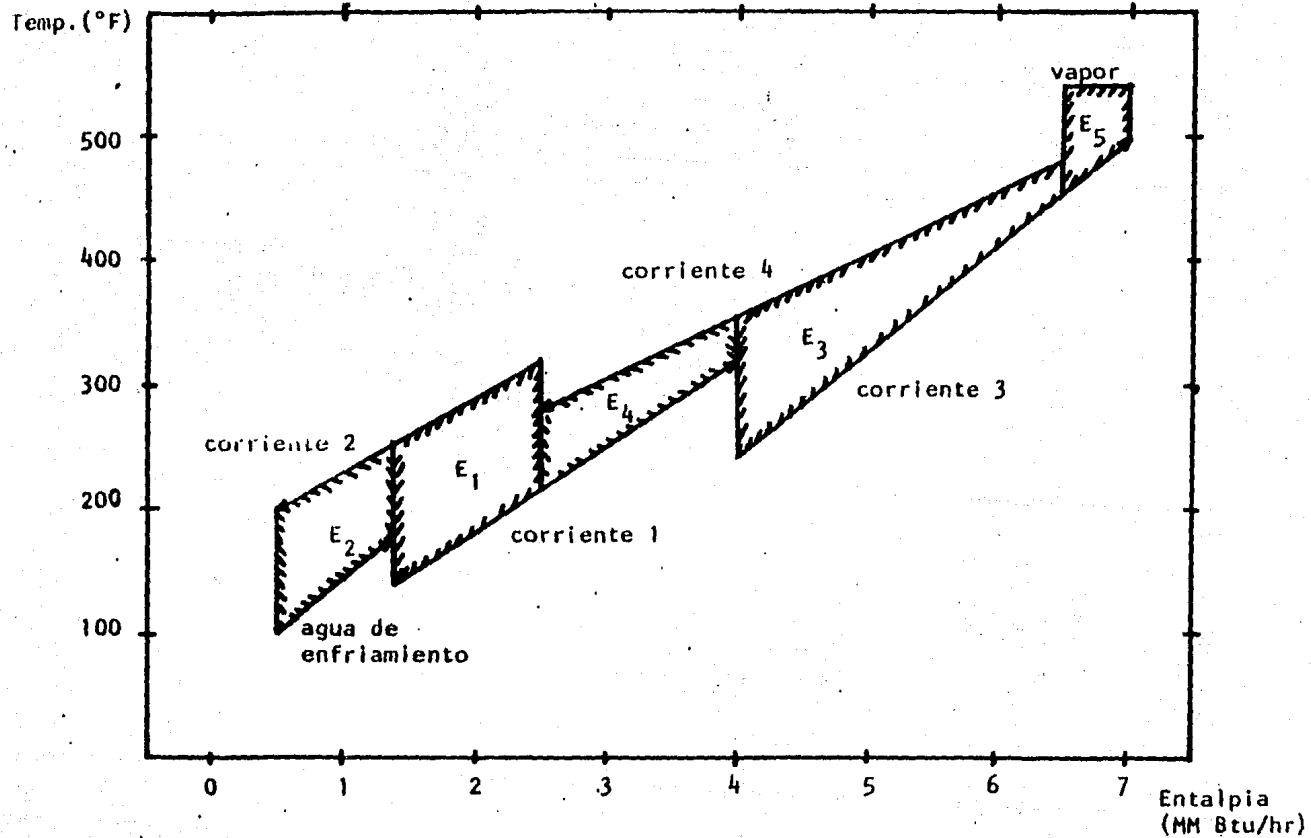


Figura (32) Red resultante utilizando el diagrama entalpia para el sistema de cuatro corrientes.

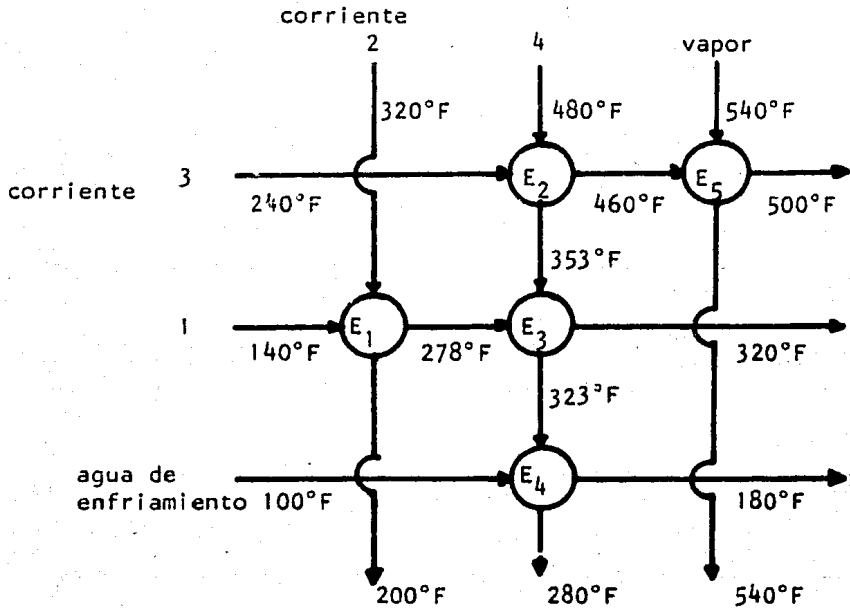


Figura (33) Estructura de la red resultante utilizando el diagrama entalpia.

IV.- RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- La red obtenida aplicando el algoritmo de área mínima, utilizando un caso de estudio formado de seis corrientes de proceso (tabla (1)) y dos corrientes de servicio disponibles (tabla (2)), consta de cuatro intercambiadores de calor y dos enfriadores, no requiriendo servicios de calentamiento (figura (1)).
- Para la aplicación del método del intervalo de temperatura (TI), se utilizó un sistema formado por cuatro corrientes de proceso, dos calientes y dos frías, y dos corrientes de servicio disponibles, vapor y agua de enfriamiento (tabla (3)). La estructura de la red obtenida está formada por seis intercambiadores de calor, dos enfriadores y un calentador (figura (16)).
- El método termodinámico/combinatorio (TC), se aplicó para un sistema formado por seis corrientes de proceso, tres calientes y tres frías (figura (18)), y se generó la estructura de seis redes (figura (22)) forma -

das por cuatro intercambiadores de calor y dos enfriadores.

- El sistema utilizado para la aplicación del método de Hohmann, está formado por cuatro corrientes de proceso y dos de servicio (tabla (13)). La estructura de la red obtenida, de área mínima, está formada por once intercambiadores, tres enfriadores y un calentador, con un área total mínima de 663.6 ft^2 .

Utilizando el diagrama temperatura-entalpía, la red resultante requiere de tres intercambiadores, un calentador y un enfriador, con un área total de 706 ft^2 , que es superior a la mínima, pero con un menor número de unidades de intercambio de calor.

Se implementó un programa de computadora que resuelve el problema de síntesis de Redes de Intercambio de Calor utilizando el método de Hohmann el cual da como resultado la estructura de la red con área mínima total (en función del mínimo acercamiento de temperatura).

Los casos de estudio probados son los siguientes:

Problema 4SP2.

Formado por cuatro corrientes de proceso, dos calientes y dos frías, y dos corrientes de Servicio, (vapor y agua).

El resumen de resultados se presentan en la tabla (16) y gráficamente en la figura (34), notándose que a medida que disminuye el mínimo acercamiento de temperatura los requerimientos de servicios (calentamiento y enfriamiento) disminuyen, pero el área total aumenta.

La evaluación de costos se presenta en la tabla (17) y en forma gráfica en la figura (35). De esta gráfica, al aumentar el mínimo acercamiento de temperatura el costo de inversión con respecto al equipo disminuye, pero aumenta en mayor proporción el costo de servicios.

Problema 6SP1.

Formado por seis corrientes de Proceso, tres calientes y tres frías, y una corriente de servicios (agua).

La tabla (18) muestra los resultados para este problema, y se puede notar que no hay variación de los requerimientos de servicios ni del área mínima total con el mínimo acercamiento de temperatura, en un rango de 10 a 40°F.

| Mfimo acercamiento de temperatura (°F) | Servicios de Calentamiento (BTU/hr) | Servicios de Enfriamiento (BTU/hr) | Número de Intercambiadores | Número de Enfriadores | Número de calentadores | Area Total (ft ²) |
|--|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 10 | 3.459×10^5 | 7.471×10^5 | 10 | 2 | 1 | 782.9 |
| 15 | 4.035×10^5 | 8.0475×10^5 | 11 | 3 | 1 | 712.5 |
| 20 | 4.612×10^5 | 8.624×10^5 | 11 | 3 | 1 | 663.6 |
| 25 | 5.188×10^5 | 9.200×10^5 | 11 | 3 | 1 | 626.5 |
| 30 | 5.765×10^5 | 9.777×10^5 | 11 | 3 | 1 | 596.8 |
| 35 | 6.3415×10^5 | 1.0353×10^6 | 11 | 3 | 1 | 572.3 |
| 40 | 6.918×10^5 | 1.093×10^6 | 11 | 3 | 1 | 551.6 |

Tabla (16) Resumen de Resultados para el Problema 4SP2

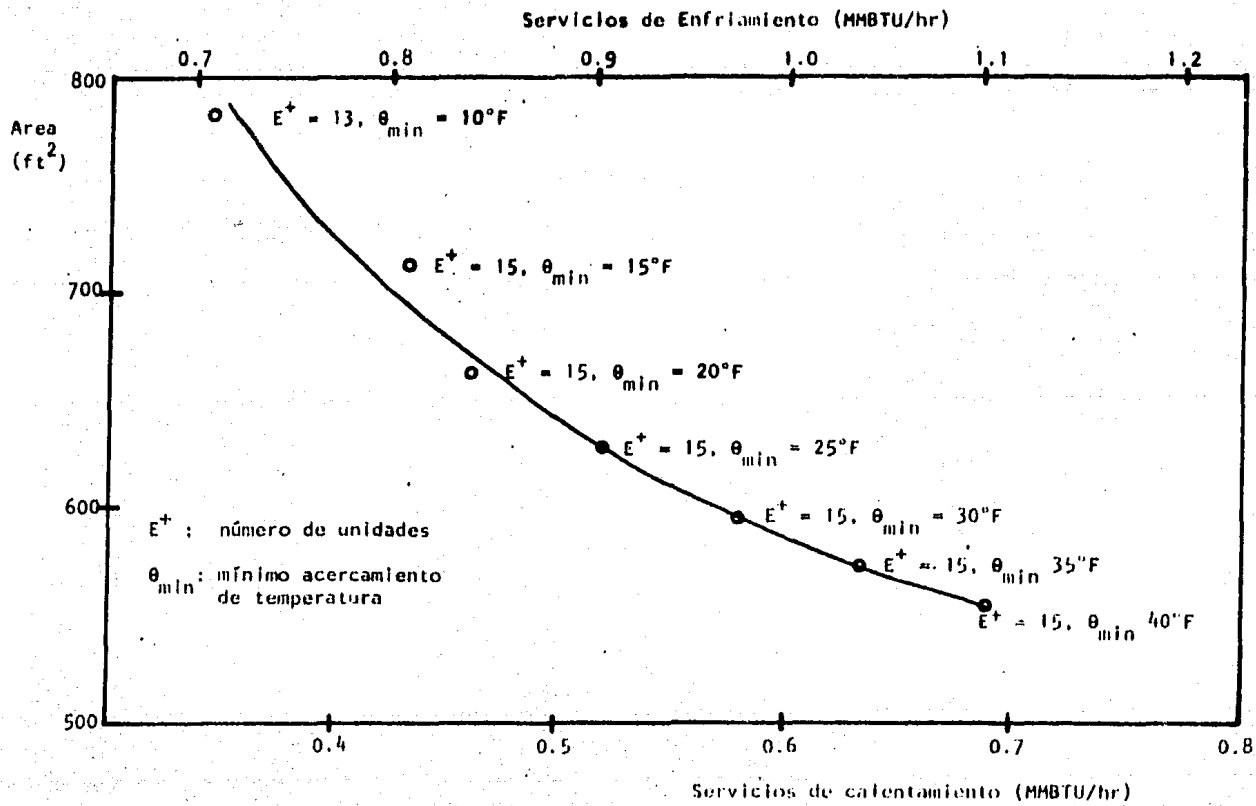


Figura (34) Solución para el Problema 4SP2

| Mínimo acerca - miento de tempe ratura (°F) | Servicios de enfría - miento (\$/año) | Servicios de Calen - tamiento (\$/año) | Inversión de Equi - po (\$/año) | Costo Total (\$/año) |
|---|--|---|----------------------------------|-----------------------|
| 10 | 3912.915 | 4414.584 | 1906.74 | 10234.24 |
| 15 | 4214.889 | 5150.348 | 1801.934 | 11167.171 |
| 20 | 4516.82 | 5886.112 | 1726.68 | 12129.612 |
| 25 | 4818.751 | 6621.876 | 1668.095 | 13108.722 |
| 30 | 5120.683 | 7357.64 | 1620.188 | 14098.510 |
| 35 | 5422.656 | 8093.404 | 1579.946 | 15096.006 |
| 40 | 5724.588 | 8829.169 | 1545.406 | 16099.162 |

Tabla (17) Evaluación de Costos para el Problema 4SP2.

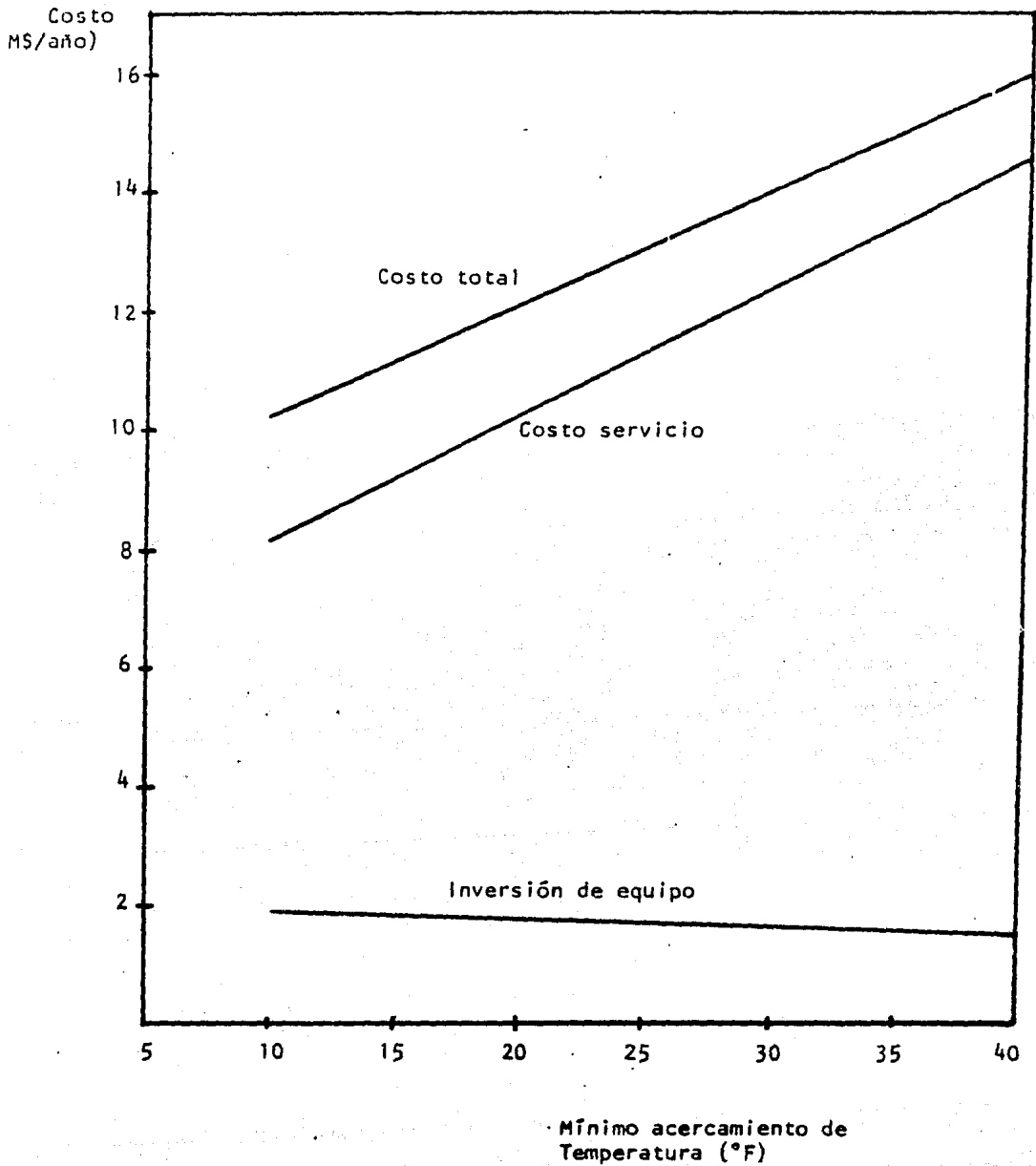


Figura (35). Efecto del mínimo acercamiento de temperatura sobre los costos. Problema 4SP2.

| Mínimo acercamiento de temperatura (°F) | Servicios de Calentamiento (BTU/hr) | Servicios de Enfriamiento (BTU/hr) | Número de Intercambiadores | Número de Enfriadores | Número de Calentadores | Area Total (ft ²) |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 10 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 15 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 20 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 25 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 30 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 35 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |
| 40 | -- | 5.3008x10 ⁶ | 23 | 2 | -- | 2042.5 |

Tabla (18) Resumen de Resultados para el Problema 6SPI.

COSTO

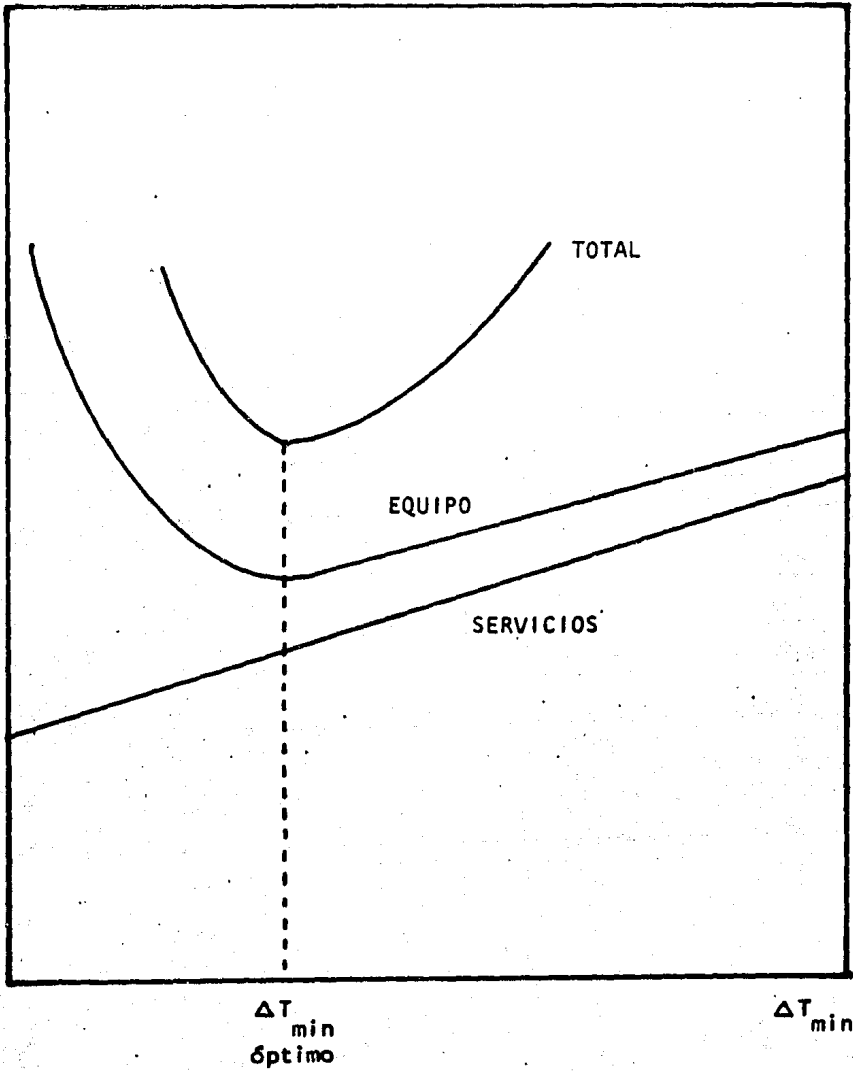


Figura (36). Costo de la red en función de ΔT_{min} .

V.- CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas en el desarrollo de este trabajo son:

- El algoritmo de área mínima genera una red de mínimo costo de inversión (intercambiadores, calentadores y/o enfriadores), en la cual se lleva a cabo el máximo intercambio de calor entre las corrientes de proceso, tomando en cuenta el contenido de energía de las corrientes calientes y frías, así como el mínimo acercamiento de temperatura establecido en la red.

La estructura de la red es óptima desde un punto de vista de recuperación de calor, siendo la cantidad de servicios los mínimos necesarios.

- El método de intervalo de temperatura (TI) desarrolla la estructura de una red que es óptima desde un punto de vista de recuperación de calor, pero no con respecto al costo de inversión (intercambiadores, calentadores y/o enfriadores).

Inicialmente el problema es descompuesto en subredes en las cuales hay requerimientos de calentamiento y enfriamiento de las corrientes frías y calientes de proceso. La combinación de es

tas se realiza utilizando reglas heurísticas con las cuales se logra una máxima recuperación de calor.

- El método termodinámico/combinatorio (TC) permite enumerar todas las soluciones posibles para un problema dado, sujeto a las restricciones de máxima recuperación de energía, mínimo número de unidades de intercambio de calor y sin división de corrientes.

El método está basado en principios combinatorios y utiliza argumentos termodinámicos y evolutivos para reducir el tamaño del problema combinatorio y eliminar las soluciones no factibles.

- El método de Hohmann desarrolla la estructura de una red con área total mínima en la cual se lleva a cabo una máxima recuperación de calor entre las corrientes de proceso, así como la posición de calentadores y/o enfriadores, y la cantidad de servicios a utilizar para lograr la temperatura objetivo de las corrientes de proceso.

Utilizando el diagrama temperatura-entalpía y tomando en cuenta el mínimo acercamiento de temperatura, se determinó, independientemente del punto anterior, la estructura de la red con el mínimo número de unidades de intercambio de calor.

- De los casos de estudio probados con el programa de cómputo implementado (método de Hohmann), el mínimo costo total para el problema 4SP2, incluyendo inversión de equipo y servicios corresponde a un mínimo acercamiento de temperatura de 10°F (en el rango de 10 a 40°F).

Para el problema 6SP1, no hay variación de los requerimientos de servicio ni de área con el mínimo acercamiento de temperatura en un rango de 10 a 40°F. Esto se debe a que la diferencia más pequeña entre las temperaturas de suministro de las corrientes calientes y las temperaturas objetivo de las corrientes frías es 40°F. Si se trabajara con un mínimo acercamiento de temperatura mayor a 40°F, habría variación del área y servicios de enfriamiento, y serían necesarios los servicios de calentamiento.

- La magnitud del mínimo acercamiento de temperatura para el diseño de redes de intercambio de calor es una consideración económica basada en los costos relativos de equipo y servicios.

La figura (36) muestra cualitativamente la variación de los costos anuales de servicios y equipo con el mínimo acercamiento de temperatura. Cuando el ΔT_{\min} es igual a cero, el costo de la red de intercambio de calor es infinito ya que el área requeri

da es infinita. En este punto los costos de servicios son mínimos.

Cuando el ΔT_{\min} se incrementa los costos del equipo disminuyen y los de servicios se incrementan.

De la figura (36) el costo total de la red (costo de servicios e inversión anual de equipo) tiene un punto mínimo el cual corresponde a un valor particular de ΔT_{\min} , por lo que las redes de intercambio de calor deben ser diseñadas utilizando un ΔT_{\min} dentro de la región óptima.

- Los métodos descritos en este trabajo son factibles - de llevarse a cabo a través de un programa de cómputo. Filadelfo de Mateo (4) desarrolló un programa de cómputo para la resolución de redes de intercambio de calor utilizando el método del intervalo de temperatura (TI).

Linnhoff (14) desarrolló un programa de cómputo utilizando el método termodinámico/combinatorio (TC).

Hohmann (10) realizó un programa de cómputo que resuelve el diseño de redes de intercambio de calor con área total mínima, en la cual se lleva a cabo una máxima recuperación de calor entre las corrientes de proceso.

- De los métodos revisados para la síntesis de redes de intercambio de calor, ninguno cumple con el último objetivo planteado (obtener la secuencia de pasos necesarios para la síntesis de redes de intercambio de calor con máxima recuperación de energía, mínimo número de unidades y mínimo costo). Se cuenta con las siguientes opciones en las cuales se lleva a cabo una máxima recuperación de calor:

- a) Utilizar el Método Termodinámico/Combinatorio, en el cual el número de unidades es el mínimo.
- b) Aplicar el algoritmo de Intervalo de Temperatura, pero el número de unidades no es el mínimo.
- c) Utilizar el algoritmo de Área Mínima, en el cual el costo de inversión es mínimo, pero el número de unidades no siempre es el mínimo.
- d) Aplicar el Método de Hohmann en el cual el área total es mínima, pero requiere mayor número de Unidades de Intercambio de Calor.

Recomendaciones para trabajos futuros.

1. Los métodos de Resolución de Síntesis de Redes de Intercambio de Calor tratados en este trabajo consideran que la capacidad calorífica de las corrientes son independientes de la temperatura, y dependiendo de los fluidos esta consideración puede traer como resultado desviaciones importantes con respecto a la estructura de la red.

Por lo que para trabajos futuros se recomienda trabajar con las capacidades caloríficas de los fluidos en función de la temperatura y de las condiciones de las corrientes, y de esta manera realizar un análisis en función de la estructura obtenida de la red para justificar o no esta consideración.

2. Como este trabajo no pretendió hacer un análisis comparativo de los métodos de resolución de Síntesis de Redes de Intercambio de Calor, se propone probar uno o más casos de estudio con los diferentes métodos y realizar un análisis económico con respecto al costo de inversión de equipo y servicios auxiliares para elegir el método o métodos más adecuado(s).

VI.- BIBLIOGRAFIA

- 1) CENA V., MUSTACCHI C., NATALI F.
"Synthesis of Heat Exchanger Networks:
A Non - Iterative Approach"
Chem. Eng. Science, Vol. 32,
pp. 1227-1231, 1977.
- 2) CERDA J., WESTERBERG A.W., MASON D.,
LINNHOFF B.
"Minimun Utility Usage in Heat Exchanger
Network Synthesis"
Chem. Eng. Science, Vol. 38, No. 3,
pp. 373-387, 1983.
- 3) ELSHOUT R.V., HOMMANN E.C.
"The Heat Exchanger Network Simulator"
Chem. Eng. Progress,
pp. 72-77, March 1979
- 4) FILADELFO DE MATEO
"Computer aided Synthesis of Heat
Exchanger Networks"
M.S., Thesis, University
of Houston Texas, 1979.
- 5) FLOWER J.R., LINNHOFF B.
"Thermodynamic Analysis in the Design
of Process Networks"
Computers and Chem. Eng., Vol. 3
pp. 283-291, 1979
- 6) GIRAL J., BARNES F., RAMIREZ A.
"Ingeniería de Procesos, Manual para
el Diseño de Procesos Químicos apro-
piados para países en Desarrollo"
U.N.A.M., 1977
- 7) GRIMES L.E., RYCHENER M.D.,
WESTERBERG A.W.
"The Synthesis and Evolution of Networks
of Heat Exchanger that Feature the
Minimum Number of Units"
Chem. Eng. Commun, Vol. 14,
pp. 339-360, 1982

- 8) HENDRY J.E., RUDD D.F., SEADER J.D.
"Synthesis in the Design of Chemical Processes"
AIChE JOURNAL, Vol. 19, No. 1
pp. 1-15, January 1973.

- 9) HLAVACEK, V.
"Synthesis in the Design of Chemical Processes"
Computers and Chem. Eng., Vol. 2,
pp. 67-75, 1978.

- 10) HOHMANN E.C.
"Optimum Networks for Heat Exchange"
Ph. D. Thesis, University of
Southern California, 1971.

- 11) ICHIKAWA A., FAN L.T.
"Optimal Synthesis of Process Systems -
Necessary Condition for Optimal System
and its use in Synthesis of Systems"
Chem. Eng. Science, Vol. 28,
pp. 357-373, 1973.

- 12) KLEINSCHRODT F., BRAESWOOD N.,
HAMMER G.A.
"Heat Transfer: Exchanger Networks for
Crude Units"
Chem. Eng. Progress,
pp. 33-38, July, 1983

- 13) KOBAYASHI S., UMEDA T., ICHIKAWA A.
"Synthesis of Optimal Heat Exchange
Systems - An Approach by the Optimal
Assignment Problem in Linear Programming"
Chem. Eng. Science, Vol. 26,
pp. 1367-1380, 1971

- 14) LINNHOFF B.
"Thermodynamic Analysis in the Design of Process Networks"
Ph. D., Thesis, University of Leeds, 1979

- 15) LINNHOFF B., FLOWER J.R.
"Synthesis of Heat Exchanger Networks II. Evolutionary Generation of Networks with Various Criteria of Optimality"
AIChE J., Vol. 24, No. 4,
pp. 642-654, 1978a.

- 16) LINNHOFF B., FLOWER J.R.
"Synthesis of Heat Exchanger Networks I. Systematic Generation of Energy Optimal Networks"
AIChE J., Vol. 24 No. 4,
pp. 633-642, 1978b.

- 17) LINNHOFF B., HINDMARSH E.
"The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks".
Chem. Eng. Science, Vol. 38
pp. 745-763, 1983

- 18) LINNHOFF B., MASON D.R., WARKLE I
"Understanding Heat Exchanger Networks"
Computers and Chem. Eng., Vol. 3
pp. 295-302, 1979

- 19) MOTARD R.L.
"Process Synthesis"
Computers & Chemical Eng., Vol. 3
pp. 13-15, 1979.

- 20) NISHIDA N., KOBAYASHI S., ICHIKAWA A.
"Optimal Synthesis of Heat Exchange Systems. Necessary conditions for Minimum Heat Transfer Area and their Application to Systems Synthesis"
Chem. Eng. Science, Vol. 26,
pp. 1841-1856, 1971
- 21) NISHIDA N., LIU Y.A., ICHIKAWA A.
"Studies in Chemical Process Design and Synthesis II. Optimal Synthesis of Dynamic Process Systems with Uncertainty"
AIChE J. Vol. 22, No. 3,
pp. 539-550, May 1976.
- 22) NISHIDA N., LIU Y.A., LAPIDUS L.
"Studies in Chemical Process Design and Synthesis III. A Simple and Practical Approach to the Optimal Synthesis of Heat Exchanger Networks"
AIChE J., Vol. 23, No. 1,
pp. 77-93, January, 1977.
- 23) NISHIDA N., STEPHANOPOULOS G.
WESTERBERG A.W.
"A Review of Process Synthesis"
AIChE J., Vol. 27, No. 3,
pp. 321-351, May 1981.
- 24) PARKINSON A.R., LIEBMAN J.S.
PEDERSEN C.O., TEMPLEMAN A.B.
"The Optimal Design of Resilient Heat Exchanger Networks"
AIChE Symposium Series, 1982.
- 25) PHO T.X., LAPIDUS L.
"Topics in Computer-Aided Design: Part II Synthesis of Optimal Heat Exchanger Networks by tree Search Algorithms"
AIChE J., Vol. 19, No. 6,
pp. 1182-1189, November, 1973

- 26) PONTON J.W., DONALDSON R.A.B.
"A Fast Method for the Synthesis of
Optimal Heat Exchanger Networks"
Chem. Eng. Science, Vol. 29,
pp. 2373-2377, 1974.
- 27) RAGHAVAN S.
"Heat Exchanger Network Synthesis"
Ph. D. Thesis
Purdue University, 1977.
- 28) RATHORE RAM N.S.
"Process Resequencing for Energy
conservation"
Chem Eng. Progress,
pp. 75-82, December, 1982.
- 29) RATHORE RAM N.S., POWERS G.J.
"A Forward Branching Scheme for the
Synthesis of Energy Recovery Systems"
Ind. Eng. Chem. Process
Des. Dev. Vol. 14, No. 2,
pp. 175-181, 1975
- 30) RUDD D.F., POWERS G.J., SIROLA J.J.
"Process Synthesis"
Prentice Hall, New York, 1973
- 31) SHAH J.V., WESTERBERG A.W.
"Process Synthesis Using Structural
Parameters: A Problem with Inequality
Constraints"
AIChE J., Vol. 23, No. 3,
pp. 378-380, May, 1977

- 32) UMEDA T., HARADA T. SHIROKO K.
"A Thermodynamic Approach to the
Synthesis of Heat Integration Systems
in Chemical Processes"
Computers and Chem. Eng., Vol. 3
pp. 273-282, 1979.
- 33) UMEDA T., ITOH J. SHIROKI K.
"Heat Exchanger Systems Synthesis"
Chem. Eng. Progress,
pp. 70-76, July, 1978.

APENDICES

A.- DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE COMPUTO.

B.- LISTADO DE RESULTADOS.

B.1.- Problema 4SP2.

B.2.- Problema 6SP1.

APENDICE A
PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal está formado de tres subrutinas para el diseño de redes de intercambio de calor con área total mínima:

- SUBROUTINA PSDATA.

Lectura de datos de las corrientes y balance global de energía con la subrutina BALNCE.

Los datos necesarios en formato libre son los siguientes:

1. Nombre del problema
2. Opciones. Tres números diferentes de cero para llamar a las diferentes subrutinas (LET(1), LET(2), LET(3)).- Mínimos acercamientos de temperatura (°F) (hasta siete valores).
3. Número de corrientes calientes (NSORC)
4. Lectura de datos de las corrientes calientes, desde $l=1$, NSORC.

Nombre

Gasto (lb/hr)

Temperatura inicial (°F)

Temperatura final ($^{\circ}\text{F}$)

Capacidad calorífica ($\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$)

Coefficientes de transferencia de calor para intercambiadores y enfriadores ($\text{BTU}/\text{hr}, \text{ft}^2, ^{\circ}\text{F}$)

5. Número de corrientes frías (NSIN)

6. Lectura de datos de las corrientes frías, desde $l=1$, -
NSIN.

Nombre

Gasto (lb/hr)

Temperatura inicial ($^{\circ}\text{F}$)

Temperatura final ($^{\circ}\text{F}$)

Capacidad calorífica ($\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$)

7. Servicios de Calentamiento

Nombre

Temperatura inicial ($^{\circ}\text{F}$)

Temperatura salida ($^{\circ}\text{F}$)

Capacidad calorífica ($\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$)

Coefficiente de transferencia de calor para calentadores ($\text{BTU}/\text{hr}^{\circ}\text{F ft}^2$)

8. Servicios de Enfriamiento

Nombre

Temperatura inicial ($^{\circ}\text{F}$)

Temperatura salida ($^{\circ}\text{F}$)

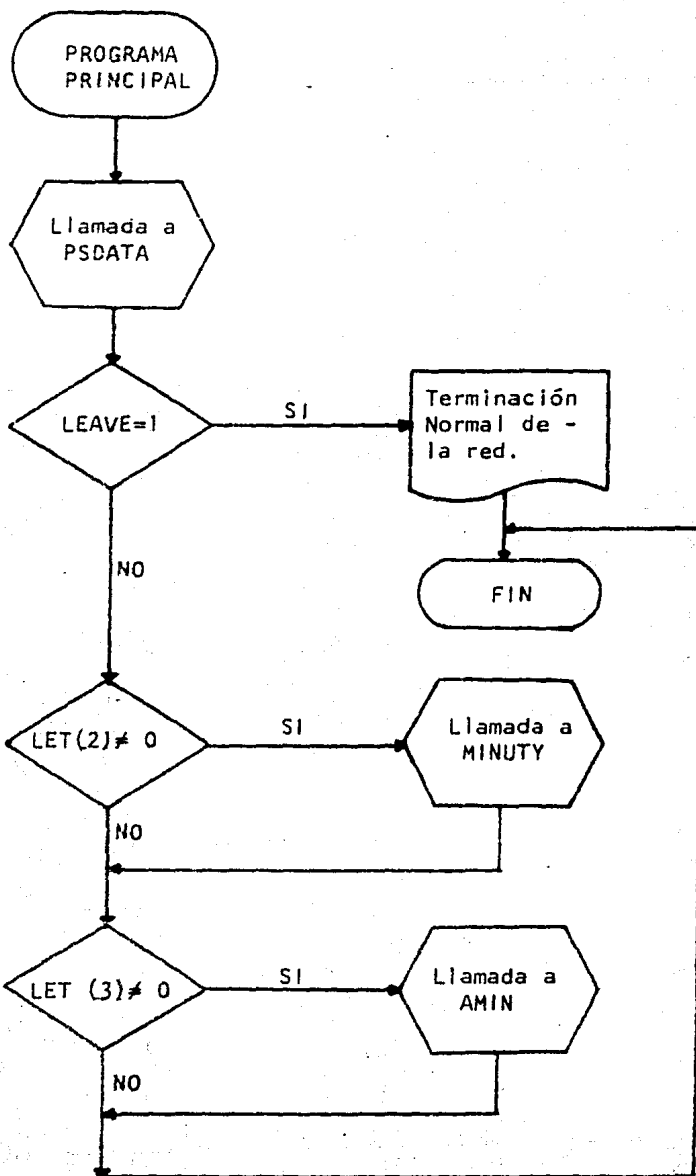
Capacidad calorífica ($\text{BTU}/\text{lb}^{\circ}\text{F}$)

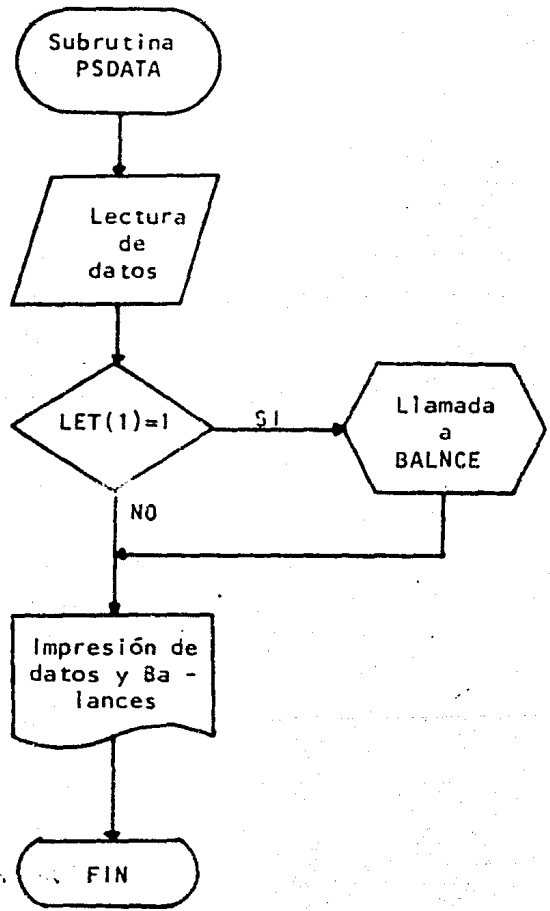
- SUBROUTINA MINUTY.

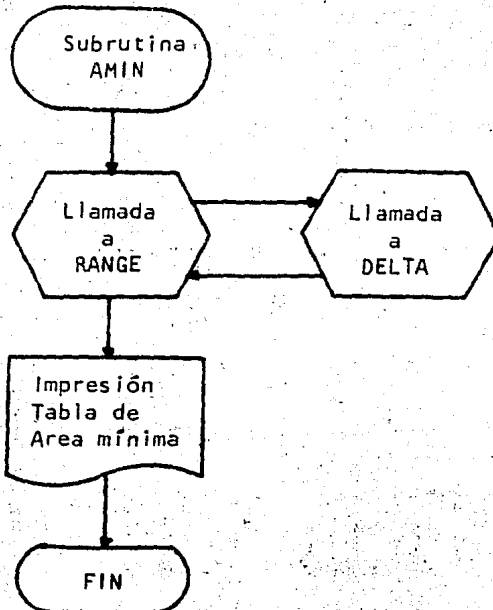
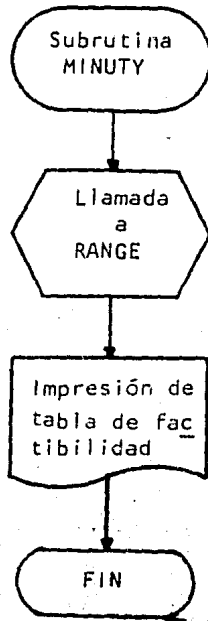
Esta subrutina calcula la tabla de factibilidad para un sistema de corrientes, \bar{I} como los requerimientos de servicios auxiliares. Esta subrutina utiliza la subrutina RANGE la cual determina los rangos de temperatura de las corrientes frías y calientes.

- SUBROUTINA AMIN.

Esta subrutina calcula la red de área mínima de acuerdo al mínimo acercamiento de temperatura. Utiliza la subrutina RANGE y la función DELTA la cual calcula la diferencia de temperatura media logarítmica.







APENDICE B

LISTADOS DE RESULTADOS

B.1.- Problema 4SP2

*****CALCULOS DE LA RED DE INTERCAMBIO DE CALOR *****
 INFORME DEL PROBLEMA PROBLEMA DE LEE(1969)-GIMORAN(1984); 45

| FUENTE | | | | | | |
|--------------------------|----------|-----------|---------|--------|---------------------|---------------|
| VELOC. CORRIENTE (LB/HR) | T IN (F) | T OUT (F) | DELTA T | CP | CARGA CAL. (BTU/HR) | |
| 1 PROC 2 | 27778.0 | 320.0 | 200.0 | -120.0 | 0.60 | -2.411016E+06 |
| 2 PROC 4 | 25000.0 | 480.0 | 280.0 | -200.0 | 0.50 | -4.900000E+06 |
| TOTAL | | | | | | -6.511016E+06 |

| RECEPTOR | | | | | | |
|----------------------------------|----------|-----------|---------|-------|---------------------|---------------|
| VELOC. CORRIENTE (LB/HR) | T IN (F) | T OUT (F) | DELTA T | CP | CARGA CAL. (BTU/HR) | |
| 1 PROC 1 | 20143.0 | 140.0 | 320.0 | 180.0 | 0.75 | 2.601018E+06 |
| 2 PROC 3 | 23160.0 | 240.0 | 500.0 | 260.0 | 0.50 | 2.997800E+06 |
| TOTAL | | | | | | 5.598818E+06 |
| CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEPTOR) | | | | | | -4.011980E+05 |

| CORRIENTES DE SERVICIOS AUXILIARES | | | | | |
|------------------------------------|----------|-----------|---------|--------|--|
| NOMBRE | T IN (F) | T OUT (F) | DELTA T | CP | |
| VAPOR | 540.0 | 540.0 | 0.0 | 656.60 | |
| AGUA LN | 100.0 | 140.0 | 80.0 | 1.00 | |

CORRIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR
 FUENTE 1 2 3
 CORRIENTES RECEPTORAS

| | | | |
|---|------|------|------|
| 1 | 150. | 150. | 150. |
| 2 | 150. | 150. | 150. |
| 3 | 230. | 200. | 200. |

TABLA DE FACILIDADES Y CARGAS DE CALOR EN LOS PROCESOS DE SECADO DE LECHE (1967)-GMDRAN(1984); 45
 LA TEMPERATURA NIEBLA DE LOS PROCESOS ES 1.1 °C

| RANGO # | TEMP. COMBUSTION | TEMP. NIEBLA | TEMP. SECADO | TEMP. CONDENSACION | TEMP. RECUPERACION | RECUPERACION CALOR | CARGA CALOR (FUENTE+RECEP) | |
|---------|------------------|--------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|------------|
| 1 | 510.0 | 490.0 | | | | PRCC 3 | 3.4590E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 3.4590E+05 |
| 2 | 470.0 | 330.0 | | | | PRCC 4 | 1.7295E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 1.7295E+05 |
| 3 | 350.0 | 520.0 | | | | PRCC 4 PRCC 5 | 1.6600E+05 1.1590E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 2.8190E+05 |
| 4 | 320.0 | 290.0 | | | | PRCC 1 PRCC 4 PRCC 3 | 5.7800E+05 4.6120E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 1.0392E+06 |
| 5 | 280.0 | 250.0 | | | | PRCC 1 PRCC 3 | 4.7500E+05 3.4590E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 8.2090E+05 |
| 6 | 250.0 | 200.0 | | | | PRCC 1 | 7.2250E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 7.2250E+05 |
| 7 | 200.0 | 190.0 | | | | PRCC 1 | 7.2250E+05 | |
| | TOTALES | | | | | | | 7.2250E+05 |

EL CALENTAMIENTO DEL AGUA PARA EL SECADO DE LA LECHE ES DE 7.2250E+05 10/82
 EL ENFRIAMIENTO DEL AGUA PARA EL SECADO DE LA LECHE ES DE 7.2250E+05 11/82

ESTOS RESULTADOS SON PARA UN SECADO DE LECHE EN UN SECADOR DE TIPO GMDRAN (1984)
 USANDO 526.7 10/82
 USANDO 333.7 11/82

TABLA DE FACTORES DE CORRECCION PARA EL CALCULO DE LA CARGA DE CALOR (1969)-GM (RANGOS 1974): 45
 LA TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION ES DE 100.5 °F.

| RANGO # | RANGO TEMPERATURA | COMPONENTES DE PROCESOS | COMPONENTES DE PROCESOS | COMPONENTES DE PROCESOS | COMPONENTES DE PROCESOS | CARGA DE CALOR (FUENTE/RECEP) |
|---------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | 515.0 485.0 | | | | PROC 2 | 4.0355E+05 |
| | TOTALES | | | | | 4.0355E+05 |
| 2 | 480.0 335.0 | PROC 4 | | | PROC 3 | 1.6717E+06 |
| | TOTALES | | | | | 1.6717E+06 |
| 3 | 335.0 320.0 | PROC 4 | | | PROC 1 PROC 3 | 2.1575E+05 1.7295E+05 |
| | TOTALES | | | | | 3.8870E+05 |
| 4 | 320.0 280.0 | PROC 2 PROC 4 | | | PROC 1 PROC 3 | 5.7501E+05 4.2121E+05 |
| | TOTALES | | | | | 9.9622E+05 |
| 5 | 280.0 255.0 | PROC 2 | | | PROC 1 PROC 3 | 4.4128E+05 2.4025E+05 |
| | TOTALES | | | | | 6.8153E+05 |
| 6 | 255.0 200.0 | PROC 2 | | | PROC 1 | 7.0475E+05 |
| | TOTALES | | | | | 7.0475E+05 |
| 7 | 200.0 155.0 | | | | PROC 1 | 6.5025E+05 |
| | TOTALES | | | | | 6.5025E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 4.0355E+05 BTU/HR
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 8.0475E+05 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER REDUCIDOS CON EL USO DE UN SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR.
 USANDO 514.6 BTU/HR DE GASES DE ESCAPE EN EL CAMBIO DE ENTALPIA DE 4.0355E+05 BTU/HR.
 USANDO 11059.4 BTU/HR DE GASES DE ESCAPE EN EL CAMBIO DE ENTALPIA DE 8.0475E+05 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GMDRAN(1984); 4S
 LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 20.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | CORRIENTES FUENTE NOMBRE CARGA CALOR | CORRIENTES RECEPTORAS RANGO TEMP. NOMBRE CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) |
|---------|-------------|--|---|----------------------------------|
| 1 | 520.0 480.0 | | 460.0 500.0 PROC 3 | 4.6120E+05 |
| | TOTALES | 0.0 | | 4.6120E+05 4.6120E+05 |
| 2 | 480.0 340.0 | PROC 4 -2.8000E+06 | 320.0 460.0 PROC 3 | 1.6142E+06 |
| | TOTALES | -2.8000E+06 | | 1.6142E+06 -1.1858E+06 |
| 3 | 340.0 320.0 | PROC 4 -4.0000E+05 | 300.0 320.0 PROC 1 PROC 3 | 2.8900E+05 2.3060E+05 |
| | TOTALES | -4.0000E+05 | | 5.1960E+05 1.1960E+05 |
| 4 | 320.0 280.0 | PROC 2 -6.6667E+05 PROC 4 -3.0000E+05 | 260.0 300.0 PROC 1 PROC 3 | 5.7800E+05 4.6120E+05 |
| | TOTALES | -1.4667E+06 | | 1.0392E+06 -4.2747E+05 |
| 5 | 280.0 260.0 | PROC 2 -3.3334E+05 | 240.0 260.0 PROC 1 PROC 3 | 2.8900E+05 2.3060E+05 |
| | TOTALES | -3.3334E+05 | | 5.1960E+05 1.8627E+05 |
| 6 | 260.0 200.0 | PROC 2 -1.0000E+06 | 180.0 240.0 PROC 1 | 4.6701E+05 |
| | TOTALES | -1.0000E+06 | | 4.6701E+05 -1.3300E+05 |
| 7 | 200.0 160.0 | | 140.0 180.0 PROC 1 | 5.7800E+05 |
| | TOTALES | 0.0 | | 5.7800E+05 5.7800E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 4.6120E+05 BTU/HR
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 3.2240E+05 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
 USANDO 702.4 LB/HR DE VAPOR, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE -4.6120E+05 BTU/HR.
 USANDO 10780.0 LB/HR DE AGUA EN, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 3.2240E+05 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GMORAN(1984); 4S
 LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO LS 25.0 F

| RANGO | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | CORRIENTES RECEPTORAS NOZEBI | RECEPTORAS CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) |
|-------|-------------|------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 1 | 525.0 480.0 | | | 455.0 500.0 | PROC 3 | 5.1885E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | | 5.1885E+05 | 5.1885E+05 |
| 2 | 480.0 345.0 | PROC 4 | -2.7000E+06 | 420.0 455.0 | PROC 5 | 1.5506E+06 | |
| | TOTALES | | -2.7000E+06 | | | 1.5506E+06 | -1.1494E+06 |
| 3 | 345.0 320.0 | PROC 4 | -5.0000E+05 | 295.0 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.6125E+05 2.8825E+05 | |
| | TOTALES | | -5.0000E+05 | | | 6.4950E+05 | 1.4950E+05 |
| 4 | 320.0 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -6.6667E+05 -8.0000E+05 | 255.0 295.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.7800E+05 4.6120E+05 | |
| | TOTALES | | -1.4667E+06 | | | 1.0392E+06 | -4.2747E+05 |
| 5 | 280.0 265.0 | PROC 2 | -2.5000E+05 | 240.0 255.0 | PROC 1 PROC 3 | 2.1675E+05 1.7295E+05 | |
| | TOTALES | | -2.5000E+05 | | | 3.8970E+05 | 1.3970E+05 |
| 6 | 265.0 200.0 | PROC 2 | -1.0833E+06 | 175.0 240.0 | PROC 1 | 9.3926E+05 | |
| | TOTALES | | -1.0833E+06 | | | 9.3926E+05 | -1.4409E+05 |
| 7 | 200.0 165.0 | | | 140.0 175.0 | PROC 1 | 5.0575E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | | 5.0575E+05 | 5.0575E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.1885E+05 BTU/HR
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 9.2205E+05 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
 USANDO 291.2 BTU/HR DE VAPOR DE AGUA A LA TEMPERATURA DE SATURACION DE 212.0 F
 USANDO 1351.6 BTU/HR DE VAPOR DE AGUA A LA TEMPERATURA DE SATURACION DE 212.0 F

TABLA DE FACILIDAD DE CALOR PARA EL PROCESAMIENTO DE LUGA (1952)-600000 (1954) 45
 DA TEMPERATURA FIJAS DE ALIMENTACIONES

| RANGO # | RANGO TEMP. (F) | PROCESO | TEMP. INICIAL (F) | TEMP. FINAL (F) | PROCESO | PROCESO | CARGA DE CALOR (FUENTE RECAL) | CARGA DE CALOR (FUENTE RECAL) |
|---------|-----------------|---------|-------------------|-----------------|---------|---------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 570.0-400.0 | | | 450.0-350.0 | PROC 4 | PROC 5 | 5,765,300.05 | |
| | TOTALES | | | | | | 5,765,300.05 | 5,765,300.05 |
| 2 | 450.0-350.0 | PROC 4 | -1,100,000.00 | 450.0-350.0 | PROC 3 | | 1,478,264.06 | |
| | TOTALES | | | | | | 1,478,264.06 | -1,100,000.00 |
| 3 | 350.0-320.0 | PROC 4 | -1,100,000.00 | 320.0-270.0 | PROC 1 | PROC 2 | 7,794,000.05 | 1,794,000.05 |
| | TOTALES | | | | | | 7,794,000.05 | 1,794,000.05 |
| 4 | 320.0-280.0 | PROC 2 | -1,100,000.00 | 280.0-240.0 | PROC 1 | PROC 2 | 5,765,300.05 | -4,274,700.05 |
| | TOTALES | | | | | | 5,765,300.05 | -4,274,700.05 |
| 5 | 280.0-270.0 | PROC 1 | -1,100,000.00 | 240.0-210.0 | PROC 1 | PROC 2 | 1,478,264.06 | 2,113,100.05 |
| | TOTALES | | | | | | 2,113,100.05 | 2,113,100.05 |
| 6 | 270.0-200.0 | PROC 2 | -1,100,000.00 | 170.0-140.0 | PROC 1 | | 1,113,100.05 | |
| | TOTALES | | | | | | 1,113,100.05 | -1,100,000.00 |
| 7 | 200.0-170.0 | | | 140.0-110.0 | PROC 1 | | 4,274,700.05 | |
| | TOTALES | | | | | | 4,274,700.05 | 4,274,700.05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA EL PROCESAMIENTO DE LUGA (1952)-600000 (1954) ES 1,777,345 BTU/HR.
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA EL PROCESAMIENTO DE LUGA (1952)-600000 (1954) ES 1,777,345 BTU/HR.

ESTOS REQUERIMIENTOS DE CALOR SE OBTUVIERON DE LOS SIGUIENTES DATOS:
 USANDO 570.0 LAZOR DE 7.765,300.05 BTU/HR. DE CALOR DE CALIENTADO DE 5,765,300.05 BTU/HR.
 USANDO 12221.2 LAZOR DE 1,478,264.06 BTU/HR. DE CALOR DE CALIENTADO DE 1,478,264.06 BTU/HR.

TABLA DE FACILIDADES Y SERVICIOS AL CLIENTE PARA PRODUCCION DE LEE (1969)-GORDON(1943); 45
 LA TEMPERATURA MEDIA DE LOS MUESTRAS ES 25.0 C

| RANGO # | RANGO TEM. MUESTRAS | COMPLETOS TUBOS | COMPLETOS TUBOS | COMPLETOS TUBOS | COMPLETOS TUBOS | CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECUP) |
|---------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------------------|
| 1 | 555.0 744.0 | | | 440.0 | 560.0 | PRDC 3 | 6,341.0005 |
| | TOTALES | | | | | | 6,341.0005 |
| 2 | 490.0 755.0 | PRDC 4 | | 200.0 | 440.0 | PRDC 5 | 1,741.0009 |
| | TOTALES | | | | | | 1,741.0009 |
| 3 | 555.0 520.0 | PRDC 4 | | 400.0 | 400.0 | PRDC 1 PRDC 1 | 5,530.0005 4,050.0005 |
| | TOTALES | | | | | | 9,580.0010 |
| 4 | 730.0 250.0 | PRDC 2 PRDC 4 | | 450.0 | 250.0 | PRDC 1 PRDC 1 | 5,720.0005 5,010.0005 |
| | TOTALES | | | | | | 10,730.0010 |
| 5 | 730.0 275.0 | PRDC 2 | | 250.0 | 250.0 | PRDC 1 PRDC 1 | 7,220.0009 5,250.0004 |
| | TOTALES | | | | | | 12,470.0013 |
| 6 | 770.0 200.0 | PRDC 2 | | 150.0 | 250.0 | PRDC 1 | 1,250.0000 |
| | TOTALES | | | | | | 1,250.0000 |
| 7 | 200.0 170.0 | | | 150.0 | 150.0 | PRDC 1 | 5,000.0005 |
| | TOTALES | | | | | | 5,000.0005 |

EL CALOR DE MANTENIMIENTO DE LOS TUBOS ES DE 100.0000 BTU/HORA
 EL FRECCIONAMIENTO DE LOS TUBOS ES DE 100.0000 BTU/HORA

ESTOS VALORES SE OBTUVIERON EN UN LABORATORIO DE INVESTIGACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA
 USANDO UN EQUIPO DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA
 USANDO UN EQUIPO DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GMORAN(1984); 4S
 LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 40°F

| RANGO # | RANGO TEMP. | | CORRIENTES FUENTE | | RANGO TEMP. | | CORRIENTES RECEPTORAS | | CARGA DE CALOR (FUENTE+RCEP) |
|---------|-------------|--------|-------------------|----------------------------|-------------|--------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|
| | TEMP. | NOMBRE | CARGA | CALOR | TEMP. | NOMBRE | CARGA | CALOR | |
| 1 | 540.0 | 480.0 | | | 440.0 | 500.0 | PROC 3 | 6.9180E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | | | | 6.9180E+05 | 6.9180E+05 |
| 2 | 480.0 | 360.0 | PROC 4 | -2.4000E+06 | 320.0 | 440.0 | PROC 3 | 1.3836E+06 | |
| | TOTALES | | | -2.4000E+06 | | | | 1.3836E+06 | -1.0154E+06 |
| 3 | 360.0 | 320.0 | PROC 4 | -8.0000E+05 | 280.0 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.7800E+05 4.6120E+05 | |
| | TOTALES | | | -8.0000E+05 | | | | 1.0392E+06 | 2.3920E+05 |
| 4 | 320.0 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -6.6667E+05 -8.0000E+05 | 240.0 | 280.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.7800E+05 4.6120E+05 | |
| | TOTALES | | | -1.4667E+06 | | | | 1.0392E+06 | -4.2747E+05 |
| 5 | 280.0 | 200.0 | PROC 2 | -1.3333E+06 | 160.0 | 240.0 | PROC 1 | 1.1560E+06 | |
| | TOTALES | | | -1.3333E+06 | | | | 1.1560E+06 | -1.7734E+05 |
| 6 | 200.0 | 180.0 | | | 140.0 | 160.0 | PROC 1 | 2.8900E+05 | |
| | TOTALES | | | 0.0 | | | | 2.8900E+05 | 2.8900E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 6.9180E+05 BTU/HR
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 1.0930E+06 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
 USANDO 1053.6 LB/HR DE VAPOR, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE -2.9140E+05 BTU/HR.
 USANDO 13662.5 LB/HR DE AGUA EN, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 1.3930E+06 BTU/HR.



TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1569)-GOMAN(1984); 4S

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAIMIENTO 10.0 F.

| RANGO A | CORRIENTES FUENTE | | | CARGA | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | |
|------------|-------------------|-------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------|-------------------|-----------------------------|--------|--------|-------|-------|-----------|
| | RANGO | TEMP | ACPDRE | | RANGO | TEMP | ORDRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | | | DEL THETA |
| 1 | 540.0 | 540.0 | VAPOR | -3.4590E+05 | 470.0 | 500.0 | PROC 2 | 3.4590E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.4590E+05 | | | | 3.4590E+05 | 40.0 | 70.0 | 53.6 | 200.0 | 32.3 |
| 2 | 480.0 | 393.5 | PROC 4 | -1.7295E+06 | 320.0 | 470.0 | PROC 3 | 1.7295E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.7295E+06 | | | | 1.7295E+06 | 10.0 | 73.5 | 31.8 | 150.0 | 362.1 |
| 3 | 393.5 | 320.0 | PROC 4 | -1.4705E+06 | 263.4 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 8.1789E+05 7.5261E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4705E+06 | | | | 1.4705E+06 | 73.5 | 56.6 | 64.7 | 150.0 | 151.5 |
| 4 | 320.0 | 303.4 | PROC 2 PROC 4 | -2.7622E+05 -3.3153E+05 | 240.0 | 263.4 | PROC 1 PROC 3 | 3.2812E+05 2.6979E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.0775E+05 | | | | 6.0775E+05 | 54.6 | 63.4 | 59.9 | 150.0 | 67.6 |
| 5 | 303.4 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -3.5035E+05 -4.6342E+05 | 180.6 | 240.0 | PROC 1 | 8.5876E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.5876E+05 | | | | 8.5876E+05 | 63.4 | 99.4 | 80.1 | 150.0 | 71.5 |
| 6 | 280.0 | 279.5 | PROC 2 | -8.2420E+03 | 180.0 | 180.6 | PROC 1 | 8.2420E+03 | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.2420E+03 | | | | 8.2420E+03 | 99.4 | 99.5 | 59.5 | 150.0 | 0.6 |
| 7 | 279.5 | 222.4 | PROC 2 | -9.5155E+05 | 140.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 5.7800E+05 3.7355E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.5155E+05 | | | | 9.5155E+05 | 99.5 | 82.4 | 50.7 | 150.0 | 66.9 |
| 8 | 222.4 | 200.0 | PROC 2 | -3.7355E+05 | 100.0 | 140.0 | AGUA EN | 3.7355E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.7355E+05 | | | | 3.7355E+05 | 82.4 | 100.0 | 50.9 | 150.0 | 27.4 |

UNA RED DE 13 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 782.5 SQ FT.

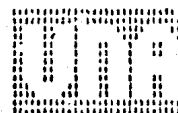


TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GPOHAN(1984); 4S

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 15.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE RANGC TEMP KCMDBE | CARGA | CORRIENTES RECEPTORAS RANGC TEMP OMBFE CARGA | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR THETA1 THETA2 CEL THETA | U AVE | AREA |
|---------|--|----------------------------|---|--|-------------------|-------------|
| 1 | 540.0 540.0 VAPOR | -4.0355E+05 | 465.0 500.0 PROC 3 | 4.0355E+05 | 40.0 75.0 55.7 | 200.0 36.2 |
| | TOTALES | -4.0355E+05 | | 4.0355E+05 | | |
| 2 | 420.0 396.4 PROC 4 | -1.6719E+06 | 320.0 465.0 PROC 2 | 1.6719E+06 | 15.0 76.4 37.7 | 150.0 295.5 |
| | TOTALES | -1.6719E+06 | | 1.6719E+06 | | |
| 3 | 396.4 320.0 PROC 4 | -1.5281E+06 | 261.2 320.0 PROC 1 PROC 3 | 8.4996E+05 6.7819E+05 | 76.4 58.8 67.2 | 150.0 151.5 |
| | TOTALES | -1.5281E+06 | | 1.5281E+06 | | |
| 4 | 220.0 205.0 PROC 2 PROC 4 | -2.5026E+05 -3.0014E+05 | 240.0 261.2 PROC 1 PROC 3 | 3.0005E+05 2.4421E+05 | 58.8 65.0 61.9 | 150.0 59.3 |
| | TOTALES | -5.5026E+05 | | 5.5026E+05 | | |
| 5 | 205.0 281.3 PROC 2 PROC 4 | -3.5410E+05 -4.7291E+05 | 180.0 240.0 PROC 1 | 8.6701E+05 | 65.0 101.3 81.8 | 150.0 70.6 |
| | TOTALES | -8.2701E+05 | | 8.6701E+05 | | |
| 6 | 281.3 280.0 PROC 2 PROC 4 | -2.2658E+04 -2.6750E+04 | 178.0 180.0 PROC 1 AGUA EN | 2.5130E+04 2.0278E+04 | 101.3 102.0 101.7 | 150.0 3.2 |
| | TOTALES | -4.9408E+04 | | 4.5408E+04 | | |
| 7 | 280.0 224.1 PROC 2 | -9.3097E+05 | 140.0 178.0 PROC 1 AGUA EN | 5.4887E+05 3.8210E+05 | 102.0 84.1 92.8 | 150.0 66.9 |
| | TOTALES | -9.3097E+05 | | 9.3097E+05 | | |
| 8 | 224.1 200.0 PROC 2 | -4.0237E+05 | 100.0 140.0 AGUA EN | 4.0237E+05 | 84.1 100.0 91.8 | 150.0 29.2 |
| | TOTALES | -4.0237E+05 | | 4.0237E+05 | | |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 712.5 SQ. FT.



TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GYDRAN(1984); 45
 NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 20.0 F.

| RANGO # | RANGO TEMP | CORRIENTES FUENTE NOMBRE | CARGA | RANGO TEMP | CORRIENTES RECEPTORAS NOMBRE | CARGA | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR THETA1 | DEL THETA2 | DEL DEL THETA | U AVE | AREA | | |
|------------|---------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------------|-------|---------------------------------------|--------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 540.C | 540.C | VAPOR | -4.6120E+05 | 460.0 | 500.0 | PROC 3 | 4.6120E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.6120E+05 | | | | 4.6120E+05 | 40.C | 80.C | 57.7 | 200.0 | 40.0 |
| 2 | 480.C | 399.3 | PROC 4 | -1.6142E+06 | 320.0 | 460.0 | PROC 2 | 1.6142E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6142E+06 | | | | 1.6142E+06 | 20.0 | 79.3 | 43.C | 150.0 | 250.0 |
| 3 | 379.3 | 320.0 | PROC 4 | -1.5858E+06 | 259.0 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 9.8302E+05 7.0378E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.5858E+06 | | | | 1.5858E+06 | 79.3 | 61.0 | 69.2 | 150.0 | 151.5 |
| 4 | 320.C | 306.6 | PROC 2 PROC 4 | -2.5291E+05 -2.4369E+05 | 240.0 | 259.0 | PROC 11 PROC 3 | 2.7359E+05 2.1862E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.9660E+05 | | | | 4.9661E+05 | 61.0 | 66.6 | 63.8 | 150.0 | 51.5 |
| 5 | 206.C | 282.9 | PROC 2 PROC 4 | -3.6401E+05 -4.7291E+05 | 180.0 | 240.0 | PROC 1 | 8.6701E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.3692E+05 | | | | 8.6701E+05 | 66.6 | 102.9 | 83.4 | 150.0 | 69.3 |
| 6 | 282.9 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -4.2567E+04 -3.3395E+04 | 175.8 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 6.3310E+04 4.5742E+04 | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.5962E+04 | | | | 1.0706E+05 | 102.9 | 104.2 | 103.6 | 150.0 | 6.9 |
| 7 | 280.C | 225.9 | PROC 2 | -9.0215E+05 | 140.0 | 175.8 | PROC 1 ACUA EN | 5.1689E+05 3.8546E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.0215E+05 | | | | 9.0215E+05 | 104.2 | 85.9 | 54.8 | 150.0 | 63.5 |
| 8 | 225.9 | 200.0 | PROC 2 | -4.3120E+05 | 100.0 | 140.0 | ACUA EN | 4.3120E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.3120E+05 | | | | 4.3120E+05 | 85.9 | 100.0 | 52.8 | 150.0 | 31.0 |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 663.6 SQ FT.



TABLA DE ARCA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GMRAN(1984); 4S

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 25.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CARGA | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | |
|---------|-------------------|-------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------|-------------------|-----------------------------|--------|--------|-------|-------|-----------|
| | RANGE | TEMP | NOMBRE | | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | | | DEL THETA |
| 1 | 540.0 | 540.0 | VAPOR | -5.1885E+05 | 455.0 | 500.0 | PROC 3 | 5.1885E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -5.1885E+05 | | | | 5.1885E+05 | 40.0 | 85.0 | 59.7 | 200.0 | 43.5 |
| 2 | 480.0 | 402.2 | PROC 4 | -1.5566E+06 | 320.0 | 455.0 | PROC 3 | 1.5566E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.5566E+06 | | | | 1.5566E+06 | 25.0 | 82.2 | 48.0 | 150.0 | 216.0 |
| 3 | 402.7 | 320.0 | PROC 4 | -1.6434E+06 | 256.7 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 9.1408E+05 7.2937E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6434E+06 | | | | 1.6434E+06 | 82.2 | 63.3 | 72.3 | 150.0 | 151.5 |
| 4 | 220.0 | 308.1 | PROC 2 PROC 4 | -1.9771E+05 -2.3725E+05 | 240.0 | 256.7 | PROC 1 PROC 3 | 2.4197E+05 1.5303E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.3496E+05 | | | | 4.3496E+05 | 63.3 | 68.1 | 65.7 | 150.0 | 44.2 |
| 5 | 308.1 | 284.5 | PROC 2 PROC 4 | -3.5410E+05 -4.7291E+05 | 180.0 | 240.0 | PROC 1 | 8.6701E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.2701E+05 | | | | 8.6701E+05 | 68.1 | 104.5 | 85.0 | 150.0 | 68.0 |
| 6 | 224.5 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -7.4868E+04 -8.9840E+04 | 173.7 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 9.1714E+04 7.2994E+04 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6471E+05 | | | | 1.6471E+05 | 104.5 | 106.3 | 105.4 | 150.0 | 10.4 |
| 7 | 280.0 | 227.6 | PROC 2 | -8.7332E+05 | 140.0 | 173.7 | PROC 1 AGUA EN | 4.8629E+05 3.8703E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.7332E+05 | | | | 8.7332E+05 | 106.3 | 87.6 | 56.7 | 150.0 | 40.2 |
| 8 | 227.6 | 200.0 | PROC 2 | -4.6002E+05 | 100.0 | 140.0 | AGUA IN | 4.6002E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.6002E+05 | | | | 4.6002E+05 | 87.6 | 100.0 | 53.7 | 150.0 | 32.7 |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 626.5 SQ FT.



TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GJORAN(1984); 45

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 30.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | | |
|------------|-------------------|--------|------------------|----------------------------|--------|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | RANGO TEMP | ACMBRE | CARGA | RANGO TEMP | AGMBRE | CAFGA | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | | | |
| 1 | 540.C | 540.C | VAPOR | -5.7650E+05 | 450.C | 500.C | PROC 3 | 5.7650E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -5.7650E+05 | | | | 5.7650E+05 | 40.C | 90.0 | 41.7 | 200.C | 46.8 | |
| 2 | 430.C | 405.1 | PROC 4 | -1.4989E+06 | 320.C | 450.C | PROC 2 | 1.4989E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4989E+06 | | | | 1.4989E+06 | 30.0 | 85.1 | 52.8 | 150.C | 189.1 | |
| 3 | 405.1 | 320.0 | PROC 4 | -1.7011E+06 | 254.5 | 370.0 | PROC 1 PROC 3 | 9.4615E+05 7.5495E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.7011E+06 | | | | 1.7011E+06 | 85.1 | 65.5 | 74.8 | 150.C | 151.5 | |
| 4 | 320.C | 309.7 | PROC 2 PROC 4 | -1.7150E+05 -2.0583E+05 | 240.C | 254.5 | PROC 1 PROC 3 | 2.0586E+05 1.2745E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.7733E+05 | | | | 3.7733E+05 | 65.5 | 69.7 | 67.6 | 150.C | 37.2 | |
| 5 | 209.7 | 280.1 | PROC 2 PROC 4 | -3.9410E+05 -4.7291E+05 | 180.0 | 240.0 | PROC 1 | 8.2701E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.6701E+05 | | | | 8.2701E+05 | 69.7 | 106.1 | 86.6 | 150.C | 66.7 | |
| 6 | 280.1 | 280.C | PROC 2 PROC 4 | -1.0197E+05 -1.2129E+05 | 171.7 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 1.2047E+05 1.0189E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -2.2326E+05 | | | | 2.2326E+05 | 106.1 | 108.3 | 107.2 | 150.C | 11.8 | |
| 7 | 280.C | 229.3 | PROC 2 | -3.4450E+05 | 140.0 | 171.7 | PROC 1 AGUA EN | 4.2733E+05 3.8496E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.4450E+05 | | | | 3.4450E+05 | 108.3 | 89.3 | 98.5 | 150.C | 57.1 | |
| 8 | 229.3 | 200.C | PROC 2 | -4.2885E+05 | 100.0 | 140.C | AGUA EN | 4.2885E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.2885E+05 | | | | 4.2885E+05 | 89.3 | 100.0 | 94.6 | 150.C | 34.5 | |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 596.8 SQ FT.

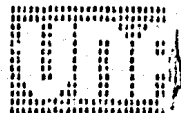


TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA DE LEE(1969)-GIMORAN(1984); 45

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 35.0 F.

| BANCO # | CORRIENTES FUENTE | | | CARGA | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | |
|------------|-------------------|---------|------------------|----------------------------|-----------------------|--------|-------------------|-----------------------------|--------|-----------|-------|-------|-------|--|
| | RANGO TEMP | COMBINE | | | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | | |
| 1 | 540.0 | 540.0 | VAPOR | -6.3415E+05 | 445.0 | 500.0 | PROC 3 | 6.3415E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.3415E+05 | | | | 6.3415E+05 | 40.0 | 95.0 | 63.6 | 200.0 | 49.9 | |
| 2 | 480.0 | 407.9 | PROC 4 | -1.4413E+06 | 320.0 | 445.0 | PROC 3 | 1.4413E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4413E+06 | | | | 1.4413E+06 | 35.0 | 87.9 | 57.5 | 150.0 | 167.2 | |
| 3 | 497.6 | 320.0 | PROC 4 | -1.7589E+06 | 252.3 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 9.7821E+05 7.8054E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.7589E+06 | | | | 1.7589E+06 | 87.9 | 67.7 | 77.4 | 150.0 | 151.5 | |
| 4 | 320.0 | 311.3 | PROC 2 PROC 4 | -1.4530E+05 -1.7436E+05 | 240.0 | 252.3 | PROC 1 PROC 3 | 1.7779E+05 1.4186E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.1966E+05 | | | | 3.1966E+05 | 67.7 | 71.3 | 69.5 | 150.0 | 30.7 | |
| 5 | 311.3 | 287.6 | PROC 2 PROC 4 | -3.9410E+05 -4.7291E+05 | 180.0 | 240.0 | PROC 1 | 8.6701E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.6701E+05 | | | | 8.6701E+05 | 71.3 | 107.6 | 107.2 | 150.0 | 65.5 | |
| 6 | 287.6 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.2733E+05 -1.5273E+05 | 169.8 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 1.4771E+05 1.3230E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -2.8006E+05 | | | | 2.8006E+05 | 107.6 | 110.2 | 108.9 | 150.0 | 17.1 | |
| 7 | 280.0 | 231.1 | PROC 2 | -8.1567E+05 | 140.0 | 169.8 | PROC 1 AGUA EN | 4.2029E+05 3.8523E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.1567E+05 | | | | 8.1567E+05 | 110.2 | 91.1 | 100.3 | 150.0 | 54.2 | |
| 8 | 231.1 | 200.0 | PROC 2 | -5.1767E+05 | 100.0 | 140.0 | AGUA EN | 5.1767E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -5.1767E+05 | | | | 5.1767E+05 | 91.1 | 100.0 | 95.5 | 150.0 | 36.2 | |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 572.3 SQ FT.



TABLA DE AREA MINIMA PARA "DUBLINA DE LEE(1969)-GHORAN(1984); 48

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 40.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | | |
|------------|-------------------|--------|------------------|----------------------------|--------|-------|-----------------------------|--------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | RANGC TEMP | ACMBRE | CARGA | RANGO TEPP | ACMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | | | |
| 1 | 540.C | 540.0 | VAPOR | -6.9180E+05 | 440.0 | 500.0 | PROC 2 | 6.5180E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9180E+05 | | | | 6.5180E+05 | 40.0 | 100.0 | 65.5 | 200.0 | 52.8 | |
| 2 | 480.C | 410.8 | PROC 4 | -1.3836E+06 | 320.0 | 440.0 | PROC 3 | 1.3836E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.3836E+06 | | | | 1.3836E+06 | 40.0 | 90.8 | 62.0 | 150.0 | 148.8 | |
| 3 | 410.C | 320.0 | PROC 4 | -1.8164E+06 | 250.0 | 320.0 | PROC 1 PROC 3 | 1.8164E+06 8.6612E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.8164E+06 | | | | 1.8164E+06 | 90.8 | 69.9 | 79.9 | 150.0 | 151.5 | |
| 4 | 320.C | 312.9 | PROC 2 PROC 4 | -1.1910E+05 -1.4291E+05 | 240.0 | 250.0 | PROC 1 PROC 3 | 1.4573E+05 1.1328E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -2.6201E+05 | | | | 2.6201E+05 | 69.9 | 72.9 | 71.4 | 150.0 | 24.5 | |
| 5 | 312.9 | 289.2 | PROC 2 PROC 4 | -3.5410E+05 -4.7291E+05 | 180.0 | 240.0 | PROC 11 | 8.6701E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -8.2701E+05 | | | | 8.6701E+05 | 72.9 | 109.2 | 89.8 | 150.0 | 64.4 | |
| 6 | 289.2 | 280.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.5348E+05 -1.8418E+05 | 168.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA EN | 1.7356E+05 1.6410E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -3.3766E+05 | | | | 3.3766E+05 | 109.2 | 112.0 | 110.6 | 150.0 | 20.4 | |
| 7 | 280.0 | 232.8 | PROC 2 | -7.8684E+05 | 140.0 | 168.0 | PROC 1 AGUA EN | 4.6444E+05 3.8240E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.8684E+05 | | | | 7.8684E+05 | 112.0 | 92.8 | 102.1 | 150.0 | 51.4 | |
| 8 | 232.8 | 200.0 | PROC 2 | -5.4650E+05 | 100.0 | 140.0 | AGUA EN | 5.4650E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -5.4650E+05 | | | | 5.4650E+05 | 92.8 | 100.0 | 96.3 | 150.0 | 37.8 | |

UNA RED DE 15 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 551.6 SQ FT.

8.2.- Problema 6SP1

*****CALCULOS DE LA RED DE INTERCAMBIO DE CALOR *****
 INFORME DEL PROBLEMA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984);6SP1

| FUENTE | | VELOC. CORRIENTE (LG/HR) | TIN (F) | T OUT (F) | DELTA T | CP | CARGA CAL. (BTU/HR) |
|--------|--------|--------------------------|---------|-----------|---------|------|---------------------|
| 1 | PROC 2 | 40000.0 | 440.0 | 150.0 | -290.0 | 0.70 | -8.120000E+06 |
| 2 | PROC 4 | 35000.0 | 520.0 | 320.0 | -200.0 | 0.64 | -5.236000E+06 |
| 3 | PROC 5 | 42000.0 | 370.0 | 150.0 | -240.0 | 0.80 | -5.364000E+06 |
| TOTAL | | | | | | | -2.142000E+07 |

| RECEPTORA | | VELOC. CORRIENTE (LG/HR) | TIN (F) | T OUT (F) | DELTA T | CP | CARGA CAL. (BTU/HR) |
|-----------------------------------|--------|--------------------------|---------|-----------|---------|------|---------------------|
| 1 | PROC 1 | 20000.0 | 100.0 | 430.0 | 330.0 | 0.90 | 5.290000E+06 |
| 2 | PROC 3 | 36000.0 | 180.0 | 350.0 | 170.0 | 0.91 | 5.569200E+06 |
| 3 | PROC 5 | 31000.0 | 200.0 | 400.0 | 200.0 | 0.85 | 5.270000E+06 |
| TOTAL | | | | | | | 1.611920E+07 |
| CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEPTORA) | | | | | | | -5.300000E+06 |

| CORRIENTES DE SERVICIOS AUXILIARES | | | | | | |
|------------------------------------|----------|-----------|-------|--------|--|--|
| NGMRE | T IN (F) | T OUT (F) | DEL T | CP | | |
| VAPOR | 450.0 | 450.0 | 0.0 | 767.40 | | |
| AGUA | 100.0 | 130.0 | 30.0 | 1.00 | | |

| CORRIENTE FUENTE | COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR | | | |
|------------------|---|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 150. | 150. | 150. | 150. |
| 2 | 150. | 150. | 150. | 150. |
| 3 | 150. | 150. | 150. | 150. |
| 4 | 200. | 200. | 200. | 200. |

TABLEA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA LEE(1969)-GHOFRAN(1984):6SPI
LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 10.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES RECEPTORAS CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) | |
|---------|-------------|--------|----------------------------------|---|--------|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| 1 | 570.0 | 440.0 | PROC 4 | -1.9040E+06 | 430.0 | 510.0 | | |
| | TOTALES | | | -1.9040E+06 | | 0.0 | -1.9040E+06 | |
| 2 | 440.0 | 410.0 | PROC 2 PROC 4 | -3.4000E+05 -7.1400E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 |
| | TOTALES | | | -1.5540E+06 | | 4.8000E+05 | -1.0740E+06 | |
| 3 | 410.0 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -5.4000E+05 -4.7600E+05 | 380.0 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 3.2000E+05 5.2700E+05 |
| | TOTALES | | | -1.0360E+06 | | 8.4700E+05 | -1.8900E+05 | |
| 4 | 390.0 | 360.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 5 | -2.4000E+05 -7.1400E+05 -1.0360E+06 | 350.0 | 380.0 | PROC 1 PROC 5 | 4.8000E+05 7.9000E+05 |
| | TOTALES | | | -2.5620E+06 | | 1.2700E+06 | -1.2920E+06 | |
| 5 | 360.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -1.4800E+06 -1.2340E+06 -2.0140E+06 | 290.0 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 9.6000E+05 1.9800E+06 1.5810E+06 |
| | TOTALES | | | -5.1240E+06 | | 4.5060E+06 | -6.1740E+05 | |
| 6 | 300.0 | 210.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.5200E+06 -3.3240E+06 | 200.0 | 290.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.4400E+06 2.9800E+06 2.3715E+06 |
| | TOTALES | | | -5.5440E+06 | | 6.7599E+06 | 1.2159E+06 | |
| 7 | 210.0 | 190.0 | PROC 2 PROC 6 | -5.6000E+05 -6.7200E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 8.5520E+05 |
| | TOTALES | | | -1.2320E+06 | | 9.7520E+05 | -2.5630E+05 | |
| 8 | 190.0 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.1200E+06 -1.3440E+06 | 140.0 | 180.0 | PROC 1 | 6.4000E+05 |
| | TOTALES | | | -2.4640E+06 | | 6.4000E+05 | -1.8240E+06 | |
| 9 | 150.0 | 110.0 | | | 100.0 | 140.0 | PROC 1 | 6.4000E+05 |
| | TOTALES | | | 0.0 | | 6.4000E+05 | 6.4000E+05 | |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0. BTU/HR
EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3000E+06 BTU/HR

ESTOS REQUISITOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
USANDO 65250.0 LQ/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3000E+06 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA LEE(1967)-G40R44(1984);6SPI
LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 15.0 F

| RANGO | TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE | RANGO TEMP. | CORRIENTES RECEPTORAS | CARGA DE CALOR | | | |
|---------|-------|--------|----------------------------|---|-----------------------|----------------|----------------------------|--|-------------|
| | | | CARGA CALOR | | NOMBRE | (FUENTE+RECEP) | | | |
| 1 | 520.0 | 445.0 | PROC 4 | -1.7850E+04 | 430.0 | 505.0 | | | |
| TOTALES | | | | -1.7850E+06 | | | 0.0 | | -1.7850E+06 |
| 2 | 445.0 | 440.0 | PROC 4 | -1.1900E+05 | 425.0 | 430.0 | PROC 1 | 2.0000E+04 | |
| TOTALES | | | | -1.1900E+05 | | | 3.0000E+04 | | -3.9000E+04 |
| 3 | 440.0 | 415.0 | PROC 2 PROC 4 | -7.0000E+05 -5.9500E+05 | 400.0 | 425.0 | PROC 1 | 4.0000E+05 | |
| TOTALES | | | | -1.2950E+06 | | | 4.0000E+05 | | -3.9500E+05 |
| 4 | 415.0 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -7.0000E+05 -5.9500E+05 | 375.0 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 4.0000E+05 6.5575E+06 | |
| TOTALES | | | | -1.2950E+06 | | | 1.0583E+06 | | -2.3625E+05 |
| 5 | 390.0 | 365.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -7.0000E+05 -5.9500E+05 -3.4000E+05 | 350.0 | 375.0 | PROC 1 PROC 5 | 4.0000E+05 6.5575E+05 | |
| TOTALES | | | | -2.1350E+06 | | | 1.0583E+06 | | -1.0753E+06 |
| 6 | 365.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -1.3200E+06 -1.5870E+06 -2.7840E+06 | 285.0 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.0400E+06 2.1290E+06 1.7125E+06 | |
| TOTALES | | | | -5.5510E+06 | | | 4.8922E+06 | | -6.6935E+05 |
| 7 | 300.0 | 215.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.3400E+06 -2.3500E+06 | 200.0 | 285.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.3500E+06 2.7340E+06 2.2395E+06 | |
| TOTALES | | | | -5.2360E+06 | | | 6.3844E+06 | | 1.1434E+06 |
| 8 | 215.0 | 195.0 | PROC 2 PROC 6 | -3.6000E+05 -3.7200E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | |
| TOTALES | | | | -1.2320E+06 | | | 9.7520E+05 | | -2.5680E+05 |
| 9 | 195.0 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.2600E+06 -1.5120E+06 | 135.0 | 180.0 | PROC 1 | 7.2000E+05 | |
| TOTALES | | | | -2.7720E+06 | | | 7.2000E+05 | | -2.0520E+06 |
| 10 | 150.0 | 115.0 | | | 100.0 | 135.0 | PROC 1 | 5.6000E+05 | |
| TOTALES | | | | 0.0 | | | 5.6000E+05 | | 5.6000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0 BTU/HR
EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3008E+06 BTU/HR

SI LOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
5.3008E+06 BTU/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3008E+06 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MÍNIMOS PARA PROBLEMA LEE(1967)-G40HAY(1934);6SPI
LA TEMPERATURA MÍNIMA DE ACERCAMIENTO ES 20.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES RECEPTORAS CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) |
|------------|-------------|--------|----------------------------------|---|--------|--|----------------------------------|
| 1 | 527.0 | 450.0 | PROC 4 | -1.6660E+06 | 430.0 | 500.0 | |
| | TOTALES | | | -1.6660E+06 | | 0.0 | -1.6660E+06 |
| 2 | 450.0 | 440.0 | PROC 4 | -2.3800E+05 | 420.0 | 430.0 | PROC 1 |
| | TOTALES | | | -2.3800E+05 | | 1.6000E+05 | -7.3000E+04 |
| 3 | 440.0 | 420.0 | PROC 2 PROC 6 | -5.4000E+05 -4.7800E+05 | 400.0 | 420.0 | PROC 1 |
| | TOTALES | | | -1.0340E+06 | | 3.2000E+05 | -7.1600E+05 |
| 4 | 420.0 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -3.4000E+05 -7.1400E+05 | 370.0 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 |
| | TOTALES | | | -1.5540E+06 | | 4.8000E+05 7.9000E+05 | -2.4350E+05 |
| 5 | 390.0 | 370.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -5.5700E+05 -1.7000E+05 -8.7200E+05 | 350.0 | 370.0 | PROC 1 PROC 5 |
| | TOTALES | | | -1.7080E+06 | | 3.2000E+05 3.2700E+05 | -3.6100E+05 |
| 6 | 370.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -1.9500E+06 -1.8700E+06 -2.3520E+06 | 280.0 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 |
| | TOTALES | | | -5.9780E+06 | | 1.1200E+06 2.5910E+06 1.3445E+06 | -7.2030E+05 |
| 7 | 300.0 | 220.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.2600E+06 -2.6990E+06 | 200.0 | 280.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 |
| | TOTALES | | | -4.9280E+06 | | 1.2200E+06 2.8200E+06 2.1080E+06 | 1.0828E+06 |
| 8 | 220.0 | 200.0 | PROC 2 PROC 6 | -3.4000E+05 -2.7200E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 |
| | TOTALES | | | -1.2320E+06 | | 3.2000E+05 2.5520E+05 | -2.5640E+05 |
| 9 | 200.0 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.4600E+06 -1.8400E+06 | 130.0 | 180.0 | PROC 1 |
| | TOTALES | | | -3.0800E+06 | | 8.0000E+05 | -2.2800E+06 |
| 10 | 150.0 | 120.0 | | | 100.0 | 150.0 | PROC 1 |
| | TOTALES | | | 0.0 | | 4.5000E+05 4.8000E+05 | 4.8000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0. BTU/HR
EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3038E+06 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
USANDO 66280.0 L/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3008E+06 BTU/HR.

TAULA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA LEE(1969)-GOMRAY(1984);6SP1
LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 25.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | CORRIENTES RECEPTORAS NOMBRE CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) |
|---------|-------------|----------------------------|---|-------------|---|----------------------------------|
| 1 | 520.C 455.0 | PROC 4 | -1.5470E+06 | 430.0 495.0 | | |
| | TOTALES | | -1.5470E+06 | | 0.0 | -1.5470E+06 |
| 2 | 455.C 440.0 | PROC 4 | -3.5700E+05 | 415.0 430.0 | PROC 1 2.4000E+05 | |
| | TOTALES | | -3.5700E+05 | | 2.4000E+05 | -1.1700E+05 |
| 3 | 440.0 425.0 | PROC 2 PROC 4 | -4.2700E+05 -3.5700E+05 | 400.0 415.0 | PROC 1 2.4000E+05 | |
| | TOTALES | | -7.7700E+05 | | 2.4000E+05 | -5.3700E+05 |
| 4 | 425.C 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -2.1000E+05 -3.3300E+05 | 365.0 400.0 | PROC 1 5.4000E+05 PROC 3 9.2225E+05 | |
| | TOTALES | | -1.4130E+06 | | 1.4823E+06 | -3.3075E+05 |
| 5 | 390.0 375.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -4.2500E+05 -1.2500E+05 -5.3600E+05 | 350.0 365.0 | PROC 1 2.4000E+05 PROC 3 3.9525E+05 | |
| | TOTALES | | -1.2310E+06 | | 6.3525E+05 | -6.4575E+05 |
| 6 | 375.0 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.1000E+06 -1.2500E+06 -2.5200E+06 | 275.0 350.0 | PROC 1 1.2000E+06 PROC 3 2.5570E+06 PROC 5 1.9763E+06 | |
| | TOTALES | | -6.4050E+06 | | 5.6333E+06 | -7.7175E+05 |
| 7 | 300.0 225.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.1000E+06 -2.5200E+06 | 200.0 275.0 | PROC 1 1.2000E+06 PROC 3 2.5570E+06 PROC 5 1.9763E+06 | |
| | TOTALES | | -4.6200E+06 | | 5.6333E+06 | 1.0133E+06 |
| 8 | 225.0 205.0 | PROC 2 PROC 6 | -3.6000E+05 -6.7200E+05 | 190.0 200.0 | PROC 1 5.2300E+05 PROC 3 6.5520E+05 | |
| | TOTALES | | -1.2320E+06 | | 9.7520E+05 | -2.5630E+05 |
| 9 | 205.0 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.5400E+06 -1.8480E+06 | 125.0 180.0 | PROC 1 8.8000E+05 | |
| | TOTALES | | -3.3880E+06 | | 8.8000E+05 | -2.5030E+06 |
| 10 | 150.0 125.0 | | | 100.0 125.0 | PROC 1 4.0000E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | 4.0000E+05 | 4.0000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0 BTU/HR
EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.300E+05 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
USANDO 6226.0 U L/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.300E+06 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MÍNIMOS PARA PROBLEMA LES(1769)-GOMAN(1769); 1
 LA TEMPERATURA MÍNIMA DE SOCRACIMIENTO ES 30.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. INHABER | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | CORRIENTES RECEPTORAS NÚMERE | CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE#) |
|------------|---------------------|---|-------------|---------------------------------|--|-----------------------------|
| 1 | 537.0 440.0 | PRCC 4 -1.4280E+06 | 430.0 490.0 | | | |
| | TOTALES | -1.4280E+06 | | | 0.0 | -1.4280E+06 |
| 2 | 467.0 440.0 | PRCC 4 -4.7600E+05 | 410.0 430.0 | PRCC 1 | 3.2000E+05 | |
| | TOTALES | -4.7600E+05 | | | 3.2000E+05 | -1.5600E+05 |
| 3 | 440.0 430.0 | PRCC 2 -2.1300E+05 PRCC 3 -2.1300E+05 | 400.0 410.0 | PRCC 1 | 1.4000E+05 | |
| | TOTALES | -4.2600E+05 | | | 1.4000E+05 | -2.8600E+05 |
| 4 | 450.0 390.0 | PRCC 2 -1.1000E+06 PRCC 3 -9.1000E+05 | 360.0 400.0 | PRCC 1 PRCC 5 | 5.4000E+05 1.0500E+05 | |
| | TOTALES | -2.0100E+06 | | | 1.6900E+05 | -1.8400E+06 |
| 5 | 590.0 390.0 | PRCC 2 -1.2000E+05 PRCC 3 -1.2000E+05 PRCC 6 -7.3500E+05 | 350.0 400.0 | PRCC 1 PRCC 5 | 1.8000E+05 2.5500E+05 | |
| | TOTALES | -9.7500E+05 | | | 4.3500E+05 | -5.4000E+05 |
| 6 | 380.0 300.0 | PRCC 2 -2.2500E+06 PRCC 3 -1.1000E+06 PRCC 6 -2.5500E+06 | 270.0 350.0 | PRCC 1 PRCC 3 PRCC 5 | 1.2000E+05 1.1000E+05 2.1000E+05 | |
| | TOTALES | -5.9000E+06 | | | 3.4000E+05 | -5.5600E+06 |
| 7 | 330.0 280.0 | PRCC 2 -1.3500E+06 PRCC 6 -1.3500E+06 | 260.0 270.0 | PRCC 1 PRCC 3 PRCC 5 | 1.1000E+05 2.2000E+05 1.3500E+05 | |
| | TOTALES | -2.7000E+06 | | | 5.2500E+05 | -2.1750E+06 |
| 8 | 250.0 210.0 | PRCC 2 -5.5000E+05 PRCC 6 -5.5000E+05 | 180.0 200.0 | PRCC 1 PRCC 3 | 3.2000E+05 3.2000E+05 | |
| | TOTALES | -1.1000E+06 | | | 6.4000E+05 | -4.3000E+06 |
| 9 | 210.0 150.0 | PRCC 2 -1.5000E+06 PRCC 6 -2.1000E+06 | 120.0 180.0 | PRCC 1 | 9.0000E+05 | |
| | TOTALES | -3.6000E+06 | | | 9.0000E+05 | -2.7000E+06 |
| 10 | 150.0 130.0 | | 100.0 120.0 | PRCC 1 | 3.2000E+05 | |
| | TOTALES | 0.0 | | | 3.2000E+05 | 3.2000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0.0 BTU/HR
 EL ENFRÍAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3000E+05 BTU/HR
 ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
 USANDO 5520.0 LITROS DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3000E+05 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MÍNIMOS PARA PROBLEMA LEE(1969)-GOMARAV(1994); 5SPI
LA TEMPERATURA MÍNIMA DE ACERCAMIENTO ES 35.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES FUENTE CARGA CALOR | RANGO TEMP. | NOMBRE | CORRIENTES RECEPTORAS CARGA CALOR | CARGA DE CALOR (FUENTE+RECEP) |
|---------|-------------|----------------------------|---|-------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | 520.0 465.0 | PROC 4 | -1.3290E+06 | 430.0 425.0 | | | |
| | TOTALES | | -1.3090E+06 | | | 0.0 | -1.3070E+06 |
| 2 | 465.0 440.0 | PROC 4 | -5.9500E+05 | 405.0 430.0 | PROC 1 | 4.0000E+05 | |
| | TOTALES | | -5.9500E+05 | | | 4.0000E+05 | -1.9500E+05 |
| 3 | 440.0 435.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.4500E+05 -1.1700E+05 | 400.0 405.0 | PROC 1 | 3.0000E+06 | |
| | TOTALES | | -2.6200E+05 | | | 3.0000E+06 | -1.7900E+05 |
| 4 | 435.0 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.2600E+06 -1.2710E+06 | 355.0 400.0 | PROC 1 PROC 3 | 7.2200E+05 1.1353E+06 | |
| | TOTALES | | -2.5310E+06 | | | 1.9553E+06 | -4.2515E+05 |
| 5 | 390.0 355.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -1.4700E+05 -1.1700E+05 -1.2550E+05 | 350.0 355.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.9700E+06 1.3175E+05 | |
| | TOTALES | | -4.2700E+05 | | | 2.1175E+05 | -2.1525E+05 |
| 6 | 355.0 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.3900E+06 -1.1350E+06 -2.1520E+06 | 265.0 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.3500E+06 2.744E+06 2.2393E+06 | |
| | TOTALES | | -7.2590E+06 | | | 6.3844E+06 | -3.7455E+05 |
| 7 | 300.0 255.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.3200E+06 -2.1540E+06 | 200.0 265.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.4400E+06 2.129E+06 1.7123E+06 | |
| | TOTALES | | -4.0240E+06 | | | 4.8822E+06 | 3.7315E+05 |
| 8 | 255.0 215.0 | PROC 2 PROC 6 | -5.4700E+05 -6.7200E+05 | 150.0 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | |
| | TOTALES | | -1.2320E+06 | | | 9.7520E+05 | -2.5630E+05 |
| 9 | 215.0 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.5270E+06 -2.1540E+06 | 115.0 180.0 | PROC 1 | 1.0400E+06 | |
| | TOTALES | | -4.3040E+06 | | | 1.0400E+06 | -2.9640E+05 |
| 10 | 150.0 135.0 | | | 100.0 115.0 | PROC 1 | 2.4000E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | | 2.4000E+05 | 2.4000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0 BTU/HR
EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3000E+06 BTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
USANDO 65260.0 LB/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3000E+05 BTU/HR.

TABLA DE FACTIBILIDAD Y SERVICIOS MINIMOS PARA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984);6SP1
 LA TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO ES 40.0 F

| RANGO # | RANGO TEMP. | CORRIENTES FUENTE | | CORRIENTES RECEPTORAS | | CARGA DE CALOR | |
|---------|-------------|----------------------------|---|-----------------------|----------------------------|--|----------------|
| | | NOMBRE | CARGA CALOR | RANGO TEMP. | NOMBRE | CARGA CALOR | (FUENTE+RECEP) |
| 1 | 520.0 470.0 | PROC 4 | -1.1900E+06 | 430.0 480.0 | | | |
| | TOTALES | | -1.1900E+06 | | 0.0 | | -1.1900E+06 |
| 2 | 470.0 440.0 | PROC 4 | -7.1400E+05 | 400.0 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | |
| | TOTALES | | -7.1400E+05 | | 4.8000E+05 | | -2.3400E+05 |
| 3 | 440.0 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.4000E+06 -1.1900E+05 | 350.0 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 8.0000E+05 1.3175E+06 | |
| | TOTALES | | -2.5900E+06 | | 2.1175E+05 | | -4.7250E+05 |
| 4 | 390.0 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 5 | -2.5200E+06 -3.1620E+06 -3.0240E+06 | 260.0 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.4400E+06 2.9484E+06 2.3715E+06 | |
| | TOTALES | | -7.6360E+06 | | 6.7599E+06 | | -9.2610E+05 |
| 5 | 300.0 240.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.5300E+06 -2.7160E+06 | 200.0 260.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 9.6000E+05 1.9526E+06 1.5310E+06 | |
| | TOTALES | | -3.6260E+06 | | 4.5066E+06 | | 3.1060E+05 |
| 6 | 240.0 220.0 | PROC 2 PROC 6 | -5.6000E+05 -6.7200E+05 | 180.0 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | |
| | TOTALES | | -1.2320E+06 | | 9.7520E+05 | | -2.5490E+05 |
| 7 | 220.0 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -1.2000E+06 -2.3320E+06 | 110.0 180.0 | PROC 1 | 1.1200E+06 | |
| | TOTALES | | -4.3120E+06 | | 1.1200E+06 | | -3.1920E+06 |
| 8 | 150.0 140.0 | | | 100.0 110.0 | PROC 1 | 1.6000E+05 | |
| | TOTALES | | 0.0 | | 1.6000E+05 | | 1.6000E+05 |

EL CALENTAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 0. RTU/HR
 EL ENFRIAMIENTO EXTERNO TOTAL PARA ESTE SISTEMA ES 5.3008E+06 RTU/HR

ESTOS REQUERIMIENTOS PUEDEN SER PROPORCIONADOS COMO SIGUE--
 USANDO 66250.0 LB/HR DE AGUA, RESULTA UN CAMBIO DE ENTALPIA DE 5.3008E+06 RTU/HR.

2.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984);6SPI
 NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 10.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA |
|---------|-------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--------|----------------------------|--|-----------------------------|-----------|------|-------|-------|
| | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | |
| 1 | 320.0 | 499.8 | PROC 4 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.8000E+05 | | | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | 366.4 | 460.0 | PROC 1 PROC 3 | 8.5799E+05 8.5601E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | 1.4240E+06 | 99.8 | 73.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 6 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 3 | 2.6201E+05 4.3149E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9350E+05 | | | 6.9350E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 6 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0399E+05 4.2718E+05 6.6533E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4965E+06 | | | 1.4965E+06 | 76.6 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | 222.4 | 324.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6373E+06 2.7223E+06 2.6064E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6860E+06 | | | 7.6860E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5875E+05 2.1449E+05 5.9079E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6840E+06 | | | 1.6840E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 | 3.2703E+05 6.3520E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7520E+05 | | | 9.7520E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2800E+06 5.3004E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5808E+06 | | | 6.5808E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.5 | 150.0 | 702.4 |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-SMBRANC(1964)25521

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACENDAMIENTO 35.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORA | | | CALLOSOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | |
|---------|-------------------|--------|----------------------------|---|--------|-------|-----------------------------|--|-------|-------|-------|-------|--|
| | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | DELTA1 | DELTA2 | DELTA | | | | |
| 1 | 523.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.8000E+05 | 400.0 | 450.0 | PROC 1 | 4.2800E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.8000E+05 | | | 4.2800E+05 | 90.0 | 97.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 | |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4000E+06 | 300.0 | 400.0 | PROC 3 PROC 5 | 5.2000E+05 5.2000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4000E+06 | | | 1.0400E+06 | 97.8 | 75.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 | |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -5.7000E+05 -5.7000E+05 | 350.0 | 367.4 | PROC 1 PROC 5 | 2.4000E+05 2.4000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -5.7000E+05 | | | 4.8000E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 | |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.5000E+06 -4.7150E+05 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.1000E+05 2.0000E+05 6.6000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.5000E+06 | | | 1.0700E+06 | 76.5 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 | |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.5000E+06 -2.1000E+06 -5.0000E+06 | 222.4 | 374.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.5000E+06 1.5000E+06 2.5000E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6000E+06 | | | 7.5000E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 | |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -2.5000E+05 -9.1000E+05 | 200.0 | 272.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.5000E+05 2.5000E+05 5.2000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4000E+06 | | | 1.6000E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 | |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -6.4000E+05 -5.3125E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.2000E+05 6.1000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7500E+05 | | | 9.7500E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 | |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.2215E+06 -3.5000E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.5000E+05 5.0000E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5000E+06 | | | 6.5000E+06 | 76.8 | 50.0 | 67.5 | 150.0 | 702.4 | |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GHORAN(1984);6SP1

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 20.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | | |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|---|-------|-------|-----------------------------|--|--------|-------|------|--------|-----------|--|
| | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | | | THETA2 | DEL THETA | |
| 1 | 520.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.8000E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.8000E+05 | | | | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 | |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4240E+06 | 366.4 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 5.3799E+05 8.8601E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | | 1.4240E+06 | 99.8 | 73.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 | |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -3.7446E+05 -3.1844E+05 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 3 | 2.6201E+05 4.3149E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9350E+05 | | | | 6.9350E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 | |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.0251E+06 -1.7138E+05 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0399E+05 8.2718E+05 8.6533E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.8965E+06 | | | | 1.8965E+06 | 76.6 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 | |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.5200E+06 -5.7720E+06 -3.6240E+06 | 222.4 | 324.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6373E+06 2.3223E+06 2.6964E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6860E+06 | | | | 7.6860E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 | |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -7.4545E+05 -6.1833E+05 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5874E+05 5.9078E+05 5.9078E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.2640E+06 | | | | 1.6840E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.3 | |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -6.4327E+05 -5.1193E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7520E+05 | | | | 9.7520E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 | |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.9913E+06 -3.5893E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2000E+06 5.3008E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5809E+06 | | | | 6.5808E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.5 | 150.0 | 702.4 | |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.

TAULA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984);65P1

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 25.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CARGA | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR DEL THETA | | | U AVE | AREA | |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|--|-----------------------|-------|----------------------------|--|--------|-----------|-------|-------|--|
| | RANGO | TEMP | NOMBRE | | RANGO | TEMP | NOMBRE | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | |
| 1 | 523.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.8E00E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.8000E+05 | | | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 | |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4240E+06 | 366.4 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 5.3799E+05 8.3601E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | 1.4240E+06 | 99.8 | 75.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 | |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -3.7486E+05 -3.1964E+05 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 5 | 2.6201E+05 4.3149E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9350E+05 | | | 6.9350E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 | |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.0725E+06 -3.7134E+05 | 324.3 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0399E+05 8.2718E+05 8.6535E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.8965E+06 | | | 1.8965E+06 | 76.6 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 | |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.2290E+06 -2.720E+06 -4.9240E+06 | 222.4 | 324.3 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6373E+06 3.1523E+06 2.6924E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6360E+06 | | | 7.6360E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 | |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -7.5545E+05 -9.1355E+05 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5873E+05 7.1446E+05 5.9078E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6690E+06 | | | 1.6690E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 | |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -4.4377E+05 -5.3193E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7520E+05 | | | 9.7520E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 | |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.2913E+06 -3.5895E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2800E+06 5.3008E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5808E+06 | | | 6.5808E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.5 | 150.0 | 702.4 | |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984);6SPI

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 30.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR DEL THETA | | | U AVE | AREA | |
|---------|-------------------|-------|----------------------------|---|-------|-------|----------------------------|--|--------|--------|-------|-------|-----------|
| | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | | | DEL THETA |
| 1 | 520.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.8000E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 |
| | TOTALES | | | -4.8000E+05 | | | | 4.8000E+05 | | | | | |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4240E+06 | 366.4 | 400.0 | PROC 3 PROC 5 | 5.3799E+05 4.8501E+05 | 99.8 | 73.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | | 1.4240E+06 | | | | | |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -3.7477E+05 -3.1344E+05 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 5 | 2.6201E+05 4.3149E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 |
| | TOTALES | | | -6.8821E+05 | | | | 6.9350E+05 | | | | | |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.2251E+06 -8.7136E+05 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0599E+05 8.2714E+05 6.6533E+05 | 76.6 | 65.2 | 70.6 | 150.0 | 173.6 |
| | TOTALES | | | -1.4776E+06 | | | | 1.2969E+06 | | | | | |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.5000E+06 -2.1170E+06 -3.0240E+06 | 222.4 | 324.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6373E+06 1.3523E+06 2.6756E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 |
| | TOTALES | | | -7.6390E+06 | | | | 7.6390E+06 | | | | | |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -7.5545E+05 -2.1455E+05 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5873E+05 7.3449E+05 5.9673E+05 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 |
| | TOTALES | | | -1.6440E+06 | | | | 1.6840E+06 | | | | | |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -4.4427E+05 -7.5194E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | 72.7 | 75.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 |
| | TOTALES | | | -9.9621E+05 | | | | 9.7520E+05 | | | | | |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.9915E+06 -3.5525E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2600E+06 5.3004E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.5 | 150.0 | 702.4 |
| | TOTALES | | | -6.5440E+06 | | | | 6.5604E+06 | | | | | |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA ANCA DE 2042.5 SQ FT.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GHORAN(1984);6SP1

NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 35.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | |
|------------|-------------------|-------|----------------------------|---|-------|-------|----------------------------|--|--------|--------|-------|-------|-----------|--|
| | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO | TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | | | DEL THETA | |
| 1 | 527.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.3000E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.3000E+05 | | | | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 | |
| 2 | 497.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4240E+06 | 366.4 | 400.0 | PROC 1 PROC 5 | 5.3799E+05 8.8601E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | | 1.4240E+06 | 99.8 | 73.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 | |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -5.7496E+05 -5.1464E+05 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 5 | 2.7201E+05 4.3149E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9350E+05 | | | | 6.9350E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 | |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.0251E+06 -0.7136E+05 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0399E+05 8.2714E+05 6.6533E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.3965E+06 | | | | 1.8965E+06 | 76.6 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 | |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -3.5200E+06 -3.1200E+06 -3.0240E+06 | 222.4 | 324.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6375E+06 1.3503E+06 2.6964E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6360E+06 | | | | 7.6860E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 | |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -7.6545E+05 -9.1855E+05 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5873E+05 7.3449E+05 5.9078E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6840E+06 | | | | 1.6840E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 | |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -4.4327E+05 -5.3195E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 6.5520E+05 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7520E+05 | | | | 9.7520E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 | |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.2913E+06 -3.5895E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2800E+06 5.3008E+06 | | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5308E+06 | | | | 6.5808E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.3 | 150.0 | 702.4 | |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.

TABLA DE AREA MINIMA PARA PROBLEMA LEE(1969)-GMORAN(1984):6SP1
 NIVEL DE TEMPERATURA MINIMA DE ACERCAMIENTO 40.0 F.

| RANGO # | CORRIENTES FUENTE | | | CORRIENTES RECEPTORAS | | | CALCULOS DEL INTERCAMBIADOR | | | U AVE | AREA | | |
|------------|-------------------|--------|----------------------------|---|--------|-------|-----------------------------|--|-----------|-------|------|-------|-------|
| | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | RANGO TEMP | NOMBRE | CARGA | THETA1 | THETA2 | DEL THETA | | | | |
| 1 | 520.0 | 499.8 | PROC 4 | -4.3400E+05 | 400.0 | 430.0 | PROC 1 | 4.8000E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -4.0000E+05 | | | | 4.8000E+05 | 90.0 | 99.8 | 94.8 | 150.0 | 33.7 |
| 2 | 499.8 | 440.0 | PROC 4 | -1.4240E+06 | 366.4 | 400.0 | PROC 1 PROC 3 | 5.3799E+07 8.8601E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.4240E+06 | | | | 1.4240E+06 | 99.8 | 73.6 | 86.1 | 150.0 | 110.3 |
| 3 | 440.0 | 426.6 | PROC 2 PROC 4 | -3.7446E+05 -3.1864E+05 | 350.0 | 366.4 | PROC 1 PROC 3 | 2.0201E+05 4.3149E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.9350E+05 | | | | 6.9350E+05 | 73.6 | 76.6 | 75.1 | 150.0 | 61.6 |
| 4 | 426.6 | 390.0 | PROC 2 PROC 4 | -1.0751E+06 -8.7138E+05 | 324.8 | 350.0 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 4.0399E+05 9.2718E+05 6.6533E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.8965E+06 | | | | 1.8965E+06 | 76.6 | 65.2 | 70.8 | 150.0 | 178.6 |
| 5 | 390.0 | 300.0 | PROC 2 PROC 4 PROC 6 | -2.5200E+06 -2.1520E+06 -3.0240E+06 | 222.4 | 324.8 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 1.6373E+06 2.2623E+06 2.0964E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -7.6860E+06 | | | | 7.6860E+06 | 65.2 | 77.6 | 71.2 | 150.0 | 719.3 |
| 6 | 300.0 | 272.7 | PROC 2 PROC 6 | -7.6545E+05 -9.1835E+05 | 200.0 | 222.4 | PROC 1 PROC 3 PROC 5 | 3.5873E+05 7.3640E+05 5.0078E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -1.6840E+06 | | | | 1.6840E+06 | 77.6 | 72.7 | 75.1 | 150.0 | 149.5 |
| 7 | 272.7 | 256.8 | PROC 2 PROC 6 | -4.4327E+05 -5.3135E+05 | 180.0 | 200.0 | PROC 1 PROC 3 | 3.2000E+05 2.5520E+05 | | | | | |
| | TOTALES | | | -9.7520E+05 | | | | 9.7520E+05 | 72.7 | 76.8 | 74.7 | 150.0 | 87.0 |
| 8 | 256.8 | 150.0 | PROC 2 PROC 6 | -2.2913E+06 -3.5895E+06 | 100.0 | 180.0 | PROC 1 AGUA | 1.2800E+06 3.3008E+06 | | | | | |
| | TOTALES | | | -6.5808E+06 | | | | 6.5808E+06 | 76.8 | 50.0 | 62.5 | 150.0 | 702.4 |

UNA RED DE 25 INTERCAMBIADORES SE REQUIERE PARA LA RED DE MINIMA AREA DE 2042.5 SQ FT.