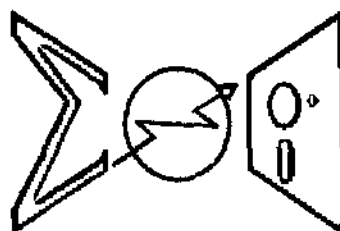




# DETERMINACION DE PERFILES DE TEMPERATURA EN SOLIDOS METALICOS



POR ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA

TESIS PRESENTADA A LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

1996



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

ESTOY MUY AGRADECIDO A LA EMPRESA INDUSTRIAS DERIVADOS DEL ETILENO S.A, POR HABERME PERMITIDO REALIZAR LA SIGUIENTE TESIS EN EL AREA DE PLANTA PILOTO. TAMBIEN A MIS DOS ASESORES QUE ME BRINDARON SU APOYO; EL PRIMERO EN LA REALIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LA TESIS, POR PARTE DEL INGENIERO ADOLFO PEREZ DIAZ Y EL SEGUNDO EN LA ELABORACION DE LA TESIS, POR PARTE DEL INGENIERO MANUEL MENDOZA LABRA.

LA REALIZACION DE ESTA TESIS NO SE LLEVARIA A CABO SINO FUERA POR LA AYUDA DESINTERESADA DE TODAS Y CADA UNA DE LAS SIGUIENTES PERSONAS QUE A CONTINUACION MENCIONARE : SR SERGIO LEON , SR. ANIBAL CARDOZO, SRA. ALMA VARELA, SR. SALVADOR PARRA, SR. MIGUEL SANCHEZ, SR. HECTOR MARQUEZ Y SR. JESUS PEREZ.

CON ESPECIAL CARIÑO A MIS PADRES Y FAMILIA, QUE ME APOYARON PARA TERMINAR MI CARRERA PROFESIONAL Y LA PRESENTE TESIS. Y FINALMENTE A UN GRAN AMIGO QUE ES DIOS, QUE SIEMPRE ESTA CONMIGO ESPIRITUALMENTE EN TODO MOMENTO DE MI VIDA.

MI SINCERA GRATITUD A TODOS ELLOS.

ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA

**INDICE GENERAL**

**CAPITULO I INTRODUCCION**

**CAPITULO II MECANISMOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

**CAPITULO III DESCRIPCION DEL TRABAJO**

**CAPITULO IV RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION**

**CAPITULO V APLICACION DE SOFTWARE PARA DETERMINAR LOS PERFILES  
DE TEMPERATURA EN REGIMEN ESTACIONARIO DE DIFERENTES  
MATERIALES**

**CAPITULO VI CONCLUSIONES**

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFIA**

**APENDICE A SIMBOLOGIA**

**APENDICE B FIGURAS**

**APENDICE C TABLAS**

## INDICE ESPECIFICO

|                                                                                                                                                    | Pag.       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CAPITULO I INTRODUCCION.....</b>                                                                                                                | <b>1</b>   |
| 1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVO.....                                                                                                                 | 2          |
| <b>CAPITULO II MECANISMOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....</b>                                                                               | <b>3</b>   |
| 2.1.-CONDUCCION.....                                                                                                                               | 4          |
| 2.2.-CONVECCION.....                                                                                                                               | 7          |
| 2.3.-RADIACION.....                                                                                                                                | 10         |
| <b>CAPITULO III DESCRIPCION DEL TRABAJO.....</b>                                                                                                   | <b>17</b>  |
| 3.1.-DESARROLLO MATEMATICO DE UNA BARRA DE SECCION<br>TRANSVERSAL CIRCULAR.....                                                                    | 18         |
| 3.2.-APARATOS POR UTILIZAR.....                                                                                                                    | 25         |
| 3.3.-DIAGRAMAS DE CONSTRUCCION.....                                                                                                                | 28         |
| 3.4.-REALIZACION EXPERIMENTAL.....                                                                                                                 | 29         |
| <b>CAPITULO IV RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION.....</b>                                                                                           | <b>30</b>  |
| 4.1.-GRAFICAS DE LA TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO A LO<br>LARGO DE CADA BARRA.....                                                             | 31         |
| 4.2.-TABLAS Y GRAFICAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE TEMPERATURA A<br>LO LARGO DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO.....                               | 35         |
| 4.3.-TABLAS Y GRAFICAS DEL COEFICIENTE CONVECTIVO A LO LARGO<br>DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO.....                                         | 37         |
| 4.4.-TABLAS Y GRAFICAS DEL CALOR DISIPADO Y DEL RENDIMIENTO<br>POR CADA UNA DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO.....                             | 39         |
| 4.5.-TABLAS DE DENSIDAD, CAPACIDAD CALORIFICA Y DE<br>CONDUCTIVIDAD TERMICA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA<br>PARA CADA UNA DE LAS BARRAS.....       | 43         |
| 4.6.-GRAFICAS DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN FUNCION DE LA<br>POSICION.....                                                                     | 61         |
| 4.7.-TABLAS Y GRAFICAS DE LA FZA. IMPULSORA TERMICA EN FUNCION DE LA<br>FZA. IMPULSORA.....                                                        | 63         |
| 4.8.-TABLAS Y GRAFICAS DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION POR<br>CADA UNA DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO.....                                 | 78         |
| 4.9.-GRAFICAS DE DENSIDAD, CAPACIDAD CALORIFICA Y<br>CONDUCTIVIDAD TERMICA EN REGIMEN ESTACIONARIO.....                                            | 82         |
| <b>CAPITULO V APLICACION DE SOFTWARE PARA DETERMINAR LOS PERFILES<br/>DE TEMPERATURA EN REGIMEN ESTACIONARIO DE DIFERENTES<br/>MATERIALES.....</b> | <b>89</b>  |
| 5.1.-AJUSTE DE DATOS NO LINEALES.....                                                                                                              | 90         |
| 5.2.-DIAGRAMA DE FLUJO.....                                                                                                                        | 100        |
| 5.3.-LISTADO DEL PROGRAMA.....                                                                                                                     | 104        |
| 5.4.-ANALOGIA DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DEL<br>PROGRAMA.....                                                                              | 122        |
| <b>CAPITULO VI CONCLUSIONES.....</b>                                                                                                               | <b>126</b> |
| <b>GLOSARIO.....</b>                                                                                                                               | <b>128</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                                                                                           | <b>130</b> |
| <b>APENDICE A SIMBOLOGIA.....</b>                                                                                                                  | <b>132</b> |
| <b>APENDICE B FIGURAS.....</b>                                                                                                                     | <b>134</b> |
| <b>APENDICE C TABLAS.....</b>                                                                                                                      | <b>138</b> |

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

## 1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVO

La transferencia de calor es una de las herramientas que con mucha frecuencia emplea la Ingeniería Química para analizar los fenómenos que se presentan en los procesos. Es cierto que para tener una claridad en el análisis de la realidad es necesario que se cuantifiquen esos fenómenos de tal manera que es inevitable pasar por la medición de propiedades y el cálculo de otras a través de modelos matemáticos. Con base en lo anterior he desarrollado esta tesis con la finalidad de obtener el perfil de temperaturas en barras metálicas, especialmente del aluminio, cobre y acero inoxidable 316 para determinar lo siguiente: el rendimiento de disipación de calor, la fuerza impulsora térmica, la capacidad calorífica, la conductividad térmica, el coeficiente convectivo y la densidad para cada una de ellas. Para ello se implementó un experimento para obtener las temperaturas en cada barra y posteriormente procesarlas a través de software para que ya sin necesidad de experimentación sea capaz de predecir las propiedades en los materiales estudiados. Siendo esta información obtenida, un apoyo para el área de investigación en el laboratorio de operaciones unitarias.

# **CAPITULO II**

## **MECANISMOS BASICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR**

## 2.1.-CONDUCCION

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor a través de un material fijo mediante el movimiento de sus moléculas o átomos sin que exista mezcla. Este fenómeno molecular se debe a la ley propuesta por el matemático francés Fourier (1822), que se conoce como ley de la conducción de calor. Dicha ley predice que en cualquier sistema de flujo, ya sea de calor, de fluido o de electricidad, la cantidad que fluye es directamente proporcional a la diferencia de potencial e inversamente proporcional a la resistencia que se aplica al sistema, ó:

$$\text{Flujo} \propto \frac{\text{potencial}}{\text{resistencia}} \quad (2.1)$$

En este mecanismo el flujo de calor pasa a través de un material fijo, como se muestra la pared de la figura 2.1.

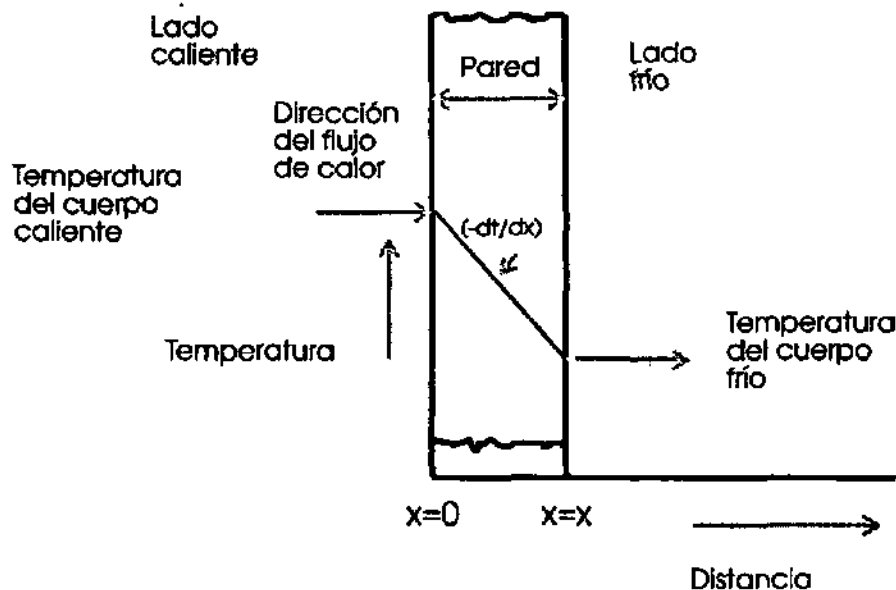


FIG. 2.1

La dirección del flujo de calor será a ángulos rectos a la pared, si las superficies de las paredes son isotérmicas y el cuerpo es homogéneo e isotrópico. Supóngase que existen una fuente de calor a la izquierda de la pared y un receptor de calor en la superficie derecha. Donde el flujo de calor por hora es proporcional al cambio de temperatura a través de la pared y al área de la pared A. Si t es la temperatura de la pared en cualquier punto y x es el grueso de la pared en dirección del flujo de calor, la cantidad de flujo de calor dQ es dada por

$$dQ = kA \left( -\frac{dt}{dx} \right) \quad (2.2)$$

El término  $(-dt/dx)$  se llama gradiente de temperatura y tiene un signo negativo si se supuso una temperatura mayor en la cara donde  $x=0$  y menor en la cara donde  $x=X$ . Es decir, la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y a la diferencia de temperatura dt que impulsa el calor a través de la pared de espesor dx. La constante de proporcionalidad k es peculiar a la conducción de calor por conductividad y se le conoce por conductividad térmica. Esta conductividad se evalúa experimentalmente y existen materiales que son buenos conductores de calor tal como un metal, o malos conductores que se conocen como aislantes. A continuación determinaremos la ecuación general de la conducción partiendo de la ecuación (2.1).

El flujo de calor a través de una pared, se lleva a cabo por efecto de la diferencia de temperatura entre las superficies calientes y frías, por lo que necesariamente existe una resistencia al flujo de calor. La conductancia es la recíproca de la resistencia al flujo de calor y la ecuación (2.1) se puede expresar como

### Flujo $\propto$ conductancia x potencial (2.3)

Suponiéndose una cantidad de calor conocida  $Q'$  Btu que se transmite por una pared de tamaño desconocido en un intervalo de tiempo  $\theta$  h con una diferencia de temperatura medida  $\Delta t$  °F, y la ecuación (2.3) se expresa como

$$Q = \frac{Q'}{\theta} = \text{conductancia} \times \Delta t \quad \text{Btu/hr} \quad (2.4)$$

Siendo de la ecuación (2.4), las dimensiones de Btu/h°F.

Cuando la conductancia se reporta para una cantidad de un pie de grueso con un área de flujo de un pie<sup>2</sup>, la unidad de tiempo 1 hr y la diferencia de temperatura 1 °F, se llama conductividad térmica, k. Las correlaciones entre la conductividad térmica y la conductancia de una pared de grueso L y área A dadas por

$$\text{conductancia} = k \left( \frac{A}{L} \right)$$

y

$$\frac{Q'}{\theta} = k \left( \frac{A}{L} \right) \Delta t \quad (2.5)$$

donde

$$k = \text{Btu}/(\text{hr})(\text{pie}^2)(^\circ\text{F})/(\text{pie})$$

escribiendo en forma diferencial la ecuación (2.5)

$$dQ'/d\theta = k dA \left( \frac{dt}{dx} \right) \quad (2.6)$$

Tomando como referencia la figura 2.2, se considera un cubo de volumen  $dv=dx*dy*dz$  que recibe una cantidad de calor  $dQ'_1$ , Btu a través de su cara izquierda yz, en un intervalo de tiempo  $d\theta$ , supóngase que todas las caras menos la izquierda y derecha yz, están aisladas. En el mismo intervalo de tiempo, la cantidad de calor  $dQ'_2$  abandona el lado derecho, y realizando un balance de calor tenemos

$$dQ = dQ'_1 - dQ'_2 \quad (2.7)$$

De acuerdo con la ecuación (2.6), el calor que entra al volumen es

$$\frac{dQ'_1}{d\theta} = k dy dz \left( -\frac{\partial t}{\partial x} \right) \quad (2.8)$$

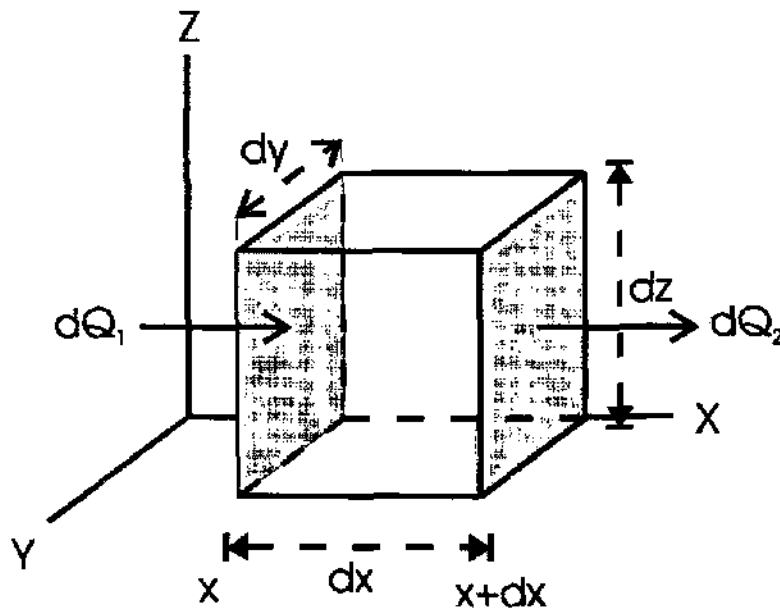


FIG. 2.2

El gradiente de temperatura  $\left(-\frac{\partial t}{\partial x}\right)$  puede variar, ya sea con el tiempo o la posición del cubo. Esta variación de posición es dada por la función  $f(x) = \frac{\partial\left(-\frac{\partial t}{\partial x}\right)}{\partial x}$ , sobre la distancia  $dx$  comprendida de  $x$  a  $x+dx$ , y

si  $dQ'_2 > dQ'_1$ , el cambio total será  $-\frac{\partial\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right)}{\partial x} dx$  ó  $-\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx$ .

Entonces a  $x$  el gradiente es  $-\frac{\partial t}{\partial x}$ , y a  $x+dx$  el gradiente de temperatura es  $-\frac{\partial t}{\partial x} - \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx$

$dQ'_2$  a la salida del cubo y en la misma forma que la ecuación (2.8) es

$$\frac{dQ'_2}{d\theta} = k dy dz \left[ -\frac{\partial t}{\partial x} - \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx \right] \quad (2.9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2.8) y (2.9) en la (2.7), obtenemos lo siguiente

$$\frac{dQ'}{d\theta} = k dy dz \left( -\frac{\partial t}{\partial x} \right) - k dy dz \left( -\frac{\partial t}{\partial x} - \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} dx \right)$$

donde

$$\frac{dQ'}{d\theta} = k dy dz \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) dx \quad (2.10)$$

El cubo habrá cambiado en las temperaturas en  $-dt$  grados. El cambio por unidad de tiempo será  $dt/d\theta$  y en el intervalo de tiempo  $d\theta$  es dado por  $(dt/d\theta)d\theta$  grados.

Para elevar el volumen  $dx dy dz$  se debe definir el calor específico volumétrico,  $C_v$  (Btu/pie<sup>3</sup> °F), obtenido multiplicando el calor específico  $c$  Btu/lb °F por la densidad  $\rho$ , que se tiene lo siguiente:

$$dQ'/d\theta = c\rho dx dy dz \left( \frac{\partial t}{\partial \theta} \right) \quad (2.11)$$

Combinando la ecuación (2.10) y (2.11)

$$c\rho dx dy dz \left( \frac{\partial t}{\partial \theta} \right) = k dy dz \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) dx \quad (2.12)$$

de la cual

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \left( \frac{k}{c\rho} \right) \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right) \quad (2.13)$$

Esta ecuación (2.13) se conoce como la ecuación general de Fourier para flujo de calor a través del eje X. Si la transferencia de calor es a través de los ejes x,y,z, la ecuación (2.13) se expresa como

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \left( \frac{k}{c\rho} \right) \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (2.14)$$

Se considera un estado estable, si  $t$  no varía con el tiempo, y  $dt/d\theta$  es igual a cero,  $\partial t / \partial x$  es una constante y  $\partial^2 t / \partial x^2$ .  $dQ_1' = dQ_2'$  y la ecuación (2.9) se reduce a la ecuación (2.5), donde  $dx dy = dA$ . Sustituyendo  $dQ$  por  $dQ/d\theta$ , ambos términos tienen las dimensiones de Btu/hr, donde la ecuación del estado estable es

$$dQ = k dA \left( \frac{dt}{dx} \right)$$

integrado obtenemos la ecuación general de transmisión de calor por conducción que es la siguiente

$$Q = \left( \frac{kA}{L} \right) \Delta t \quad (2.15)$$

y dicha ecuación tiene muchas aplicaciones en ingeniería.

## 2.2.-CONVECCION

La convección es el mecanismo de transferencia de calor que se transmite por mezcla de las partes calientes con las frías de un mismo material. Existen dos clasificaciones principales de la transferencia convectiva de calor, relacionadas con la fuerza responsable del flujo del fluido y que son los siguientes:

a) CONVECCION NATURAL.- Menciona que la mezcla se produce por el ascenso del fluido caliente al disminuir su densidad y el descenso del fluido frío por tener densidad mayor al fluido caliente.

b) CONVECCION FORZADA.- Se produce la mezcla por medio de un agente externo, tal como una bomba, agitación, ventilación etc.

El mecanismo por convección puede ser descrito por la ecuación de Newton de la rapidez o "ley" de Newton del enfriamiento (1701).

Esta ecuación es:  $dQ = hAdt$  (2.16)

La constante de proporcionalidad  $h$  es un término sobre el cual tiene influencia la naturaleza del fluido y la forma de agitación y debe ser evaluado experimentalmente.

Se llama coeficiente de transferencia de calor. Cuando es integrada la ecuación (2.16) se expresa de esta manera:  
 $Q = hAdt$

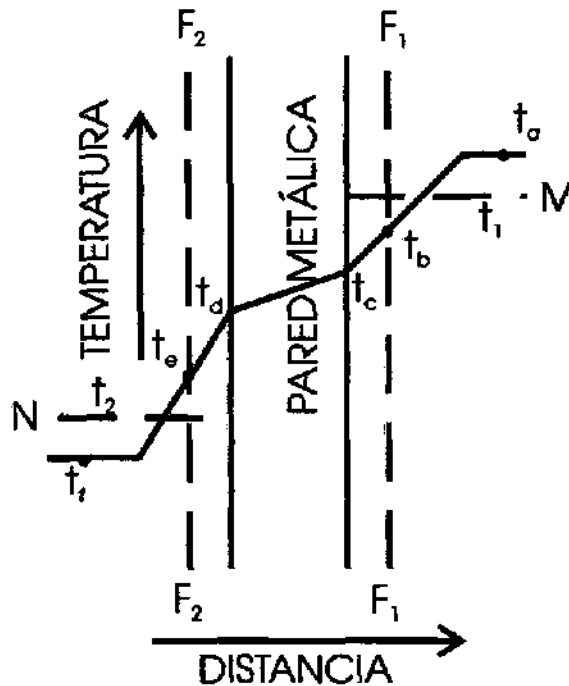


FIG. 2.3

Consideremos dos fluidos, uno caliente y otro frío, puestos en contacto por medio de una pared metálica, como se muestra la fig. 2.3. Esta figura representa los gradientes de temperatura para el caso en que el calor se transmite desde un fluido frío. Las líneas de puntos  $F_1F_1$  e izquierda de  $F_2F_2$ , representan los límites de las películas en flujo laminar, y todas las partes situadas a la derecha de  $F_1F_1$  e izquierda de  $F_2F_2$  están en régimen turbulento. El gradiente de temperatura desde el interior de la masa del fluido caliente hasta la pared metálica, está representada por la línea curva  $t_a, t_b, t_c$ . La temperatura  $t_a$  es la máxima temperatura en el fluido caliente;  $t_b$ , la temperatura en el límite entre las regiones de régimen turbulento y laminar, y la temperatura  $t_c$  es la temperatura en la cara de separación entre el fluido y la pared metálica. La curva  $t_d t_e t_f$  tiene su significado similar.

En los cálculos de transferencia de calor se toma la temperatura media del fluido, tal como se obtendría si se mezclase completamente y se tomase su temperatura. Esta temperatura media  $t_1$  está indicada por la línea  $MM$ . El mismo razonamiento se sigue en el fluido frío, cuya temperatura media  $t_2$  está representada por la línea  $NN$ . Si el fluido no es viscoso y la tubería no tiene gran diámetro, esta temperatura media es una de las que se pueden tomar si se inserta un termómetro en la tubería y su bulbo está próximo al centro de la corriente del fluido. Para determinar el curso real de la curva  $t_a t_b t_c$ , es necesario efectuar medidas exactas con termopares muy finos. El gradiente de temperatura  $t_c t_d$  está originado por el calor transmitido en conducción pura, normalmente a través de un material cuya conductividad térmica es conocida y en la mayor parte de los casos es una pequeña fracción de la diferencia total de temperatura  $t_a t_f$ .

En la figura 2.3 suponemos que  $Q$  (Kcal/hr) pasan del fluido caliente a la pared metálica y de ésta al fluido frío. Sea  $A_1$  el área de la pared metálica por el lado del fluido caliente, perpendicular al flujo de calor; el área del lado frío  $A_2$ ; y el área media de la pared metálica,  $A_m$ . El coeficiente de superficie en el lado caliente se define por la relación

$$h_1 = \frac{Q}{A_1(t_1 - t_c)} \quad (2.18)$$

donde  $1/h_1 A_1$  es una resistencia térmica del lado del fluido caliente.

En la misma forma del lado del fluido frío, será:

$$h_2 = \frac{Q}{A_2(t_d - t_2)} \quad (2.19)$$

Así que podemos considerar la figura 2.3, formada por tres resistencias en serie: primero, la resistencia del lado caliente,  $1/h_1 A_1$ ; segundo, la resistencia de la pared metálica,  $L/kA_m$ ; y tercero, la resistencia en el lado frío,  $1/h_2 A_2$ . Sabiendo que la ecuación de flujo de calor en una pared con tres resistencias está dada por

$$Q = \frac{\Delta t}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (2.20)$$

relacionando con la ecuación (2.20) tenemos

$$Q = \frac{\Delta t \text{ (total)}}{\left[ \left( \frac{1}{h_1 A_1} \right) + \left( \frac{1}{k A_m} \right) + \left( \frac{1}{h_2 A_2} \right) \right]} \quad (2.21)$$

Una vez conocida la ecuación que determina el flujo de calor es necesario conocer los coeficientes individuales de película  $h$ .

La ecuación que sirva para predecir los valores numéricos de tales coeficientes, debe incluir. Todas las propiedades del fluido y todas las condiciones del flujo.

En forma general estas dos condiciones son tales como: diámetro de tubería, velocidad del flujo, densidad, viscosidad, calor específico, etc.

Experimentalmente y utilizando el análisis dimensional se ha llegado a determinar ecuaciones por medio de las cuales, obtenemos los valores de los coeficientes individuales de transmisión, los cuales pueden ser: Ecuación de Dittus-Boelter, Ecuación de Uisamer y Ecuación de Mc. Adams.

Así como estas ecuaciones podemos tener muchas más para casos específicos, por lo que una vez obtenido el coeficiente individual de película, multipliquemos el numerador y el denominador de la ecuación (2.21) por  $A_1$ , o sea, el área de la pared del lado del fluido caliente y obtendremos:

$$q = \frac{A_1 \Delta t}{\left( \frac{1}{h_1} \right) + \left( \frac{A_1}{A_m k} \right) + \left( \frac{A_1}{h_2 k_2} \right)} \quad (2.22)$$

Definiendo el coeficiente global de transferencia de calor  $U_1$

$$U_1 = \frac{1}{\left( \frac{1}{h_1} \right) + \left( \frac{A_1 L}{A_m k} \right) + \left( \frac{A_1}{h_2 k_2} \right)} \quad (2.23)$$

y comparando la ecuación (2.23) con la ecuación (2.22), se deduce que:

$$Q = U_1 A_1 dt \quad (2.29)$$

Por lo tanto, esta es la ecuación general de transferencia de calor por convección, y establece que la cantidad de calor transferido es producto de tres factores:

- a) El coeficiente global de transmisión de calor.
- b) La caída de temperatura.
- c) El área de la superficie de calentamiento.

### 2.3.-RADIACION

La radiación es un mecanismo de transferencia de calor a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas, cuya longitud de onda está comprendida en el intervalo de 0.8 a 400 micrones. La radiación térmica tiene la misma naturaleza que la luz, razón por la cual obedecerá las mismas leyes, es decir, se propaga en línea recta, se refleja en superficies, así mismo tendrá intensidad  $I$  y longitud de onda  $\lambda$ . La importancia de la radiación aumenta a medida que la temperatura aumenta.

La potencia emisiva es la cantidad total de energía radiante de todas las longitudes de onda emitida por un cuerpo por unidad de área y de tiempo. La potencia emisiva total  $E$ , Btu/h\*pie<sup>2</sup>, está dada por la ecuación (2.25).

$$E = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda \quad (2.25)$$

Esta ecuación determina que el área bajo la curva de  $I_{\lambda}$  vs  $\lambda$ , donde  $\lambda = 0$  hasta  $\lambda = \infty$ , es la potencia emisiva total  $E$ , esta curva se muestra en la figura 2.4 y está dada por la siguiente ecuación:

$$I_{\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1} d\lambda \quad (2.26)$$

donde

$I_{\lambda}$  = intensidad de emisión monocromática, Btu/h pie<sup>2</sup> (micrón).

$\lambda$  = longitud de onda, micrones.

$C_1$  y  $C_2$  = constantes equivalentes:  $1.16 \times 10^8$  y 25740 respectivamente.

$T$  = temperatura del cuerpo (°R).

Sustituyendo la ecuación (2.26), en la ecuación (2.25), a temperatura fija, tenemos que:

$$E = \int_0^{\infty} \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1} d\lambda \quad (2.27)$$

Considerando lo siguiente:

$$x = C_2 / \lambda T$$

$$\lambda = C_2 / T x$$

$$d\lambda = (- C_2 / T x^2) dx$$

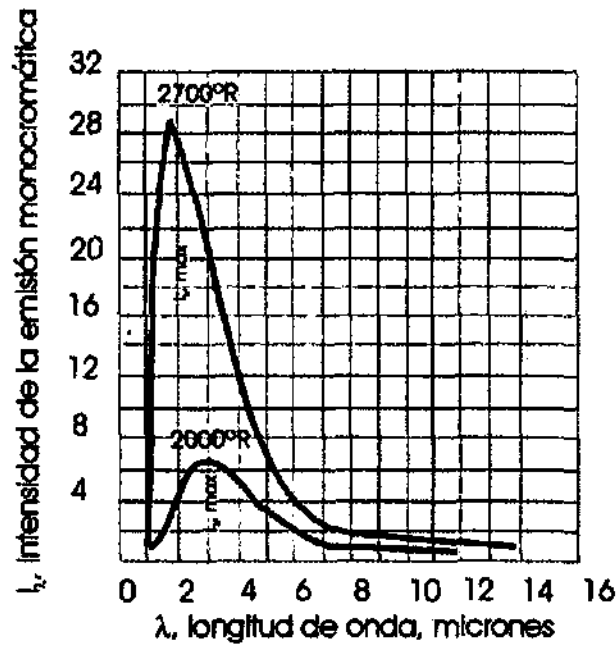


FIG. 2.4

Por lo tanto:

$$E_b = \left( -\frac{C_1 T^4}{C_2^4} \right) \int_0^{\infty} x^3 (e^x - 1)^{-1} dx \quad (2.28)$$

Desarrollando el término en paréntesis

$$E_b = \left( -\frac{C_1 T^4}{C_2^4} \right) \int_0^{\infty} x^3 (e^{-x} + e^{-2x} + e^{-3x} + e^{-4x} + \dots) dx \quad (2.29)$$

Integrando cada término y sumando solamente los primeros cuatro:

$$E_b = \frac{C_1 T^4}{C_2^4} \times 6.44 \quad (2.30)$$

Evaluando constantes

$$E_b = 0.173 \times 10^{-8} T^4 \quad (2.31)$$

La ecuación (2.31), es el área bajo la curva de la figura 2.4 de  $\lambda = 0$  a  $\lambda = \infty$  y establece que la radiación total de un cuerpo negro perfecto es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo. Esto se conoce como la ley de Stefan-Boltzman. La constante  $0.173 \times 10^{-8} \text{ Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(\text{R}^4)$ , se conoce como la constante de Stefan-Boltzman, designada comúnmente por  $\sigma$ . Para un cuerpo cualquiera, cuya emisividad está dada por  $E/E_b$  y conociendo que  $E/E_b$ . La ecuación (2.31) se transforma:

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.32)$$

y

$$\frac{Q}{A} = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.33)$$

La ecuación (2.33) representa la transmisión de calor por radiación y representa variaciones según la disposición de los cuerpos donador y receptor.

1.-Para dos planos extensos paralelos:

$$\frac{Q}{A} = 0.173 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.34)$$

2.-Para dos planos con diferentes emisividades:

$$\frac{Q}{A} = \frac{\sigma}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_2} \right) - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.35)$$

3.-Para dos planos con una placa interceptora:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_2} \right) - 1} \left( \frac{1}{2} \right) (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.36)$$

4.-Para esferas con forros concéntricos:

$$Q = \frac{\sigma A_1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.37)$$

5.-Para cilindros con forros concéntricos:

$$Q = \frac{\sigma A_1}{\left( \frac{1}{\epsilon_1} \right) + \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.38)$$

Consideremos el arreglo de dos placas radiantes a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ , como se muestra en la figura 2.5 . Las dos placas no están una frente a la otra y por lo mismo tienen una vista oblicua una de la otra. La placa interior presentada isométricamente en el plano horizontal, radia en todas las direcciones. Algo de la radiación de la placa  $dA_1$  cae en la placa  $dA_2$ , que reflejará algo de energía incidente y una parte regresará nuevamente a la placa  $dA_1$ . La línea más corta que une los centros O y O' es  $r$ . La imagen de  $dA_1$  reflejada será  $dA_1' = dA_1 \cos \alpha_1$ ; para

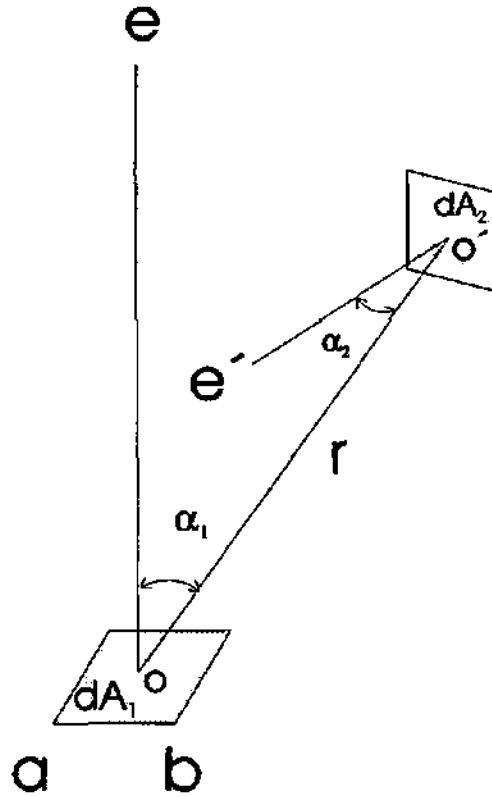


FIG. 2.5

la placa  $dA_2$  será  $dA_2' = dA_2 \cos \alpha_2$ . Si ambos son cuerpos negros, la radiación de la placa 1 a la placa 2 es proporcional a la superficie normal expuesta de cada una e inversamente el cuadrado de la distancia entre ellas, donde  $I_1$  es la constante de proporcionalidad dimensionalmente igual a la intensidad de radiación, así tenemos

$$dQ_{1-2} = \left( \frac{I_1}{r^2} \right) dA_1' dA_2' \quad (2.39)$$

Sustituyendo, obtenemos lo siguiente:

$$dQ_{1-2} = \left( \frac{I_1}{r^2} \right) \cos \alpha_1 \cos \alpha_2 dA_1 dA_2 \quad (2.40)$$

Considerar

$$dW_1 = \left( \frac{dA_2'}{r^2} \right) = \frac{r \sin \alpha \, d\beta \, r d\alpha}{r^2} \quad (2.41)$$

$$dW_1 = \sin \alpha \, d\beta \, d\alpha$$

De las ecuaciones (2.39), (2.40) y (2.41)

$$\frac{dQ}{dA} = E_b = I_1 \int_0^{\pi/2} \sin \alpha \cos \alpha \, d\alpha \int_0^{2\pi} d\beta \quad (2.42)$$

Desarrollando

$$\frac{dQ}{dA} = I_1 \pi \text{ donde } I_1 = \frac{E_b}{\pi} = \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (2.43)$$

Sustituyendo la ecuación (2.43) en la ecuación (2.40), tenemos lo siguiente:

$$dQ = \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 dA_1 dA_2 \sigma}{\pi r^2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.44)$$

Donde

$$F_A = \frac{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 dA_2}{\pi r^2} \quad (2.45)$$

El término  $F_A$  se denomina factor geométrico de configuración y la ecuación (2.44) integrándola queda

$$Q = F_A A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.46)$$

Si dos superficies son grises, no negras, la ecuación (2.35) queda

$$Q = \frac{F_A A_1 \sigma}{\left(\frac{1}{\epsilon_1}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_2}\right) - 1} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.47)$$

Considerando a  $F_e$  como factor de emisividad

$$F_e = \frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_1}\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_2}\right) - 1} \quad (2.48)$$

$$Q = F_A F_e A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

El resumen dado en la siguiente tabla 1 y de las figuras 2.6, 2.7 y 2.8, se toman los valores necesarios para el cálculo de  $Q$  en base a la ecuación (2.48), que es la ecuación para calcular la transferencia de calor por radiación.

TABLA 1

|                                                                                                                                                          | $F_A$    | $F_e$                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| (a) La superficie $A_1$ es pequeña comparada con la superficie envolvente $A_2$ .                                                                        | 1        | $\epsilon_1$                                                                             |
| (b) Superficies $A_1$ y $A_2$ de discos paralelos, cuadrados, rectángulos 2:1, rectángulos largos.                                                       | FIG. 2.7 | $\epsilon_1 \epsilon_2$                                                                  |
| (c) Superficie $dA_1$ y superficie rectangular paralela $A_2$ con una esquina del rectángulo sobre $dA_1$ .                                              | FIG. 2.6 | $\epsilon_1 \epsilon_2$                                                                  |
| (d) Superficies $A_1$ o $A_2$ de rectángulos perpendiculares teniendo un lado común.                                                                     | FIG. 2.8 | $\epsilon_1 \epsilon_2$                                                                  |
| (e) Superficies $A_1$ y $A_2$ de planos paralelos infinitos o superficie $A_1$ de un cuerpo completamente encerrado que es pequeño comparado con $A_2$ . | 1        | $\frac{1}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2}\right) - 1}$                 |
| (f) Esferas concéntricas o cilindros concéntricos infinitos con superficies $A_1$ y $A_2$ .                                                              | 1        | $\frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right)}$ |

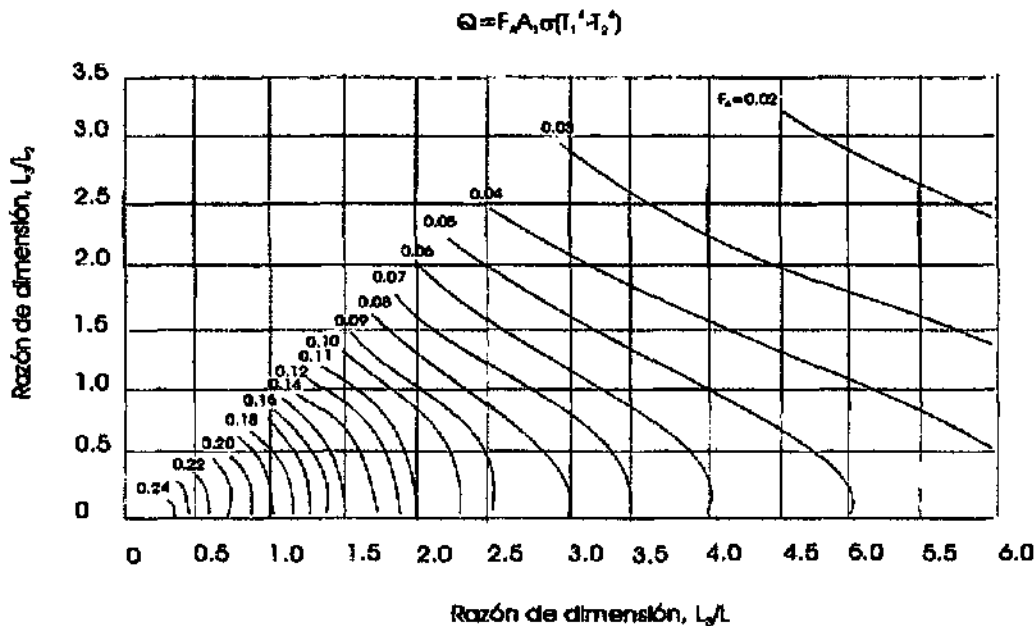


FIG. 2.6

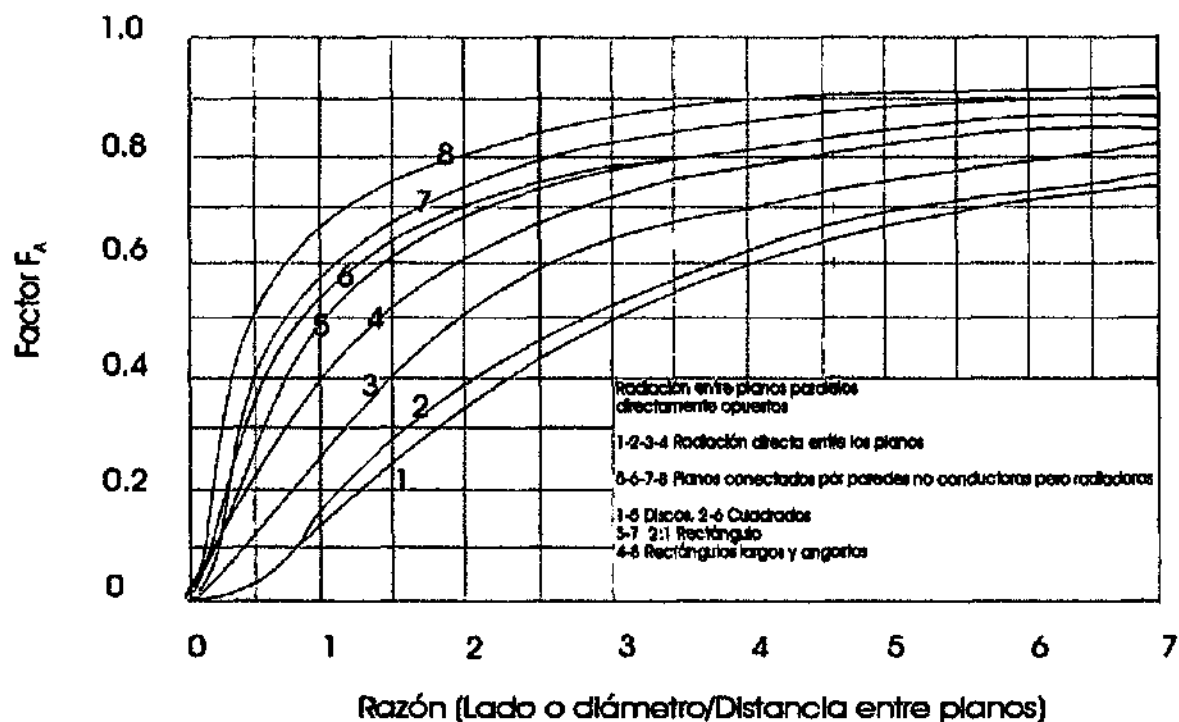


FIG. 2.7

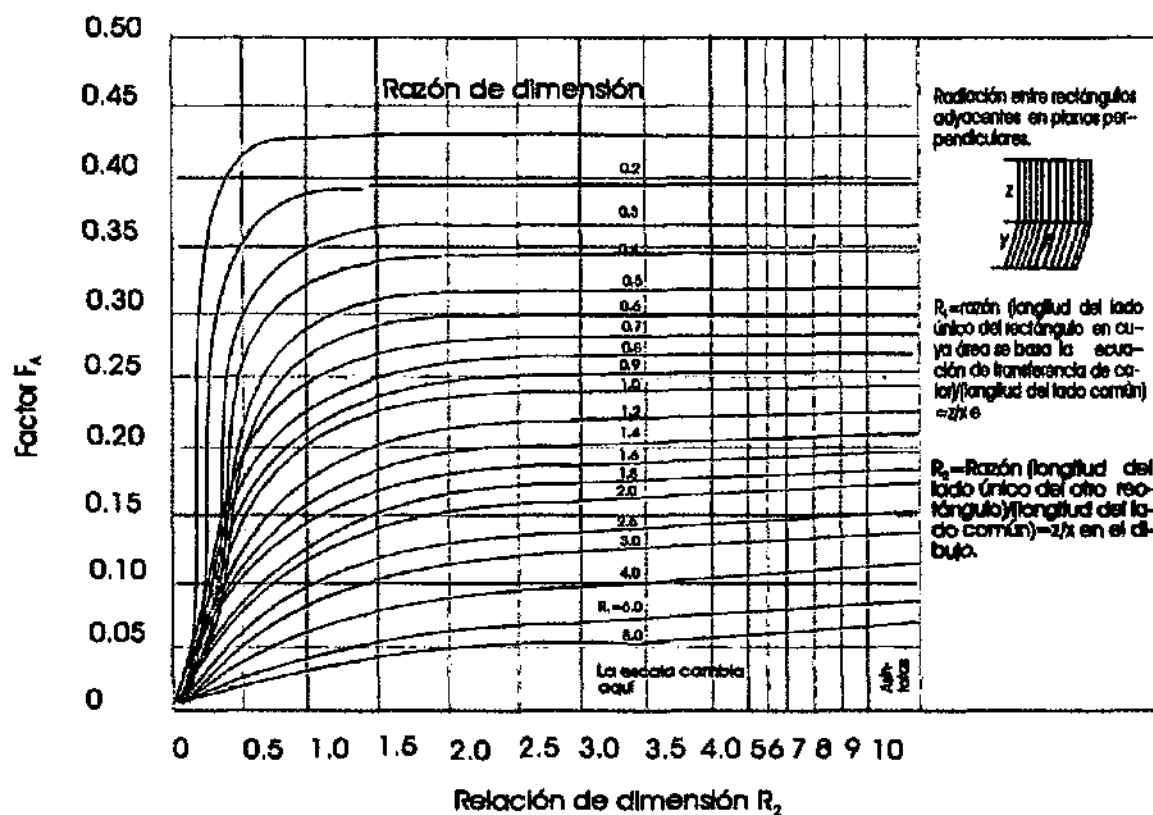


FIG. 2.8

# **CAPITULO III**

## **DESCRIPCION DEL TRABAJO**

Se ilustrará a continuación de tal modelo y las condiciones bajo las cuales se efectuarán la medición y análisis (en detalle) de la distribución de temperatura a lo largo de una barra calentada en uno de sus extremos.

### 3.1.-DESARROLLO MATEMATICO DE UNA BARRA DE SECCION TRANSVERSAL CIRCULAR

Sea una barra larga y maciza de sección transversal circular y uniforme, que inicialmente se halla mantenida con una temperatura uniforme, que es la misma de su entorno.

Se procede a calentarla bruscamente en un extremo, valiéndose de una fuente de energía de temperatura constante. Se supondrá que: las propiedades de su material son constantes con la temperatura; la barra es muy larga (matemáticamente, de longitud infinita); el calor solamente se propaga a lo largo de la barra en el sentido axial (es decir, que en cada sección transversal la temperatura es uniforme); que el coeficiente de transferencia térmica de la superficie cilíndrica de la barra no depende de la posición.

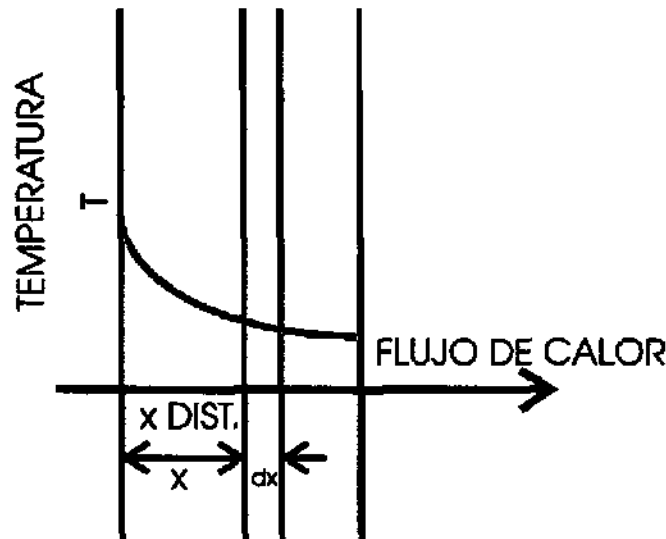


FIG. 3.1

El balance energético diferencial correspondiente a este modelo (fig. 3.1) es el siguiente:

$$Q_{\text{Entra}} - Q_{\text{Salida}} = Q_{\text{Acumulado}} \quad (3.1)$$

En un determinado instante el gradiente de temperatura, a la distancia  $x$  es:  $\frac{\partial T}{\partial x}$

La cantidad de calor que entra en el intervalo de tiempo  $dt$  es:  $-kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dt$

El gradiente a la distancia  $x+dx$  es ligeramente mayor que a la distancia  $x$  y es:

$$\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx$$

Por lo tanto, el flujo de calor que sale a la distancia  $x+dx$  es:

$$-kA \left[ \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] dt + hP(T - T_a) dx dt$$

La acumulación de calor en  $dx$  es:  $-kA \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dxdt$

Sustituyendo en el balance general (ecuación 3.1) obtenemos

$$-kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dt - \left[ -kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right) dt + hP(T - T_a) dxdt \right] = -kA \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dxdt$$

$$-kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dt + kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dx \right) dt - hP(T - T_a) dxdt = -kA \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dxdt$$

Acomodando términos:

$$kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) dt - kA \left( \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dx \right) dt = kA \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dxdt - hP(T - T_a) dxdt \quad (3.2)$$

Donde la acumulación es igual al producto de la masa por el calor específico y por el incremento de temperatura que es el siguiente:

$$(\rho A dx) C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) dt$$

Aplicándolo al balance de calor (ecuación 3.2)

$$\rho C_p A \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) dxdt = kA \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) dxdt - hP(T - T_a) dxdt$$

dividiendo todo por  $\rho C_p A dxdt$  obtenemos

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left( \frac{k}{\rho C_p} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \left( \frac{hP}{\rho C_p A} \right) (T - T_a)$$

donde  $\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$  y  $\beta = \left( \frac{hP}{\rho C_p A} \right)$

quedando finalmente

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \beta (T - T_a) \quad (3.3)$$

La solución de esta ecuación (3.3) es la siguiente: se involucra primero estas nuevas variables con la finalidad de reducir términos

$$w = T - T_a \text{ y } w_0 = T_s - T_a$$

donde

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad y \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

por lo tanto

condiciones frontera

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \beta w \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} x=0 & \quad w = w_0 \\ x \rightarrow \infty & \quad w = 0 \end{aligned}$$

A continuación se sustituye nuevamente por una nueva variable  $w = ue^{-\beta t}$  donde  $\beta$  puede tener cualquier valor (sea positivo o negativo)

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \left( \frac{\partial w}{\partial u} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) = e^{-\beta t} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) \quad y \quad \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \left( \frac{\partial^2 w}{\partial u^2} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial u} \right) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 + e^{-\beta t} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = e^{-\beta t} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)$$

Sustituyendo en la ecuación (3.4) tenemos

$$e^{-\beta t} \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right) = \alpha (e^{-\beta t}) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \text{ si } \beta = 0 \text{ entonces } e^{-\beta t} = 1$$

Resultando la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \quad (3.5)$$

Entonces ahora se aplicara el Teorema de Duhamel, donde la función  $u$  a de satisfacerse, al desaparecer para  $t=0$  y tiene que ser evaluado por  $\phi(t) = w_0 e^{\beta t}$ ,  $x=0$ ,  $t > 0$ .

La solución de este problema representa uno de los casos especiales del Teorema Duhamel y que es el siguiente:

$$u = \left( \frac{1}{2} \right) w_0 e^{\beta t} \left\{ e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} \right] + e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \right] \right\}$$

que finalmente nos da

$$\begin{aligned} \frac{w}{w_0} &= \left( \frac{1}{2} \right) \left[ e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} \right] + e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \right] \right] \circ \\ \frac{T_s - T_a}{T_s - T_a} &= \left( \frac{1}{2} \right) \left[ e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} \right] + e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \right] \right] \quad (3.6) \end{aligned}$$

bajo condiciones de régimen estacionario:

donde  $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$  y resulta  $\alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \beta (T - T_a)$

despejamos  $\alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \left( \frac{\beta}{\alpha} \right) (T - T_a)$  si  $m = \beta/\alpha$

tenemos que  $\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = m(T - T_a) \circ \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) - m(T - T_a) = 0$

siendo una ecuación diferencial parcial ordinaria de segundo orden, lineal, no homogénea y de coeficientes constantes. Su solución general es  $T = T_c + T_p$  donde  $T_c$  es la solución complementaria y  $T_p$  la solución particular.

Se escribe la ecuación de la siguiente manera  $\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) - mT = -mT_a$  (\*)

Hacemos miembro de la derecha igual a cero  $\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) - mT = 0$

Luego representamos como D como operador diferencial y se convierte

$D^2 - m = 0$  ó bien  $D = \pm \sqrt{m}$

y la solución de la parte complementaria es:  $T_c = C_1 e^{-x\sqrt{m}} + C_2 e^{x\sqrt{m}}$

Para obtener la solución particular tenemos que la parte no homogénea  $-mT_a$  es una constante, suponemos que  $T_p = A(\text{cte})$  y se sustituye en la ecuación (\*)

$$\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) - mA = -mT_a$$

o bien

$$A = T_a \quad \text{y} \quad T_p = T_a$$

Su solución general es

$$T = C_1 e^{-x\sqrt{m}} + C_2 e^{x\sqrt{m}} + T_a \quad \text{ó} \quad T - T_a = C_1 e^{-x\sqrt{m}} + C_2 e^{x\sqrt{m}}$$

donde se aplicara las siguientes condiciones

a)  $x = 0 \quad T = T_s$

b)  $x = \infty \quad T = T_a$

aplicando la condición (b), tenemos que

$$T_a - T_a = C_1 e^{-\infty} + C_2 e^{\infty}$$

$$0 = C_1(0) + C_2(\infty)$$

62653

Por lo tanto  $C_2 = 0$  y  $T - T_a = C_1 e^{-x\sqrt{m}}$

Al aplicar la condición (a) se obtiene  $T_s - T_a = C_1 e^0 = C_1$

$$\text{finalmente } \frac{T - T_a}{T_s - T_a} = e^{-x\sqrt{m}} e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \quad (3.7)$$

El calor disipado por la barra, se obtiene a partir de  $Q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x=0}$  (3.8)

donde se obtendrá primero el  $\left( \frac{dT}{dx} \right)_{x=0}$  en la ecuación (3.6) que es la siguiente

$$\frac{T - T_a}{T_s - T_a} = \left( \frac{1}{2} \right) \left[ e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \right] + e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} \right] \right]$$

realizamos el despeje de  $T_s - T_a$  y  $T_a$

$$T = T_a + \left( \frac{T_s - T_a}{2} \right) \left[ e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \right] + e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \operatorname{erfc} \left[ \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} \right] \right]$$

luego se realiza la derivada parcial con respecto a  $x$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0 + \left( \frac{T_s - T_a}{2} \right) \left[ e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \operatorname{erfc}(\Omega_1) \right\} + \{ \operatorname{erfc}(\Omega_1) \} \sqrt{\beta/\alpha} e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} + e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \operatorname{erfc}(\Omega_2) \right\} - \operatorname{erfc}(\Omega_2) \sqrt{\beta/\alpha} e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \right]$$

$$\text{donde } \Omega_1 = \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} \quad \text{y} \quad \Omega_2 = \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t}$$

la derivada parcial de la función error complementaria es

$$\frac{\partial}{\partial x} \operatorname{erfc}(\Omega_n) = \left( \frac{\partial \operatorname{erfc}(\Omega_n)}{\partial \Omega_n} \right) \left( \frac{\partial \Omega_n}{\partial x} \right) \text{ donde } \left( \frac{\partial \Omega_n}{\partial x} \right) = \frac{1}{\sqrt{4\alpha t}} \text{ y}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial \operatorname{erfc}(\Omega_n)}{\partial \Omega_n} &= \frac{\partial}{\partial \Omega_n} \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\Omega_n} e^{-\eta^2} d\eta \right) \\ \frac{\partial \operatorname{erfc}(\Omega_n)}{\partial \Omega_n} &= 0 - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left[ \int_0^{\Omega_n} (0) d\eta + \left\{ e^{-\eta^2} \left[ \int_0^{\Omega_n} d\eta \right] \right\} \right] \\ \frac{\partial \operatorname{erfc}(\Omega_n)}{\partial \Omega_n} &= - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left[ e^{-\eta^2} \eta \Big|_0^{\Omega_n} \right] = - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left[ e^{-\Omega_n^2} (\Omega_n) - e^{-0} (0) \right] \\ \frac{\partial \operatorname{erfc}(\Omega_n)}{\partial \Omega_n} &= - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \left( e^{-\Omega_n^2} (1) \right) = - \left( \frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) e^{-\Omega_n^2}\end{aligned}$$

entonces se sustituye estos valores en la ecuación de  $\frac{\partial T}{\partial x}$  y se obtiene

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \left( \frac{T_s - T_a}{2} \right) \left[ e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} \left( -\frac{2e^{-\Omega_1^2}}{\sqrt{\pi}} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{4\alpha t}} \right) + \operatorname{erfc}(\Omega_1) \sqrt{\beta/\alpha} e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} + e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \left( -\frac{2e^{-\Omega_2^2}}{\sqrt{\pi}} \right) \left( \frac{1}{\sqrt{4\alpha t}} \right) - \operatorname{erfc}(\Omega_2) \sqrt{\beta/\alpha} e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \right]$$

siendo evaluado cuando  $x=0$

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta t} = 0 + \sqrt{\beta t} = \sqrt{\beta t}, \quad \Omega_2 = \frac{x}{\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta t} = 0 - \sqrt{\beta t} = -\sqrt{\beta t} \\ \sqrt{\beta/\alpha} e^{x\sqrt{\beta/\alpha}} [\operatorname{erfc}(\Omega_1)] &= \sqrt{\beta/\alpha} (1) [1 - \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t})] = \sqrt{\beta/\alpha} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \\ -\sqrt{\beta/\alpha} e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} [\operatorname{erfc}(\Omega_2)] &= -\sqrt{\beta/\alpha} (1) [1 - \operatorname{erf}(-\sqrt{\beta t})] = -\sqrt{\beta/\alpha} + \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(-\sqrt{\beta t}) = -\sqrt{\beta/\alpha} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t})\end{aligned}$$

estos valores se sustituyen en la ecuación de  $\frac{\partial T}{\partial x}$  y se tiene

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \left( \frac{T_s - T_a}{2} \right) \left[ -\frac{2e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta/\alpha} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) - \frac{2e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta/\alpha} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \right]$$

eliminando términos

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \left( \frac{T_s - T_a}{2} \right) \left[ -\frac{4e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} - 2\sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \right]$$

eliminando también 1/2

$$\frac{\partial T}{\partial x} = (T_s - T_a) \left[ -\frac{2e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \right]$$

sustituyéndolo en la ecuación (3.8) tenemos

$$Q = -kA(T_s - T_a) \left[ -\frac{2e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} - \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \right]$$

multiplicando con el signo negativo tenemos finalmente

$$Q = kA(T_s - T_a) \left[ \frac{2e^{-\beta t}}{\sqrt{\pi}\sqrt{4\alpha t}} + \sqrt{\beta/\alpha} \operatorname{erf}(\sqrt{\beta t}) \right] \quad (3.9)$$

que es el calor disipado en régimen no estacionario.

Y para condiciones de régimen estacionario

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dx} &= -\frac{Q}{kA} & \frac{dT}{dx} &= (T_s - T_a) \left( -\sqrt{\beta/\alpha} \right) e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \\ T - T_a &= (T_s - T_a) e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} & \text{donde } x=0, T=T_s \text{ entonces} \\ T &= (T_s - T_a) e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} + T_a & -\frac{Q}{kA} &= (T_s - T_a) \left( -\sqrt{\beta/\alpha} \right) \end{aligned}$$

$$\text{tenemos } Q = (-kA)(T_s - T_a) \left( -\sqrt{\beta/\alpha} \right) \quad \text{ó} \quad Q = (kA)(T_s - T_a) \left( \sqrt{\beta/\alpha} \right) \quad (3.10)$$

La eficiencia que tiene una barra considerada como disipador de calor, puede ser estimada definiendo un rendimiento, en la siguiente forma:

$$\eta = \frac{(\text{calor realmente disipado por la superficie de la barra})}{(\text{calor que sería disipado, si en la superficie de la barra fuese mantenida a una temp. cte, } T_s)} \quad (3.11)$$

El calor realmente disipado por la superficie de la barra es el siguiente:

$$Q = \int_0^x Ph(T - T_a)dx \quad (3.12)$$

El calor que sería disipado, si en la superficie de la barra fuese mantenida una temp. cte.,  $T_s$  es el siguiente:

$$Q = \int_0^x Ph(T_s - T_a)dx \quad (3.13)$$

Sustituyendo en la ecuación (3.11), las ecuaciones (3.12) y (3.13) tenemos

$$\eta = \frac{\int_0^x Ph(T - T_a)dx}{\int_0^x Ph(T_s - T_a)dx}$$

Eliminando  $Ph$  y como  $\frac{T - T_a}{T_s - T_a} = e^{-x\sqrt{m}} = e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}}$ , se obtiene la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\int_0^x e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} dx}{\int_0^x dx} \quad (3.14)$$

La ecuación (3.14) se resuelve de la siguiente manera

$$\begin{aligned} u &= -\sqrt{\beta/\alpha}(x), \quad du = -\sqrt{\beta/\alpha} dx, \quad dx = -\sqrt{\alpha/\beta} du \\ \eta &= \frac{-\sqrt{\alpha/\beta} \int_0^u e^u du}{x} = \frac{-\sqrt{\alpha/\beta} \left[ e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \right]_0^x}{x} \\ \eta &= \frac{-\sqrt{\alpha/\beta} \left[ e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} - 1 \right]}{x} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el rendimiento de la barra de longitud infinita resulta entonces

$$\eta = \frac{\sqrt{\alpha/\beta} \left[ 1 - e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \right]}{x} \quad (3.15)$$

### 3.2.- APARATOS POR UTILIZAR

El equipo por emplear consta de: caja de vapor, dentro de la cual es posible insertar los extremos de barras con sección circular, varillas largas de secciones transversales circulares de igual diámetro y de materiales de construcción (que son aluminio, cobre, acero inoxidable 316); en ellas se colocan en determinados intervalos, termopares tipo J (hierro/constantán) que están conectados a un registrador de temperatura modelo digistry de marca Kaye. A continuación se describirá cada uno de estos aparatos a utilizar, con su respectivo diagrama que se mostrara en el Apéndice B.

#### Materiales empleados

##### Acero inoxidable 316

Se clasifica en los aceros inoxidables austeníticos ya que este metal contiene: 16-18% Cromo, 10-14% Níquel, 0.08% Carbono, 2.0% Manganeso, 1.0% Sílice, 0.045% Fósforo, 2.0-3.0% Molibdeno. Resiste el ataque de muchos productos químicos y disolventes industriales y, en particular, inhibe las picaduras ocasionadas por los cloruros. Debido a su contenido de molibdeno, el tipo 316 puede soportar el ataque corrosivo de salmueras de sodio y calcio, soluciones de hidroccloruros, ácido fosfórico y los sulfitos y ácidos sulfurosos utilizados en la industria de la pulpa y el papel.

##### Aluminio

El aluminio es un metal blanco y ligero, su densidad relativa es 2.7 veces mayor que la del agua y alrededor de la tercera parte de la del acero. Se funde a 650°C, su conductividad eléctrica por volumen es alrededor del 65% de la establecida en la norma internacional para cobre recocido. Es muy dúctil, también su elasticidad no mejora en forma apreciable con las aleaciones. En ella se forma una capa protectora (alúmina) con un espesor normal de 50 a 100 Angstrom cuando queda expuesto al oxígeno. La anodización puede aumentar el espesor de la película de óxido en más de 0.001 in para mejorar la resistencia a la corrosión y a la abrasión. Aplicaciones: En la fabricación de aviones y automóviles, tanto en lo que concierne a sus estructuras como a los motores mismos, también lanchas, dirigibles, trenes, ómnibus y utensilios de cocina.

## **Cobre**

El cobre es un metal de color rojo característico, de densidad 8.9 veces mayor que la del agua, se funde a 1083°C y hierve a 2336°C. Es maleable y dúctil, pero no se presta al moldeado o vaciado y se trabaja difícilmente. La presencia de aire húmedo la cubre de una capa delgada de pátina o cardenillo que por ser impermeable protege el resto del metal. La variedad de aplicaciones del cobre se desprenden de sus cualidades: conductibilidad eléctrica (hilos y cables, motores y otro material eléctrico); conductibilidad térmica (alambiques, calderas y utensilios); resistencia a la corrosión atmosférica (tejados, canalizaciones, etc.).

## **Termómetro bimetalico**

Los termómetros bimetalicos son instrumentos diseñados para indicar directamente la temperatura de gases y líquidos corrosivos que no ataquen al acero inoxidable.

### **Características**

**Caja:** La caja y el bisel contruidos de acero inoxidable tipo 304 de alta resistencia a la corrosión diseñados para lograr un sello hermético entre el medio exterior y el conjunto interno del termómetro, evitando así el empañamiento del cristal por la introducción de vapores, en usos de alta temperatura.

**Carátula:** Con escala dual estándar (°C y °F), para registros directos, aun cuando sean usados en equipos de importación. Fabricada en aluminio con acabado en pintura electrostática, resistente a temperaturas directas mayores a 150°C sin sufrir cuarteduras o desprendimientos.

**Puntero:** Balaceado, de aluminio ligero con acabado negro mate para proporcionar una mayor facilidad de lectura.

**Cristal:** Con calidad óptica sellado contra bisel y caja, por medio de un empaque que mantiene una hermeticidad integral del conjunto.

**Vástago:** De acero inoxidable de un 1/4" de diámetro con longitud L.

**Elemento bimetalico:** Bandas bimetalicas helicoidales cuidadosamente seleccionadas e inspeccionadas, altamente sensibles a cualquier mínimo cambio de temperatura, cuyo rolado es hecho en maquinas automáticas de precisión, controlando así su longitud activa. Debido a tratamientos térmicos a los cuales son sometidos y a los estrictos controles metalúrgicos que se emplean en su manufactura garantizan una continua exactitud.

**Exactitud:** Garantizados con una exactitud dentro de +/- 1% de la escala total.

Ver figura 3.2 (Apéndice B)

## **Manómetro**

Manómetro económico lleno de glicerina con caja de acero inoxidable diseñado para ser instalado en ambientes donde existan agentes corrosivos, gran cantidad de polvo, vibración excesiva o la presión de la línea tenga severa pulsación o golpes de ariete causados por cambios bruscos de presión en fluidos corrosivos que no ataquen al acero inoxidable 316.

### **Características generales**

**Exactitud:** +/- 1.5% del total de la escala

**Elemento:** Bourdon de acero inoxidable 316

**Conexión:** Acero inoxidable 316 de 1/4" N.P.T.

**Mecanismo:** Acero inoxidable 304

**Caja:** Acero inoxidable 304

**Ventana:** Cristal

**Carátula:** Aluminio fondo blanco, números negros

**Aguja:** Aluminio esmaltado negro

**Rango:** 0-7 Kg/cm<sup>2</sup>

Ver figura 3.3 (Apéndice B)

## **Termopozo**

Un termopozo es un dispositivo de protección de los elementos primarios de medición de temperatura que evita que éstos se dañen por acción de fluidos corrosivos, altas velocidades y presiones. Además provee la facilidad de cambio del instrumento, sin necesidad de suspender o parar el proceso.

Puede ser del tipo recto o cónico, éste último se recomienda cuando las condiciones de operación sean más severas. Se suministran en dos tipos de conexión; roscados o bridados. Esto dependerá de las necesidades de instalación o proceso.

Ver figura 3.4 (Apéndice B)

### Termopar

Especificaciones:

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| 0 - 1200°F   | J Termopar            |
| 0 - 1600°F   | K Termopar            |
| -200 - 600°F | T Termopar            |
| -100 - 800°F | Platino RTD (100 ohm) |
| -100 - 600°F | Termistor             |

El cable del termopar es un conductor hebrado de hierro/constantán de un 1/8" de diámetro, donde esta protegido de una cubierta de asbesto flexible, el termopar hace contacto en tierra al final del tubo a menos que se especifique de otra manera.

Ver figura 3.5 (Apéndice B)

### Válvula globo

Características: Disco de teflón, proporciona cierre hermético en el manejo de gases, para trabajo ligero y medio, reempacables bajo presión estando completamente abierta.

Partes:

- 1.-Bonete (bronce)
- 2.-Cuerpo (bronce)
- 3.-Disco (teflón)
- 4.-Empaques (asbesto con teflón)
- 5.-Portadisco (bronce 3/4 - 2")
- 6.-Tuerca del volante (acero cincificado)
- 7.-Tuerca inferior del disco (bronce 1 1/2 - 2")
- 8.-Tuerca prensa empaques (bronce)
- 9.-Tuerca superior del disco (latón 1 1/4 - 2")
- 10.- Vástago (bronce al silicio)
- 11.- Volante (aluminio)

Ver figura 3.6 (Apéndice B)

### Trampa de vapor termodinámica

La trampa termodinámica para vapor se basa en el teorema de Bernoulli el cual se define en la siguiente forma: en un fluido en movimiento, la presión es igual en todos los puntos. Esta presión está compuesta de presión estática y presión dinámica; la reducción en una ocasiona el aumento en la otra.

El flujo de condensado revaporizado a alta velocidad a través de la trampa hace variar la presión estática y dinámica ocasionando que el disco se eleve para descargar cualquier condensado presente pero evitando la fuga de vapor vivo.

Características:

- \*Descarga de condensado a la temperatura del vapor saturado.
- \*Totalmente de acero inoxidable. Partes activas endurecidas.
- \*Tres piezas, solamente una móvil. No tiene juntas.
- \*Robusta, no es afectada por golpes de ariete, sobrecalentamiento, vibración ni condensado corrosivo.
- \*Responde instantáneamente y funciona con la mayor eficiencia en todos los rangos de presión, con cargas livianas o pesadas.
- \*Apta para ser usada con vapor sobrecalentado hasta 430°C y presiones desde 0.250 a 42 Kgf/cm<sup>2</sup>.
- \*Admite una contrapresión de hasta el 80% de la presión de entrada.
- \*Compacta, liviana y de muy reducido tamaño.
- \*Trabaja en cualquier posición.

Ver figura 3.7 (Apéndice B)

### 3.3.- DIAGRAMAS DE CONSTRUCCION DEL EQUIPO

En esta sección se presentaran los diagramas constructivos para medir las distribuciones de temperaturas en sólidos metálicos, con su respectiva acotación.

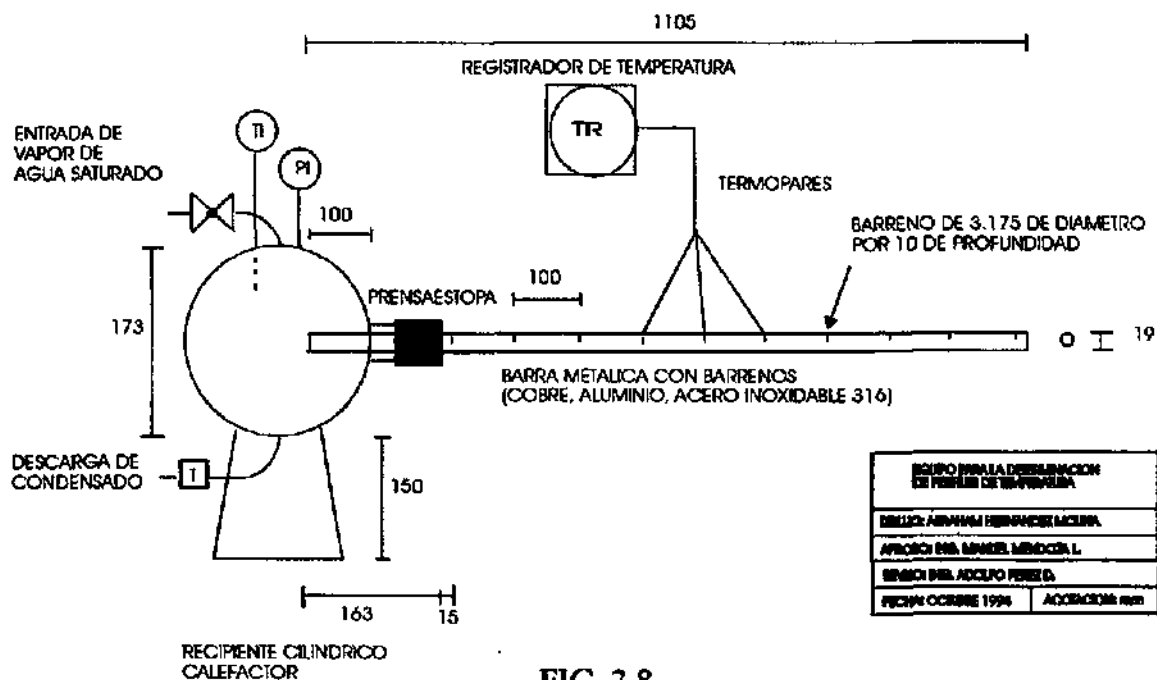


FIG. 3.8

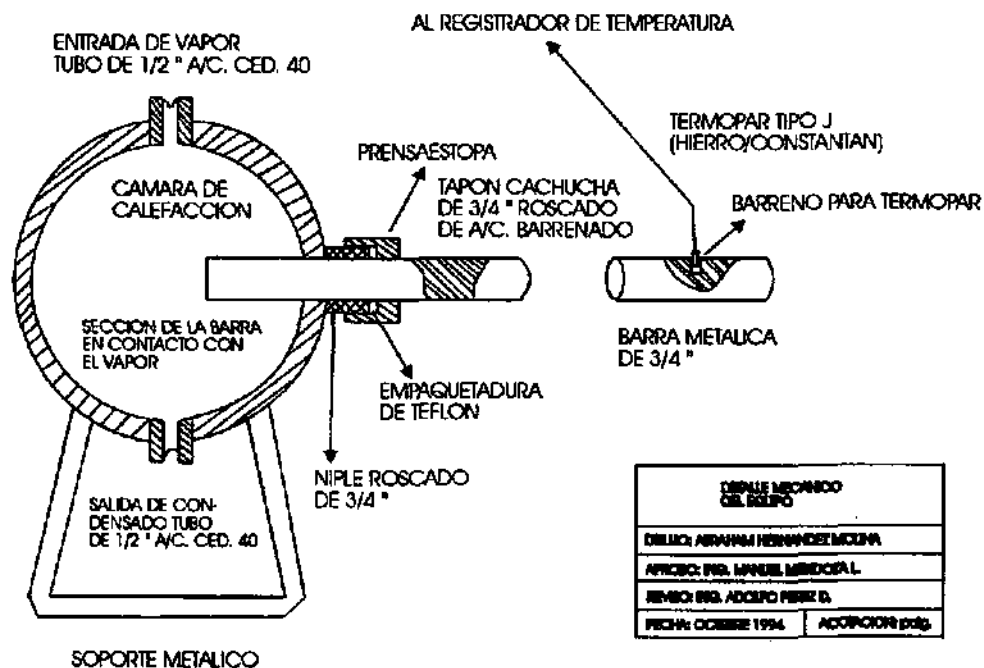


FIG. 3.9

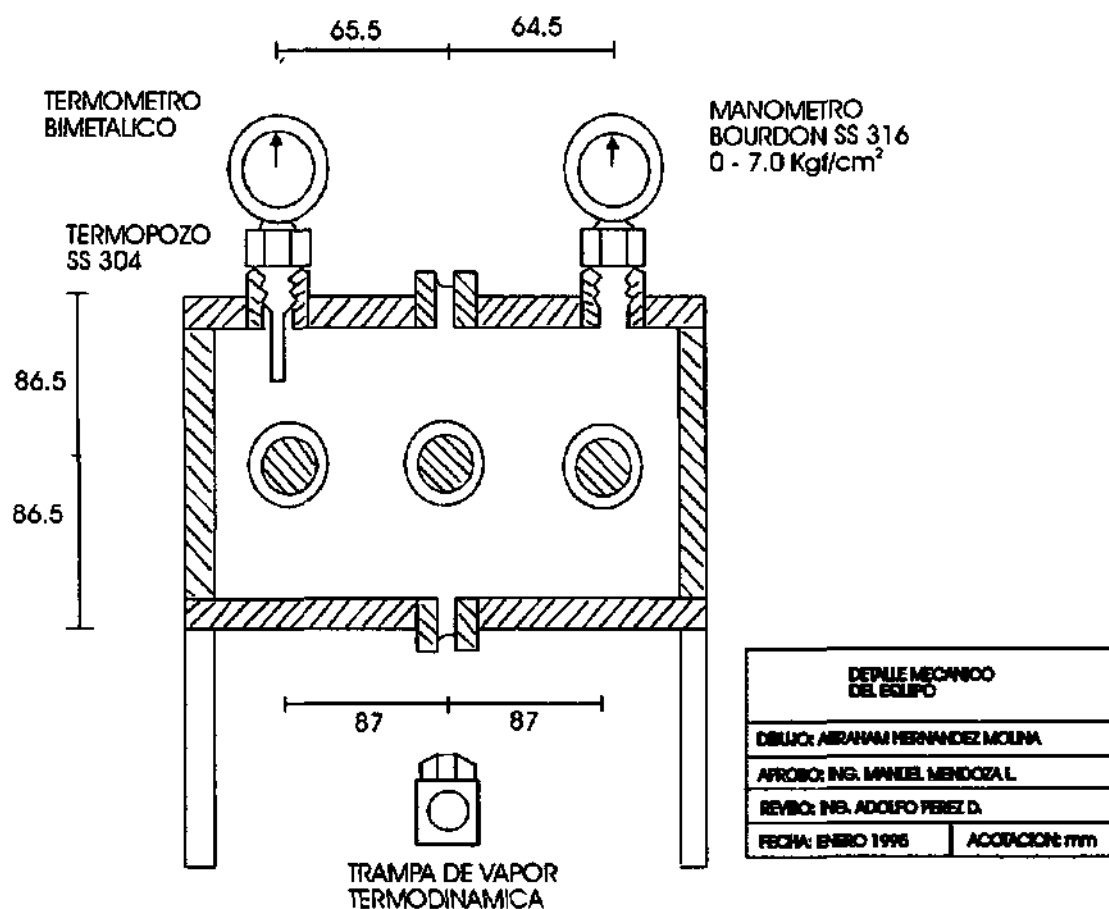


FIG. 3.10

### 3.4.-REALIZACION EXPERIMENTAL

- 1.- Tener lista la instalación del equipo, esto incluye los aparatos que lo componen y también prever que en el cuarto no exista entradas de corrientes externas.
- 2.- Se miden las temperaturas iniciales de las barras y la temperatura del ambiente por medio del registrador de temperatura.
- 3.- Determinar la historia de las temperaturas de cada barra en la forma siguiente:
  - a) Comience a hacer entrar vapor dentro del recipiente cilindrico calefactor.
  - b) Luego se pondrá a funcionar el registrador de temperatura programado para imprimir la temperatura cada minuto por los termopares colocados en todas las posiciones de cada una de las barras y se terminara el análisis hasta que se alcancen las condiciones de régimen estacionario.

# CAPITULO IV

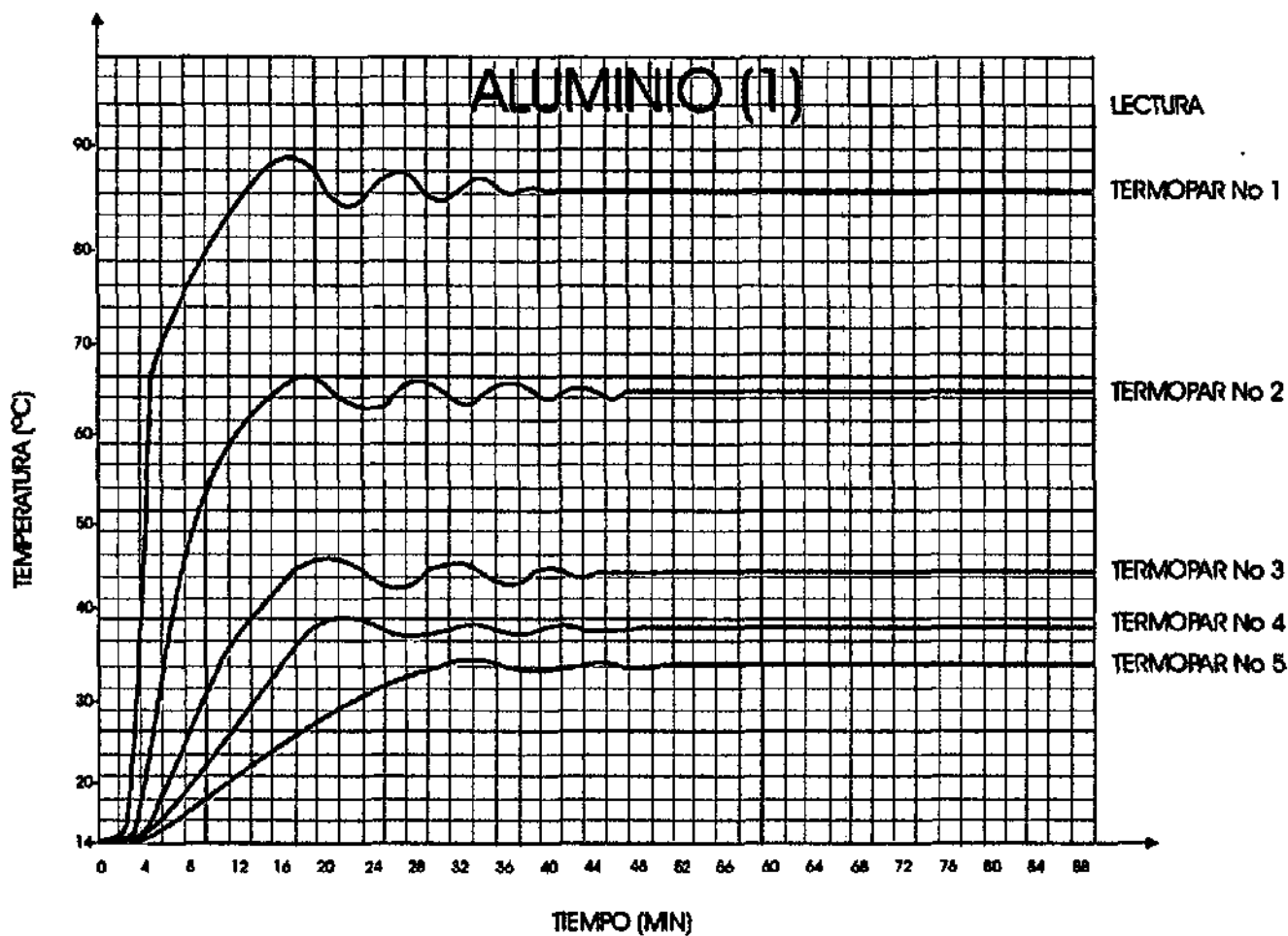
## RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION

**Nota:** Los siguientes valores y gráficas presentadas en este capítulo, algunas están en el sistema inglés y otras en el sistema internacional, también las ecuaciones que se emplearon para determinar sus propiedades de cada material están presentes al final del Capítulo V ó en el Apéndice C.

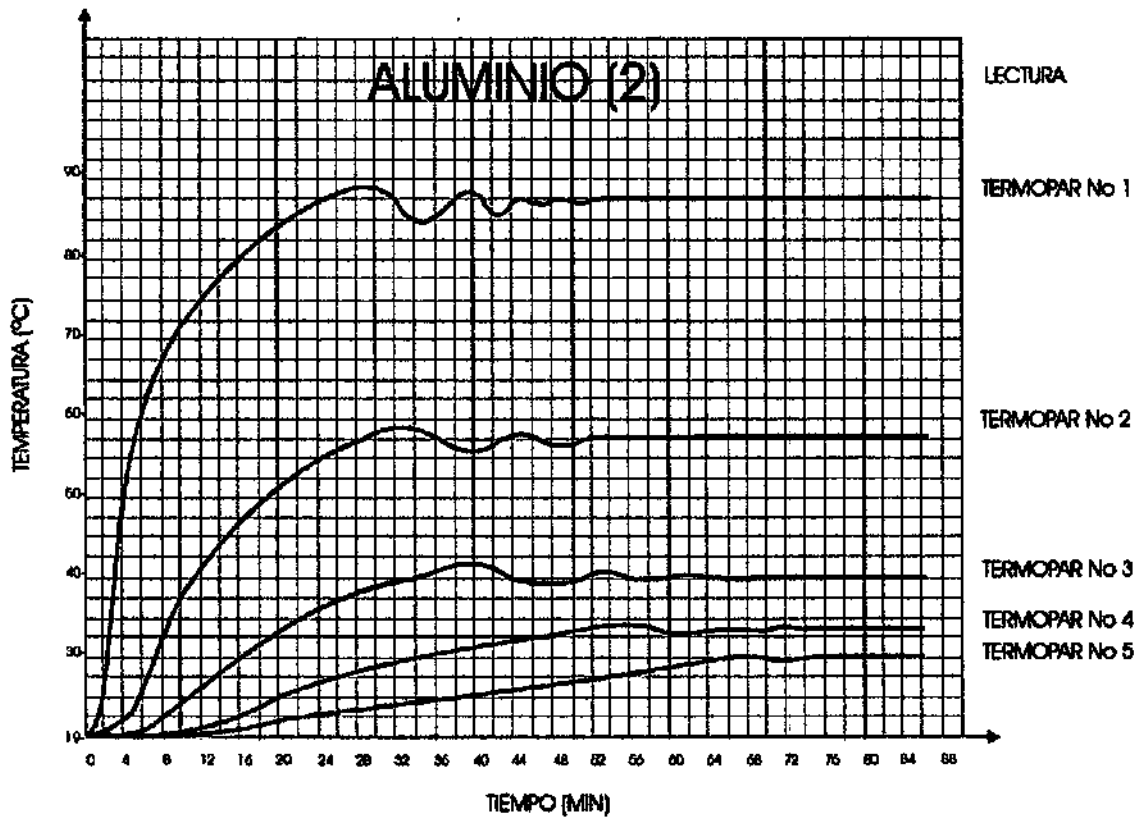
#### 4.1.- GRAFICAS DE LA TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO A LO LARGO DE LA BARRA

Las gráficas que se presentaran a continuación se obtuvieron a partir de los valores dados por cada termopar al registrador de temperatura durante el experimento.

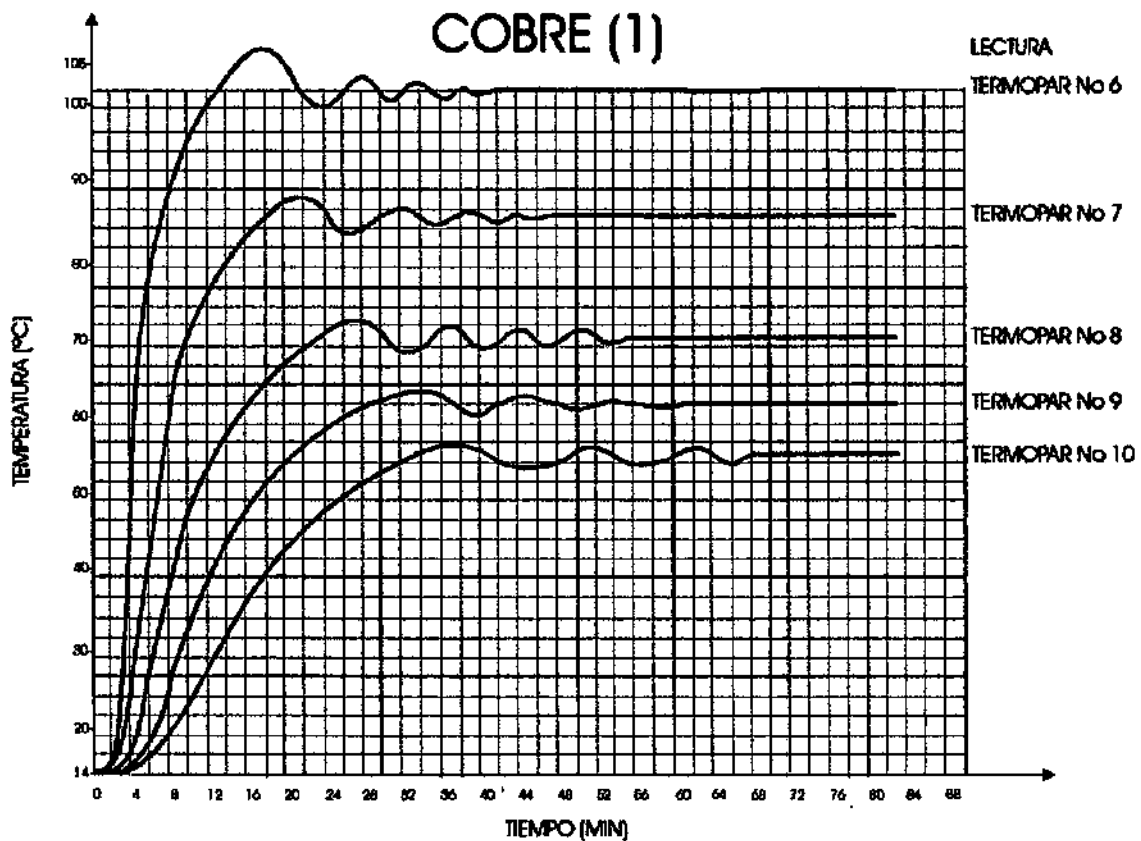
### GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$



## GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$

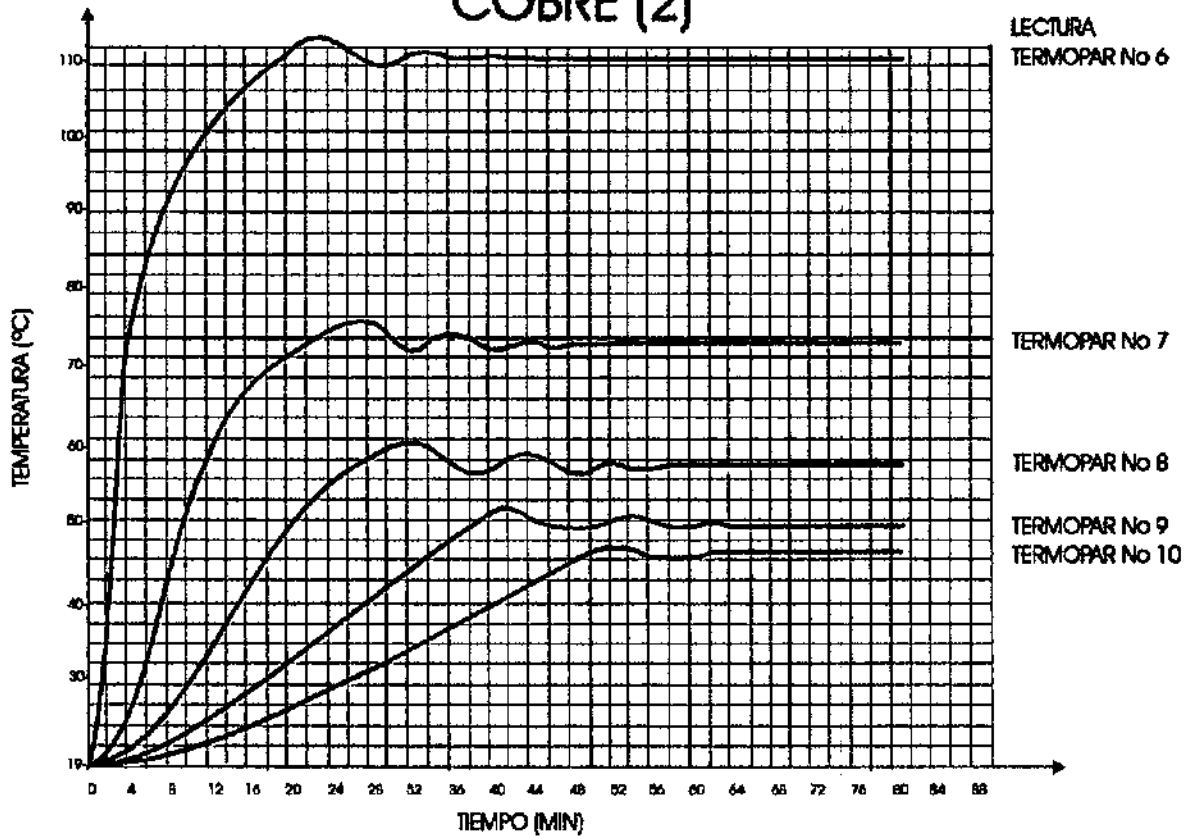


## GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$



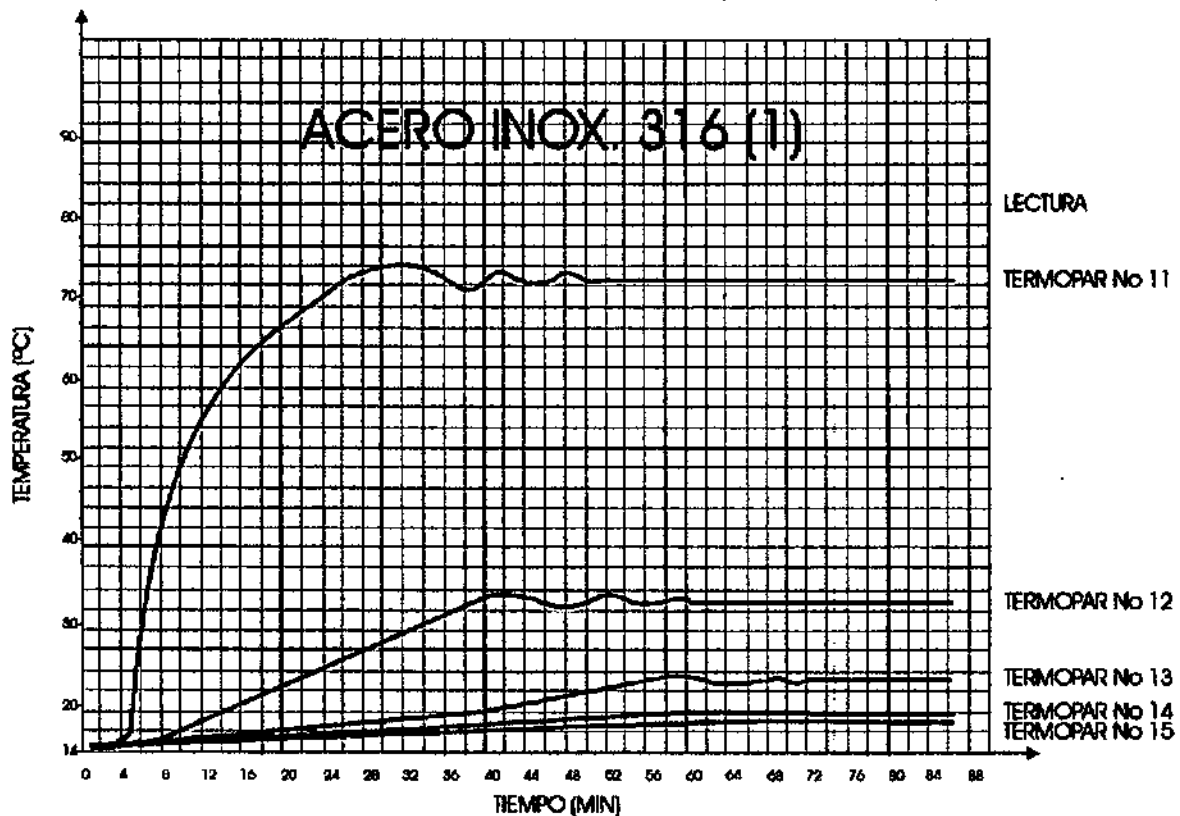
# GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$

## COBRE (2)

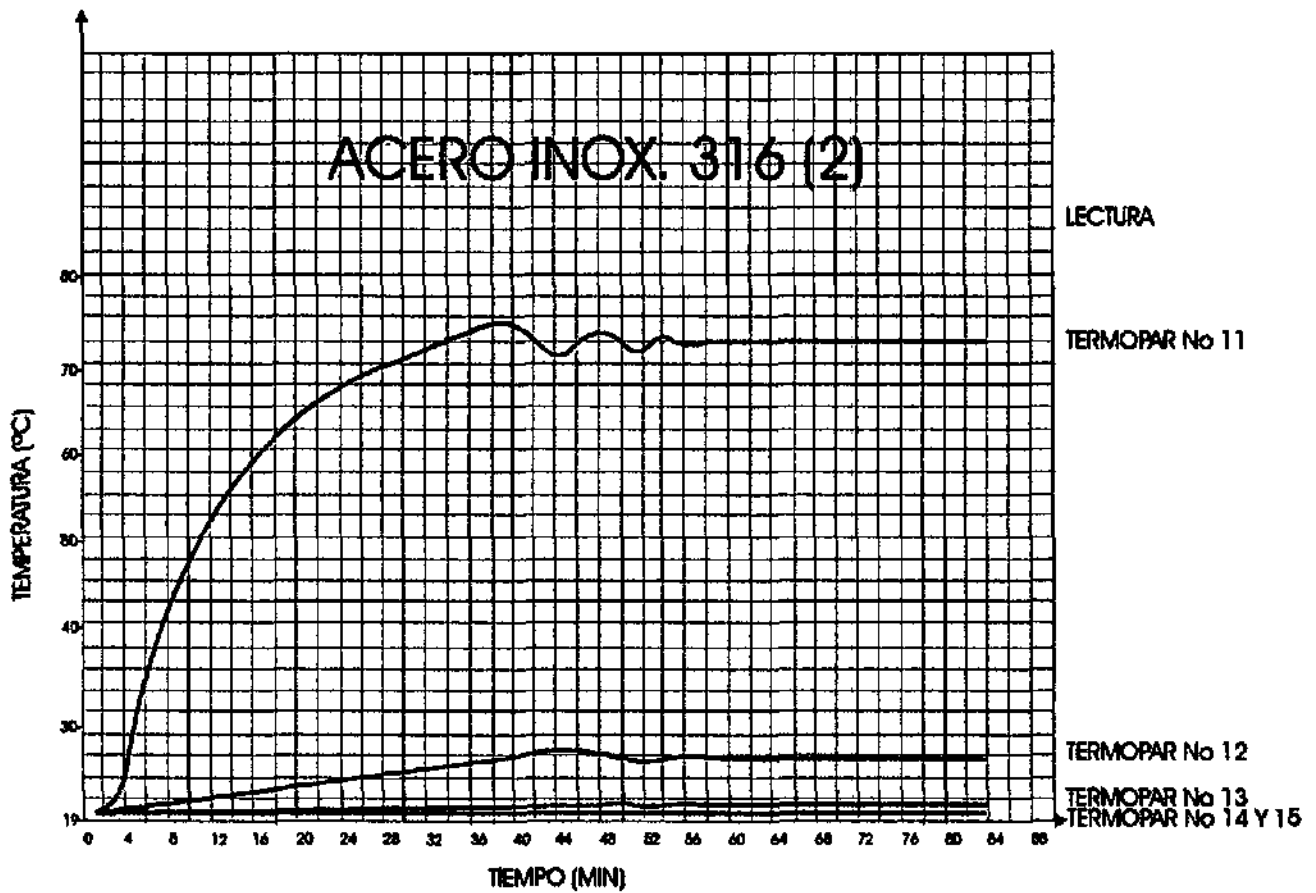


# GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$

## ACERO INOX. 316 (1)



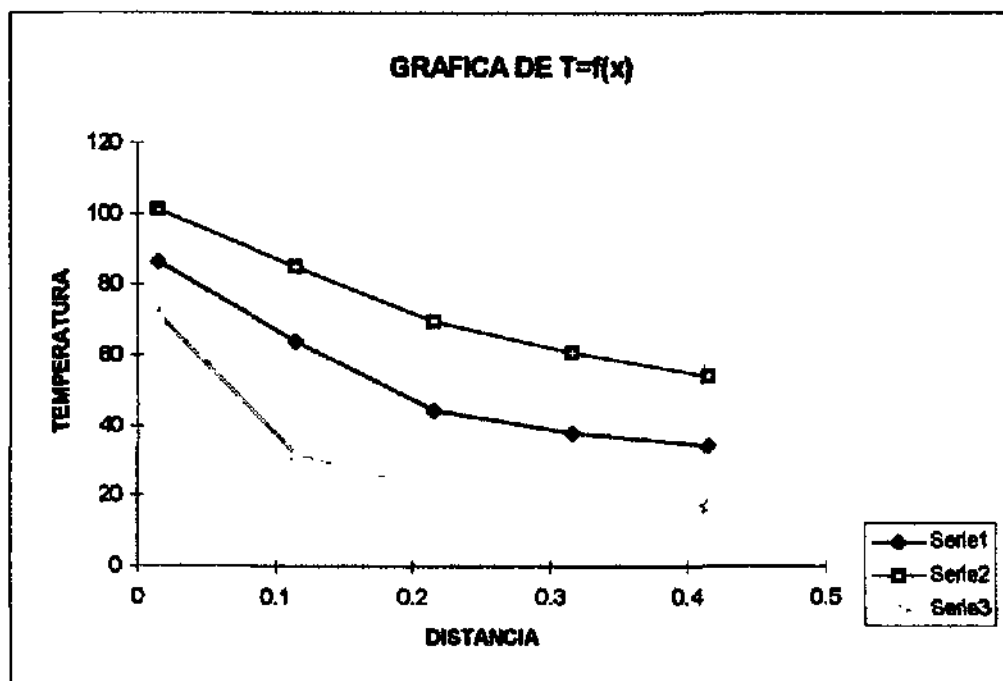
## GRAFICA DE $T=f(\text{TIEMPO})$



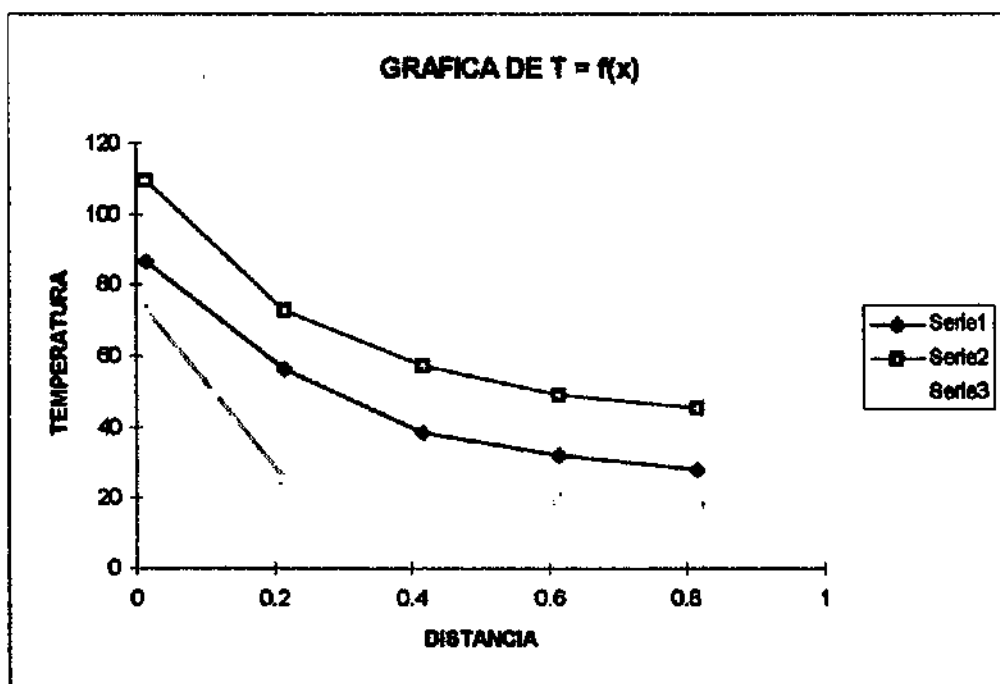
#### 4.2.- TABLAS Y GRAFICAS DE LAS DISTRIBUCIONES DE TEMPERATURA A LO LARGO DE LAS BARRAS EN RÉGIMEN ESTACIONARIO

Se presentaran los siguientes valores de temperatura obtenidos y sus gráficas, cuando se alcanza las condiciones en régimen estacionario.

| Barras:   | Aluminio | Cobre   | Acero Inox. 316 |
|-----------|----------|---------|-----------------|
| Primera   | Prueba   | T= (°C) |                 |
| DISTANCIA | T        | T       | T               |
| (metros)  | (°C)     | (°C)    | (°C)            |
|           | SERIE 1  | SERIE 2 | SERIE 3         |
| 0.015     | 88.4     | 101.2   | 71.5            |
| 0.115     | 64.2     | 85.3    | 32.1            |
| 0.215     | 44.2     | 69.4    | 22.0            |
| 0.315     | 37.8     | 60.8    | 18.5            |
| 0.415     | 34.4     | 54.1    | 17.8            |



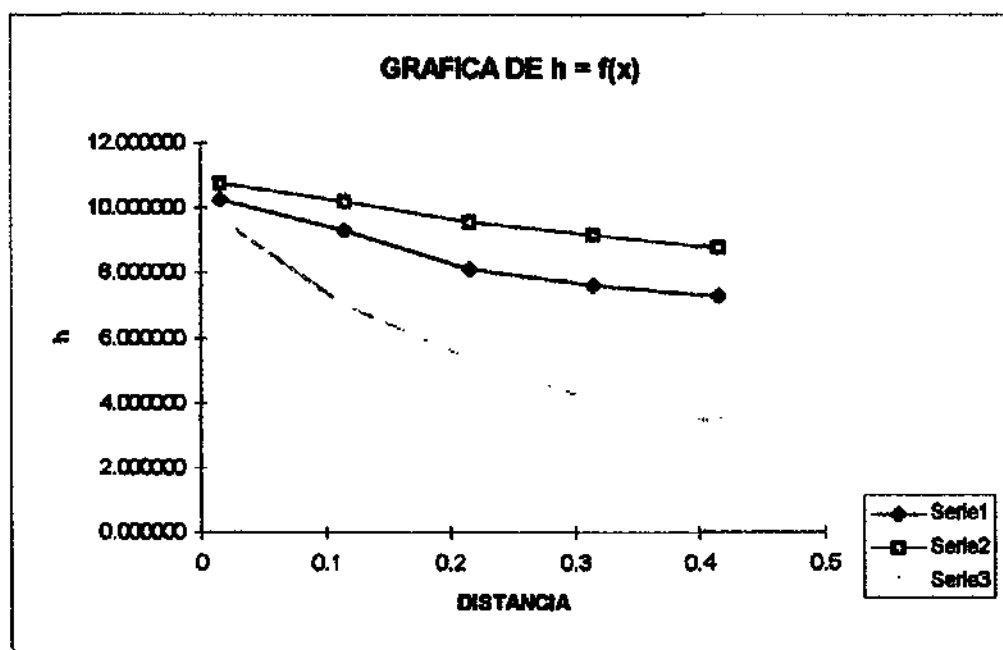
| Barras:   | Aluminio | Cobre   | Acero Inox. 316 |
|-----------|----------|---------|-----------------|
| Segunda   | Prueba   | T= (°C) |                 |
|           |          |         |                 |
| DISTANCIA | T        | T       | T               |
| (metros)  | (°C)     | (°C)    | (°C)            |
|           | SERIE 1  | SERIE 2 | SERIE 3         |
| 0.015     | 86.6     | 109.3   | 73.3            |
| 0.215     | 56.4     | 72.9    | 25.7            |
| 0.415     | 38.7     | 57.4    | 20.6            |
| 0.615     | 32.2     | 49.1    | 20.0            |
| 0.815     | 28       | 45.4    | 20.0            |



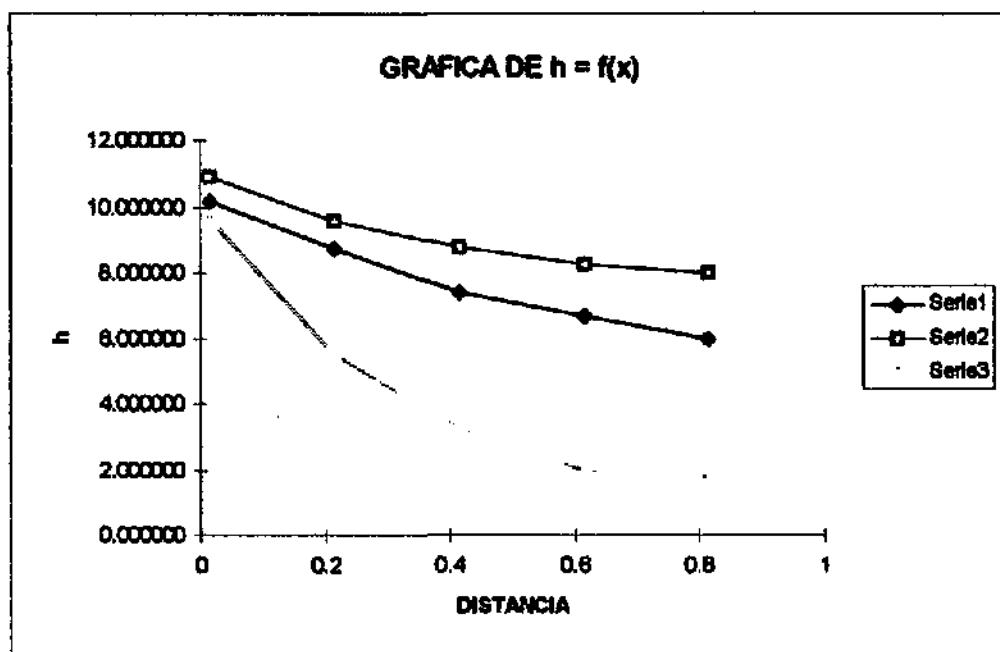
#### 4.3.- TABLAS Y GRAFICAS DEL COEFICIENTE CONVECTIVO A LO LARGO DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO

Los valores presentados a continuación del coeficiente de transferencia de calor fueron obtenidos a partir de las correlaciones simplificadas para el aire de Mc. Adams.

| Barras:   | Aluminio                | Cobre                   | Acero Inox. 316         |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Primera   | Prueba                  |                         |                         |
|           |                         |                         |                         |
| Distancia | h                       | h                       | h                       |
| (metros)  | W/(m <sup>2</sup> )(°C) | W/(m <sup>2</sup> )(°C) | W/(m <sup>2</sup> )(°C) |
|           | SERIE 1                 | SERIE 2                 | SERIE 3                 |
| 0.015     | 10.269230               | 10.776340               | 9.669018                |
| 0.115     | 9.328893                | 10.228410               | 7.031669                |
| 0.215     | 8.134356                | 9.574850                | 5.368913                |
| 0.315     | 7.610976                | 9.156805                | 4.069736                |
| 0.415     | 7.282218                | 8.786436                | 3.362467                |



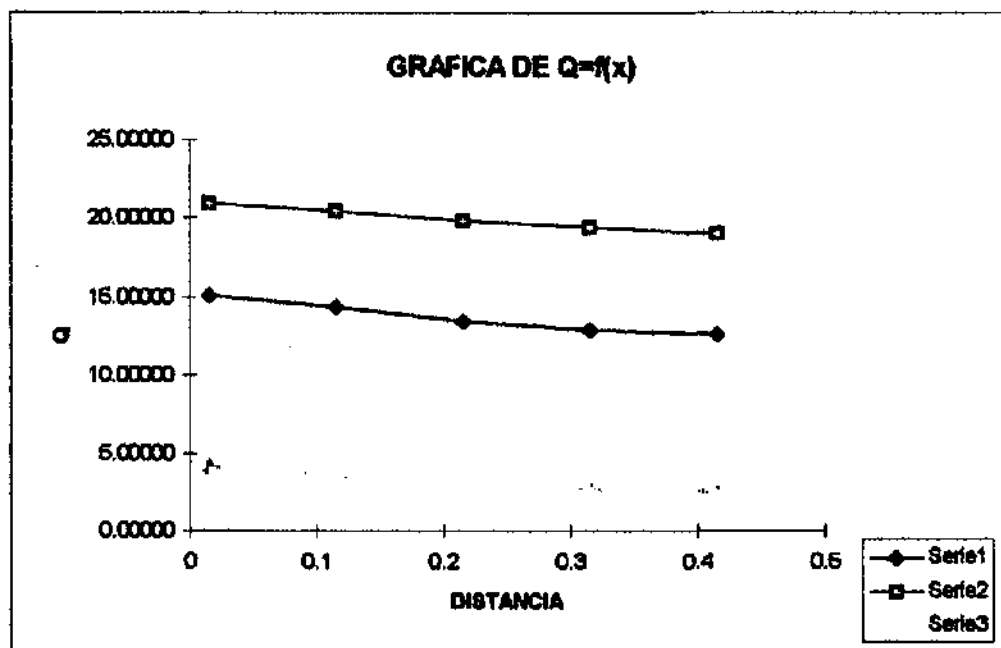
| Barras:   | Aluminio             | Cobre                | Acero Inox. 316      |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Segunda   | Prueba               |                      |                      |
|           |                      |                      |                      |
| Distancia | h                    | h                    | h                    |
| (metros)  | $W/(m^2)(^{\circ}C)$ | $W/(m^2)(^{\circ}C)$ | $W/(m^2)(^{\circ}C)$ |
|           | SERIE 1              | SERIE 2              | SERIE 3              |
| 0.015     | 10.160540            | 10.932510            | 9.611050             |
| 0.215     | 8.738940             | 9.593001             | 5.517502             |
| 0.415     | 7.403294             | 8.768190             | 3.252071             |
| 0.615     | 6.658276             | 8.264779             | 1.999335             |
| 0.815     | 5.998004             | 7.989518             | 1.999335             |



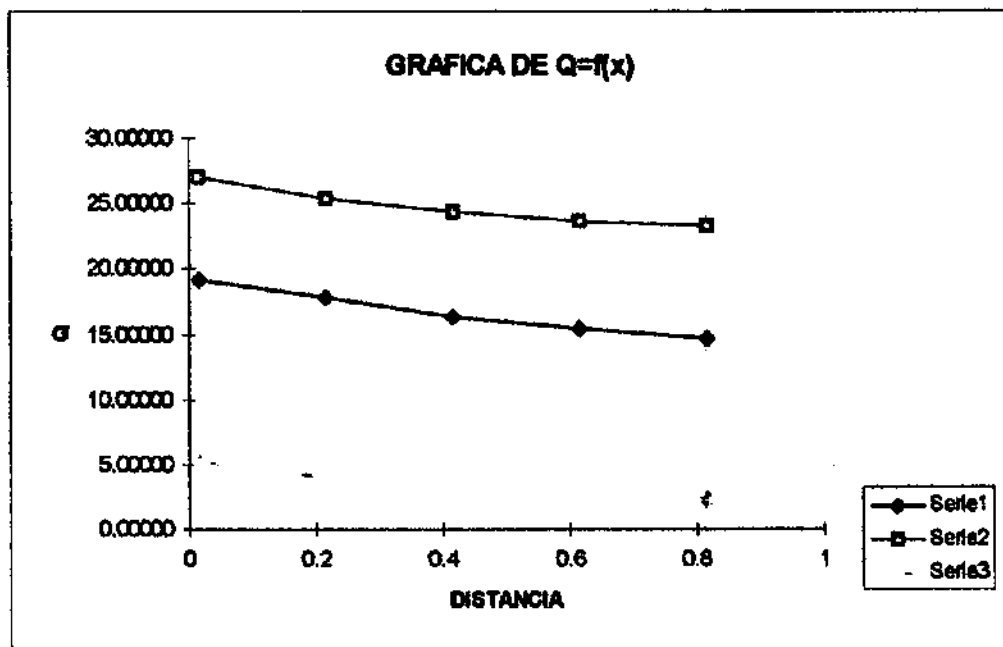
#### 4.4.- TABLAS Y GRAFICAS DEL CALOR DISIPADO Y DEL RENDIMIENTO POR CADA UNA DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO

Los valores que se presentaran a continuación tanto del calor disipado como del rendimiento fueron obtenidos a partir de las ecuaciones (3.10) y (3.15) respectivamente. (los valores de referencia para k de cada material están en las tablas del Apéndice C).

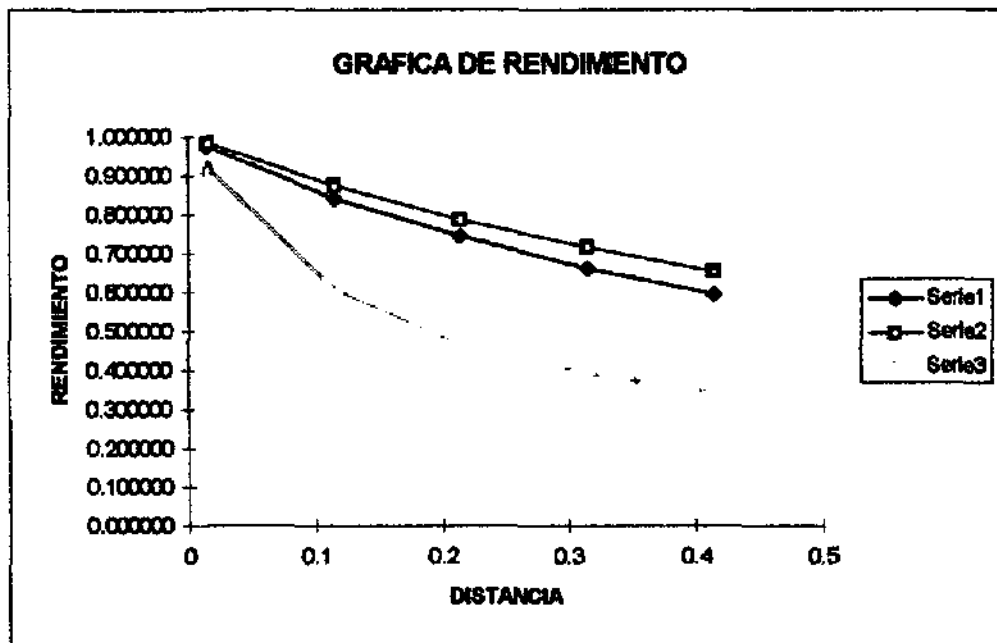
| Barras:   | Aluminio | Cobre    | Acero Inox. 316 |
|-----------|----------|----------|-----------------|
| Primera   | Prueba   |          |                 |
|           |          |          |                 |
| Distancia | Q        | Q        | Q               |
| (metros)  | Kcal/hr  | Kcal/hr  | Kcal/hr         |
|           | SERIE 1  | SERIE 2  | SERIE 3         |
| 0.015     | 15.09803 | 20.96890 | 4.13114         |
| 0.115     | 14.35385 | 20.48935 | 3.53010         |
| 0.215     | 13.37913 | 19.84517 | 3.08622         |
| 0.315     | 12.93539 | 19.42924 | 2.68417         |
| 0.415     | 12.84999 | 19.04924 | 2.44293         |



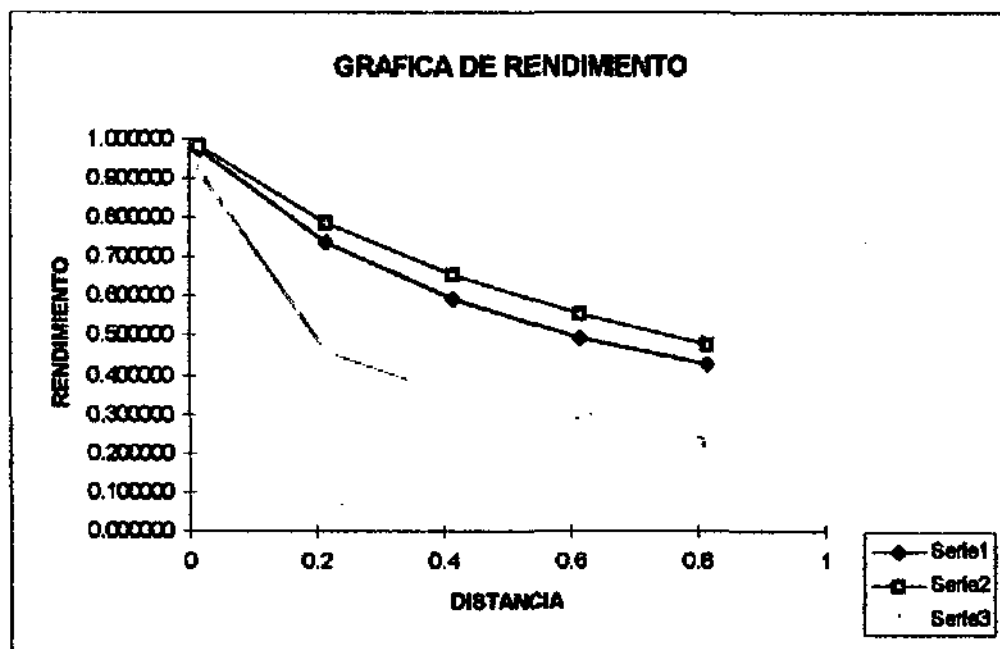
| Barras:   | Aluminio | Cobre    | Acero Inox. 316 |
|-----------|----------|----------|-----------------|
| Segunda   | Prueba   |          |                 |
|           |          |          |                 |
| Distancia | Q        | Q        | Q               |
| (metros)  | Kcal/hr  | Kcal/hr  | Kcal/hr         |
|           | SERIE 1  | SERIE 2  | SERIE 3         |
| 0.015     | 19.19184 | 26.96307 | 5.26283         |
| 0.215     | 17.73959 | 25.37253 | 3.99731         |
| 0.415     | 16.30405 | 24.34844 | 3.08968         |
| 0.615     | 15.45513 | 23.62527 | 2.40695         |
| 0.815     | 14.66503 | 23.24028 | 2.40695         |



| Barras:               | Aluminio    | Cobre       | Acero Inox. 316 |
|-----------------------|-------------|-------------|-----------------|
| Primera               | Prueba      |             |                 |
|                       |             |             |                 |
| Distancia<br>(metros) | Rendimiento | Rendimiento | Rendimiento     |
|                       | SERIE 1     | SERIE 2     | SERIE 3         |
| 0.015                 | 0.976041    | 0.981826    | 0.920703        |
| 0.115                 | 0.841070    | 0.874580    | 0.608128        |
| 0.215                 | 0.743937    | 0.788698    | 0.468176        |
| 0.315                 | 0.663896    | 0.718433    | 0.394486        |
| 0.415                 | 0.566572    | 0.655544    | 0.342769        |



|                       |             |             |                 |
|-----------------------|-------------|-------------|-----------------|
| Barras:               | Aluminio    | Cobre       | Acero Inox. 316 |
| Segunda               | Prueba      |             |                 |
| Distancia<br>(metros) | Rendimiento | Rendimiento | Rendimiento     |
|                       | SERIE 1     | SERIE 2     | SERIE 3         |
| 0.015                 | 0.976167    | 0.981679    | 0.920921        |
| 0.215                 | 0.736618    | 0.788447    | 0.462045        |
| 0.415                 | 0.594369    | 0.655261    | 0.347368        |
| 0.615                 | 0.495843    | 0.556887    | 0.306698        |
| 0.815                 | 0.427445    | 0.479203    | 0.238274        |



#### 4.5.- TABLAS DE DENSIDAD, CAPACIDAD CALORIFICA Y DE CONDUCTIVIDAD TERMICA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA PARA CADA UNA DE LAS BARRAS

La obtención de los siguientes valores que son densidad, capacidad calorifica y conductividad, se determinaron por las ecuaciones presentadas en el Apéndice C. (los valores de densidad, capacidad calorifica y conductividad de referencia están en las tablas del Apéndice C).

Distancia=pies

|        |        |           | Primera  | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |        |           |       |           |
|--------|--------|-----------|----------|-----------|----------|-----------------------|--------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           | Aluminio |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |        |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.    | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp.  | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)     | 0.3773    | (°F)     | 0.7054                | (°F)   | 1.0335    | (°F)  | 1.3615    |
|        |        | $\rho$    |          | $\rho$    |          | $\rho$                |        | $\rho$    |       | $\rho$    |
| 1      | 58.1   | 168.631   | 57.74    | 168.632   | 57.74    | 168.632               | 57.74  | 168.632   | 57.74 | 168.632   |
| 2      | 58.28  | 168.630   | 57.92    | 168.632   | 57.74    | 168.632               | 57.74  | 168.632   | 57.74 | 168.632   |
| 3      | 61.52  | 168.620   | 58.1     | 168.631   | 57.92    | 168.632               | 57.74  | 168.632   | 57.74 | 168.632   |
| 4      | 94.46  | 168.517   | 64.4     | 168.611   | 58.82    | 168.629               | 58.82  | 168.629   | 57.74 | 168.632   |
| 5      | 131.9  | 168.400   | 78.98    | 168.566   | 62.6     | 168.617               | 59.36  | 168.627   | 58.28 | 168.630   |
| 6      | 143.42 | 168.364   | 92.12    | 168.525   | 67.46    | 168.602               | 61.88  | 168.619   | 59.36 | 168.627   |
| 7      | 153.68 | 168.332   | 102.74   | 168.491   | 73.4     | 168.583               | 64.22  | 168.612   | 60.62 | 168.623   |
| 8      | 161.06 | 168.309   | 109.94   | 168.469   | 79.34    | 168.585               | 66.92  | 168.603   | 61.7  | 168.620   |
| 9      | 167.9  | 168.288   | 118.22   | 168.443   | 84.02    | 168.550               | 71.06  | 168.590   | 63.88 | 168.614   |
| 10     | 172.4  | 168.274   | 125.06   | 168.422   | 88.7     | 168.535               | 74.12  | 168.581   | 66.02 | 168.606   |
| 11     | 178.16 | 168.256   | 131.72   | 168.401   | 92.84    | 168.522               | 77.0   | 168.572   | 68.0  | 168.600   |
| 12     | 181.04 | 168.247   | 136.4    | 168.386   | 96.08    | 168.512               | 80.06  | 168.562   | 70.52 | 168.592   |
| 13     | 184.28 | 168.237   | 140.36   | 168.374   | 100.22   | 168.499               | 84.56  | 168.548   | 72.5  | 168.586   |
| 14     | 186.98 | 168.228   | 142.7    | 168.367   | 102.2    | 168.493               | 87.44  | 168.539   | 74.84 | 168.579   |
| 15     | 189.5  | 168.220   | 145.94   | 168.356   | 104.9    | 168.485               | 90.14  | 168.531   | 77.18 | 168.571   |
| 16     | 191.66 | 168.214   | 148.28   | 168.349   | 107.42   | 168.477               | 92.3   | 168.524   | 78.8  | 168.566   |
| 17     | 192.38 | 168.211   | 149.9    | 168.344   | 109.58   | 168.470               | 95.0   | 168.516   | 79.88 | 168.563   |
| 18     | 192.74 | 168.210   | 150.8    | 168.341   | 111.92   | 168.463               | 96.62  | 168.511   | 81.5  | 168.558   |
| 19     | 192.2  | 168.212   | 151.88   | 168.338   | 113.72   | 168.457               | 98.6   | 168.504   | 82.94 | 168.553   |
| 20     | 191.48 | 168.214   | 151.34   | 168.340   | 114.62   | 168.454               | 100.04 | 168.500   | 84.02 | 168.550   |
| 21     | 188.42 | 168.224   | 149.9    | 168.344   | 115.16   | 168.453               | 101.48 | 168.495   | 85.1  | 168.547   |
| 22     | 185.72 | 168.232   | 148.46   | 168.349   | 114.98   | 168.453               | 102.92 | 168.491   | 86.72 | 168.542   |
| 23     | 184.46 | 168.236   | 146.3    | 168.355   | 113.9    | 168.457               | 103.1  | 168.490   | 87.8  | 168.538   |
| 24     | 185.0  | 168.234   | 145.22   | 168.359   | 111.74   | 168.463               | 102.74 | 168.491   | 88.88 | 168.535   |
| 25     | 187.7  | 168.226   | 144.68   | 168.360   | 110.48   | 168.467               | 101.84 | 168.494   | 89.96 | 168.531   |
| 26     | 189.32 | 168.221   | 144.5    | 168.361   | 109.22   | 168.471               | 100.94 | 168.497   | 90.86 | 168.529   |
| 27     | 190.22 | 168.218   | 147.02   | 168.353   | 108.86   | 168.472               | 99.86  | 168.500   | 91.4  | 168.527   |
| 28     | 190.4  | 168.218   | 149.0    | 168.347   | 110.3    | 168.458               | 99.32  | 168.502   | 92.3  | 168.524   |
| 29     | 191.3  | 168.215   | 149.72   | 168.345   | 111.56   | 168.464               | 98.78  | 168.504   | 93.02 | 168.522   |
| 30     | 189.32 | 168.221   | 149.54   | 168.345   | 113.0    | 168.459               | 99.14  | 168.503   | 93.74 | 168.520   |

Distancia=pies

|        |        |           | Primera | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |        |           |        |           |
|--------|--------|-----------|---------|-----------|----------|-----------------------|--------|-----------|--------|-----------|
|        |        |           | Cobre   |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.   | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp.  | Distancia | Temp.  | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)    | 0.3773    | (°F)     | 0.7054                | (°F)   | 1.0335    | (°F)   | 1.3615    |
|        |        | $\rho$    |         | $\rho$    |          | $\rho$                |        | $\rho$    |        | $\rho$    |
| 1      | 58.1   | 554.984   | 57.92   | 554.984   | 57.74    | 554.984               | 57.56  | 554.984   | 57.56  | 554.984   |
| 2      | 59.0   | 554.986   | 58.64   | 554.985   | 57.92    | 554.984               | 57.56  | 554.984   | 57.56  | 554.984   |
| 3      | 69.8   | 555.003   | 69.08   | 555.002   | 58.1     | 554.984               | 57.74  | 554.984   | 57.56  | 554.984   |
| 4      | 104.54 | 555.057   | 90.86   | 555.036   | 58.46    | 554.985               | 58.1   | 554.984   | 57.92  | 554.984   |
| 5      | 137.84 | 555.110   | 108.5   | 555.064   | 68.36    | 555.001               | 60.98  | 554.989   | 58.82  | 554.986   |
| 6      | 162.32 | 555.148   | 122.18  | 555.085   | 77.72    | 555.015               | 66.02  | 554.997   | 60.26  | 554.988   |
| 7      | 176.0  | 555.169   | 135.14  | 555.105   | 88.88    | 555.033               | 72.5   | 555.007   | 62.96  | 554.992   |
| 8      | 186.98 | 555.187   | 144.86  | 555.121   | 98.78    | 555.048               | 78.44  | 555.016   | 66.02  | 554.997   |
| 9      | 194.36 | 555.198   | 152.42  | 555.132   | 106.88   | 555.061               | 84.2   | 555.025   | 69.98  | 555.003   |
| 10     | 199.58 | 555.206   | 158.54  | 555.142   | 115.52   | 555.075               | 89.96  | 555.034   | 73.22  | 555.008   |
| 11     | 204.08 | 555.213   | 162.5   | 555.148   | 120.2    | 555.082               | 94.82  | 555.042   | 76.84  | 555.014   |
| 12     | 207.5  | 555.219   | 166.82  | 555.155   | 125.06   | 555.089               | 99.5   | 555.049   | 80.06  | 555.019   |
| 13     | 211.28 | 555.225   | 170.6   | 555.161   | 129.2    | 555.096               | 103.82 | 555.056   | 84.2   | 555.025   |
| 14     | 214.34 | 555.229   | 174.56  | 555.167   | 133.16   | 555.102               | 106.88 | 555.061   | 87.44  | 555.030   |
| 15     | 216.86 | 555.233   | 177.62  | 555.172   | 139.82   | 555.113               | 110.84 | 555.067   | 90.86  | 555.036   |
| 16     | 218.48 | 555.236   | 180.5   | 555.176   | 138.92   | 555.111               | 113.9  | 555.072   | 94.1   | 555.041   |
| 17     | 220.1  | 555.239   | 182.66  | 555.180   | 141.62   | 555.115               | 117.32 | 555.077   | 97.88  | 555.047   |
| 18     | 220.28 | 555.239   | 185.72  | 555.185   | 144.32   | 555.120               | 120.02 | 555.082   | 100.58 | 555.051   |
| 19     | 219.92 | 555.238   | 187.16  | 555.187   | 147.2    | 555.124               | 123.08 | 555.086   | 103.46 | 555.056   |
| 20     | 219.2  | 555.237   | 188.78  | 555.189   | 149.0    | 555.127               | 125.6  | 555.090   | 106.52 | 555.060   |
| 21     | 217.58 | 555.235   | 189.5   | 555.191   | 151.52   | 555.131               | 128.12 | 555.094   | 108.5  | 555.064   |
| 22     | 214.52 | 555.230   | 189.32  | 555.190   | 153.5    | 555.134               | 130.1  | 555.097   | 111.02 | 555.067   |
| 23     | 211.62 | 555.226   | 188.42  | 555.189   | 155.12   | 555.137               | 132.26 | 555.101   | 112.64 | 555.070   |
| 24     | 210.2  | 555.223   | 186.8   | 555.186   | 157.1    | 555.140               | 134.42 | 555.104   | 114.26 | 555.073   |
| 25     | 209.84 | 555.222   | 183.58  | 555.181   | 158.54   | 555.142               | 135.5  | 555.106   | 116.6  | 555.076   |
| 26     | 211.1  | 555.224   | 181.58  | 555.178   | 159.98   | 555.144               | 137.12 | 555.108   | 118.58 | 555.079   |
| 27     | 213.8  | 555.229   | 181.76  | 555.178   | 160.7    | 555.145               | 138.56 | 555.111   | 120.02 | 555.082   |
| 28     | 216.86 | 555.233   | 182.48  | 555.180   | 160.7    | 555.145               | 140.0  | 555.113   | 122.0  | 555.085   |
| 29     | 217.4  | 555.234   | 184.1   | 555.182   | 160.52   | 555.145               | 141.26 | 555.115   | 123.44 | 555.087   |
| 30     | 218.5  | 555.233   | 186.26  | 555.185   | 159.08   | 555.143               | 142.16 | 555.116   | 124.7  | 555.089   |

Distancia=pies

|        |        |           | Primera         | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |       |           |       |           |
|--------|--------|-----------|-----------------|-----------|----------|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           | Acero Inox. 316 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.           | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp. | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)            | 0.3773    | (°F)     | 0.7054                | (°F)  | 1.0335    | (°F)  | 1.3615    |
|        |        | p         |                 | p         |          | p                     |       | p         |       | p         |
| 1      | 57.92  | 487.982   | 57.92           | 487.982   | 57.92    | 487.982               | 57.92 | 487.982   | 57.92 | 487.982   |
| 2      | 58.1   | 487.982   | 57.92           | 487.982   | 57.92    | 487.982               | 57.92 | 487.982   | 57.92 | 487.982   |
| 3      | 58.28  | 487.982   | 58.1            | 487.982   | 57.92    | 487.982               | 58.1  | 487.982   | 58.1  | 487.982   |
| 4      | 58.82  | 487.983   | 58.28           | 487.982   | 58.1     | 487.982               | 58.28 | 487.982   | 58.1  | 487.982   |
| 5      | 63.86  | 487.982   | 58.46           | 487.983   | 58.28    | 487.982               | 58.28 | 487.982   | 58.1  | 487.982   |
| 6      | 76.82  | 488.016   | 58.82           | 487.983   | 58.64    | 487.983               | 58.46 | 487.983   | 58.28 | 487.982   |
| 7      | 92.84  | 488.046   | 59.0            | 487.984   | 58.82    | 487.983               | 58.64 | 487.983   | 58.28 | 487.982   |
| 8      | 102.02 | 488.062   | 59.36           | 487.984   | 59.0     | 487.984               | 58.82 | 487.983   | 58.46 | 487.983   |
| 9      | 109.76 | 488.077   | 59.9            | 487.985   | 59.18    | 487.984               | 58.82 | 487.983   | 58.64 | 487.983   |
| 10     | 116.6  | 488.089   | 60.44           | 487.986   | 59.36    | 487.984               | 58.82 | 487.983   | 58.64 | 487.983   |
| 11     | 122.9  | 488.101   | 60.8            | 487.987   | 59.54    | 487.984               | 59.54 | 487.984   | 59.36 | 487.984   |
| 12     | 128.66 | 488.111   | 61.88           | 487.989   | 59.72    | 487.985               | 59.72 | 487.985   | 59.54 | 487.984   |
| 13     | 133.52 | 488.120   | 62.78           | 487.990   | 59.9     | 487.985               | 59.72 | 487.985   | 59.54 | 487.984   |
| 14     | 136.58 | 488.126   | 63.86           | 487.992   | 60.08    | 487.985               | 59.72 | 487.985   | 59.72 | 487.985   |
| 15     | 139.1  | 488.130   | 65.12           | 487.995   | 60.26    | 487.986               | 59.72 | 487.985   | 59.72 | 487.985   |
| 16     | 141.62 | 488.135   | 66.2            | 487.997   | 60.44    | 487.986               | 59.9  | 487.985   | 59.72 | 487.985   |
| 17     | 143.6  | 488.139   | 67.1            | 487.998   | 60.62    | 487.986               | 60.08 | 487.985   | 59.9  | 487.985   |
| 18     | 145.58 | 488.142   | 68.36           | 488.001   | 60.8     | 487.987               | 60.08 | 487.985   | 59.9  | 487.985   |
| 19     | 147.56 | 488.146   | 69.44           | 488.003   | 60.98    | 487.987               | 60.08 | 487.985   | 59.9  | 487.985   |
| 20     | 149.18 | 488.149   | 70.52           | 488.005   | 61.16    | 487.987               | 60.08 | 487.985   | 59.9  | 487.985   |
| 21     | 151.34 | 488.153   | 71.6            | 488.007   | 61.34    | 487.988               | 60.26 | 487.986   | 60.08 | 487.985   |
| 22     | 152.6  | 488.155   | 72.68           | 488.009   | 61.52    | 487.988               | 60.26 | 487.986   | 60.08 | 487.985   |
| 23     | 154.22 | 488.158   | 73.58           | 488.010   | 61.7     | 487.988               | 60.26 | 487.986   | 60.08 | 487.985   |
| 24     | 155.48 | 488.160   | 75.02           | 488.013   | 61.88    | 487.989               | 60.8  | 487.987   | 60.62 | 487.986   |
| 25     | 156.92 | 488.163   | 76.1            | 488.015   | 62.42    | 487.990               | 60.8  | 487.987   | 60.8  | 487.987   |
| 26     | 158.18 | 488.165   | 77.0            | 488.016   | 62.6     | 487.990               | 60.98 | 487.987   | 60.8  | 487.987   |
| 27     | 159.44 | 488.168   | 77.72           | 488.018   | 62.96    | 487.991               | 60.98 | 487.987   | 60.98 | 487.987   |
| 28     | 160.52 | 488.170   | 78.8            | 488.020   | 63.32    | 487.991               | 61.34 | 487.988   | 61.16 | 487.987   |
| 29     | 161.6  | 488.172   | 79.7            | 488.021   | 63.5     | 487.992               | 61.52 | 487.988   | 61.34 | 487.988   |
| 30     | 162.32 | 488.173   | 80.6            | 488.023   | 63.68    | 487.992               | 61.52 | 487.988   | 61.34 | 487.988   |

Distancia=pies

|        |        |           | Segunda  | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |       |           |       |           |
|--------|--------|-----------|----------|-----------|----------|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           | Aluminio |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |          |                       |       |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.    | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp. | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)     | 0.7054    | (°F)     | 1.3615                | (°F)  | 2.0177    | (°F)  | 2.6739    |
|        |        | $\rho$    |          | $\rho$    |          | $\rho$                |       | $\rho$    |       | $\rho$    |
| 1      | 67.28  | 168.602   | 66.92    | 168.603   | 66.74    | 168.604               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 2      | 73.4   | 168.583   | 67.1     | 168.603   | 66.74    | 168.604               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 3      | 93.38  | 168.521   | 68.0     | 168.600   | 66.74    | 168.604               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 4      | 112.28 | 168.462   | 69.98    | 168.594   | 66.74    | 168.604               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 5      | 125.96 | 168.419   | 73.76    | 168.582   | 67.28    | 168.602               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 6      | 135.32 | 168.390   | 78.8     | 168.566   | 67.64    | 168.601               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 7      | 146.48 | 168.355   | 83.66    | 168.551   | 68.9     | 168.597               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 8      | 150.98 | 168.341   | 88.52    | 168.536   | 70.34    | 168.593               | 66.74 | 168.604   | 66.74 | 168.604   |
| 9      | 154.4  | 168.330   | 92.3     | 168.524   | 71.78    | 168.588               | 67.1  | 168.603   | 66.74 | 168.604   |
| 10     | 158.18 | 168.318   | 96.08    | 168.512   | 73.4     | 168.583               | 67.64 | 168.601   | 66.74 | 168.604   |
| 11     | 161.24 | 168.309   | 99.32    | 168.502   | 75.02    | 168.578               | 68.18 | 168.599   | 66.74 | 168.604   |
| 12     | 163.76 | 168.301   | 103.1    | 168.490   | 76.64    | 168.573               | 68.9  | 168.597   | 66.74 | 168.604   |
| 13     | 166.82 | 168.291   | 106.16   | 168.481   | 78.62    | 168.567               | 69.62 | 168.595   | 67.1  | 168.603   |
| 14     | 169.7  | 168.282   | 109.04   | 168.472   | 80.24    | 168.562               | 70.16 | 168.593   | 67.28 | 168.602   |
| 15     | 171.86 | 168.275   | 111.2    | 168.465   | 81.86    | 168.557               | 70.88 | 168.591   | 67.64 | 168.601   |
| 16     | 174.2  | 168.268   | 113.9    | 168.457   | 84.02    | 168.550               | 71.78 | 168.588   | 68.0  | 168.600   |
| 17     | 176.36 | 168.261   | 115.52   | 168.452   | 85.1     | 168.547               | 72.5  | 168.586   | 68.36 | 168.599   |
| 18     | 177.8  | 168.257   | 117.68   | 168.445   | 86.0     | 168.544               | 73.22 | 168.584   | 68.72 | 168.598   |
| 19     | 179.42 | 168.252   | 119.66   | 168.439   | 87.62    | 168.539               | 73.94 | 168.581   | 69.08 | 168.597   |
| 20     | 181.04 | 168.247   | 121.1    | 168.434   | 88.7     | 168.535               | 74.48 | 168.580   | 69.26 | 168.596   |
| 21     | 183.02 | 168.241   | 122.9    | 168.428   | 89.24    | 168.534               | 75.2  | 168.578   | 69.62 | 168.595   |
| 22     | 184.28 | 168.237   | 124.52   | 168.423   | 90.68    | 168.529               | 76.1  | 168.575   | 69.8  | 168.594   |
| 23     | 185.9  | 168.232   | 126.14   | 168.418   | 92.12    | 168.525               | 76.82 | 168.572   | 69.98 | 168.594   |
| 24     | 186.98 | 168.228   | 127.94   | 168.413   | 93.02    | 168.522               | 77.54 | 168.570   | 70.34 | 168.593   |
| 25     | 188.24 | 168.224   | 129.2    | 168.409   | 93.92    | 168.519               | 78.08 | 168.569   | 70.7  | 168.592   |
| 26     | 189.5  | 168.220   | 130.46   | 168.405   | 94.82    | 168.516               | 78.62 | 168.567   | 71.06 | 168.590   |
| 27     | 190.22 | 168.218   | 131.36   | 168.402   | 95.9     | 168.513               | 79.16 | 168.565   | 71.42 | 168.589   |
| 28     | 191.3  | 168.215   | 132.44   | 168.399   | 96.8     | 168.510               | 79.7  | 168.563   | 71.96 | 168.588   |
| 29     | 191.84 | 168.213   | 133.7    | 168.395   | 97.7     | 168.507               | 80.24 | 168.562   | 72.14 | 168.587   |
| 30     | 192.02 | 168.212   | 134.6    | 168.392   | 98.06    | 168.506               | 80.6  | 168.561   | 72.32 | 168.587   |

Distancia=pies

|        |        |           | Segunda | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |        |           |        |           |
|--------|--------|-----------|---------|-----------|----------|-----------------------|--------|-----------|--------|-----------|
|        |        |           | Cobre   |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |          |                       |        |           |        |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.   | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp.  | Distancia | Temp.  | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)    | 0.7054    | (°F)     | 1.3615                | (°F)   | 2.0177    | (°F)   | 2.6739    |
|        | $\rho$ |           | $\rho$  |           | $\rho$   |                       | $\rho$ |           | $\rho$ |           |
| 1      | 66.92  | 554.998   | 66.92   | 554.998   | 66.92    | 554.998               | 66.92  | 554.998   | 66.92  | 554.998   |
| 2      | 85.1   | 555.027   | 69.08   | 555.002   | 67.28    | 554.999               | 66.92  | 554.998   | 66.92  | 554.998   |
| 3      | 122.36 | 555.085   | 70.7    | 555.004   | 70.52    | 555.004               | 67.1   | 554.999   | 66.92  | 554.998   |
| 4      | 145.58 | 555.122   | 76.28   | 555.013   | 72.5     | 555.007               | 67.1   | 554.999   | 67.28  | 554.998   |
| 5      | 163.76 | 555.150   | 82.76   | 555.023   | 74.84    | 555.011               | 67.46  | 554.999   | 67.82  | 555.000   |
| 6      | 176.54 | 555.170   | 89.42   | 555.034   | 77.54    | 555.015               | 68.9   | 555.001   | 68.54  | 555.001   |
| 7      | 183.56 | 555.181   | 96.08   | 555.044   | 80.96    | 555.020               | 69.44  | 555.002   | 68.72  | 555.001   |
| 8      | 189.5  | 555.191   | 104.18  | 555.057   | 84.2     | 555.025               | 70.52  | 555.004   | 68.9   | 555.001   |
| 9      | 194.36 | 555.198   | 111.02  | 555.067   | 87.26    | 555.030               | 71.6   | 555.008   | 69.44  | 555.002   |
| 10     | 198.68 | 555.205   | 117.5   | 555.078   | 89.78    | 555.034               | 72.68  | 555.007   | 70.34  | 555.004   |
| 11     | 203.36 | 555.212   | 126.68  | 555.092   | 93.56    | 555.040               | 74.3   | 555.010   | 70.88  | 555.005   |
| 12     | 206.78 | 555.218   | 133.52  | 555.103   | 96.98    | 555.045               | 84.92  | 555.027   | 71.6   | 555.006   |
| 13     | 209.12 | 555.221   | 138.56  | 555.111   | 99.68    | 555.050               | 77.54  | 555.015   | 72.5   | 555.007   |
| 14     | 212.36 | 555.226   | 142.7   | 555.117   | 102.2    | 555.054               | 79.16  | 555.018   | 73.04  | 555.008   |
| 15     | 215.06 | 555.231   | 146.66  | 555.123   | 105.26   | 555.058               | 81.14  | 555.021   | 74.12  | 555.010   |
| 16     | 217.58 | 555.235   | 149.0   | 555.127   | 108.32   | 555.063               | 82.58  | 555.023   | 75.02  | 555.011   |
| 17     | 219.74 | 555.238   | 151.88  | 555.132   | 111.02   | 555.067               | 84.74  | 555.026   | 75.74  | 555.012   |
| 18     | 222.08 | 555.242   | 154.22  | 555.136   | 114.44   | 555.073               | 86.0   | 555.028   | 76.46  | 555.013   |
| 19     | 224.24 | 555.245   | 156.2   | 555.138   | 117.86   | 555.078               | 87.62  | 555.031   | 77.36  | 555.015   |
| 20     | 226.22 | 555.248   | 158.18  | 555.141   | 120.74   | 555.083               | 89.24  | 555.033   | 78.08  | 555.016   |
| 21     | 227.66 | 555.250   | 159.8   | 555.144   | 123.8    | 555.088               | 90.86  | 555.036   | 78.98  | 555.017   |
| 22     | 229.28 | 555.253   | 161.42  | 555.147   | 125.78   | 555.091               | 92.3   | 555.038   | 80.06  | 555.019   |
| 23     | 230.9  | 555.255   | 163.04  | 555.149   | 128.12   | 555.094               | 93.92  | 555.041   | 81.32  | 555.021   |
| 24     | 231.98 | 555.257   | 164.66  | 555.152   | 129.56   | 555.097               | 95.54  | 555.043   | 82.22  | 555.022   |
| 25     | 232.7  | 555.258   | 166.1   | 555.154   | 131.9    | 555.100               | 97.16  | 555.046   | 83.3   | 555.024   |
| 26     | 232.52 | 555.258   | 167.18  | 555.156   | 133.52   | 555.103               | 98.6   | 555.048   | 84.2   | 555.025   |
| 27     | 232.34 | 555.258   | 167.9   | 555.157   | 134.96   | 555.105               | 100.58 | 555.051   | 85.1   | 555.027   |
| 28     | 231.08 | 555.256   | 168.62  | 555.158   | 136.22   | 555.107               | 102.02 | 555.053   | 85.82  | 555.028   |
| 29     | 229.82 | 555.254   | 168.8   | 555.158   | 137.3    | 555.109               | 104.0  | 555.056   | 87.08  | 555.030   |
| 30     | 227.66 | 555.250   | 168.62  | 555.158   | 138.38   | 555.110               | 105.82 | 555.059   | 88.52  | 555.032   |

Distancia=pies

|        |        |           | Segunda         | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |       |           |       |           |
|--------|--------|-----------|-----------------|-----------|----------|-----------------------|-------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           | Acero Inox. 316 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |          |                       |       |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.           | Distancia | Temp.    | Distancia             | Temp. | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)            | 0.7054    | (°F)     | 1.3615                | (°F)  | 2.0177    | (°F)  | 2.6739    |
|        |        | $\rho$    |                 | $\rho$    |          | $\rho$                |       | $\rho$    |       | $\rho$    |
| 1      | 68.0   | 488.000   | 68.0            | 488.000   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 2      | 68.9   | 488.002   | 68.0            | 488.000   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 3      | 70.34  | 488.004   | 68.18           | 488.000   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 4      | 74.12  | 488.011   | 68.36           | 488.001   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 5      | 84.2   | 488.030   | 68.72           | 488.001   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 6      | 94.82  | 488.049   | 68.9            | 488.002   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 7      | 102.74 | 488.064   | 69.08           | 488.002   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 8      | 108.32 | 488.074   | 69.26           | 488.002   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 9      | 113.0  | 488.082   | 69.44           | 488.003   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 10     | 117.68 | 488.091   | 69.62           | 488.003   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 11     | 121.46 | 488.098   | 69.8            | 488.003   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 12     | 125.42 | 488.105   | 69.98           | 488.004   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 13     | 128.3  | 488.111   | 70.34           | 488.004   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 14     | 131.18 | 488.116   | 70.52           | 488.005   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 15     | 133.88 | 488.121   | 70.88           | 488.005   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 16     | 136.4  | 488.125   | 71.06           | 488.006   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 17     | 138.58 | 488.129   | 71.6            | 488.007   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 18     | 140.72 | 488.133   | 71.96           | 488.007   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 19     | 142.7  | 488.137   | 72.32           | 488.008   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 20     | 144.14 | 488.140   | 72.5            | 488.008   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 21     | 146.12 | 488.143   | 72.88           | 488.009   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 22     | 147.2  | 488.145   | 73.22           | 488.010   | 67.28    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 23     | 149.36 | 488.149   | 73.76           | 488.011   | 67.46    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 24     | 150.98 | 488.152   | 74.12           | 488.011   | 67.64    | 487.999               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 25     | 152.6  | 488.155   | 74.3            | 488.012   | 67.82    | 488.000               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 26     | 154.58 | 488.159   | 74.48           | 488.012   | 68.0     | 488.000               | 67.28 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 27     | 155.84 | 488.161   | 74.84           | 488.013   | 68.18    | 488.000               | 67.46 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 28     | 157.28 | 488.164   | 75.2            | 488.013   | 68.36    | 488.001               | 67.46 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 29     | 158.72 | 488.166   | 75.38           | 488.014   | 68.54    | 488.001               | 67.46 | 487.999   | 67.28 | 487.999   |
| 30     | 159.8  | 488.168   | 75.56           | 488.014   | 68.54    | 488.001               | 67.46 | 487.999   | 67.46 | 487.999   |

Distancia=pies

|               |               |                     | Primera       | Prueba              | Cp (Btu/lb°F) |                     |               |                     |               |                     |
|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
|               |               |                     | Aluminio      |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |               |                     |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.3773 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.7054 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.0335 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.3615 |
|               |               | Cp                  |               | Cp                  |               | Cp                  |               | Cp                  |               | Cp                  |
| 1             | 58.1          | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               |
| 2             | 58.28         | 0.379               | 57.92         | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               |
| 3             | 61.52         | 0.379               | 58.1          | 0.378               | 57.92         | 0.378               | 57.74         | 0.378               | 57.74         | 0.378               |
| 4             | 94.46         | 0.385               | 64.4          | 0.380               | 58.82         | 0.379               | 58.82         | 0.379               | 57.74         | 0.378               |
| 5             | 131.9         | 0.391               | 78.98         | 0.382               | 62.6          | 0.379               | 59.36         | 0.379               | 58.28         | 0.379               |
| 6             | 143.42        | 0.393               | 92.12         | 0.384               | 67.46         | 0.380               | 61.88         | 0.379               | 59.36         | 0.379               |
| 7             | 153.68        | 0.395               | 102.74        | 0.386               | 73.4          | 0.381               | 64.22         | 0.380               | 60.62         | 0.379               |
| 8             | 161.06        | 0.396               | 109.94        | 0.387               | 79.34         | 0.382               | 66.92         | 0.380               | 61.7          | 0.379               |
| 9             | 167.9         | 0.397               | 118.22        | 0.389               | 84.02         | 0.383               | 71.06         | 0.381               | 63.68         | 0.379               |
| 10            | 172.4         | 0.398               | 125.06        | 0.390               | 88.7          | 0.384               | 74.12         | 0.381               | 66.02         | 0.380               |
| 11            | 178.16        | 0.399               | 131.72        | 0.391               | 92.84         | 0.384               | 77.0          | 0.382               | 68.0          | 0.380               |
| 12            | 181.04        | 0.400               | 136.4         | 0.392               | 96.08         | 0.385               | 80.06         | 0.382               | 70.52         | 0.381               |
| 13            | 184.28        | 0.400               | 140.36        | 0.393               | 100.22        | 0.386               | 84.56         | 0.383               | 72.5          | 0.381               |
| 14            | 186.98        | 0.401               | 142.7         | 0.393               | 102.2         | 0.386               | 87.44         | 0.384               | 74.84         | 0.381               |
| 15            | 189.5         | 0.401               | 145.94        | 0.394               | 104.9         | 0.387               | 90.14         | 0.384               | 77.18         | 0.382               |
| 16            | 191.66        | 0.401               | 148.28        | 0.394               | 107.42        | 0.387               | 92.3          | 0.384               | 78.8          | 0.382               |
| 17            | 192.38        | 0.402               | 149.9         | 0.394               | 109.58        | 0.387               | 95.0          | 0.385               | 79.88         | 0.382               |
| 18            | 192.74        | 0.402               | 150.8         | 0.394               | 111.92        | 0.388               | 96.62         | 0.385               | 81.5          | 0.383               |
| 19            | 192.2         | 0.402               | 151.88        | 0.395               | 113.72        | 0.388               | 98.6          | 0.385               | 82.94         | 0.383               |
| 20            | 191.48        | 0.401               | 151.34        | 0.395               | 114.62        | 0.388               | 100.04        | 0.386               | 84.02         | 0.383               |
| 21            | 188.42        | 0.401               | 149.9         | 0.394               | 115.16        | 0.388               | 101.48        | 0.386               | 85.1          | 0.383               |
| 22            | 185.72        | 0.400               | 148.46        | 0.394               | 114.98        | 0.388               | 102.92        | 0.386               | 86.72         | 0.383               |
| 23            | 184.46        | 0.400               | 146.3         | 0.394               | 113.9         | 0.388               | 103.1         | 0.386               | 87.8          | 0.384               |
| 24            | 185.0         | 0.400               | 145.22        | 0.393               | 111.74        | 0.388               | 102.74        | 0.386               | 88.88         | 0.384               |
| 25            | 187.7         | 0.401               | 144.68        | 0.393               | 110.48        | 0.388               | 101.84        | 0.386               | 89.96         | 0.384               |
| 26            | 189.32        | 0.401               | 144.5         | 0.393               | 109.22        | 0.387               | 100.94        | 0.386               | 90.86         | 0.384               |
| 27            | 190.22        | 0.401               | 147.02        | 0.394               | 106.86        | 0.387               | 99.86         | 0.386               | 91.4          | 0.384               |
| 28            | 190.4         | 0.401               | 149.0         | 0.394               | 110.3         | 0.387               | 99.32         | 0.386               | 92.3          | 0.384               |
| 29            | 191.3         | 0.401               | 149.72        | 0.394               | 111.56        | 0.388               | 98.78         | 0.386               | 93.02         | 0.385               |
| 30            | 189.32        | 0.401               | 149.54        | 0.394               | 113.0         | 0.388               | 99.14         | 0.386               | 93.74         | 0.385               |

Distancia=pies

|        |        |           | Primera | Prueba    | Cp (Btu/lb*°F) |           |        |           |        |           |
|--------|--------|-----------|---------|-----------|----------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           | Cobre   |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
|        |        |           |         |           |                |           |        |           |        |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.   | Distancia | Temp.          | Distancia | Temp.  | Distancia | Temp.  | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)    | 0.3773    | (°F)           | 0.7064    | (°F)   | 1.0335    | (°F)   | 1.3615    |
|        |        | Cp        |         | Cp        |                | Cp        |        | Cp        |        | Cp        |
| 1      | 58.1   | 0.165     | 57.92   | 0.165     | 57.74          | 0.165     | 57.56  | 0.165     | 57.56  | 0.165     |
| 2      | 59.0   | 0.165     | 58.64   | 0.165     | 57.92          | 0.165     | 57.56  | 0.165     | 57.56  | 0.165     |
| 3      | 69.6   | 0.165     | 69.08   | 0.165     | 58.1           | 0.165     | 57.74  | 0.165     | 57.56  | 0.165     |
| 4      | 104.54 | 0.166     | 90.86   | 0.166     | 58.46          | 0.165     | 58.1   | 0.165     | 57.92  | 0.165     |
| 5      | 137.84 | 0.167     | 108.5   | 0.166     | 68.36          | 0.165     | 60.98  | 0.165     | 58.82  | 0.165     |
| 6      | 162.32 | 0.168     | 122.18  | 0.167     | 77.72          | 0.165     | 66.02  | 0.165     | 60.26  | 0.165     |
| 7      | 176.0  | 0.168     | 135.14  | 0.167     | 88.88          | 0.166     | 72.5   | 0.165     | 62.96  | 0.165     |
| 8      | 186.98 | 0.168     | 144.86  | 0.167     | 98.78          | 0.166     | 78.44  | 0.165     | 66.02  | 0.165     |
| 9      | 194.36 | 0.169     | 152.42  | 0.167     | 106.88         | 0.166     | 84.2   | 0.165     | 69.98  | 0.165     |
| 10     | 199.58 | 0.169     | 158.54  | 0.168     | 115.52         | 0.166     | 89.96  | 0.166     | 73.22  | 0.165     |
| 11     | 204.08 | 0.169     | 162.5   | 0.168     | 120.2          | 0.166     | 94.82  | 0.166     | 76.64  | 0.165     |
| 12     | 207.5  | 0.169     | 166.82  | 0.168     | 125.06         | 0.167     | 99.5   | 0.166     | 80.06  | 0.165     |
| 13     | 211.28 | 0.169     | 170.6   | 0.168     | 129.2          | 0.167     | 103.82 | 0.166     | 84.2   | 0.165     |
| 14     | 214.34 | 0.169     | 174.56  | 0.168     | 133.16         | 0.167     | 106.88 | 0.166     | 87.44  | 0.166     |
| 15     | 216.86 | 0.169     | 177.62  | 0.168     | 139.82         | 0.167     | 110.84 | 0.166     | 90.86  | 0.166     |
| 16     | 218.48 | 0.169     | 180.5   | 0.168     | 138.92         | 0.167     | 113.9  | 0.166     | 94.1   | 0.166     |
| 17     | 220.1  | 0.169     | 182.66  | 0.168     | 141.62         | 0.167     | 117.32 | 0.166     | 97.88  | 0.166     |
| 18     | 220.28 | 0.169     | 185.72  | 0.168     | 144.32         | 0.167     | 120.02 | 0.166     | 100.58 | 0.166     |
| 19     | 219.92 | 0.169     | 187.16  | 0.168     | 147.2          | 0.167     | 123.08 | 0.167     | 103.46 | 0.166     |
| 20     | 219.2  | 0.169     | 188.78  | 0.168     | 149.0          | 0.167     | 125.6  | 0.167     | 106.52 | 0.166     |
| 21     | 217.58 | 0.169     | 189.5   | 0.168     | 151.52         | 0.167     | 128.12 | 0.167     | 108.5  | 0.166     |
| 22     | 214.52 | 0.169     | 189.32  | 0.168     | 153.5          | 0.167     | 130.1  | 0.167     | 111.02 | 0.166     |
| 23     | 211.82 | 0.169     | 188.42  | 0.168     | 155.12         | 0.167     | 132.26 | 0.167     | 112.64 | 0.166     |
| 24     | 210.2  | 0.169     | 186.8   | 0.168     | 157.1          | 0.167     | 134.42 | 0.167     | 114.26 | 0.166     |
| 25     | 209.84 | 0.169     | 183.56  | 0.168     | 158.54         | 0.168     | 135.5  | 0.167     | 116.6  | 0.166     |
| 26     | 211.1  | 0.169     | 181.58  | 0.168     | 159.98         | 0.168     | 137.12 | 0.167     | 118.58 | 0.166     |
| 27     | 213.8  | 0.169     | 181.76  | 0.168     | 160.7          | 0.168     | 138.56 | 0.167     | 120.02 | 0.166     |
| 28     | 216.86 | 0.169     | 182.48  | 0.168     | 160.7          | 0.168     | 140.0  | 0.167     | 122.0  | 0.167     |
| 29     | 217.4  | 0.169     | 184.1   | 0.168     | 160.52         | 0.168     | 141.26 | 0.167     | 123.44 | 0.167     |
| 30     | 216.5  | 0.169     | 186.26  | 0.168     | 159.08         | 0.168     | 142.16 | 0.167     | 124.7  | 0.167     |

Distancia=pies

|               |               |           | Primera         | Prueba    | Cp (Btu/lb*°F) |           |               |           |               |           |
|---------------|---------------|-----------|-----------------|-----------|----------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
|               |               |           | Acero Inox. 316 |           |                |           |               |           |               |           |
|               |               |           |                 |           |                |           |               |           |               |           |
|               |               |           |                 |           |                |           |               |           |               |           |
|               |               |           |                 |           |                |           |               |           |               |           |
|               |               |           |                 |           |                |           |               |           |               |           |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia | Temp.<br>(°F)   | Distancia | Temp.<br>(°F)  | Distancia | Temp.<br>(°F) | Distancia | Temp.<br>(°F) | Distancia |
|               |               | 0.0492    |                 | 0.3773    |                | 0.7054    |               | 1.0335    |               | 1.3615    |
|               |               | Cp        |                 | Cp        |                | Cp        |               | Cp        |               | Cp        |
| 1             | 57.92         | 0.110     | 57.92           | 0.110     | 57.92          | 0.110     | 57.92         | 0.110     | 57.92         | 0.110     |
| 2             | 58.1          | 0.110     | 57.92           | 0.110     | 57.92          | 0.110     | 57.92         | 0.110     | 57.92         | 0.110     |
| 3             | 58.28         | 0.110     | 58.1            | 0.110     | 57.92          | 0.110     | 58.1          | 0.110     | 58.1          | 0.110     |
| 4             | 58.82         | 0.110     | 58.28           | 0.110     | 58.1           | 0.110     | 58.28         | 0.110     | 58.1          | 0.110     |
| 5             | 63.86         | 0.110     | 58.46           | 0.110     | 58.28          | 0.110     | 58.28         | 0.110     | 58.1          | 0.110     |
| 6             | 76.82         | 0.110     | 58.82           | 0.110     | 58.64          | 0.110     | 58.48         | 0.110     | 58.28         | 0.110     |
| 7             | 92.84         | 0.110     | 59.0            | 0.110     | 58.82          | 0.110     | 58.64         | 0.110     | 58.28         | 0.110     |
| 8             | 102.02        | 0.110     | 59.36           | 0.110     | 59.0           | 0.110     | 58.82         | 0.110     | 58.46         | 0.110     |
| 9             | 109.76        | 0.110     | 59.9            | 0.110     | 59.18          | 0.110     | 58.82         | 0.110     | 58.64         | 0.110     |
| 10            | 116.6         | 0.110     | 60.44           | 0.110     | 59.36          | 0.110     | 58.82         | 0.110     | 58.64         | 0.110     |
| 11            | 122.9         | 0.110     | 60.8            | 0.110     | 59.54          | 0.110     | 59.54         | 0.110     | 59.36         | 0.110     |
| 12            | 128.66        | 0.110     | 61.88           | 0.110     | 59.72          | 0.110     | 59.72         | 0.110     | 59.54         | 0.110     |
| 13            | 133.52        | 0.110     | 62.78           | 0.110     | 59.9           | 0.110     | 59.72         | 0.110     | 59.54         | 0.110     |
| 14            | 136.58        | 0.110     | 63.86           | 0.110     | 60.08          | 0.110     | 59.72         | 0.110     | 59.72         | 0.110     |
| 15            | 139.1         | 0.110     | 65.12           | 0.110     | 60.26          | 0.110     | 59.72         | 0.110     | 59.72         | 0.110     |
| 16            | 141.62        | 0.110     | 66.2            | 0.110     | 60.44          | 0.110     | 59.9          | 0.110     | 59.72         | 0.110     |
| 17            | 143.6         | 0.110     | 67.1            | 0.110     | 60.62          | 0.110     | 60.08         | 0.110     | 59.9          | 0.110     |
| 18            | 145.58        | 0.110     | 68.36           | 0.110     | 60.8           | 0.110     | 60.08         | 0.110     | 59.9          | 0.110     |
| 19            | 147.56        | 0.110     | 69.44           | 0.110     | 60.98          | 0.110     | 60.08         | 0.110     | 59.9          | 0.110     |
| 20            | 149.18        | 0.110     | 70.52           | 0.110     | 61.16          | 0.110     | 60.08         | 0.110     | 59.9          | 0.110     |
| 21            | 151.34        | 0.110     | 71.6            | 0.110     | 61.34          | 0.110     | 60.26         | 0.110     | 60.08         | 0.110     |
| 22            | 152.6         | 0.110     | 72.68           | 0.110     | 61.52          | 0.110     | 60.26         | 0.110     | 60.08         | 0.110     |
| 23            | 154.22        | 0.110     | 73.58           | 0.110     | 61.7           | 0.110     | 60.26         | 0.110     | 60.08         | 0.110     |
| 24            | 155.48        | 0.110     | 75.02           | 0.110     | 61.88          | 0.110     | 60.8          | 0.110     | 60.62         | 0.110     |
| 25            | 156.92        | 0.110     | 76.1            | 0.110     | 62.42          | 0.110     | 60.8          | 0.110     | 60.8          | 0.110     |
| 26            | 158.18        | 0.110     | 77.0            | 0.110     | 62.6           | 0.110     | 60.98         | 0.110     | 60.8          | 0.110     |
| 27            | 159.44        | 0.110     | 77.72           | 0.110     | 62.96          | 0.110     | 60.98         | 0.110     | 60.98         | 0.110     |
| 28            | 160.52        | 0.110     | 78.8            | 0.110     | 63.32          | 0.110     | 61.34         | 0.110     | 61.16         | 0.110     |
| 29            | 161.6         | 0.110     | 79.7            | 0.110     | 63.5           | 0.110     | 61.52         | 0.110     | 61.34         | 0.110     |
| 30            | 162.32        | 0.110     | 80.6            | 0.110     | 63.68          | 0.110     | 61.52         | 0.110     | 61.34         | 0.110     |

Distancia=pies

|               |               |                     | Segunda       | Prueba              | Cp (Btu/lb*°F) |                     |               |                     |               |                     |
|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
|               |               |                     | Aluminio      |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.7054 | Temp.<br>(°F)  | Distancia<br>1.3615 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.0177 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.6739 |
|               |               | Cp                  |               | Cp                  |                | Cp                  |               | Cp                  |               | Cp                  |
| 1             | 67.28         | 0.380               | 66.92         | 0.380               | 66.74          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 2             | 73.4          | 0.381               | 67.1          | 0.380               | 66.74          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 3             | 93.38         | 0.385               | 68.0          | 0.380               | 66.74          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 4             | 112.28        | 0.388               | 69.98         | 0.381               | 66.74          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 5             | 125.96        | 0.390               | 73.76         | 0.381               | 67.28          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 6             | 135.32        | 0.392               | 78.8          | 0.382               | 67.64          | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 7             | 146.48        | 0.394               | 83.66         | 0.383               | 68.9           | 0.380               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 8             | 150.98        | 0.394               | 88.52         | 0.384               | 70.34          | 0.381               | 66.74         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 9             | 154.4         | 0.395               | 92.3          | 0.384               | 71.78          | 0.381               | 67.1          | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 10            | 158.18        | 0.396               | 96.08         | 0.385               | 73.4           | 0.381               | 67.64         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 11            | 161.24        | 0.396               | 99.32         | 0.386               | 75.02          | 0.381               | 68.18         | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 12            | 163.76        | 0.397               | 103.1         | 0.386               | 76.64          | 0.382               | 68.9          | 0.380               | 66.74         | 0.380               |
| 13            | 166.82        | 0.397               | 106.16        | 0.387               | 78.62          | 0.382               | 69.62         | 0.380               | 67.1          | 0.380               |
| 14            | 169.7         | 0.398               | 109.04        | 0.387               | 80.24          | 0.382               | 70.16         | 0.381               | 67.28         | 0.380               |
| 15            | 171.86        | 0.398               | 111.2         | 0.388               | 81.86          | 0.383               | 70.88         | 0.381               | 67.64         | 0.380               |
| 16            | 174.2         | 0.398               | 113.9         | 0.388               | 84.02          | 0.383               | 71.78         | 0.381               | 68.0          | 0.380               |
| 17            | 176.36        | 0.399               | 115.52        | 0.388               | 85.1           | 0.383               | 72.5          | 0.381               | 68.36         | 0.380               |
| 18            | 177.8         | 0.399               | 117.68        | 0.389               | 86.0           | 0.383               | 73.22         | 0.381               | 68.72         | 0.380               |
| 19            | 179.42        | 0.399               | 119.66        | 0.389               | 87.62          | 0.384               | 73.94         | 0.381               | 69.08         | 0.380               |
| 20            | 181.04        | 0.400               | 121.1         | 0.389               | 88.7           | 0.384               | 74.48         | 0.381               | 69.26         | 0.380               |
| 21            | 183.02        | 0.400               | 122.9         | 0.390               | 89.24          | 0.384               | 75.2          | 0.381               | 69.62         | 0.380               |
| 22            | 184.28        | 0.400               | 124.52        | 0.390               | 90.68          | 0.384               | 76.1          | 0.382               | 69.8          | 0.381               |
| 23            | 185.9         | 0.401               | 126.14        | 0.390               | 92.12          | 0.384               | 76.82         | 0.382               | 69.98         | 0.381               |
| 24            | 186.98        | 0.401               | 127.84        | 0.391               | 93.02          | 0.385               | 77.54         | 0.382               | 70.34         | 0.381               |
| 25            | 188.24        | 0.401               | 129.2         | 0.391               | 93.92          | 0.385               | 78.08         | 0.382               | 70.7          | 0.381               |
| 26            | 189.5         | 0.401               | 130.46        | 0.391               | 94.82          | 0.385               | 78.62         | 0.382               | 71.06         | 0.381               |
| 27            | 190.22        | 0.401               | 131.36        | 0.391               | 95.9           | 0.385               | 79.16         | 0.382               | 71.42         | 0.381               |
| 28            | 191.3         | 0.401               | 132.44        | 0.391               | 96.8           | 0.385               | 79.7          | 0.382               | 71.96         | 0.381               |
| 29            | 191.84        | 0.402               | 133.7         | 0.392               | 97.7           | 0.385               | 80.24         | 0.382               | 72.14         | 0.381               |
| 30            | 192.02        | 0.402               | 134.6         | 0.392               | 98.06          | 0.385               | 80.6          | 0.382               | 72.32         | 0.381               |

Distancia=pies

|               |               |                     | Segunda       | Prueba              | Cp (Btu/lb*°F) |                     |               |                     |               |                     |
|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
|               |               |                     | Cobre         |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |               |                     |                |                     |               |                     |               |                     |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.7054 | Temp.<br>(°F)  | Distancia<br>1.3615 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.0177 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.6739 |
|               |               | Cp                  |               | Cp                  |                | Cp                  |               | Cp                  |               | Cp                  |
| 1             | 66.92         | 0.165               | 66.92         | 0.165               | 66.92          | 0.165               | 66.92         | 0.165               | 66.92         | 0.165               |
| 2             | 85.1          | 0.165               | 69.06         | 0.165               | 67.28          | 0.165               | 66.92         | 0.165               | 66.92         | 0.165               |
| 3             | 122.36        | 0.167               | 70.7          | 0.165               | 70.52          | 0.165               | 67.1          | 0.165               | 66.92         | 0.165               |
| 4             | 145.58        | 0.167               | 76.28         | 0.165               | 72.5           | 0.165               | 67.1          | 0.165               | 67.28         | 0.165               |
| 5             | 163.76        | 0.168               | 82.76         | 0.165               | 74.84          | 0.165               | 67.46         | 0.165               | 67.82         | 0.165               |
| 6             | 176.54        | 0.168               | 89.42         | 0.166               | 77.54          | 0.165               | 68.9          | 0.165               | 68.54         | 0.165               |
| 7             | 183.56        | 0.168               | 96.06         | 0.166               | 80.96          | 0.165               | 69.44         | 0.165               | 68.72         | 0.165               |
| 8             | 189.5         | 0.168               | 104.18        | 0.166               | 84.2           | 0.165               | 70.52         | 0.165               | 68.9          | 0.165               |
| 9             | 194.36        | 0.169               | 111.02        | 0.166               | 87.26          | 0.166               | 71.6          | 0.165               | 69.44         | 0.165               |
| 10            | 198.68        | 0.169               | 117.5         | 0.166               | 89.78          | 0.166               | 72.68         | 0.165               | 70.34         | 0.165               |
| 11            | 203.36        | 0.169               | 126.68        | 0.167               | 93.56          | 0.166               | 74.3          | 0.165               | 70.88         | 0.165               |
| 12            | 206.78        | 0.169               | 133.52        | 0.167               | 96.98          | 0.166               | 84.92         | 0.165               | 71.6          | 0.165               |
| 13            | 209.12        | 0.169               | 138.56        | 0.167               | 99.68          | 0.166               | 77.54         | 0.165               | 72.5          | 0.165               |
| 14            | 212.36        | 0.169               | 142.7         | 0.167               | 102.2          | 0.166               | 79.16         | 0.165               | 73.04         | 0.165               |
| 15            | 215.06        | 0.169               | 146.66        | 0.167               | 105.26         | 0.166               | 81.14         | 0.165               | 74.12         | 0.165               |
| 16            | 217.58        | 0.169               | 149.0         | 0.167               | 108.32         | 0.166               | 82.58         | 0.165               | 75.02         | 0.165               |
| 17            | 219.74        | 0.169               | 151.88        | 0.167               | 111.02         | 0.166               | 84.74         | 0.165               | 75.74         | 0.165               |
| 18            | 222.08        | 0.169               | 154.22        | 0.167               | 114.44         | 0.166               | 86.0          | 0.166               | 76.46         | 0.165               |
| 19            | 224.24        | 0.169               | 156.2         | 0.167               | 117.86         | 0.166               | 87.62         | 0.166               | 77.36         | 0.165               |
| 20            | 226.22        | 0.169               | 158.18        | 0.168               | 120.74         | 0.166               | 89.24         | 0.166               | 78.08         | 0.165               |
| 21            | 227.66        | 0.169               | 159.8         | 0.168               | 123.8          | 0.167               | 90.86         | 0.166               | 78.98         | 0.165               |
| 22            | 229.28        | 0.169               | 161.42        | 0.168               | 125.78         | 0.167               | 92.3          | 0.166               | 80.06         | 0.165               |
| 23            | 230.9         | 0.170               | 163.04        | 0.168               | 128.12         | 0.167               | 93.92         | 0.166               | 81.32         | 0.165               |
| 24            | 231.98        | 0.170               | 164.66        | 0.168               | 129.56         | 0.167               | 95.54         | 0.166               | 82.22         | 0.165               |
| 25            | 232.7         | 0.170               | 166.1         | 0.168               | 131.9          | 0.167               | 97.16         | 0.166               | 83.3          | 0.165               |
| 26            | 232.52        | 0.170               | 167.18        | 0.168               | 133.52         | 0.167               | 98.6          | 0.166               | 84.2          | 0.165               |
| 27            | 232.34        | 0.170               | 167.9         | 0.168               | 134.96         | 0.167               | 100.58        | 0.166               | 85.1          | 0.165               |
| 28            | 231.08        | 0.170               | 168.62        | 0.168               | 136.22         | 0.167               | 102.02        | 0.166               | 85.82         | 0.165               |
| 29            | 229.82        | 0.169               | 168.8         | 0.168               | 137.3          | 0.167               | 104.0         | 0.166               | 87.08         | 0.166               |
| 30            | 227.66        | 0.169               | 168.62        | 0.168               | 138.38         | 0.167               | 105.62        | 0.166               | 88.52         | 0.166               |

Distancia=pies

|               |               |                           | Segunda         | Prueba                    | Cp (Btu/lb*°F) |                           |               |                           |               |                           |
|---------------|---------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|---------------------------|
|               |               |                           | Acero Inox. 316 |                           |                |                           |               |                           |               |                           |
|               |               |                           |                 |                           |                |                           |               |                           |               |                           |
|               |               |                           |                 |                           |                |                           |               |                           |               |                           |
|               |               |                           |                 |                           |                |                           |               |                           |               |                           |
|               |               |                           |                 |                           |                |                           |               |                           |               |                           |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492<br>Cp | Temp.<br>(°F)   | Distancia<br>0.7054<br>Cp | Temp.<br>(°F)  | Distancia<br>1.3615<br>Cp | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.0177<br>Cp | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.6739<br>Cp |
| 1             | 68.0          | 0.110                     | 68.0            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 2             | 68.9          | 0.110                     | 68.0            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 3             | 70.34         | 0.110                     | 68.18           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 4             | 74.12         | 0.110                     | 68.36           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 5             | 84.2          | 0.110                     | 68.72           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 6             | 94.82         | 0.110                     | 68.9            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 7             | 102.74        | 0.110                     | 69.08           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 8             | 108.32        | 0.110                     | 69.26           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 9             | 113.0         | 0.110                     | 69.44           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 10            | 117.68        | 0.110                     | 69.62           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 11            | 121.46        | 0.110                     | 69.8            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 12            | 125.42        | 0.110                     | 69.98           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 13            | 128.3         | 0.110                     | 70.34           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 14            | 131.18        | 0.110                     | 70.52           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 15            | 133.88        | 0.110                     | 70.88           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 16            | 136.4         | 0.110                     | 71.06           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 17            | 138.56        | 0.110                     | 71.8            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 18            | 140.72        | 0.110                     | 71.96           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 19            | 142.7         | 0.110                     | 72.32           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 20            | 144.14        | 0.110                     | 72.5            | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 21            | 146.12        | 0.110                     | 72.86           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 22            | 147.2         | 0.110                     | 73.22           | 0.110                     | 67.28          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 23            | 149.36        | 0.110                     | 73.76           | 0.110                     | 67.46          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 24            | 150.98        | 0.110                     | 74.12           | 0.110                     | 67.64          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 25            | 152.6         | 0.110                     | 74.3            | 0.110                     | 67.82          | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 26            | 154.58        | 0.110                     | 74.48           | 0.110                     | 68.0           | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 27            | 155.84        | 0.110                     | 74.84           | 0.110                     | 68.18          | 0.110                     | 67.46         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 28            | 157.28        | 0.110                     | 75.2            | 0.110                     | 68.36          | 0.110                     | 67.46         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 29            | 158.72        | 0.110                     | 75.38           | 0.110                     | 68.54          | 0.110                     | 67.46         | 0.110                     | 67.28         | 0.110                     |
| 30            | 159.8         | 0.110                     | 75.56           | 0.110                     | 68.54          | 0.110                     | 67.46         | 0.110                     | 67.46         | 0.110                     |

Distancia=pies

|               |               |                          | Primera       | Prueba                   | K (Btu/ft <sup>2</sup> hr°F) |                          |               |                          |               |                          |
|---------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
|               |               |                          | Aluminio      |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.3773<br>K | Temp.<br>(°F)                | Distancia<br>0.7054<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.0335<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.3615<br>K |
| 1             | 58.1          | 117.116                  | 57.74         | 117.114                  | 57.74                        | 117.114                  | 57.74         | 117.114                  | 57.74         | 117.114                  |
| 2             | 58.28         | 117.117                  | 57.92         | 117.115                  | 57.74                        | 117.114                  | 57.74         | 117.114                  | 57.74         | 117.114                  |
| 3             | 61.52         | 117.138                  | 58.1          | 117.116                  | 57.92                        | 117.115                  | 57.74         | 117.114                  | 57.74         | 117.114                  |
| 4             | 94.46         | 117.377                  | 64.4          | 117.153                  | 58.82                        | 117.120                  | 58.82         | 117.120                  | 57.74         | 117.114                  |
| 5             | 131.9         | 117.764                  | 78.98         | 117.252                  | 62.6                         | 117.142                  | 59.36         | 117.124                  | 58.28         | 117.117                  |
| 6             | 143.42        | 117.908                  | 92.12         | 117.357                  | 67.46                        | 117.173                  | 61.88         | 117.138                  | 59.36         | 117.124                  |
| 7             | 153.68        | 118.045                  | 102.74        | 117.452                  | 73.4                         | 117.212                  | 64.22         | 117.152                  | 60.62         | 117.131                  |
| 8             | 161.06        | 118.150                  | 109.94        | 117.522                  | 79.34                        | 117.255                  | 66.92         | 117.169                  | 61.7          | 117.137                  |
| 9             | 167.9         | 118.251                  | 118.22        | 117.609                  | 84.02                        | 117.290                  | 71.06         | 117.196                  | 63.68         | 117.149                  |
| 10            | 172.4         | 118.320                  | 125.06        | 117.684                  | 88.7                         | 117.328                  | 74.12         | 117.217                  | 66.02         | 117.163                  |
| 11            | 178.16        | 118.410                  | 131.72        | 117.762                  | 92.84                        | 117.363                  | 77.0          | 117.238                  | 68.0          | 117.176                  |
| 12            | 181.04        | 118.457                  | 136.4         | 117.819                  | 96.08                        | 117.391                  | 80.06         | 117.260                  | 70.52         | 117.193                  |
| 13            | 184.28        | 118.510                  | 140.36        | 117.869                  | 100.22                       | 117.428                  | 84.56         | 117.295                  | 72.5          | 117.206                  |
| 14            | 186.98        | 118.597                  | 142.7         | 117.899                  | 102.2                        | 117.447                  | 87.44         | 117.318                  | 74.84         | 117.222                  |
| 15            | 189.5         | 118.634                  | 145.94        | 117.941                  | 104.9                        | 117.473                  | 90.14         | 117.340                  | 77.18         | 117.239                  |
| 16            | 191.66        | 118.646                  | 148.28        | 117.972                  | 107.42                       | 117.497                  | 92.3          | 117.358                  | 78.8          | 117.251                  |
| 17            | 192.38        | 118.652                  | 149.9         | 117.994                  | 109.58                       | 117.519                  | 95.0          | 117.382                  | 79.88         | 117.259                  |
| 18            | 192.74        | 118.643                  | 150.8         | 118.006                  | 111.92                       | 117.542                  | 96.62         | 117.396                  | 81.5          | 117.271                  |
| 19            | 192.2         | 118.631                  | 151.88        | 118.021                  | 113.72                       | 117.561                  | 98.6          | 117.414                  | 82.94         | 117.282                  |
| 20            | 191.48        | 118.579                  | 151.34        | 118.013                  | 114.62                       | 117.570                  | 100.04        | 117.427                  | 84.02         | 117.290                  |
| 21            | 188.42        | 118.533                  | 149.9         | 117.994                  | 115.16                       | 117.576                  | 101.48        | 117.440                  | 85.1          | 117.299                  |
| 22            | 185.72        | 118.513                  | 148.46        | 117.974                  | 114.98                       | 117.574                  | 102.92        | 117.454                  | 86.72         | 117.312                  |
| 23            | 184.46        | 118.522                  | 146.3         | 117.946                  | 113.9                        | 117.563                  | 103.1         | 117.455                  | 87.8          | 117.321                  |
| 24            | 185.0         | 118.567                  | 145.22        | 117.931                  | 111.74                       | 117.541                  | 102.74        | 117.452                  | 88.88         | 117.329                  |
| 25            | 187.7         | 118.594                  | 144.68        | 117.924                  | 110.48                       | 117.528                  | 101.84        | 117.444                  | 89.96         | 117.338                  |
| 26            | 189.32        | 118.609                  | 144.5         | 117.922                  | 109.22                       | 117.515                  | 100.94        | 117.435                  | 90.86         | 117.346                  |
| 27            | 190.22        | 118.612                  | 147.02        | 117.955                  | 108.86                       | 117.511                  | 99.86         | 117.425                  | 91.4          | 117.350                  |
| 28            | 190.4         | 118.628                  | 149.0         | 117.982                  | 110.3                        | 117.526                  | 99.32         | 117.420                  | 92.3          | 117.358                  |
| 29            | 191.3         | 118.594                  | 149.72        | 117.991                  | 111.56                       | 117.539                  | 98.78         | 117.415                  | 93.02         | 117.364                  |
| 30            | 189.32        | 117.000                  | 149.54        | 117.989                  | 113.0                        | 117.554                  | 99.14         | 117.419                  | 93.74         | 117.371                  |

Distancia=pies

|               |               |                          | Primera       | Prueba                   | K (Btu/ft <sup>2</sup> hr°F) |                          |               |                          |               |                          |
|---------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          | Cobre         |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                              |                          |               |                          |               |                          |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.3773<br>K | Temp.<br>(°F)                | Distancia<br>0.7054<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.0335<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.3615<br>K |
| 1             | 58.1          | 223.049                  | 57.92         | 223.056                  | 57.74                        | 223.062                  | 57.56         | 223.069                  | 57.56         | 223.069                  |
| 2             | 59.0          | 223.017                  | 58.64         | 223.030                  | 57.92                        | 223.056                  | 57.56         | 223.069                  | 57.56         | 223.069                  |
| 3             | 69.8          | 222.632                  | 69.08         | 222.658                  | 58.1                         | 223.049                  | 57.74         | 223.062                  | 57.56         | 223.069                  |
| 4             | 104.54        | 221.426                  | 90.86         | 221.895                  | 58.46                        | 223.036                  | 58.1          | 223.049                  | 57.92         | 223.056                  |
| 5             | 137.84        | 220.315                  | 108.5         | 221.291                  | 68.36                        | 222.683                  | 60.98         | 222.946                  | 58.82         | 223.024                  |
| 6             | 162.32        | 219.526                  | 122.18        | 220.832                  | 77.72                        | 222.353                  | 66.02         | 222.766                  | 60.26         | 222.972                  |
| 7             | 176.0         | 219.096                  | 135.14        | 220.403                  | 88.88                        | 221.964                  | 72.5          | 222.537                  | 62.98         | 222.875                  |
| 8             | 186.98        | 218.756                  | 144.86        | 220.086                  | 98.78                        | 221.622                  | 78.44         | 222.328                  | 66.02         | 222.766                  |
| 9             | 194.36        | 218.531                  | 152.42        | 219.842                  | 106.88                       | 221.346                  | 84.2          | 222.126                  | 69.98         | 222.626                  |
| 10            | 199.58        | 218.372                  | 158.54        | 219.646                  | 115.52                       | 221.054                  | 89.96         | 221.926                  | 73.22         | 222.511                  |
| 11            | 204.08        | 218.237                  | 162.5         | 219.520                  | 120.2                        | 220.898                  | 94.82         | 221.758                  | 76.64         | 222.391                  |
| 12            | 207.5         | 218.134                  | 166.82        | 219.384                  | 125.06                       | 220.736                  | 99.5          | 221.598                  | 80.06         | 222.271                  |
| 13            | 211.28        | 218.021                  | 170.6         | 219.265                  | 129.2                        | 220.599                  | 103.82        | 221.450                  | 84.2          | 222.126                  |
| 14            | 214.34        | 217.931                  | 174.56        | 219.141                  | 133.16                       | 220.468                  | 108.88        | 221.346                  | 87.44         | 222.013                  |
| 15            | 216.86        | 217.856                  | 177.62        | 219.046                  | 138.82                       | 220.250                  | 110.84        | 221.212                  | 90.86         | 221.895                  |
| 16            | 218.48        | 217.808                  | 180.5         | 218.956                  | 138.92                       | 220.279                  | 113.9         | 221.109                  | 94.1          | 221.783                  |
| 17            | 220.1         | 217.761                  | 182.66        | 218.889                  | 141.62                       | 220.191                  | 117.32        | 220.994                  | 97.88         | 221.653                  |
| 18            | 220.28        | 217.755                  | 185.72        | 218.795                  | 144.32                       | 220.103                  | 120.02        | 220.904                  | 100.58        | 221.561                  |
| 19            | 219.92        | 217.766                  | 187.16        | 218.751                  | 147.2                        | 220.010                  | 123.08        | 220.802                  | 103.46        | 221.462                  |
| 20            | 219.2         | 217.787                  | 188.78        | 218.701                  | 149.0                        | 219.952                  | 125.6         | 220.718                  | 106.52        | 221.358                  |
| 21            | 217.58        | 217.835                  | 189.5         | 218.679                  | 151.52                       | 219.871                  | 128.12        | 220.634                  | 108.5         | 221.291                  |
| 22            | 214.52        | 217.925                  | 189.32        | 218.684                  | 153.5                        | 219.807                  | 130.1         | 220.569                  | 111.02        | 221.206                  |
| 23            | 211.82        | 218.005                  | 188.42        | 218.712                  | 155.12                       | 219.756                  | 132.26        | 220.498                  | 112.64        | 221.151                  |
| 24            | 210.2         | 218.054                  | 186.8         | 218.762                  | 157.1                        | 219.692                  | 134.42        | 220.427                  | 114.26        | 221.097                  |
| 25            | 209.84        | 218.064                  | 183.56        | 218.862                  | 158.54                       | 219.646                  | 135.5         | 220.391                  | 116.6         | 221.018                  |
| 26            | 211.1         | 218.027                  | 181.58        | 218.923                  | 159.98                       | 219.600                  | 137.12        | 220.338                  | 118.58        | 220.952                  |
| 27            | 213.8         | 217.947                  | 181.76        | 218.917                  | 160.7                        | 219.578                  | 138.56        | 220.291                  | 120.02        | 220.904                  |
| 28            | 216.86        | 217.856                  | 182.48        | 218.895                  | 160.7                        | 219.578                  | 140.0         | 220.244                  | 122.0         | 220.838                  |
| 29            | 217.4         | 217.840                  | 184.1         | 218.845                  | 160.52                       | 219.583                  | 141.26        | 220.203                  | 123.44        | 220.790                  |
| 30            | 216.5         | 217.867                  | 186.26        | 218.778                  | 159.08                       | 219.629                  | 142.16        | 220.174                  | 124.7         | 220.748                  |

Distancia=pies

|               |               |                     | Primera         | Prueba              | K (Btu/ft <sup>2</sup> ·hr·°F) |                     |               |                     |               |                     |
|---------------|---------------|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|
|               |               |                     |                 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     | Acero Inox. 316 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |                 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |                 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |                 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
|               |               |                     |                 |                     |                                |                     |               |                     |               |                     |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492 | Temp.<br>(°F)   | Distancia<br>0.3773 | Temp.<br>(°F)                  | Distancia<br>0.7054 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.0335 | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>1.3615 |
|               |               | K                   |                 | K                   |                                | K                   |               | K                   |               | K                   |
| 1             | 57.92         | 9.483               | 57.92           | 9.483               | 57.92                          | 9.483               | 57.92         | 9.483               | 57.92         | 9.483               |
| 2             | 58.1          | 9.483               | 57.92           | 9.483               | 57.92                          | 9.483               | 57.92         | 9.483               | 57.92         | 9.483               |
| 3             | 58.28         | 9.483               | 58.1            | 9.483               | 57.92                          | 9.483               | 58.1          | 9.483               | 58.1          | 9.483               |
| 4             | 58.82         | 9.483               | 58.28           | 9.483               | 58.1                           | 9.483               | 58.28         | 9.483               | 58.1          | 9.483               |
| 5             | 63.86         | 9.480               | 58.46           | 9.483               | 58.28                          | 9.483               | 58.28         | 9.483               | 58.1          | 9.483               |
| 6             | 76.82         | 9.473               | 58.82           | 9.483               | 58.64                          | 9.483               | 58.46         | 9.483               | 58.28         | 9.483               |
| 7             | 92.84         | 9.464               | 59.0            | 9.483               | 58.82                          | 9.483               | 58.64         | 9.483               | 58.28         | 9.483               |
| 8             | 102.02        | 9.459               | 59.36           | 9.482               | 59.0                           | 9.483               | 58.82         | 9.483               | 58.46         | 9.483               |
| 9             | 109.76        | 9.455               | 59.9            | 9.482               | 59.18                          | 9.482               | 58.82         | 9.483               | 58.64         | 9.483               |
| 10            | 116.6         | 9.451               | 60.44           | 9.482               | 59.36                          | 9.482               | 58.82         | 9.483               | 58.64         | 9.483               |
| 11            | 122.9         | 9.448               | 60.8            | 9.482               | 59.54                          | 9.482               | 59.54         | 9.482               | 59.36         | 9.482               |
| 12            | 128.66        | 9.445               | 61.88           | 9.481               | 59.72                          | 9.482               | 59.72         | 9.482               | 59.54         | 9.482               |
| 13            | 133.52        | 9.442               | 62.78           | 9.481               | 59.9                           | 9.482               | 59.72         | 9.482               | 59.54         | 9.482               |
| 14            | 136.58        | 9.441               | 63.86           | 9.480               | 60.08                          | 9.482               | 59.72         | 9.482               | 59.72         | 9.482               |
| 15            | 139.1         | 9.439               | 65.12           | 9.479               | 60.26                          | 9.482               | 59.72         | 9.482               | 59.72         | 9.482               |
| 16            | 141.62        | 9.438               | 66.2            | 9.479               | 60.44                          | 9.482               | 59.9          | 9.482               | 59.72         | 9.482               |
| 17            | 143.6         | 9.437               | 67.1            | 9.478               | 60.62                          | 9.482               | 60.08         | 9.482               | 59.9          | 9.482               |
| 18            | 145.58        | 9.436               | 68.36           | 9.478               | 60.8                           | 9.482               | 60.08         | 9.482               | 59.9          | 9.482               |
| 19            | 147.56        | 9.435               | 69.44           | 9.477               | 60.96                          | 9.482               | 60.08         | 9.482               | 59.9          | 9.482               |
| 20            | 149.18        | 9.434               | 70.52           | 9.476               | 61.16                          | 9.481               | 60.08         | 9.482               | 59.9          | 9.482               |
| 21            | 151.34        | 9.433               | 71.6            | 9.476               | 61.34                          | 9.481               | 60.26         | 9.482               | 60.08         | 9.482               |
| 22            | 152.6         | 9.432               | 72.68           | 9.475               | 61.52                          | 9.481               | 60.26         | 9.482               | 60.08         | 9.482               |
| 23            | 154.22        | 9.431               | 73.58           | 9.475               | 61.7                           | 9.481               | 60.26         | 9.482               | 60.08         | 9.482               |
| 24            | 155.48        | 9.431               | 75.02           | 9.474               | 61.88                          | 9.481               | 60.8          | 9.482               | 60.62         | 9.482               |
| 25            | 156.92        | 9.430               | 76.1            | 9.473               | 62.42                          | 9.481               | 60.8          | 9.482               | 60.8          | 9.482               |
| 26            | 158.18        | 9.429               | 77.0            | 9.473               | 62.6                           | 9.481               | 60.96         | 9.482               | 60.8          | 9.482               |
| 27            | 159.44        | 9.428               | 77.72           | 9.472               | 62.96                          | 9.480               | 60.96         | 9.482               | 60.96         | 9.482               |
| 28            | 160.52        | 9.428               | 78.8            | 9.472               | 63.32                          | 9.480               | 61.34         | 9.481               | 61.16         | 9.481               |
| 29            | 161.6         | 9.427               | 79.7            | 9.471               | 63.5                           | 9.480               | 61.52         | 9.481               | 61.34         | 9.481               |
| 30            | 162.32        | 9.427               | 80.6            | 9.471               | 63.68                          | 9.480               | 61.52         | 9.481               | 61.34         | 9.481               |

Distancia=pies

|        |        |           | Segunda  | Prueba    | K (Btu/ft <sup>2</sup> ·hr·°F) |           |       |           |       |           |
|--------|--------|-----------|----------|-----------|--------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           | Aluminio |           |                                |           |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |                                |           |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |                                |           |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |                                |           |       |           |       |           |
|        |        |           |          |           |                                |           |       |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.    | Distancia | Temp.                          | Distancia | Temp. | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)     | 0.7054    | (°F)                           | 1.3615    | (°F)  | 2.0177    | (°F)  | 2.6739    |
|        |        | K         |          | K         |                                | K         |       | K         |       | K         |
| 1      | 67.28  | 117.171   | 66.92    | 117.169   | 66.74                          | 117.168   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 2      | 73.4   | 117.212   | 67.1     | 117.170   | 66.74                          | 117.168   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 3      | 83.38  | 117.367   | 68.0     | 117.176   | 66.74                          | 117.168   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 4      | 112.28 | 117.546   | 69.98    | 117.189   | 66.74                          | 117.168   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 5      | 125.96 | 117.695   | 73.76    | 117.215   | 67.28                          | 117.171   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 6      | 135.32 | 117.806   | 78.8     | 117.251   | 67.64                          | 117.174   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 7      | 146.48 | 117.948   | 83.66    | 117.286   | 68.9                           | 117.182   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 8      | 150.98 | 118.008   | 88.52    | 117.326   | 70.34                          | 117.191   | 66.74 | 117.168   | 66.74 | 117.168   |
| 9      | 154.4  | 118.055   | 92.3     | 117.358   | 71.78                          | 117.201   | 67.1  | 117.170   | 66.74 | 117.168   |
| 10     | 158.18 | 118.109   | 96.08    | 117.391   | 73.4                           | 117.212   | 67.64 | 117.174   | 66.74 | 117.168   |
| 11     | 161.24 | 118.153   | 99.32    | 117.420   | 75.02                          | 117.223   | 68.18 | 117.177   | 66.74 | 117.168   |
| 12     | 163.76 | 118.189   | 103.1    | 117.455   | 76.64                          | 117.235   | 68.9  | 117.182   | 66.74 | 117.168   |
| 13     | 166.82 | 118.235   | 106.16   | 117.485   | 78.62                          | 117.249   | 69.62 | 117.187   | 67.1  | 117.170   |
| 14     | 169.7  | 118.278   | 109.04   | 117.513   | 80.24                          | 117.261   | 70.16 | 117.190   | 67.28 | 117.171   |
| 15     | 171.86 | 118.311   | 111.2    | 117.535   | 81.86                          | 117.274   | 70.88 | 117.195   | 67.64 | 117.174   |
| 16     | 174.2  | 118.348   | 113.9    | 117.563   | 84.02                          | 117.290   | 71.78 | 117.201   | 68.0  | 117.176   |
| 17     | 176.36 | 118.382   | 115.52   | 117.580   | 85.1                           | 117.299   | 72.5  | 117.206   | 68.36 | 117.178   |
| 18     | 177.8  | 118.405   | 117.68   | 117.603   | 86.0                           | 117.306   | 73.22 | 117.211   | 68.72 | 117.181   |
| 19     | 179.42 | 118.430   | 119.66   | 117.624   | 87.62                          | 117.319   | 73.94 | 117.216   | 69.08 | 117.183   |
| 20     | 181.04 | 118.457   | 121.1    | 117.640   | 88.7                           | 117.328   | 74.48 | 117.220   | 69.26 | 117.184   |
| 21     | 183.02 | 118.489   | 122.9    | 117.660   | 89.24                          | 117.332   | 75.2  | 117.225   | 69.62 | 117.187   |
| 22     | 184.28 | 118.510   | 124.52   | 117.678   | 90.68                          | 117.344   | 76.1  | 117.231   | 69.8  | 117.188   |
| 23     | 185.9  | 118.536   | 126.14   | 117.697   | 92.12                          | 117.357   | 76.82 | 117.236   | 69.98 | 117.189   |
| 24     | 186.98 | 118.554   | 127.94   | 117.718   | 93.02                          | 117.364   | 77.54 | 117.241   | 70.34 | 117.191   |
| 25     | 188.24 | 118.576   | 129.2    | 117.732   | 93.92                          | 117.372   | 78.08 | 117.245   | 70.7  | 117.194   |
| 26     | 189.5  | 118.597   | 130.46   | 117.747   | 94.82                          | 117.380   | 78.62 | 117.249   | 71.06 | 117.196   |
| 27     | 190.22 | 118.609   | 131.36   | 117.758   | 95.9                           | 117.389   | 79.16 | 117.253   | 71.42 | 117.199   |
| 28     | 191.3  | 118.628   | 132.44   | 117.771   | 96.8                           | 117.397   | 79.7  | 117.257   | 71.86 | 117.202   |
| 29     | 191.84 | 118.637   | 133.7    | 117.786   | 97.7                           | 117.406   | 80.24 | 117.261   | 72.14 | 117.203   |
| 30     | 192.02 | 118.640   | 134.6    | 117.797   | 98.06                          | 117.409   | 80.6  | 117.264   | 72.32 | 117.205   |

Distancia=pies

|               |               |                          | Segunda       | Prueba                   | K (Btu/ft <sup>2</sup> ·hr·°F) |                          |               |                          |               |                          |
|---------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
|               |               |                          | Cobre         |                          |                                |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                                |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                                |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                                |                          |               |                          |               |                          |
|               |               |                          |               |                          |                                |                          |               |                          |               |                          |
| Tiempo<br>min | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.0492<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>0.7054<br>K | Temp.<br>(°F)                  | Distancia<br>1.3615<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.0177<br>K | Temp.<br>(°F) | Distancia<br>2.6739<br>K |
| 1             | 66.92         | 222.734                  | 66.92         | 222.734                  | 66.92                          | 222.734                  | 66.92         | 222.734                  | 66.92         | 222.734                  |
| 2             | 85.1          | 222.095                  | 69.08         | 222.658                  | 67.28                          | 222.722                  | 66.92         | 222.734                  | 66.92         | 222.734                  |
| 3             | 122.36        | 220.826                  | 70.7          | 222.600                  | 70.52                          | 222.607                  | 67.1          | 222.728                  | 66.92         | 222.734                  |
| 4             | 145.58        | 220.063                  | 76.28         | 222.403                  | 72.5                           | 222.537                  | 67.1          | 222.728                  | 67.28         | 222.722                  |
| 5             | 163.76        | 219.480                  | 82.76         | 222.176                  | 74.84                          | 222.454                  | 67.46         | 222.715                  | 67.82         | 222.702                  |
| 6             | 176.54        | 219.079                  | 89.42         | 221.945                  | 77.54                          | 222.359                  | 68.9          | 222.664                  | 68.54         | 222.677                  |
| 7             | 183.56        | 218.862                  | 96.08         | 221.715                  | 80.96                          | 222.239                  | 69.44         | 222.645                  | 68.72         | 222.670                  |
| 8             | 189.5         | 218.679                  | 104.18        | 221.438                  | 84.2                           | 222.126                  | 70.52         | 222.607                  | 68.9          | 222.664                  |
| 9             | 194.36        | 218.531                  | 111.02        | 221.206                  | 87.26                          | 222.020                  | 71.6          | 222.568                  | 69.44         | 222.645                  |
| 10            | 198.68        | 218.399                  | 117.5         | 220.988                  | 89.78                          | 221.932                  | 72.68         | 222.530                  | 70.34         | 222.613                  |
| 11            | 203.36        | 218.258                  | 126.68        | 220.682                  | 93.56                          | 221.802                  | 74.3          | 222.473                  | 70.88         | 222.594                  |
| 12            | 206.78        | 218.156                  | 133.52        | 220.456                  | 96.98                          | 221.684                  | 84.92         | 222.101                  | 71.6          | 222.568                  |
| 13            | 209.12        | 218.086                  | 138.56        | 220.291                  | 99.68                          | 221.591                  | 77.54         | 222.359                  | 72.5          | 222.537                  |
| 14            | 212.36        | 217.969                  | 142.7         | 220.156                  | 102.2                          | 221.505                  | 79.16         | 222.302                  | 73.04         | 222.518                  |
| 15            | 215.06        | 217.909                  | 146.66        | 220.028                  | 105.26                         | 221.401                  | 81.14         | 222.233                  | 74.12         | 222.479                  |
| 16            | 217.58        | 217.835                  | 149.0         | 219.952                  | 108.32                         | 221.297                  | 82.58         | 222.183                  | 75.02         | 222.448                  |
| 17            | 219.74        | 217.771                  | 151.88        | 219.859                  | 111.02                         | 221.206                  | 84.74         | 222.107                  | 75.74         | 222.422                  |
| 18            | 222.08        | 217.702                  | 154.22        | 219.784                  | 114.44                         | 221.091                  | 86.0          | 222.064                  | 76.46         | 222.397                  |
| 19            | 224.24        | 217.639                  | 156.2         | 219.721                  | 117.86                         | 220.976                  | 87.62         | 222.007                  | 77.36         | 222.365                  |
| 20            | 226.22        | 217.581                  | 158.18        | 219.658                  | 120.74                         | 220.880                  | 89.24         | 221.951                  | 78.08         | 222.340                  |
| 21            | 227.66        | 217.539                  | 159.8         | 219.606                  | 123.6                          | 220.778                  | 90.86         | 221.895                  | 78.98         | 222.309                  |
| 22            | 229.28        | 217.492                  | 161.42        | 219.555                  | 125.78                         | 220.712                  | 92.3          | 221.845                  | 80.06         | 222.271                  |
| 23            | 230.9         | 217.445                  | 163.04        | 219.503                  | 128.12                         | 220.634                  | 93.92         | 221.789                  | 81.32         | 222.227                  |
| 24            | 231.98        | 217.414                  | 164.66        | 219.452                  | 129.56                         | 220.587                  | 95.54         | 221.734                  | 82.22         | 222.195                  |
| 25            | 232.7         | 217.393                  | 166.1         | 219.407                  | 131.9                          | 220.509                  | 97.16         | 221.678                  | 83.3          | 222.158                  |
| 26            | 232.52        | 217.399                  | 167.18        | 219.372                  | 133.52                         | 220.456                  | 98.6          | 221.628                  | 84.2          | 222.126                  |
| 27            | 232.34        | 217.404                  | 167.9         | 219.350                  | 134.86                         | 220.409                  | 100.58        | 221.561                  | 85.1          | 222.095                  |
| 28            | 231.08        | 217.440                  | 168.62        | 219.327                  | 136.22                         | 220.368                  | 102.02        | 221.512                  | 85.82         | 222.070                  |
| 29            | 229.82        | 217.477                  | 168.8         | 219.321                  | 137.3                          | 220.332                  | 104.0         | 221.444                  | 87.08         | 222.026                  |
| 30            | 227.66        | 217.539                  | 168.62        | 219.327                  | 138.38                         | 220.297                  | 105.62        | 221.389                  | 88.52         | 221.976                  |

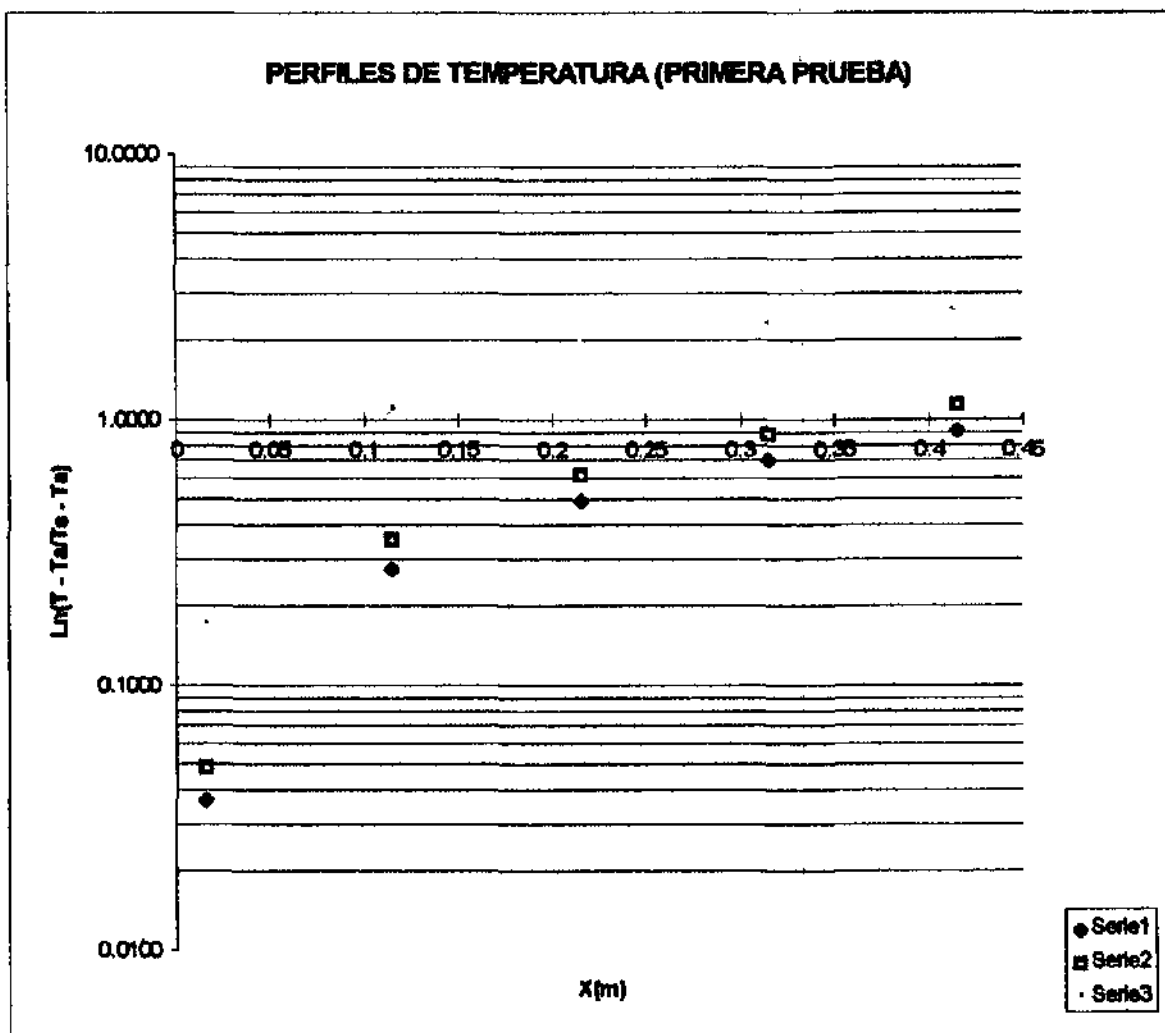
Distancia=pies

|        |        |           | Segunda         | Prueba    | K (Blu/ft*hr°F) |           |       |           |       |           |
|--------|--------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           | Acero Inox. 316 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
|        |        |           |                 |           |                 |           |       |           |       |           |
| Tiempo | Temp.  | Distancia | Temp.           | Distancia | Temp.           | Distancia | Temp. | Distancia | Temp. | Distancia |
| min    | (°F)   | 0.0492    | (°F)            | 0.7054    | (°F)            | 1.3615    | (°F)  | 2.0177    | (°F)  | 2.6739    |
|        |        | K         |                 | K         |                 | K         |       | K         |       | K         |
| 1      | 68.0   | 9.478     | 68.0            | 9.478     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 2      | 68.9   | 9.477     | 68.0            | 9.478     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 3      | 70.34  | 9.476     | 68.18           | 9.478     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 4      | 74.12  | 9.474     | 68.36           | 9.478     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 5      | 84.2   | 9.469     | 68.72           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 6      | 94.82  | 9.463     | 68.9            | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 7      | 102.74 | 9.459     | 69.08           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 8      | 108.32 | 9.456     | 69.28           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 9      | 113.0  | 9.453     | 69.44           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 10     | 117.68 | 9.451     | 69.62           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 11     | 121.46 | 9.449     | 69.8            | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 12     | 125.42 | 9.447     | 69.98           | 9.477     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 13     | 128.3  | 9.445     | 70.34           | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 14     | 131.18 | 9.444     | 70.52           | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 15     | 133.88 | 9.442     | 70.88           | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 16     | 136.4  | 9.441     | 71.06           | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 17     | 138.56 | 9.440     | 71.6            | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 18     | 140.72 | 9.438     | 71.96           | 9.476     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 19     | 142.7  | 9.437     | 72.32           | 9.475     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 20     | 144.14 | 9.437     | 72.5            | 9.475     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 21     | 146.12 | 9.436     | 72.86           | 9.475     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 22     | 147.2  | 9.435     | 73.22           | 9.475     | 67.28           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 23     | 149.36 | 9.434     | 73.76           | 9.475     | 67.46           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 24     | 150.98 | 9.433     | 74.12           | 9.474     | 67.64           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 25     | 152.6  | 9.432     | 74.3            | 9.474     | 67.82           | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 26     | 154.58 | 9.431     | 74.48           | 9.474     | 68.0            | 9.478     | 67.28 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 27     | 155.84 | 9.430     | 74.84           | 9.474     | 68.18           | 9.478     | 67.46 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 28     | 157.28 | 9.430     | 75.2            | 9.474     | 68.36           | 9.478     | 67.46 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 29     | 158.72 | 9.429     | 75.38           | 9.474     | 68.54           | 9.477     | 67.46 | 9.478     | 67.28 | 9.478     |
| 30     | 159.8  | 9.428     | 75.56           | 9.474     | 68.54           | 9.477     | 67.46 | 9.478     | 67.46 | 9.478     |

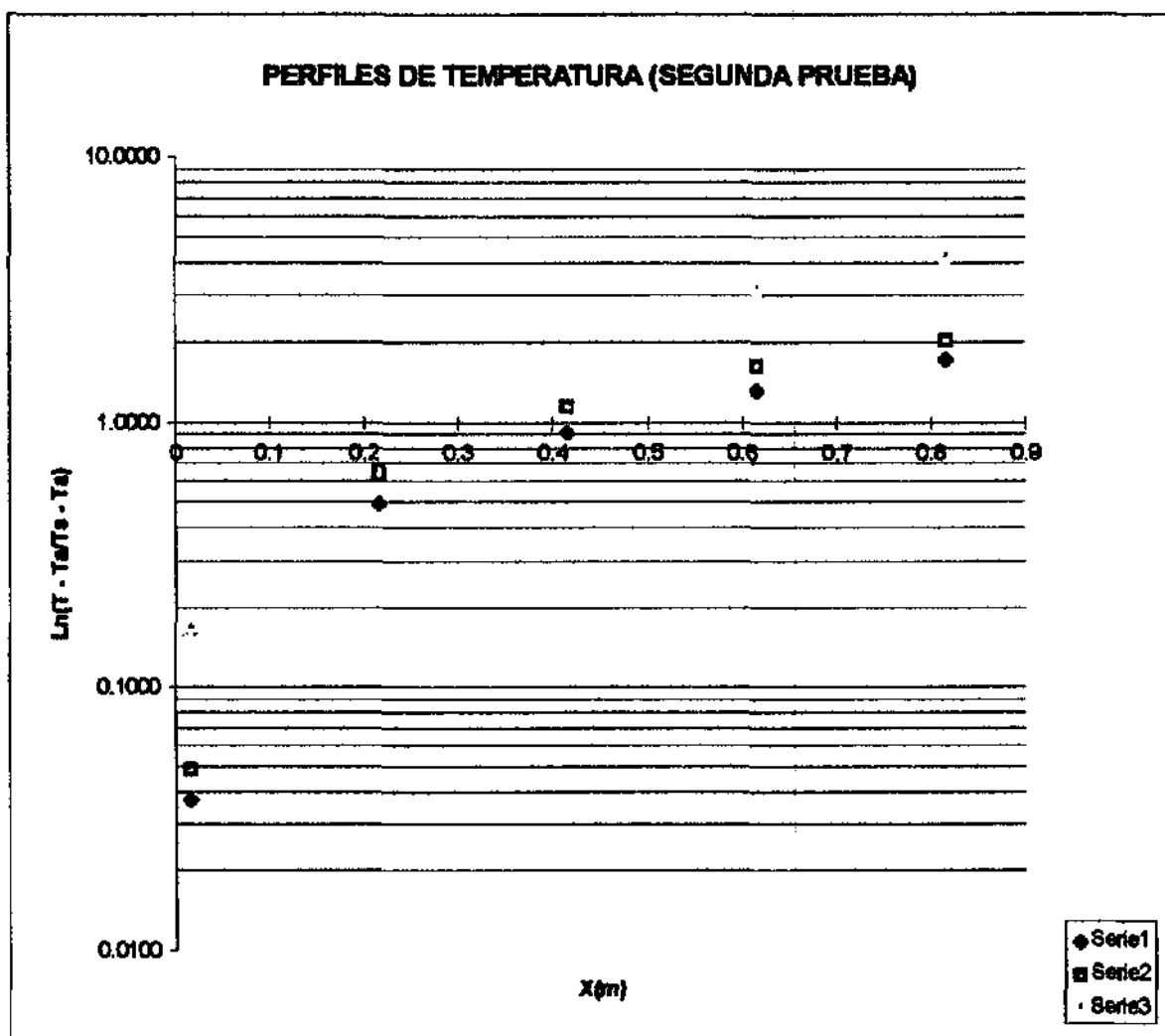
#### 4.6.- GRAFICAS DE LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN FUNCION DE LA POSICION

El uso de la ecuación (3.7), se obtuvieron los valores de los perfiles de temperatura. (los valores de referencia para k de cada material están en las tablas del Apéndice C).

| Primera | Prueba  |          |                 |
|---------|---------|----------|-----------------|
| Barra:  | Cobre   | Aluminio | Acero Inox. 316 |
| X(m)    | SERIE 1 | SERIE 2  | SERIE 3         |
| 0.015   | 0.0367  | 0.0486   | 0.1873          |
| 0.115   | 0.2739  | 0.3563   | 1.0918          |
| 0.215   | 0.4944  | 0.6231   | 1.9417          |
| 0.315   | 0.7076  | 0.8834   | 2.2708          |
| 0.415   | 0.9124  | 1.1387   | 2.7226          |



| Segunda | Prueba  |          |                 |
|---------|---------|----------|-----------------|
| Barras: | Cobre   | Aluminio | Acero Inox. 316 |
| X(m)    | SERIE 1 | SERIE 2  | SERIE 3         |
| 0.015   | 0.0370  | 0.0484   | 0.1669          |
| 0.215   | 0.4951  | 0.6451   | 1.8076          |
| 0.415   | 0.9134  | 1.1478   | 2.6780          |
| 0.615   | 1.3104  | 1.6138   | 3.1116          |
| 0.815   | 1.7066  | 2.0303   | 4.1235          |



#### 4.7.- TABLAS Y GRAFICAS DE LA FZA. IMPULSORA TERMICA EN FUNCION DE LA FZA. IMPULSORA

Los valores obtenidos de la fuerza impulsora térmica fueron obtenidos a partir de la ecuación (3.7). (los valores de referencia para k de cada material están en las tablas del Apéndice C).

Ts=Temperatura de la fuente de calor

Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

| ALUMINIO |       | PRIMERA  | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|----------|-------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |       |          |         | Posición |          |          |          |          |
|          |       |          |         | 0.015    | 0.115    | 0.215    | 0.315    | 0.415    |
|          |       |          |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts       | Ta    | Presión  | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)     | (°C)  | (Kg/cm²) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|          |       |          |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 50       | 15.30 | 1.30     | 34.70   | 33.053   | 24.300   | 18.610   | 14.344   | 11.112   |
| 78       | 15.50 | 2.10     | 62.50   | 59.533   | 43.769   | 33.519   | 25.836   | 20.015   |
| 92       | 15.70 | 3.30     | 76.30   | 72.678   | 53.433   | 40.920   | 31.540   | 24.434   |
| 106      | 16.10 | 3.90     | 89.90   | 85.633   | 62.957   | 48.214   | 37.162   | 28.789   |
| 106      | 16.10 | 3.90     | 89.90   | 85.633   | 62.957   | 48.214   | 37.162   | 28.789   |
| 106      | 16.20 | 4.00     | 89.80   | 85.538   | 62.887   | 48.160   | 37.121   | 28.757   |
| 106      | 16.30 | 4.00     | 89.70   | 85.442   | 62.817   | 48.107   | 37.079   | 28.725   |
| 106      | 16.40 | 4.00     | 89.60   | 85.347   | 62.747   | 48.053   | 37.038   | 28.693   |
| 106      | 16.20 | 4.00     | 89.80   | 85.538   | 62.887   | 48.160   | 37.121   | 28.757   |
| 106      | 15.90 | 4.00     | 90.10   | 85.823   | 63.097   | 48.321   | 37.245   | 28.853   |
| 106      | 16.00 | 4.00     | 90.00   | 85.728   | 63.027   | 48.268   | 37.203   | 28.821   |
| 106      | 15.70 | 4.00     | 90.30   | 86.014   | 63.237   | 48.428   | 37.328   | 28.917   |
| 106      | 16.10 | 4.00     | 89.90   | 85.633   | 62.957   | 48.214   | 37.162   | 28.789   |
| 106      | 16.30 | 4.00     | 89.70   | 85.442   | 62.817   | 48.107   | 37.079   | 28.725   |
| 106      | 16.20 | 4.00     | 89.80   | 85.538   | 62.887   | 48.160   | 37.121   | 28.757   |
| 106      | 16.40 | 4.00     | 89.60   | 85.347   | 62.747   | 48.053   | 37.038   | 28.693   |
| 106      | 16.40 | 4.00     | 89.60   | 85.347   | 62.747   | 48.053   | 37.038   | 28.693   |
| 106      | 16.50 | 4.00     | 89.50   | 85.252   | 62.677   | 47.999   | 36.997   | 28.661   |
| 106      | 16.50 | 4.00     | 89.50   | 85.252   | 62.677   | 47.999   | 36.997   | 28.661   |
| 106      | 16.70 | 4.00     | 89.30   | 85.061   | 62.537   | 47.892   | 36.914   | 28.597   |
| 106      | 16.60 | 4.00     | 89.40   | 85.157   | 62.607   | 47.946   | 36.955   | 28.629   |
| 106      | 16.40 | 4.00     | 89.60   | 85.347   | 62.747   | 48.053   | 37.038   | 28.693   |
| 106      | 16.50 | 4.00     | 89.50   | 85.252   | 62.677   | 47.999   | 36.997   | 28.661   |
| 106      | 16.60 | 4.00     | 89.40   | 85.157   | 62.607   | 47.946   | 36.955   | 28.629   |
| 106      | 16.80 | 4.00     | 89.20   | 84.966   | 62.467   | 47.839   | 36.873   | 28.565   |
| 106      | 16.80 | 4.00     | 89.20   | 84.966   | 62.467   | 47.839   | 36.873   | 28.565   |
| 106      | 16.60 | 4.00     | 89.40   | 85.157   | 62.607   | 47.946   | 36.955   | 28.629   |
| 106      | 16.60 | 4.00     | 89.40   | 85.157   | 62.607   | 47.946   | 36.955   | 28.629   |
| 106      | 16.70 | 4.10     | 89.30   | 85.061   | 62.537   | 47.892   | 36.914   | 28.597   |
| 106      | 16.80 | 4.10     | 89.20   | 84.966   | 62.467   | 47.839   | 36.873   | 28.565   |
| 106      | 16.80 | 4.10     | 89.20   | 84.966   | 62.467   | 47.839   | 36.873   | 28.565   |
| 106      | 16.80 | 4.10     | 89.20   | 84.966   | 62.467   | 47.839   | 36.873   | 28.565   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 17.10 | 4.10     | 88.90   | 84.680   | 62.256   | 47.678   | 36.749   | 28.469   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |
| 106      | 16.90 | 4.10     | 89.10   | 84.871   | 62.397   | 47.785   | 36.831   | 28.533   |



Ts=Temperatura de la fuente de calor

Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

| COBRE |       | PRIMERA                | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|-------|-------|------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |       |                        |         | Posición |          |          |          |          |
|       |       |                        |         | 0.015    | 0.115    | 0.215    | 0.315    | 0.415    |
|       |       |                        |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts    | Ta    | Presión                | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)  | (°C)  | (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|       |       |                        |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 50    | 15.30 | 1.30                   | 34.70   | 33.448   | 26.388   | 21.164   | 17.101   | 13.934   |
| 78    | 15.50 | 2.10                   | 62.50   | 60.245   | 47.526   | 38.120   | 30.801   | 25.098   |
| 92    | 15.70 | 3.30                   | 76.30   | 73.547   | 58.019   | 46.537   | 37.602   | 30.640   |
| 106   | 16.10 | 3.90                   | 89.90   | 86.657   | 68.361   | 54.832   | 44.305   | 36.101   |
| 106   | 16.10 | 3.90                   | 89.90   | 86.657   | 68.361   | 54.832   | 44.305   | 36.101   |
| 106   | 16.20 | 4.00                   | 89.80   | 86.560   | 68.285   | 54.771   | 44.255   | 36.061   |
| 106   | 16.30 | 4.00                   | 89.70   | 86.464   | 68.209   | 54.710   | 44.206   | 36.021   |
| 106   | 16.40 | 4.00                   | 89.60   | 86.368   | 68.133   | 54.649   | 44.157   | 35.981   |
| 106   | 16.20 | 4.00                   | 89.80   | 86.560   | 68.285   | 54.771   | 44.255   | 36.061   |
| 106   | 15.90 | 4.00                   | 90.10   | 86.850   | 68.513   | 54.954   | 44.403   | 36.181   |
| 106   | 16.00 | 4.00                   | 90.00   | 86.753   | 68.437   | 54.893   | 44.354   | 36.141   |
| 106   | 15.70 | 4.00                   | 90.30   | 87.042   | 68.665   | 55.076   | 44.502   | 36.262   |
| 106   | 16.10 | 4.00                   | 89.90   | 86.657   | 68.361   | 54.832   | 44.305   | 36.101   |
| 106   | 16.30 | 4.00                   | 89.70   | 86.464   | 68.209   | 54.710   | 44.206   | 36.021   |
| 106   | 16.20 | 4.00                   | 89.80   | 86.560   | 68.285   | 54.771   | 44.255   | 36.061   |
| 106   | 16.40 | 4.00                   | 89.60   | 86.368   | 68.133   | 54.649   | 44.157   | 35.981   |
| 106   | 16.40 | 4.00                   | 89.60   | 86.368   | 68.133   | 54.649   | 44.157   | 35.981   |
| 106   | 16.50 | 4.00                   | 89.50   | 86.271   | 68.057   | 54.588   | 44.108   | 35.941   |
| 106   | 16.50 | 4.00                   | 89.50   | 86.271   | 68.057   | 54.588   | 44.108   | 35.941   |
| 106   | 16.70 | 4.00                   | 89.30   | 86.078   | 67.904   | 54.466   | 44.009   | 35.860   |
| 106   | 16.60 | 4.00                   | 89.40   | 86.175   | 67.980   | 54.527   | 44.058   | 35.900   |
| 106   | 16.40 | 4.00                   | 89.60   | 86.368   | 68.133   | 54.649   | 44.157   | 35.981   |
| 106   | 16.50 | 4.00                   | 89.50   | 86.271   | 68.057   | 54.588   | 44.108   | 35.941   |
| 106   | 16.60 | 4.00                   | 89.40   | 86.175   | 67.980   | 54.527   | 44.058   | 35.900   |
| 106   | 16.80 | 4.00                   | 89.20   | 85.982   | 67.828   | 54.405   | 43.960   | 35.820   |
| 106   | 16.80 | 4.00                   | 89.20   | 85.982   | 67.828   | 54.405   | 43.960   | 35.820   |
| 106   | 16.60 | 4.00                   | 89.40   | 86.175   | 67.980   | 54.527   | 44.058   | 35.900   |
| 106   | 16.60 | 4.00                   | 89.40   | 86.175   | 67.980   | 54.527   | 44.058   | 35.900   |
| 106   | 16.70 | 4.10                   | 89.30   | 86.078   | 67.904   | 54.466   | 44.009   | 35.860   |
| 106   | 16.80 | 4.10                   | 89.20   | 85.982   | 67.828   | 54.405   | 43.960   | 35.820   |
| 106   | 16.80 | 4.10                   | 89.20   | 85.982   | 67.828   | 54.405   | 43.960   | 35.820   |
| 106   | 16.80 | 4.10                   | 89.20   | 85.982   | 67.828   | 54.405   | 43.960   | 35.820   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 17.10 | 4.10                   | 88.90   | 85.693   | 67.600   | 54.222   | 43.812   | 35.700   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 16.90 | 4.10                   | 89.10   | 85.886   | 67.752   | 54.344   | 43.910   | 35.780   |
| 106   | 17.10 | 4.10                   | 88.90   | 85.693   | 67.600   | 54.222   | 43.812   | 35.700   |
| 106   | 17.10 | 4.10                   | 88.90   | 85.693   | 67.600   | 54.222   | 43.812   | 35.700   |
| 106   | 17.00 | 4.10                   | 89.00   | 85.789   | 67.676   | 54.283   | 43.861   | 35.740   |
| 105   | 16.90 | 4.10                   | 88.10   | 84.922   | 66.992   | 53.734   | 43.418   | 35.378   |
| 105   | 16.90 | 4.10                   | 88.10   | 84.922   | 66.992   | 53.734   | 43.418   | 35.378   |
| 105   | 16.90 | 4.10                   | 88.10   | 84.922   | 66.992   | 53.734   | 43.418   | 35.378   |

|     |       |      |       |        |        |        |        |        |
|-----|-------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 85.018 | 67.068 | 53.795 | 43.467 | 35.418 |
| 105 | 16.90 | 4.10 | 88.10 | 84.922 | 66.992 | 53.734 | 43.418 | 35.378 |
| 105 | 16.90 | 4.10 | 88.10 | 84.922 | 66.992 | 53.734 | 43.418 | 35.378 |
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 85.018 | 67.068 | 53.795 | 43.467 | 35.418 |
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 85.018 | 67.068 | 53.795 | 43.467 | 35.418 |
| 105 | 16.80 | 4.20 | 88.20 | 85.018 | 67.068 | 53.795 | 43.467 | 35.418 |
| 107 | 16.90 | 4.20 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.90 | 4.25 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 86.946 | 68.589 | 55.015 | 44.453 | 36.222 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 86.850 | 68.513 | 54.954 | 44.403 | 36.181 |
| 108 | 16.90 | 4.30 | 91.10 | 87.813 | 69.273 | 55.564 | 44.898 | 36.583 |
| 108 | 16.90 | 4.30 | 91.10 | 87.813 | 69.273 | 55.564 | 44.898 | 36.583 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 87.910 | 69.349 | 55.625 | 44.945 | 36.623 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 87.910 | 69.349 | 55.625 | 44.945 | 36.623 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 87.910 | 69.349 | 55.625 | 44.945 | 36.623 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 87.910 | 69.349 | 55.625 | 44.945 | 36.623 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 88.874 | 70.110 | 56.234 | 45.438 | 37.025 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 88.874 | 70.110 | 56.234 | 45.438 | 37.025 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 88.874 | 70.110 | 56.234 | 45.438 | 37.025 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 88.874 | 70.110 | 56.234 | 45.438 | 37.025 |
| 110 | 16.90 | 4.30 | 93.10 | 89.741 | 70.794 | 56.783 | 45.882 | 37.386 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.90 | 4.30 | 93.10 | 89.741 | 70.794 | 56.783 | 45.882 | 37.386 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 89.838 | 70.870 | 56.844 | 45.931 | 37.426 |

Ts=Temperatura de la fuente de calor

Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

| ACERO     |       | PRIMERA   | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|-----------|-------|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| INOX. 316 |       |           |         | Posición |          |          |          |          |
|           |       |           |         | 0.015    | 0.115    | 0.215    | 0.315    | 0.415    |
|           |       |           |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts        | Ta    | Presión   | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)      | (°C)  | (Kgf/cm²) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|           |       |           |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 50        | 15.30 | 1.30      | 34.70   | 29.353   | 11.645   | 4.978    | 3.582    | 2.280    |
| 78        | 15.50 | 2.10      | 62.50   | 52.870   | 20.975   | 8.966    | 6.452    | 4.106    |
| 92        | 15.70 | 3.30      | 76.30   | 64.543   | 25.606   | 10.946   | 7.876    | 5.013    |
| 106       | 16.10 | 3.90      | 89.90   | 76.048   | 30.170   | 12.897   | 9.280    | 5.907    |
| 106       | 16.10 | 3.90      | 89.90   | 76.048   | 30.170   | 12.897   | 9.280    | 5.907    |
| 106       | 16.20 | 4.00      | 89.80   | 75.963   | 30.137   | 12.883   | 9.270    | 5.900    |
| 106       | 16.30 | 4.00      | 89.70   | 75.879   | 30.103   | 12.869   | 9.259    | 5.894    |
| 106       | 16.40 | 4.00      | 89.60   | 75.794   | 30.070   | 12.854   | 9.249    | 5.887    |
| 106       | 16.20 | 4.00      | 89.80   | 75.963   | 30.137   | 12.883   | 9.270    | 5.900    |
| 106       | 15.90 | 4.00      | 90.10   | 76.217   | 30.238   | 12.926   | 9.301    | 5.920    |
| 106       | 16.00 | 4.00      | 90.00   | 76.132   | 30.204   | 12.912   | 9.290    | 5.913    |
| 106       | 15.70 | 4.00      | 90.30   | 76.386   | 30.305   | 12.955   | 9.321    | 5.933    |
| 106       | 16.10 | 4.00      | 89.90   | 76.048   | 30.170   | 12.897   | 9.280    | 5.907    |
| 106       | 16.30 | 4.00      | 89.70   | 75.879   | 30.103   | 12.869   | 9.259    | 5.894    |
| 106       | 16.20 | 4.00      | 89.80   | 75.963   | 30.137   | 12.883   | 9.270    | 5.900    |
| 106       | 16.40 | 4.00      | 89.60   | 75.794   | 30.070   | 12.854   | 9.249    | 5.887    |
| 106       | 16.40 | 4.00      | 89.60   | 75.794   | 30.070   | 12.854   | 9.249    | 5.887    |
| 106       | 16.50 | 4.00      | 89.50   | 75.709   | 30.036   | 12.840   | 9.239    | 5.880    |
| 106       | 16.50 | 4.00      | 89.50   | 75.709   | 30.036   | 12.840   | 9.239    | 5.880    |
| 106       | 16.70 | 4.00      | 89.30   | 75.540   | 29.969   | 12.811   | 9.218    | 5.867    |
| 106       | 16.60 | 4.00      | 89.40   | 75.625   | 30.003   | 12.826   | 9.228    | 5.874    |
| 106       | 16.40 | 4.00      | 89.60   | 75.794   | 30.070   | 12.854   | 9.249    | 5.887    |
| 106       | 16.50 | 4.00      | 89.50   | 75.709   | 30.036   | 12.840   | 9.239    | 5.880    |
| 106       | 16.60 | 4.00      | 89.40   | 75.625   | 30.003   | 12.826   | 9.228    | 5.874    |
| 106       | 16.80 | 4.00      | 89.20   | 75.456   | 29.935   | 12.797   | 9.208    | 5.861    |
| 106       | 16.80 | 4.00      | 89.20   | 75.456   | 29.935   | 12.797   | 9.208    | 5.861    |
| 106       | 16.60 | 4.00      | 89.40   | 75.625   | 30.003   | 12.826   | 9.228    | 5.874    |
| 106       | 16.60 | 4.00      | 89.40   | 75.625   | 30.003   | 12.826   | 9.228    | 5.874    |
| 106       | 16.70 | 4.10      | 89.30   | 75.540   | 29.969   | 12.811   | 9.218    | 5.867    |
| 106       | 16.80 | 4.10      | 89.20   | 75.456   | 29.935   | 12.797   | 9.208    | 5.861    |
| 106       | 16.80 | 4.10      | 89.20   | 75.456   | 29.935   | 12.797   | 9.208    | 5.861    |
| 106       | 16.80 | 4.10      | 89.20   | 75.456   | 29.935   | 12.797   | 9.208    | 5.861    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 17.10 | 4.10      | 88.90   | 75.202   | 29.835   | 12.754   | 9.177    | 5.841    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 16.90 | 4.10      | 89.10   | 75.371   | 29.902   | 12.783   | 9.197    | 5.854    |
| 106       | 17.10 | 4.10      | 88.90   | 75.202   | 29.835   | 12.754   | 9.177    | 5.841    |
| 106       | 17.10 | 4.10      | 88.90   | 75.202   | 29.835   | 12.754   | 9.177    | 5.841    |
| 106       | 17.00 | 4.10      | 89.00   | 75.286   | 29.868   | 12.768   | 9.187    | 5.848    |
| 105       | 16.90 | 4.10      | 88.10   | 74.525   | 29.566   | 12.639   | 9.094    | 5.788    |
| 105       | 16.90 | 4.10      | 88.10   | 74.525   | 29.566   | 12.639   | 9.094    | 5.788    |
| 105       | 16.90 | 4.10      | 88.10   | 74.525   | 29.566   | 12.639   | 9.094    | 5.788    |

|     |       |      |       |        |        |        |       |       |
|-----|-------|------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 74.610 | 29.600 | 12.653 | 9.104 | 5.795 |
| 105 | 16.90 | 4.10 | 88.10 | 74.525 | 29.566 | 12.639 | 9.094 | 5.788 |
| 105 | 16.90 | 4.10 | 88.10 | 74.525 | 29.566 | 12.639 | 9.094 | 5.788 |
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 74.610 | 29.600 | 12.653 | 9.104 | 5.795 |
| 105 | 16.80 | 4.10 | 88.20 | 74.610 | 29.600 | 12.653 | 9.104 | 5.795 |
| 105 | 16.80 | 4.20 | 88.20 | 74.610 | 29.600 | 12.653 | 9.104 | 5.795 |
| 107 | 16.90 | 4.20 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.90 | 4.25 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.80 | 4.30 | 90.20 | 76.301 | 30.271 | 12.940 | 9.311 | 5.926 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 107 | 16.90 | 4.30 | 90.10 | 76.217 | 30.238 | 12.926 | 9.301 | 5.920 |
| 108 | 16.90 | 4.30 | 91.10 | 77.063 | 30.573 | 13.070 | 9.404 | 5.986 |
| 108 | 16.90 | 4.30 | 91.10 | 77.063 | 30.573 | 13.070 | 9.404 | 5.986 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 77.147 | 30.607 | 13.084 | 9.414 | 5.992 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 77.147 | 30.607 | 13.084 | 9.414 | 5.992 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 77.147 | 30.607 | 13.084 | 9.414 | 5.992 |
| 108 | 16.80 | 4.30 | 91.20 | 77.147 | 30.607 | 13.084 | 9.414 | 5.992 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 77.993 | 30.942 | 13.227 | 9.517 | 6.058 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 77.993 | 30.942 | 13.227 | 9.517 | 6.058 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 77.993 | 30.942 | 13.227 | 9.517 | 6.058 |
| 109 | 16.80 | 4.30 | 92.20 | 77.993 | 30.942 | 13.227 | 9.517 | 6.058 |
| 110 | 16.90 | 4.30 | 93.10 | 78.755 | 31.244 | 13.356 | 9.610 | 6.117 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.90 | 4.30 | 93.10 | 78.755 | 31.244 | 13.356 | 9.610 | 6.117 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |
| 110 | 16.80 | 4.30 | 93.20 | 78.839 | 31.278 | 13.371 | 9.621 | 6.124 |

Ts=Temperatura de la fuente de calor

Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

| ALUMINIO |       | SEGUNDA   | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|----------|-------|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |       |           |         | Posición |          |          |          |          |
|          |       |           |         | 0.015    | 0.215    | 0.415    | 0.615    | 0.815    |
|          |       |           |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts       | Ta    | Presión   | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)     | (°C)  | (Kgf/cm²) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|          |       |           |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 80       | 18.00 | 1.50      | 62.00   | 59.072   | 32.526   | 19.675   | 12.346   | 8.140    |
| 110      | 18.20 | 2.00      | 91.80   | 87.465   | 48.160   | 29.132   | 18.280   | 12.053   |
| 120      | 18.50 | 2.20      | 101.50  | 96.707   | 53.249   | 32.210   | 20.212   | 13.326   |
| 124      | 18.80 | 2.40      | 105.20  | 100.233  | 55.190   | 33.384   | 20.948   | 13.812   |
| 126      | 19.00 | 2.40      | 107.00  | 101.948  | 56.134   | 33.955   | 21.307   | 14.048   |
| 128      | 19.20 | 2.50      | 108.80  | 103.663  | 57.079   | 34.526   | 21.665   | 14.285   |
| 128      | 19.20 | 2.50      | 108.80  | 103.663  | 57.079   | 34.526   | 21.665   | 14.285   |
| 130      | 19.20 | 2.50      | 110.80  | 105.568  | 58.128   | 35.161   | 22.064   | 14.547   |
| 130      | 19.30 | 2.50      | 110.70  | 105.473  | 58.075   | 35.129   | 22.044   | 14.534   |
| 130      | 19.30 | 2.40      | 110.70  | 105.473  | 58.075   | 35.129   | 22.044   | 14.534   |
| 130      | 19.50 | 2.40      | 110.50  | 105.282  | 57.970   | 35.066   | 22.004   | 14.508   |
| 130      | 19.40 | 2.50      | 110.60  | 105.378  | 58.023   | 35.098   | 22.024   | 14.521   |
| 130      | 19.40 | 2.60      | 110.60  | 105.378  | 58.023   | 35.098   | 22.024   | 14.521   |
| 130      | 19.60 | 2.60      | 110.40  | 105.187  | 57.918   | 35.034   | 21.984   | 14.495   |
| 130      | 19.60 | 2.60      | 110.40  | 105.187  | 57.918   | 35.034   | 21.984   | 14.495   |
| 130      | 19.60 | 2.60      | 110.40  | 105.187  | 57.918   | 35.034   | 21.984   | 14.495   |
| 130      | 19.70 | 2.60      | 110.30  | 105.092  | 57.865   | 35.002   | 21.964   | 14.482   |
| 130      | 19.80 | 2.80      | 110.20  | 104.996  | 57.813   | 34.971   | 21.944   | 14.468   |
| 130      | 19.70 | 3.00      | 110.30  | 105.092  | 57.865   | 35.002   | 21.964   | 14.482   |
| 130      | 19.90 | 3.10      | 110.10  | 104.901  | 57.761   | 34.939   | 21.924   | 14.455   |
| 134      | 19.80 | 3.20      | 114.20  | 108.808  | 59.911   | 36.240   | 22.741   | 14.994   |
| 136      | 20.10 | 3.20      | 115.90  | 110.427  | 60.803   | 36.779   | 23.079   | 15.217   |
| 136      | 20.00 | 3.20      | 116.00  | 110.523  | 60.856   | 36.811   | 23.099   | 15.230   |
| 136      | 20.10 | 3.20      | 115.90  | 110.427  | 60.803   | 36.779   | 23.079   | 15.217   |
| 136      | 20.30 | 3.20      | 115.70  | 110.237  | 60.698   | 36.716   | 23.039   | 15.191   |
| 136      | 20.20 | 3.20      | 115.80  | 110.332  | 60.751   | 36.748   | 23.059   | 15.204   |
| 136      | 20.20 | 3.10      | 115.80  | 110.332  | 60.751   | 36.748   | 23.059   | 15.204   |
| 136      | 20.20 | 3.10      | 115.80  | 110.332  | 60.751   | 36.748   | 23.059   | 15.204   |
| 136      | 20.30 | 3.20      | 115.70  | 110.237  | 60.698   | 36.716   | 23.039   | 15.191   |
| 135      | 20.30 | 3.20      | 114.70  | 109.284  | 60.174   | 36.399   | 22.840   | 15.059   |
| 135      | 20.40 | 3.20      | 114.60  | 109.189  | 60.121   | 36.367   | 22.820   | 15.046   |
| 135      | 20.10 | 3.20      | 114.90  | 109.475  | 60.279   | 36.462   | 22.880   | 15.086   |
| 135      | 20.10 | 3.20      | 114.90  | 109.475  | 60.279   | 36.462   | 22.880   | 15.086   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |
| 135      | 20.10 | 3.20      | 114.90  | 109.475  | 60.279   | 36.462   | 22.880   | 15.086   |
| 135      | 19.90 | 3.20      | 115.10  | 109.665  | 60.384   | 36.526   | 22.920   | 15.112   |
| 135      | 19.90 | 3.20      | 115.10  | 109.665  | 60.384   | 36.526   | 22.920   | 15.112   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |
| 135      | 19.80 | 3.20      | 115.20  | 109.760  | 60.436   | 36.557   | 22.940   | 15.125   |
| 135      | 19.80 | 3.20      | 115.20  | 109.760  | 60.436   | 36.557   | 22.940   | 15.125   |
| 135      | 19.80 | 3.20      | 115.20  | 109.760  | 60.436   | 36.557   | 22.940   | 15.125   |
| 135      | 19.90 | 3.20      | 115.10  | 109.665  | 60.384   | 36.526   | 22.920   | 15.112   |
| 135      | 20.00 | 3.20      | 115.00  | 109.570  | 60.331   | 36.494   | 22.900   | 15.099   |



Ts=Temperatura de la fuente de calor

Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

| COBRE |       | SEGUNDA  | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|-------|-------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       |       |          |         | Posición |          |          |          |          |
|       |       |          |         | 0.015    | 0.215    | 0.415    | 0.615    | 0.815    |
|       |       |          |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts    | Ta    | Presión  | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)  | (°C)  | (Kg/cm²) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|       |       |          |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 80    | 18.00 | 1.50     | 62.00   | 59.745   | 37.789   | 24.872   | 16.722   | 11.252   |
| 110   | 18.20 | 2.00     | 91.80   | 88.461   | 55.952   | 36.827   | 24.759   | 16.861   |
| 120   | 18.50 | 2.20     | 101.50  | 97.809   | 61.864   | 40.718   | 27.375   | 18.421   |
| 124   | 18.80 | 2.40     | 105.20  | 101.374  | 64.119   | 42.202   | 28.373   | 19.093   |
| 126   | 19.00 | 2.40     | 107.00  | 103.109  | 65.216   | 42.924   | 28.858   | 19.419   |
| 128   | 19.20 | 2.50     | 108.80  | 104.843  | 66.313   | 43.647   | 29.344   | 19.746   |
| 128   | 19.20 | 2.50     | 108.80  | 104.843  | 66.313   | 43.647   | 29.344   | 19.746   |
| 130   | 19.20 | 2.50     | 110.80  | 106.771  | 67.532   | 44.449   | 29.883   | 20.109   |
| 130   | 19.30 | 2.50     | 110.70  | 106.674  | 67.471   | 44.409   | 29.856   | 20.091   |
| 130   | 19.30 | 2.40     | 110.70  | 106.674  | 67.471   | 44.409   | 29.856   | 20.091   |
| 130   | 19.50 | 2.40     | 110.50  | 106.481  | 67.349   | 44.328   | 29.802   | 20.054   |
| 130   | 19.40 | 2.50     | 110.60  | 106.578  | 67.410   | 44.369   | 29.829   | 20.073   |
| 130   | 19.40 | 2.60     | 110.60  | 106.578  | 67.410   | 44.369   | 29.829   | 20.073   |
| 130   | 19.60 | 2.60     | 110.40  | 106.385  | 67.288   | 44.288   | 29.775   | 20.036   |
| 130   | 19.60 | 2.60     | 110.40  | 106.385  | 67.288   | 44.288   | 29.775   | 20.036   |
| 130   | 19.60 | 2.60     | 110.40  | 106.385  | 67.288   | 44.288   | 29.775   | 20.036   |
| 130   | 19.70 | 2.60     | 110.30  | 106.289  | 67.227   | 44.248   | 29.748   | 20.018   |
| 130   | 19.80 | 2.90     | 110.20  | 106.192  | 67.166   | 44.208   | 29.721   | 20.000   |
| 130   | 19.70 | 3.00     | 110.30  | 106.289  | 67.227   | 44.248   | 29.748   | 20.018   |
| 130   | 19.90 | 3.10     | 110.10  | 106.096  | 67.105   | 44.168   | 29.694   | 19.982   |
| 134   | 19.80 | 3.20     | 114.20  | 110.047  | 69.604   | 45.813   | 30.800   | 20.726   |
| 136   | 20.10 | 3.20     | 115.90  | 111.685  | 70.641   | 46.495   | 31.259   | 21.035   |
| 136   | 20.00 | 3.20     | 116.00  | 111.781  | 70.701   | 46.535   | 31.286   | 21.053   |
| 136   | 20.10 | 3.20     | 115.90  | 111.685  | 70.641   | 46.495   | 31.259   | 21.035   |
| 136   | 20.30 | 3.20     | 115.70  | 111.492  | 70.519   | 46.415   | 31.205   | 20.998   |
| 136   | 20.20 | 3.20     | 115.80  | 111.589  | 70.580   | 46.455   | 31.232   | 21.016   |
| 136   | 20.20 | 3.10     | 115.80  | 111.589  | 70.580   | 46.455   | 31.232   | 21.016   |
| 136   | 20.20 | 3.10     | 115.80  | 111.589  | 70.580   | 46.455   | 31.232   | 21.016   |
| 136   | 20.30 | 3.20     | 115.70  | 111.492  | 70.519   | 46.415   | 31.205   | 20.998   |
| 135   | 20.30 | 3.20     | 114.70  | 110.529  | 69.909   | 46.013   | 30.935   | 20.817   |
| 135   | 20.40 | 3.20     | 114.60  | 110.432  | 69.848   | 45.973   | 30.908   | 20.799   |
| 135   | 20.10 | 3.20     | 114.90  | 110.721  | 70.031   | 46.094   | 30.989   | 20.853   |
| 135   | 20.10 | 3.20     | 114.90  | 110.721  | 70.031   | 46.094   | 30.989   | 20.853   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |
| 135   | 20.10 | 3.20     | 114.90  | 110.721  | 70.031   | 46.094   | 30.989   | 20.853   |
| 135   | 19.90 | 3.20     | 115.10  | 110.914  | 70.153   | 46.174   | 31.043   | 20.889   |
| 135   | 19.90 | 3.20     | 115.10  | 110.914  | 70.153   | 46.174   | 31.043   | 20.889   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |
| 135   | 19.80 | 3.20     | 115.20  | 111.010  | 70.214   | 46.214   | 31.070   | 20.907   |
| 135   | 19.80 | 3.20     | 115.20  | 111.010  | 70.214   | 46.214   | 31.070   | 20.907   |
| 135   | 19.80 | 3.20     | 115.20  | 111.010  | 70.214   | 46.214   | 31.070   | 20.907   |
| 135   | 19.90 | 3.20     | 115.10  | 110.914  | 70.153   | 46.174   | 31.043   | 20.889   |
| 135   | 20.00 | 3.20     | 115.00  | 110.818  | 70.092   | 46.134   | 31.016   | 20.871   |



Ts=Temperatura de la fuente de calor

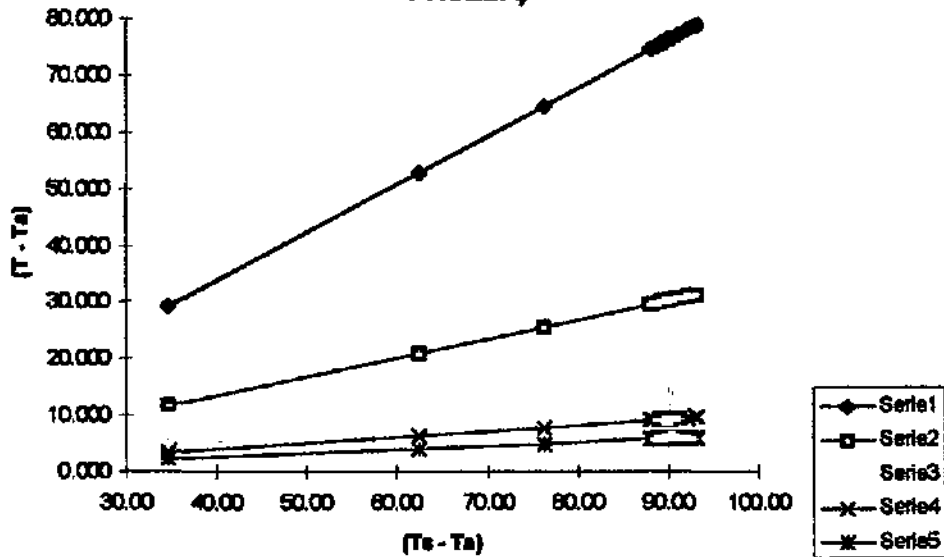
Ta=Temperatura del aire

Presión=Presión de la fuente de calor

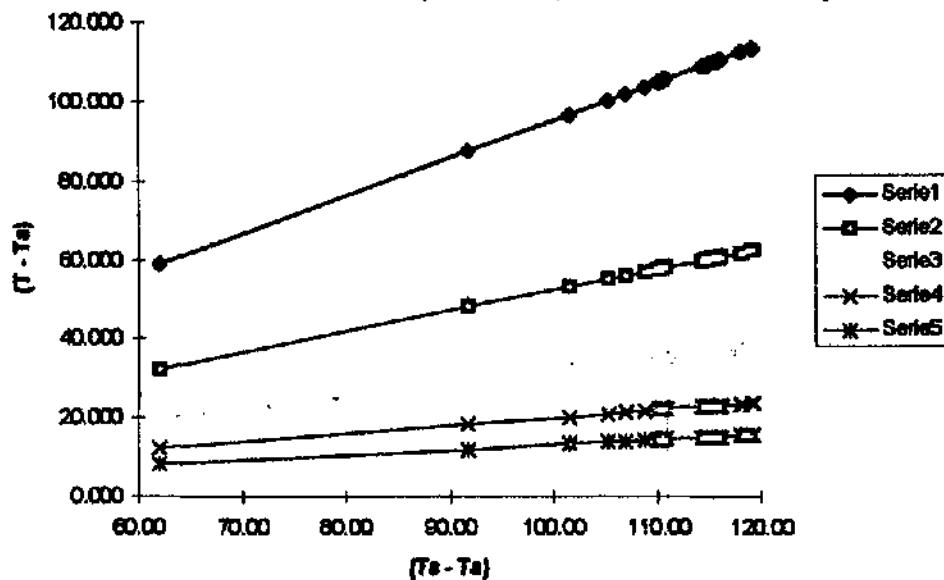
| ACERO     |       | SEGUNDA                | PRUEBA  |          |          |          |          |          |
|-----------|-------|------------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| INOX. 316 |       |                        |         | Posición |          |          |          |          |
|           |       |                        |         | 0.015    | 0.215    | 0.415    | 0.615    | 0.815    |
|           |       |                        |         | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) | (metros) |
| Ts        | Ta    | Presión                | (Ts-Ta) | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   | (T-Ta)   |
| (°C)      | (°C)  | (Kgf/cm <sup>2</sup> ) | (°C)    | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     | (°C)     |
|           |       |                        |         | SERIE1   | SERIE2   | SERIE3   | SERIE4   | SERIE5   |
| 80        | 18.00 | 1.50                   | 62.00   | 52.472   | 10.171   | 4.260    | 2.761    | 1.004    |
| 110       | 18.20 | 2.00                   | 91.80   | 77.693   | 15.060   | 6.307    | 4.088    | 1.486    |
| 120       | 18.50 | 2.20                   | 101.50  | 85.902   | 16.651   | 6.973    | 4.520    | 1.643    |
| 124       | 18.80 | 2.40                   | 105.20  | 89.033   | 17.258   | 7.228    | 4.685    | 1.703    |
| 126       | 19.00 | 2.40                   | 107.00  | 90.557   | 17.553   | 7.351    | 4.765    | 1.732    |
| 128       | 19.20 | 2.50                   | 108.80  | 92.080   | 17.849   | 7.475    | 4.845    | 1.761    |
| 128       | 19.20 | 2.50                   | 108.80  | 92.080   | 17.849   | 7.475    | 4.845    | 1.761    |
| 130       | 19.20 | 2.50                   | 110.80  | 93.773   | 18.177   | 7.612    | 4.934    | 1.794    |
| 130       | 19.30 | 2.50                   | 110.70  | 93.688   | 18.160   | 7.605    | 4.930    | 1.792    |
| 130       | 19.30 | 2.40                   | 110.70  | 93.688   | 18.160   | 7.605    | 4.930    | 1.792    |
| 130       | 19.50 | 2.40                   | 110.50  | 93.519   | 18.128   | 7.592    | 4.921    | 1.789    |
| 130       | 19.40 | 2.50                   | 110.60  | 93.604   | 18.144   | 7.599    | 4.925    | 1.790    |
| 130       | 19.40 | 2.60                   | 110.60  | 93.604   | 18.144   | 7.599    | 4.925    | 1.790    |
| 130       | 19.60 | 2.60                   | 110.40  | 93.434   | 18.111   | 7.585    | 4.916    | 1.787    |
| 130       | 19.60 | 2.60                   | 110.40  | 93.434   | 18.111   | 7.585    | 4.916    | 1.787    |
| 130       | 19.60 | 2.60                   | 110.40  | 93.434   | 18.111   | 7.585    | 4.916    | 1.787    |
| 130       | 19.70 | 2.60                   | 110.30  | 93.350   | 18.095   | 7.578    | 4.912    | 1.786    |
| 130       | 19.80 | 2.90                   | 110.20  | 93.265   | 18.078   | 7.571    | 4.907    | 1.784    |
| 130       | 19.70 | 3.00                   | 110.30  | 93.350   | 18.095   | 7.578    | 4.912    | 1.786    |
| 130       | 19.90 | 3.10                   | 110.10  | 93.180   | 18.062   | 7.564    | 4.903    | 1.782    |
| 134       | 19.80 | 3.20                   | 114.20  | 96.650   | 18.735   | 7.846    | 5.085    | 1.849    |
| 136       | 20.10 | 3.20                   | 115.90  | 98.089   | 19.013   | 7.963    | 5.161    | 1.876    |
| 136       | 20.00 | 3.20                   | 116.00  | 98.174   | 19.030   | 7.970    | 5.166    | 1.878    |
| 136       | 20.10 | 3.20                   | 115.90  | 98.089   | 19.013   | 7.963    | 5.161    | 1.876    |
| 136       | 20.30 | 3.20                   | 115.70  | 97.920   | 18.981   | 7.949    | 5.152    | 1.873    |
| 136       | 20.20 | 3.20                   | 115.80  | 98.005   | 18.997   | 7.956    | 5.157    | 1.875    |
| 136       | 20.20 | 3.10                   | 115.80  | 98.005   | 18.997   | 7.956    | 5.157    | 1.875    |
| 136       | 20.20 | 3.10                   | 115.80  | 98.005   | 18.997   | 7.956    | 5.157    | 1.875    |
| 136       | 20.30 | 3.20                   | 115.70  | 97.920   | 18.981   | 7.949    | 5.152    | 1.873    |
| 135       | 20.30 | 3.20                   | 114.70  | 97.074   | 18.617   | 7.880    | 5.108    | 1.857    |
| 135       | 20.40 | 3.20                   | 114.60  | 96.989   | 18.800   | 7.873    | 5.103    | 1.855    |
| 135       | 20.10 | 3.20                   | 114.90  | 97.243   | 18.849   | 7.894    | 5.117    | 1.860    |
| 135       | 20.10 | 3.20                   | 114.90  | 97.243   | 18.849   | 7.894    | 5.117    | 1.860    |
| 135       | 20.00 | 3.20                   | 115.00  | 97.327   | 18.866   | 7.901    | 5.121    | 1.862    |
| 135       | 20.00 | 3.20                   | 115.00  | 97.327   | 18.866   | 7.901    | 5.121    | 1.862    |
| 135       | 20.00 | 3.20                   | 115.00  | 97.327   | 18.866   | 7.901    | 5.121    | 1.862    |
| 135       | 20.10 | 3.20                   | 114.90  | 97.243   | 18.849   | 7.894    | 5.117    | 1.860    |
| 135       | 19.90 | 3.20                   | 115.10  | 97.412   | 18.882   | 7.908    | 5.126    | 1.863    |
| 135       | 19.90 | 3.20                   | 115.10  | 97.412   | 18.882   | 7.908    | 5.126    | 1.863    |
| 135       | 20.00 | 3.20                   | 115.00  | 97.327   | 18.866   | 7.901    | 5.121    | 1.862    |
| 135       | 20.00 | 3.20                   | 115.00  | 97.327   | 18.866   | 7.901    | 5.121    | 1.862    |
| 135       | 18.80 | 3.20                   | 115.20  | 97.497   | 18.899   | 7.915    | 5.130    | 1.865    |
| 135       | 19.80 | 3.20                   | 115.20  | 97.497   | 18.899   | 7.915    | 5.130    | 1.865    |
| 135       | 19.80 | 3.20                   | 115.20  | 97.497   | 18.899   | 7.915    | 5.130    | 1.865    |
| 135       | 19.90 | 3.20                   | 115.10  | 97.412   | 18.882   | 7.908    | 5.126    | 1.863    |

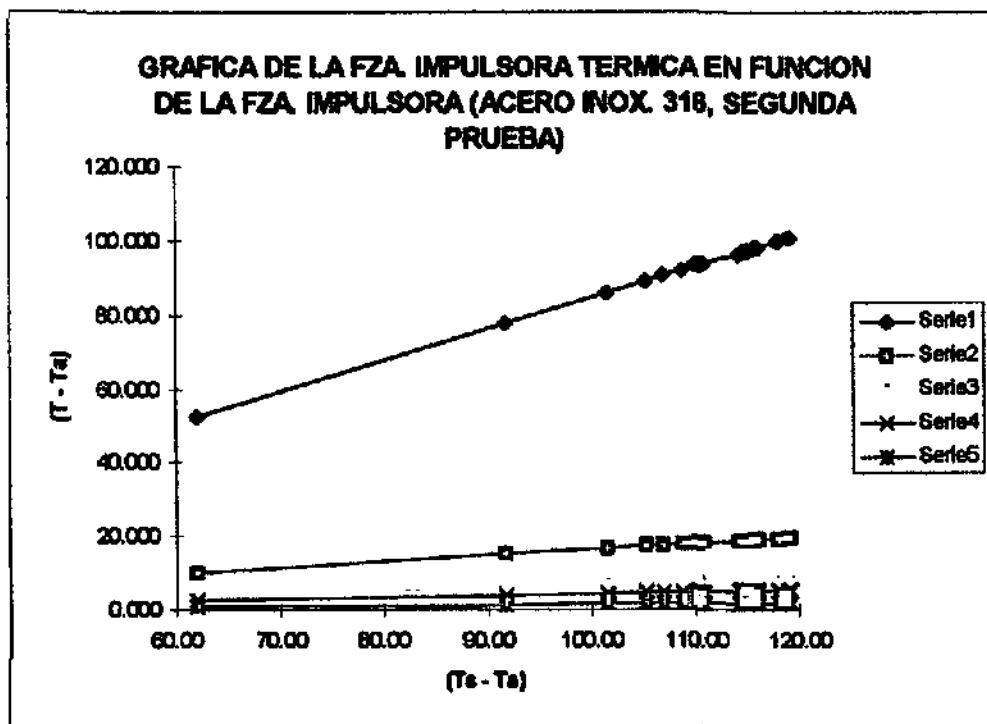
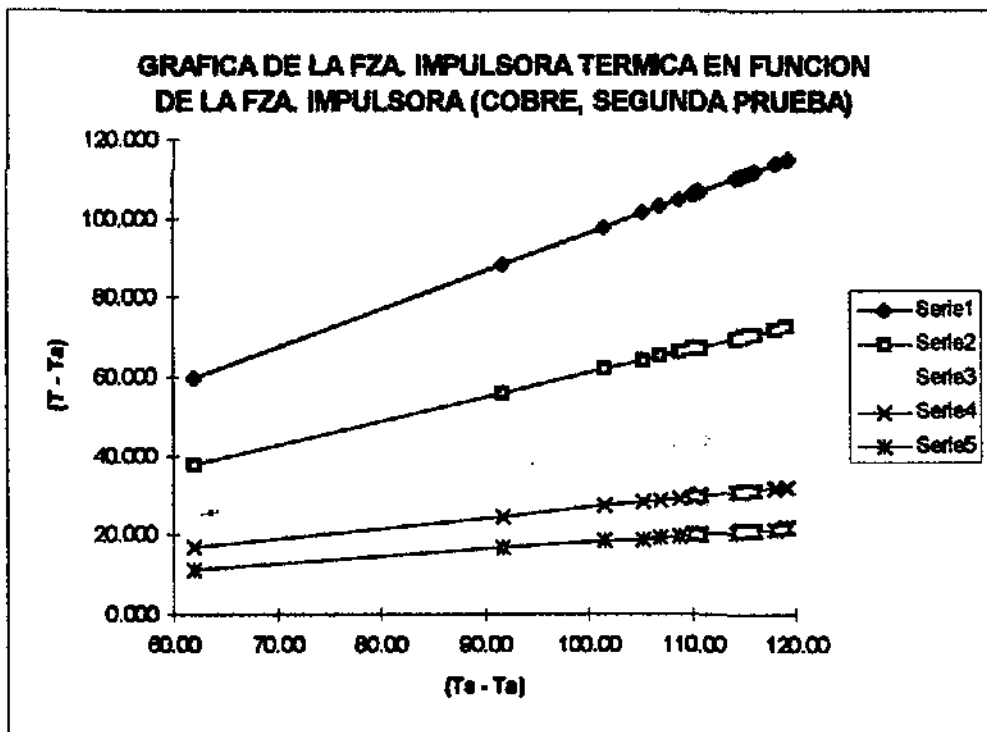


**GRAFICA DE LA FZA. IMPULSORA TERMICA EN FUNCION DE LA FZA. IMPULSORA (ACERO, INOX. 316, PRIMERA PRUEBA)**



**GRAFICA DE LA FZA. IMPULSORA TERMICA EN FUNCION DE LA FZA. IMPULSORA (ALUMINIO, SEGUNDA PRUEBA)**

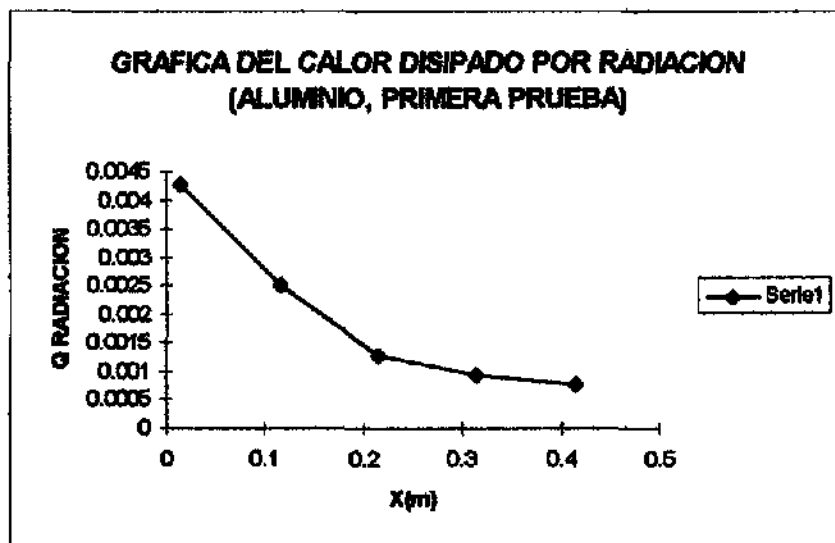




#### 4.8.- TABLAS Y GRAFICAS DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION POR CADA UNA DE LAS BARRAS EN REGIMEN ESTACIONARIO

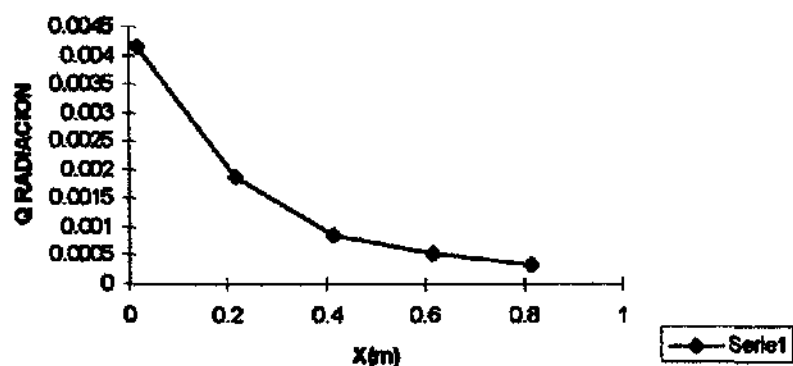
La ecuación (1.33) para el calor disipado por radiación se obtuvieron los valores que se presentarán a continuación (los valores de referencia de la emisividad para cada material y sus ecuaciones, están presentados en el Apéndice C).

| Primera  | Prueba     | Radiación |            |
|----------|------------|-----------|------------|
| Aluminio |            |           |            |
|          |            |           |            |
| T(°R)    | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 647.19   | 0.032      | 0.015     | 0.004262   |
| 607.23   | 0.031      | 0.115     | 0.002519   |
| 571.23   | 0.030      | 0.215     | 0.001272   |
| 559.71   | 0.029      | 0.315     | 0.000933   |
| 553.59   | 0.029      | 0.415     | 0.000764   |



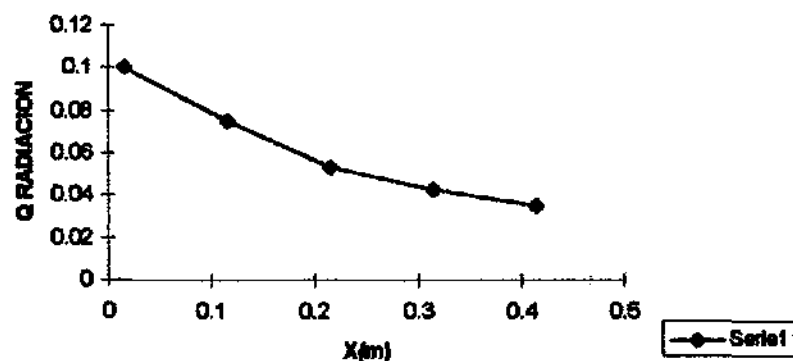
| Segunda  | Prueba     | Radiación |            |
|----------|------------|-----------|------------|
| Aluminio |            |           |            |
|          |            |           |            |
| T(°R)    | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 647.55   | 0.032      | 0.015     | 0.004164   |
| 583.19   | 0.030      | 0.215     | 0.001867   |
| 561.39   | 0.029      | 0.415     | 0.000853   |
| 549.63   | 0.029      | 0.615     | 0.000534   |
| 542.07   | 0.029      | 0.815     | 0.000342   |

**GRAFICA DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION  
(ALUMINIO, SEGUNDA PRUEBA)**



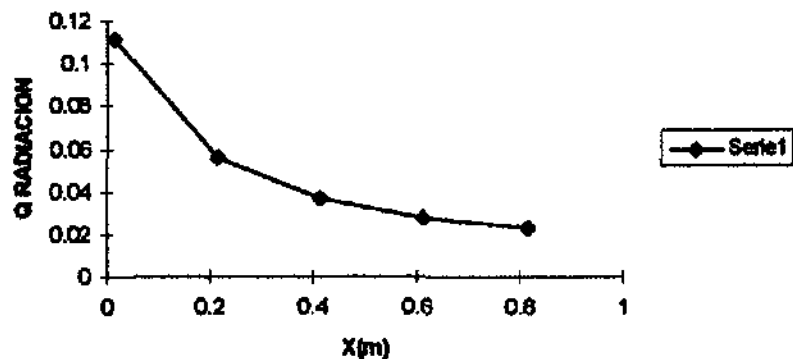
| Primera | Prueba     | Radiación |            |
|---------|------------|-----------|------------|
| Cobre   |            |           |            |
|         |            |           |            |
| T(°R)   | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 673.83  | 0.570      | 0.015     | 0.100092   |
| 645.21  | 0.570      | 0.115     | 0.075171   |
| 616.59  | 0.570      | 0.215     | 0.053354   |
| 601.11  | 0.570      | 0.315     | 0.042752   |
| 589.05  | 0.570      | 0.415     | 0.035041   |

**GRAFICA DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION  
(COBRE, PRIMERA PRUEBA)**



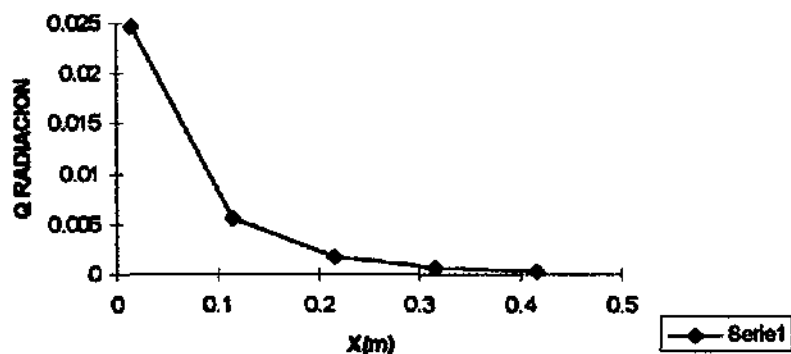
| Segunda | Prueba     | Radiación |            |
|---------|------------|-----------|------------|
| Cobre   |            |           |            |
| T(°R)   | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 688.41  | 0.570      | 0.015     | 0.111625   |
| 622.89  | 0.570      | 0.215     | 0.055458   |
| 594.99  | 0.570      | 0.415     | 0.036335   |
| 580.05  | 0.570      | 0.615     | 0.027141   |
| 573.39  | 0.570      | 0.815     | 0.023265   |

**GRAFICA DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION  
(COBRE, SEGUNDA PRUEBA)**



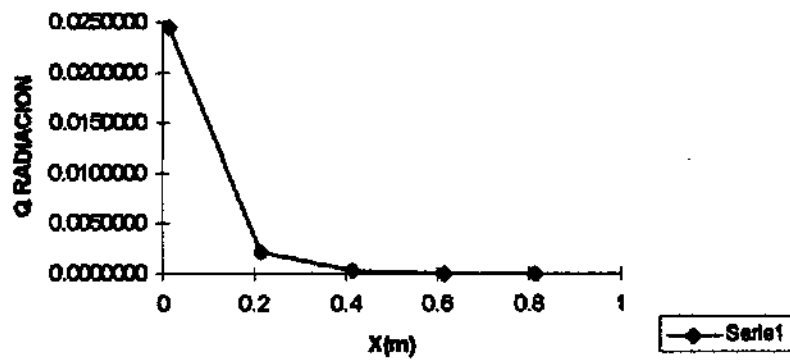
| Primera         | Prueba     | Radiación |            |
|-----------------|------------|-----------|------------|
| Acero Inox. 316 |            |           |            |
| T(°R)           | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 620.37          | 0.250      | 0.015     | 0.024607   |
| 549.45          | 0.248      | 0.115     | 0.006586   |
| 531.27          | 0.247      | 0.215     | 0.001798   |
| 524.97          | 0.247      | 0.315     | 0.000577   |
| 523.35          | 0.247      | 0.415     | 0.00027    |

**GRAFICA DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION  
(ACERO INOXIDABLE 316, PRIMERA PRUEBA)**



| Segunda         | Prueba     | Radiación |            |
|-----------------|------------|-----------|------------|
| Acero Inox. 316 |            |           |            |
| T(°R)           | Emisividad | X(m)      | Q(Kcal/hr) |
| 623.61          | 0.250      | 0.016     | 0.0245820  |
| 537.93          | 0.247      | 0.215     | 0.0020780  |
| 528.75          | 0.247      | 0.415     | 0.0002440  |
| 527.67          | 0.247      | 0.615     | 0.0000348  |
| 527.67          | 0.247      | 0.815     | 0.0000348  |

**GRAFICA DEL CALOR DISIPADO POR RADIACION  
(ACERO INOXIDABLE 316, SEGUNDA PRUEBA)**

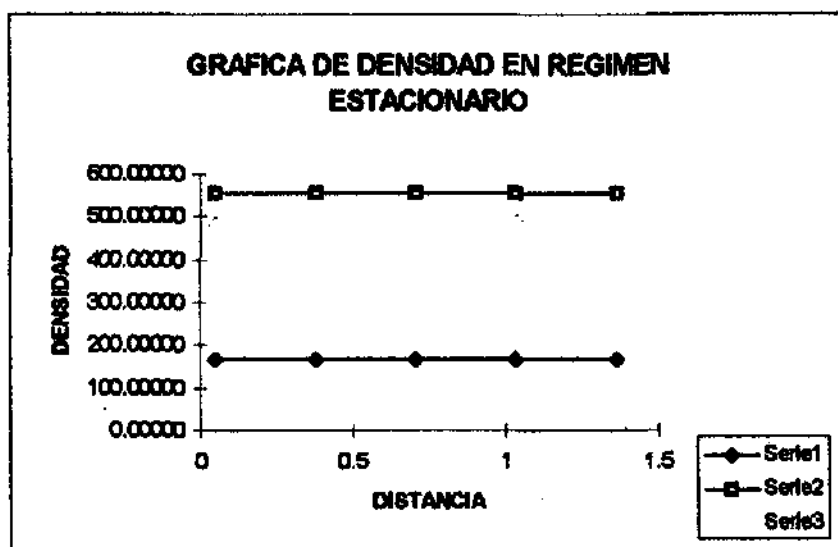


#### 4.9.- GRAFICAS DE DENSIDAD, CAPACIDAD CALORIFICA Y CONDUCTIVIDAD TERMICA EN REGIMEN ESTACIONARIO

Los valores de densidad, capacidad calorifica y conductividad térmica de referencia están en las tablas del Apéndice C, presentando dos tipos de gráficas: la primera que es en función de la distancia y la segunda que es en función de la temperatura.

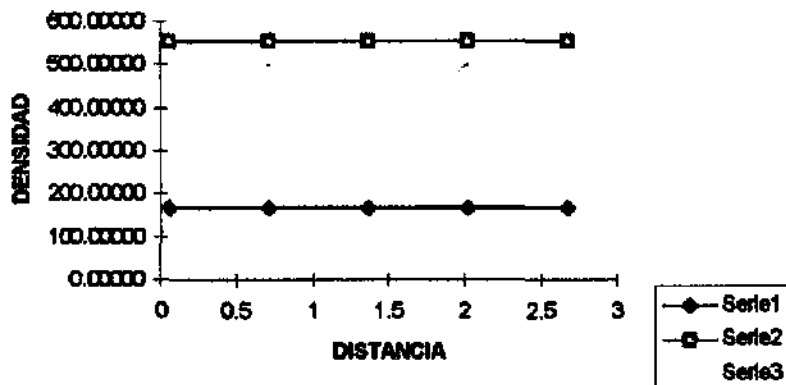
Con respecto a X (Distancia = pies)

| Primera   | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |
|-----------|-----------|----------|-----------------------|
| Barras:   | Aluminio  | Cobre    | Acero Inox. 316       |
|           |           |          |                       |
| Distancia | Densidad  | Densidad | Densidad              |
| 0.0492    | 168.22650 | 555.2292 | 488.1699              |
| 0.3773    | 168.35140 | 555.1843 | 488.0399              |
| 0.7054    | 168.46390 | 555.1394 | 488.0066              |
| 1.0335    | 168.49990 | 555.1152 | 487.9951              |
| 1.3615    | 168.51900 | 555.0963 | 487.9921              |



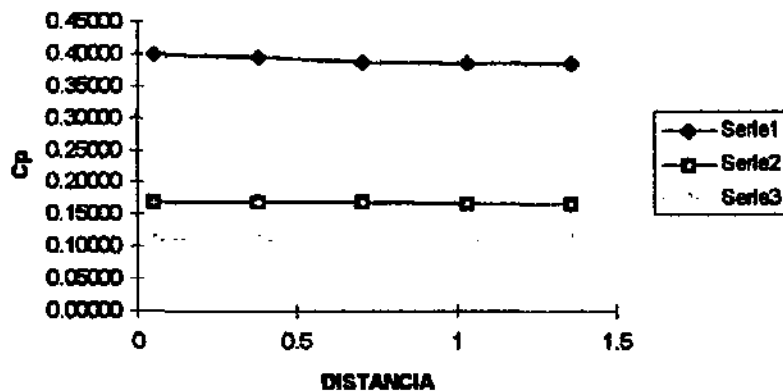
| Segunda   | Prueba    | Densidad | (lb/ft <sup>3</sup> ) |
|-----------|-----------|----------|-----------------------|
| Barra:    | Aluminio  | Cobre    | Acero Inox. 316       |
| Distancia | Densidad  | Densidad | Densidad              |
| 0.0492    | 168.22500 | 555.252  | 488.176               |
| 0.7054    | 168.39500 | 555.149  | 488.019               |
| 1.3615    | 168.49500 | 555.106  | 488.002               |
| 2.0177    | 168.53100 | 555.082  | 488.000               |
| 2.6739    | 168.55500 | 555.072  | 488.000               |

**GRAFICA DE DENSIDAD EN REGIMEN ESTACIONARIO**



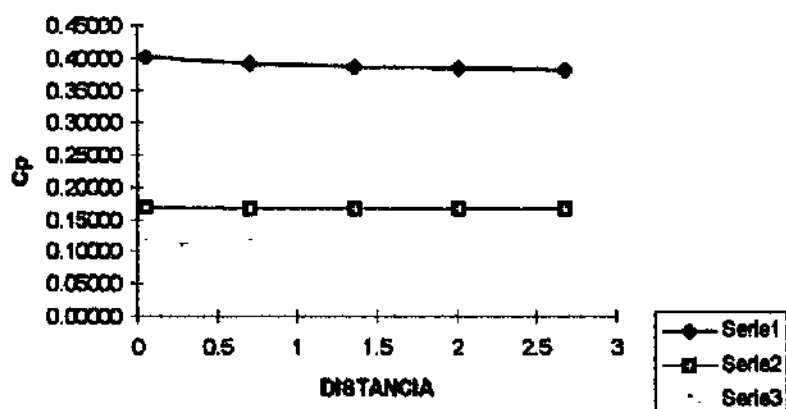
| Primera   | Prueba   | Cp      | (Btu/lb°F)      |
|-----------|----------|---------|-----------------|
| Barra:    | Aluminio | Cobre   | Acero Inox. 316 |
| Distancia | Cp       | Cp      | Cp              |
| 0.0492    | 0.40078  | 0.16906 | 0.11042         |
| 0.3773    | 0.39390  | 0.16827 | 0.11010         |
| 0.7054    | 0.38770  | 0.16747 | 0.11002         |
| 1.0335    | 0.38572  | 0.16704 | 0.10999         |
| 1.3615    | 0.38466  | 0.16671 | 0.10998         |

**GRAFICA DE Cp EN REGIMEN ESTACIONARIO**



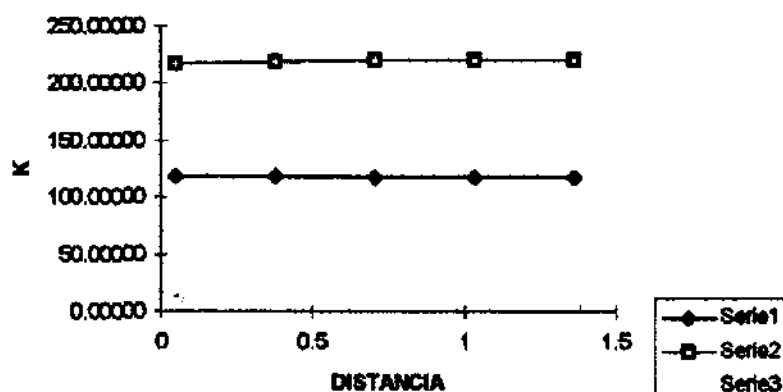
| Segunda   | Prueba   | Cp       | (Btu/lb°F)     |
|-----------|----------|----------|----------------|
| Barra:    | Aluminio | Cobre    | Aero Inox. 316 |
| Distancia | Cp       | Cp       | Cp             |
| 0.0492    | 0.40085  | 0.169465 | 0.110440       |
| 0.7054    | 0.39148  | 0.167645 | 0.110047       |
| 1.3615    | 0.38600  | 0.166870 | 0.110005       |
| 2.0177    | 0.38398  | 0.166455 | 0.110000       |
| 2.6739    | 0.38268  | 0.166270 | 0.110000       |

**GRAFICA DE Cp EN REGIMEN ESTACIONARIO**

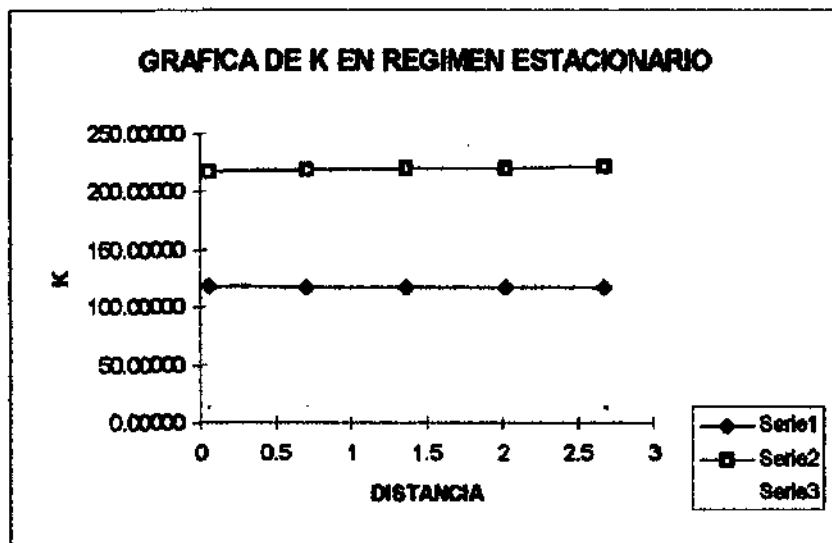


| Primera   | Prueba    | K        | (Btu/R*hr*°F)  |
|-----------|-----------|----------|----------------|
| Barra:    | Aluminio  | Cobre    | Aero Inox. 316 |
| Distancia | K         | K        | K              |
| 0.0492    | 118.56350 | 217.9359 | 9.4277         |
| 0.3773    | 117.96220 | 218.8005 | 9.4660         |
| 0.7054    | 117.53870 | 219.6980 | 9.4758         |
| 1.0335    | 117.42680 | 220.1971 | 9.4792         |
| 1.3615    | 117.37210 | 220.5926 | 9.4801         |

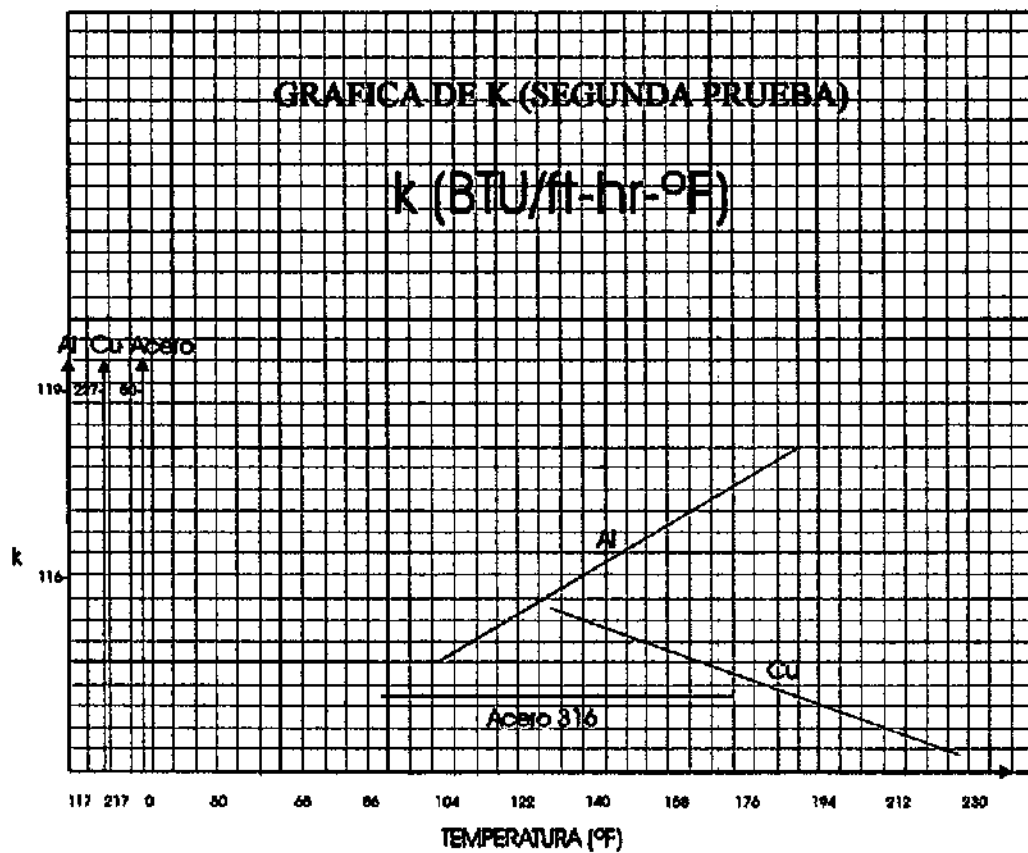
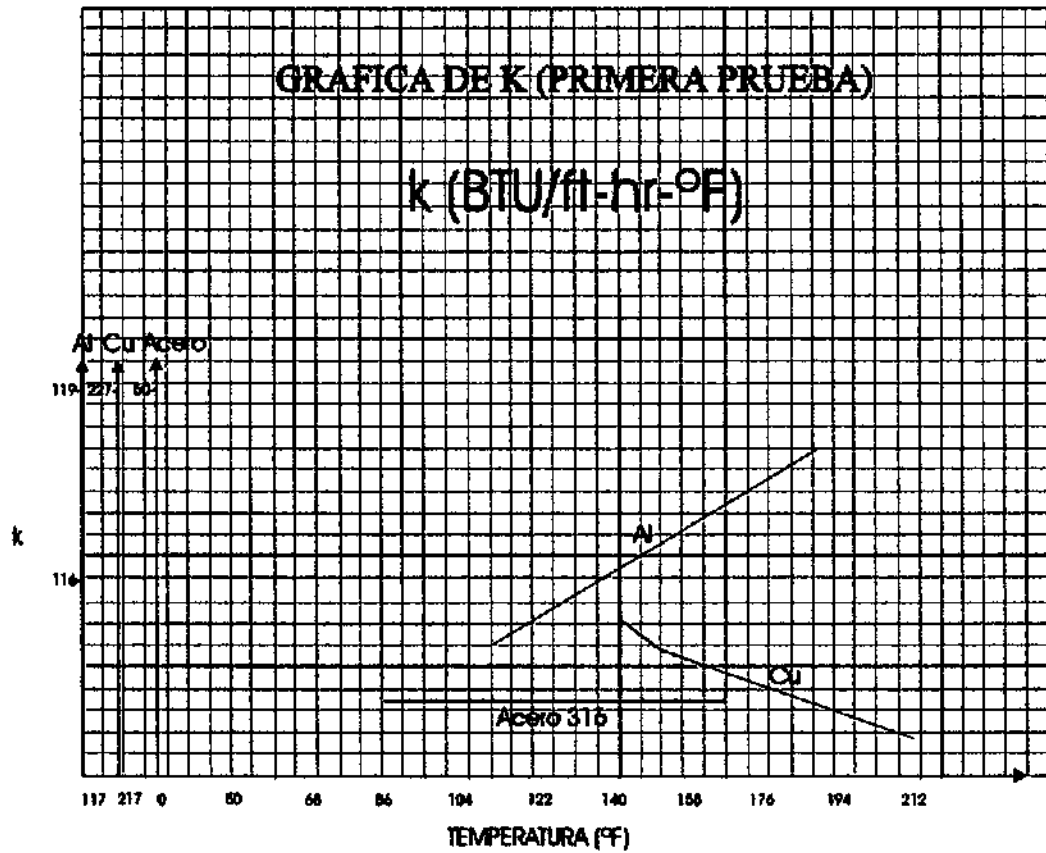
**GRAFICA DE K EN REGIMEN ESTACIONARIO**

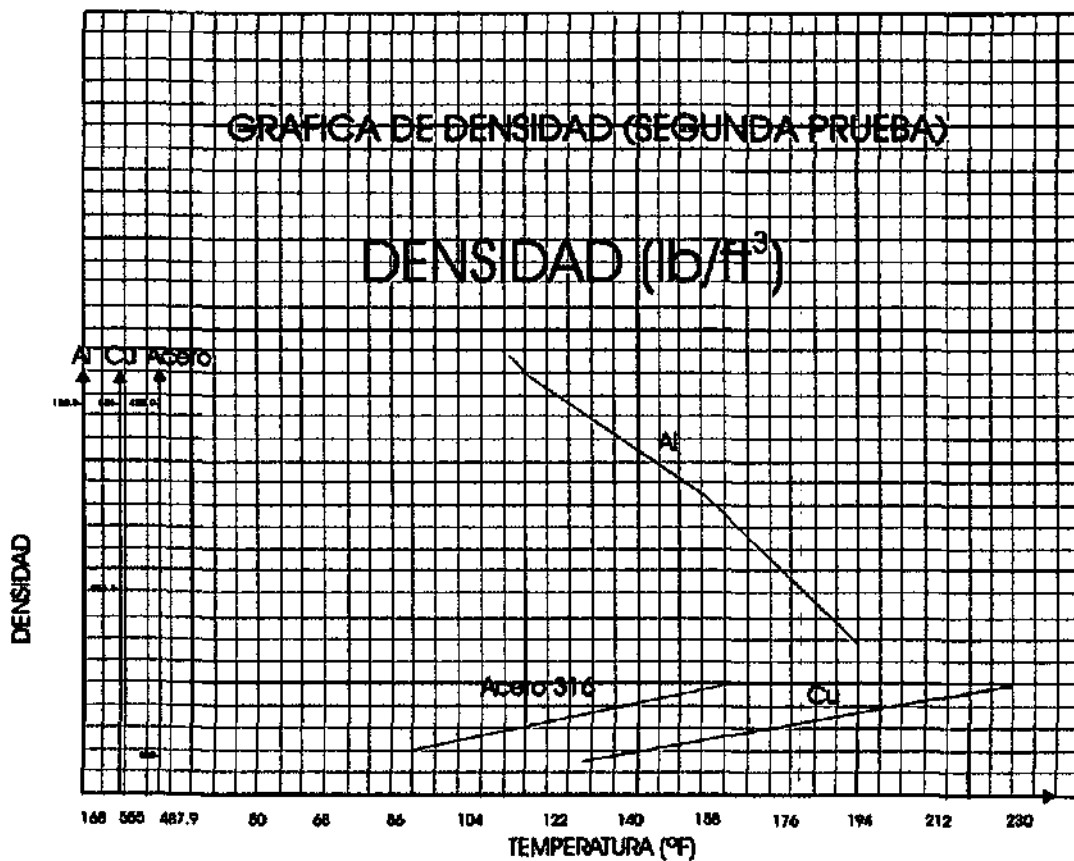
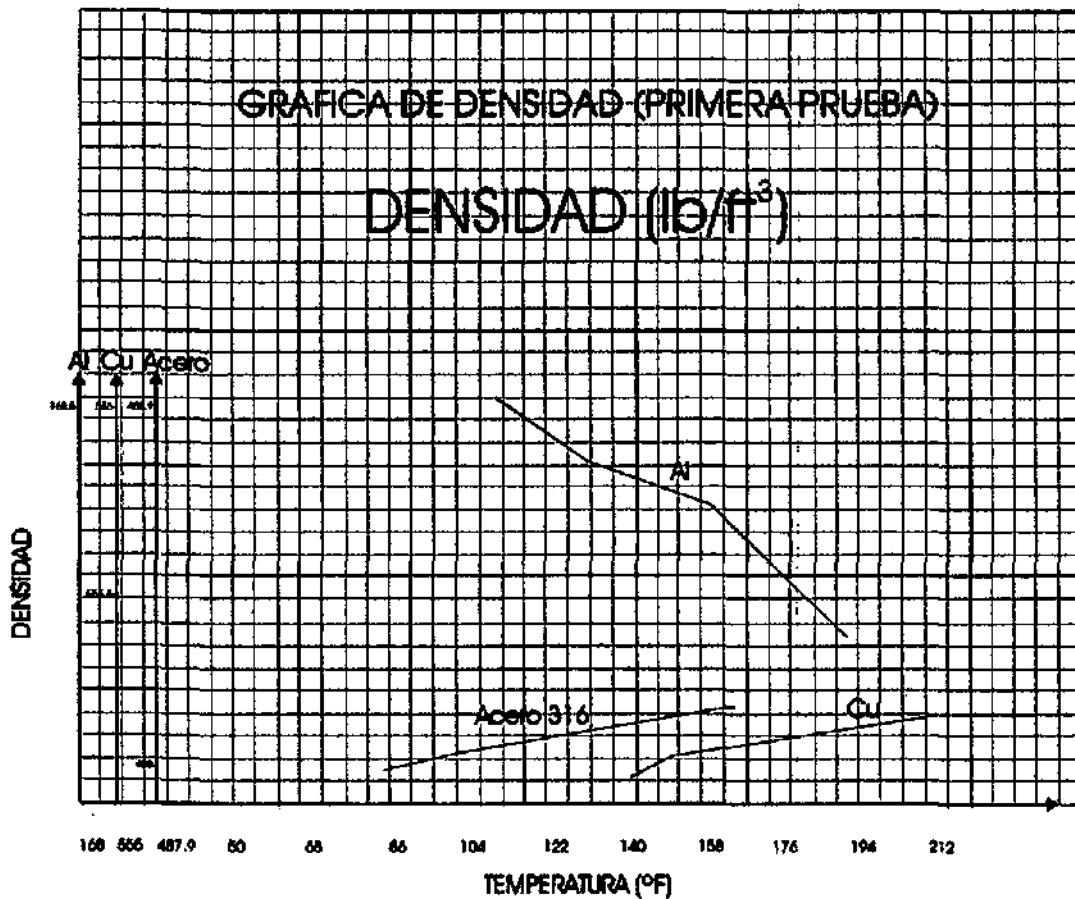


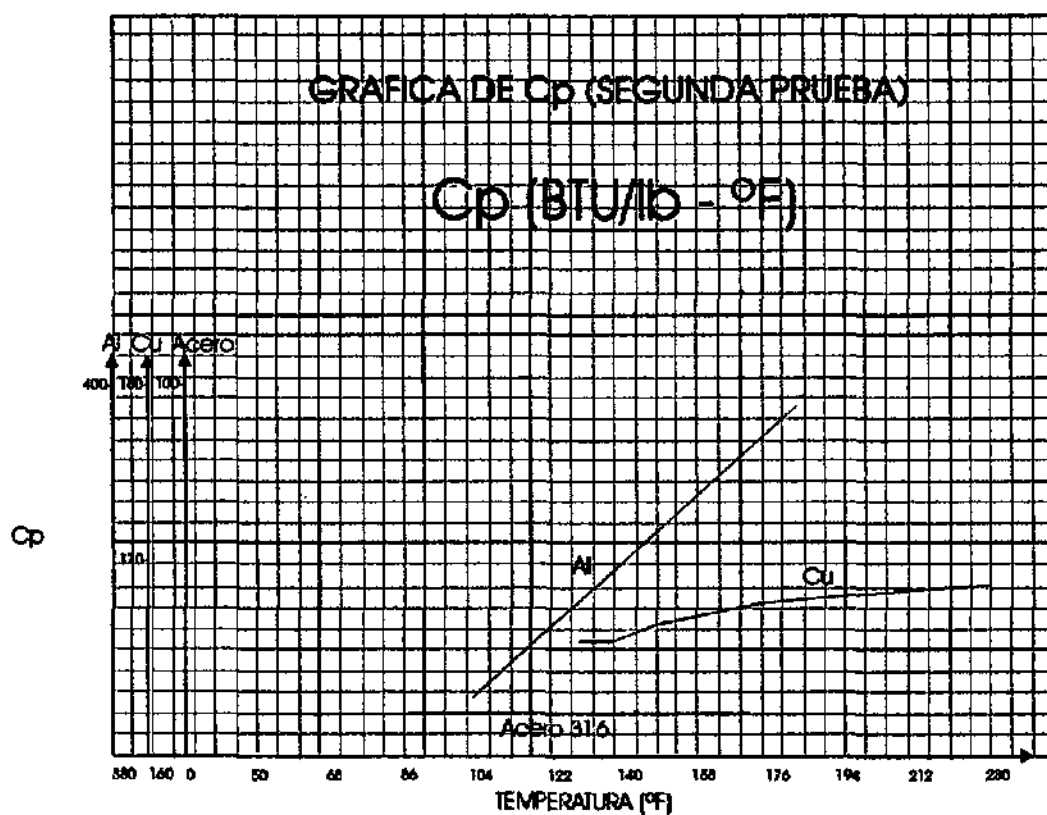
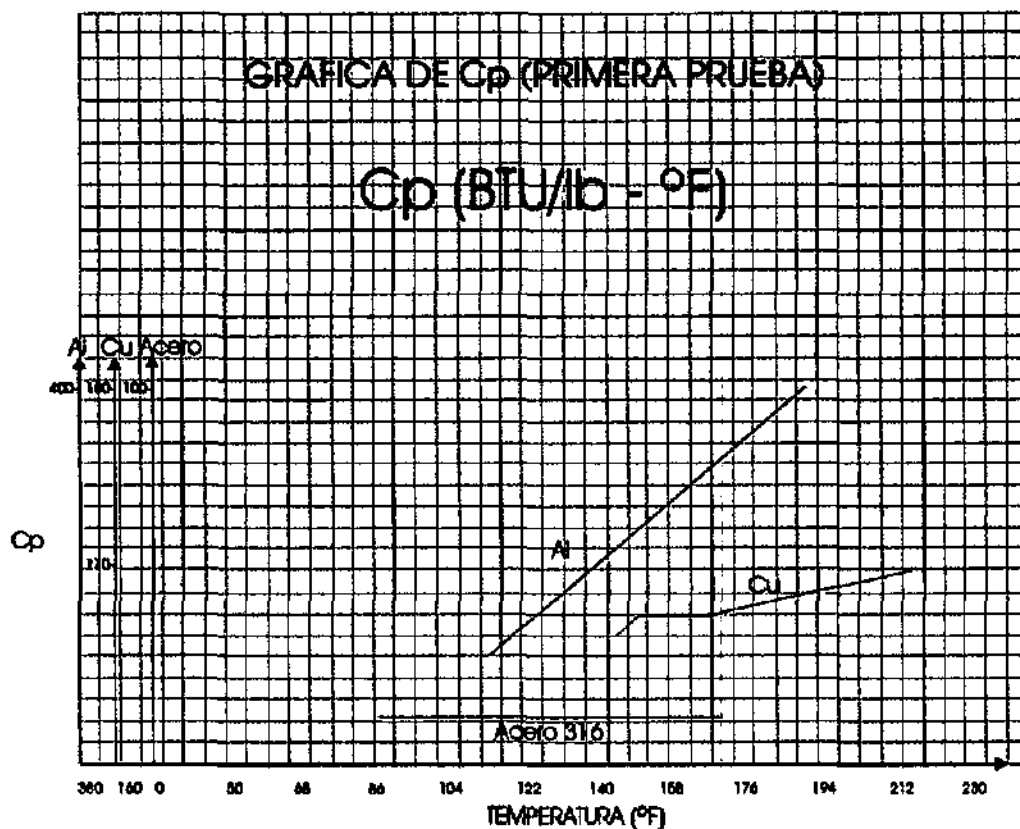
| Segunda   | Prueba    | K       | (Btu/R*hr*F)    |
|-----------|-----------|---------|-----------------|
| Barra:    | Aluminio  | Cobre   | Acero Inox. 316 |
|           |           |         |                 |
| Distancia | K         | K       | K               |
| 0.0492    | 118.57000 | 217.508 | 9.4259          |
| 0.7054    | 117.78400 | 219.498 | 9.4722          |
| 1.3615    | 117.44200 | 220.397 | 9.4771          |
| 2.0177    | 117.33800 | 220.892 | 9.4777          |
| 2.6739    | 117.27800 | 221.115 | 9.4777          |



Con respecto a T (Temperatura= °F)







**CAPITULO V**  
**APLICACION DE SOFTWARE PARA DETERMINAR**  
**LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN REGIMEN**  
**ESTACIONARIO PARA DIFERENTES MATERIALES**

## 5.1.-AJUSTE DE DATOS NO LINEALES

Dentro del estudio de la teoría de aproximación involucra dos tipos generales de problemas. El primero surge cuando se tiene explícitamente una función pero se desea encontrar un tipo de función "más sencilla", como un polinomio, que se pueda usar para determinar los valores aproximados a la función dada (ejemplo: polinomio de Taylor, Lagrange etc.). El segundo consiste en ajustar funciones a datos dados y encontrar la "mejor" función dentro de cierta clase que pueda usarse para representar a los datos (ejemplo: mínimos cuadrados).

Entonces el caso que se presenta es el segundo, donde utilizaremos tres métodos como herramientas para representar estos datos experimentales en un programa de turbo pascal y que se presentan a continuación:

### DIFERENCIAS DIVIDIDAS

El método de diferencia dividida determina una representación explícita de un polinomio interpolante a partir de datos tabulados. Este método puede usarse también para derivar técnicas para aproximar las derivadas y las integrales de funciones, así como para aproximar las soluciones de ecuaciones diferenciales.

Explicación del método: Supongamos que  $G_n$  es el polinomio de Lagrange de grado a lo más  $n$  que coincide con la función  $f$  en los números distintos  $x_0, x_1, \dots, x_n$ . Las diferencias divididas de  $f$  con respecto a  $x_0, x_1, \dots, x_n$ , se pueden derivar demostrando que  $G_n$  tiene la representación

$$G_n(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (5.1)$$

con constantes apropiadas  $a_0, a_1, \dots, a_n$ .

Para determinar la primera de estas constantes,  $a_0$ , note que si  $G_n(x)$  puede escribirse en la forma de la ecuación (5.1), entonces evaluando  $G_n$  en  $x_0$  deja solamente el término constante  $a_0$ ; esto es,  $a_0 = G_n(x_0) = f(x_0)$ .

Similarmente, cuando  $G_n$  se evalúa en  $x_1$ , los únicos términos distintos de cero en la evaluación de  $G_n(x_1)$  son la constante y el término lineal,  $f(x_0) + a_1(x_1 - x_0) = G_n(x_1) = f(x_1)$ ; así que

$$a_1 = (f(x_1) - f(x_0)) / (x_1 - x_0) \quad (5.2)$$

Aquí introducimos lo que se conoce como notación de diferencia dividida. La diferencia dividida cero de la función  $f$ , con respecto a  $x_i$ , se denota por  $f[x_i]$  y es simplemente la evaluación de  $f$  en  $x_i$ ,  $f[x_i] = f(x_i)$ .

Las diferencias divididas restantes se definen inductivamente; la primera diferencia dividida de  $f$  con respecto a  $x_i$  y  $x_{i+1}$ , se denota por  $f[x_i, x_{i+1}]$  y está definida como

$$f[x_i, x_{i+1}] = (f[x_{i+1}] - f[x_i]) / (x_{i+1} - x_i) \quad (5.3)$$

Cuando las  $(k-1)$  diferencias divididas

$$f[x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+k-1}] \text{ y } f[x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+k-1}, x_{i+k}]$$

han sido determinadas, la  $k$ -ésima diferencia dividida de  $f$  relativa a  $x_i, x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+k}$  está dada por

$$f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}, x_{i+k}] = (f[x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+k}] - f[x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k-1}]) / (x_{i+k} - x_i) \quad (5.4)$$

Con esta notación, la ecuación (5.2) puede ser reexpresada como  $a_1 = f[x_0, x_1]$  y el polinomio interpolante en la ecuación (5.1) es:

$$G_n(x) = f[x_0] + f[x_0, x_1](x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1})$$

Las otras constantes  $a_2, a_3, \dots, a_n$  en  $G_n$  se pueden obtener consecutivamente de una manera similar a la evaluación de  $a_0$  y  $a_1$ , como puede esperarse de la evaluación de  $a_0$  y  $a_1$ , las constantes requeridas son:

$$a_k = f[x_0, x_1, x_2, \dots, x_k]$$

| i | $x_i$ | $f[x_i]$ | $f[x_0, x_1]$ | $f[x_0, x_1, x_2]$ | $f[x_0, \dots, x_4]$ | $f[x_1, \dots, x_5]$ |
|---|-------|----------|---------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | 0.015 | 109.3    |               |                    |                      |                      |
| 1 | 0.215 | 72.9     | -182          |                    |                      |                      |
| 2 | 0.415 | 57.4     | -77.5         | 261.25             |                      |                      |
| 3 | 0.615 | 49.1     | -41.5         | 90                 | -285.4166667         |                      |
| 4 | 0.815 | 45.4     | -18.5         | 57.5               | -54.16666667         | 289.0625             |

## ACERO INOXIDABLE 316

| i | $x_i$ | $f[x_i]$ | $f[x_0, x_1]$ | $f[x_0, x_1, x_2]$ | $f[x_0, \dots, x_4]$ | $f[x_1, \dots, x_5]$ |
|---|-------|----------|---------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | 0.015 | 73.3     |               |                    |                      |                      |
| 1 | 0.215 | 25.7     | -238          |                    |                      |                      |
| 2 | 0.415 | 20.6     | -25.5         | 531.25             |                      |                      |
| 3 | 0.615 | 20.0     | -3            | 56.25              | -791.6666667         |                      |
| 4 | 0.815 | 20.0     | 0             | 7.5                | -81.25               | 888.0208334          |

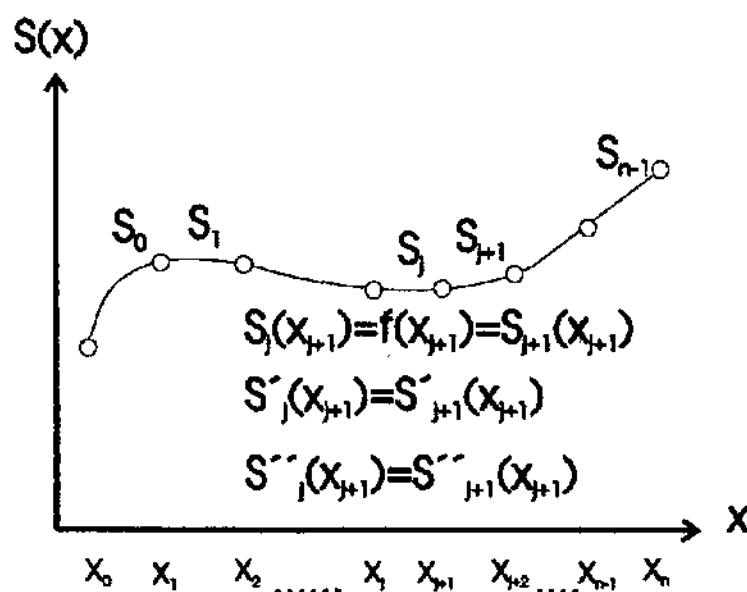
El polinomio para el acero inoxidable (segunda prueba) solo se aplica para el intervalo  $(0.015 \leq x \leq 0.415)$  esto se debe a que sufre fluctuaciones después de  $x > 0.415$ ; entonces se determinó otra ecuación para el intervalo  $(x > 0.415 \text{ y } x \leq 0.615)$  que es la siguiente:  $G(x) = 20.6 - 3(x - x_2)$ .

## INTERPOLACION CUBICA DE TRAZADOR

Un enfoque alternativo que puede usarse para obtener funciones interpolantes consiste en dividir el intervalo en una colección de subintervalos y construir un polinomio aproximante diferente (generalmente) en cada subintervalo. La aproximación con funciones de este tipo se llama aproximación polinómica segmentaria.

La aproximación polinómica segmentaria más común usando polinomios cúbicos entre parejas sucesivas de nodos se llama interpolación cúbica de trazador. Un polinomio cúbico general involucra cuatro constantes; así que hay suficiente flexibilidad en el procedimiento del trazador cúbico para garantizar no solamente que la interpolante sea continuamente diferenciable en el intervalo, sino que tenga también una segunda derivada continua.

Explicación del método: Dada una función  $f$  definida en  $[a, b]$ , un conjunto de números, llamados nodos,  $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$ , un interpolante cúbico de trazador,  $S$ , para  $f$  es una función que satisface las siguientes condiciones (ver figura siguiente):



## Segunda prueba

$$x_0=0.015; x_1=0.215; x_2=0.415; x_3=0.615; x_4=0.815;$$

$$h_0=h_1=h_2=h_3=0.2;$$

$$\alpha_1=3(0.2a_2-0.4a_1+0.2a_0)/(0.2)(0.2)=15a_2-30a_1+15a_0$$

$$l_1=2(0.4)=0.8; \mu_1=0.25; z_1=1.25\alpha_1;$$

$$c_3=z_3; b_3=5a_4-5a_3-0.133c_3; d_3=-1.667c_3;$$

$$\alpha_2=3(0.2a_3-0.4a_2+0.2a_1)/(0.2)(0.2)=15a_3-30a_2+15a_1$$

$$l_2=2(0.4)-(0.2)(0.25)=0.75; \mu_2=0.267;$$

$$z_2=1.333\alpha_2-0.267z_1; c_2=z_2-0.267c_1;$$

$$b_2=5a_3-5a_2-0.067c_3-0.133c_2; d_2=1.667c_3-1.667c_2;$$

$$\alpha_3=3(0.2a_4-0.4a_3+0.2a_2)/(0.2)(0.2)=15a_4-30a_3+15a_2$$

$$l_3=2(0.4)-(0.2)(0.267)=0.747; \mu_3=0.268;$$

$$z_3=1.339\alpha_3-0.268z_2; c_1=z_1-0.25c_2;$$

$$b_1=5a_2-5a_1-0.067c_2-0.133c_1; d_1=1.667c_2-1.667c_1;$$

$$c_0=0; b_0=5a_1-5a_0-0.067c_1-0.133c_0; d_0=1.667c_1-1.667c_0;$$

## ALUMINIO

Sustituyendo estos valores  $a_0=86.6; a_1=56.4; a_2=38.7; a_3=32.2; a_4=28.0$ , en las ecuaciones anteriores de la segunda prueba obtenemos:

| n | c       | b        | d        |
|---|---------|----------|----------|
| 0 | 0       | -164.013 | 323.781  |
| 1 | 194.230 | -125.091 | -56.096  |
| 2 | 160.579 | -54.055  | -262.769 |
| 3 | 2.949   | -21.392  | -4.916   |

## COBRE

Sustituyendo estos valores  $a_0=109.3; a_1=72.9; a_2=57.4; a_3=49.1; a_4=45.4$ , en las ecuaciones anteriores de la segunda prueba obtenemos:

| n | c       | b        | d        |
|---|---------|----------|----------|
| 0 | 0       | -207.963 | 645.971  |
| 1 | 387.505 | -130.209 | -616.833 |
| 2 | 17.479  | -49.309  | 107.306  |
| 3 | 81.85   | -29.386  | -136.444 |

## ACERO INOXIDABLE 316

Sustituyendo estos valores  $a_0=73.3; a_1=25.7; a_2=20.6; a_3=20.0; a_4=20.0$ , en las ecuaciones anteriores de la segunda prueba obtenemos:

| n | c        | b        | d         |
|---|----------|----------|-----------|
| 0 | 0        | -293.648 | 1384.565  |
| 1 | 830.573  | -126.935 | -1609.263 |
| 2 | -134.792 | 11.915   | 299.643   |
| 3 | 44.958   | -5.979   | -74.945   |

de estas constantes solo se tomo el primero por que las otras tres sufren fluctuaciones dentro de sus intervalos.

Entonces se realizo la determinación de estas constantes después de  $x \geq 0.215$  y  $x \leq 0.615$  aplicando el procedimiento de trazador cúbico se tiene:

| n | c      | b       | d        |
|---|--------|---------|----------|
| 0 | 0      | -31.153 | 140.653  |
| 1 | 84.375 | -14.722 | -140.653 |

Donde el segundo polinomio sufre fluctuaciones, ahora se realiza el análisis para determinar sus constantes en el intervalo  $(0.415 \geq x \leq 0.615)$  teniendo lo siguiente

| n | c | b  | d |
|---|---|----|---|
| 0 | 0 | -3 | 0 |

complementando así el conjunto de polinomios de colocación.

### MINIMOS CUADRADOS PARA DATOS DISCRETOS POR COMBINACION LINEAL

En este método, su finalidad es determinar la "mejor" (en algún sentido) función que se pudiera usar como aproximación con respecto a los datos siendo su desviación mínima y aun cuando pudiera no coincidir precisamente con los datos en cada punto.

Explicación del método: Al ajustar una función a puntos dados, se puede utilizar una combinación lineal de cualesquiera funciones conocidas, en vez de emplear polinomios.

La curva ajustada a los puntos dados se puede escribir como

$$G(x) = a_1 f_1(x) + a_2 f_2(x) + a_3 f_3(x) + \dots + a_n f_n(x) \quad (5.14)$$

$$G(x) = \sum_{u=1}^n a_u f_u(x)$$

donde  $f_1, f_2, \dots$  son funciones prescritas,  $a_1, a_2, \dots$  son coeficientes indeterminados y  $n$  es el número total de funciones prescritas.

La desviación de la curva con respecto de cada punto dado se define como

$$r_i = y_i - \sum_{u=1}^n a_u f_u(x_i), \quad i = 1, 2, \dots, B \quad (5.15)$$

donde  $B$  es el número total de puntos dados. El total de los cuadrados de las desviaciones es

$$R = \sum_{i=1}^B [r_i]^2 = \sum_{i=1}^B \left[ y_i - \sum_{u=1}^n a_u f_u(x_i) \right]^2 \quad (5.16)$$

Al igualar a cero las derivadas parciales de R con respecto a los coeficientes indeterminados, obtenemos

$$\frac{\partial R}{\partial a_u} = 0 \quad u=1,2,\dots,n \quad (5.17)$$

0, de manera equivalente,

$$\sum_{m=1}^n \left[ \sum_{i=1}^B f_m(x_i) f_u(x_i) \right] a_m = \sum_{i=1}^B y_i f_u(x_i) \quad (5.18)$$

donde se dividió la ecuación entre 2. La ecuación (5.18) tiene n ecuaciones con n incógnitas. Así, las ecuaciones se pueden resolver mediante la eliminación de Gauss.

Nota: Las funciones que aparecen en una combinación lineal se pueden elegir, ya sea por experiencia o por razones teóricas.

Aplicando la ecuación (5.18) y resolviendo el sistema de ecuaciones ( $m \times n$ ) por Gauss Jordan obtenemos las ecuaciones para cada material usado.

#### ACERO INOXIDABLE 316

##### Primera prueba

$$G(x) = a_1 + a_2(x) + a_3 \ln(x) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\ln(x).$$

|         |         |         |           |
|---------|---------|---------|-----------|
| 5       | 1.075   | -9.9343 | 161.7     |
| 1.075   | 0.3311  | -1.3711 | 22.6255   |
| -9.9343 | -1.3711 | 26.7860 | -440.3718 |

Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1 = -21.0851$$

$$a_2 = 46.10120$$

$$a_3 = -21.9005$$

##### Segunda prueba

$$G(x) = a_1 + a_2(x) + a_3 \ln(x) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\ln(x).$$

|              |             |              |              |
|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 3            | 0.645       | -6.616299087 | 119.6        |
| 0.645        | 0.218675    | -0.75845864  | 15.174       |
| -6.616299087 | -0.75845864 | 20.77373155  | -365.4595168 |

Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1 = -16.38654673$$

$$a_2 = 44.20188322$$

$$a_3 = -21.19756433$$

Esta ecuación obtenida es dentro del rango ( $\geq 0.015 \times \leq 0.415$ ).

Ahora la ecuación para el rango ( $\geq 0.415 \times \leq 0.615$ ) es la ecuación:  $G(x) = 20.1553 - 0.7765(x - 0.615)$  y finalmente la ecuación en el rango ( $\geq 0.615 \times \leq 0.815$ ) es  $G(x) = 20.0$ .

## COBRE

### Primera prueba

$$G(x)=a_1+a_2(x)+a_3(\exp(-x^2)) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\exp(-x^2)$$

|        |        |        |          |
|--------|--------|--------|----------|
| 5      | 1.075  | 4.6888 | 370.8    |
| 1.075  | 0.3311 | 0.9684 | 67.8520  |
| 4.6888 | 0.9684 | 4.4138 | 352.2192 |

Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1=304.6368$$

$$a_2=-198.2601$$

$$a_3=-200.3187$$

### Segunda prueba

$$G(x)=a_1+a_2(x)+a_3(\exp(-x^2)) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\exp(-x^2)$$

|        |        |        |          |
|--------|--------|--------|----------|
| 5      | 2.075  | 3.9961 | 334.1    |
| 2.075  | 1.2611 | 1.4104 | 108.3315 |
| 3.9961 | 1.4104 | 3.3541 | 284.2044 |

Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1=356.8438$$

$$a_2=-227.5669$$

$$a_3=-244.7806$$

## ALUMINIO

### Primera prueba

$$G(x)=a_1+a_2(x)+a_3(\exp(-x^2)) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\exp(-x^2)$$

|        |        |        |          |
|--------|--------|--------|----------|
| 5      | 1.075  | 4.6888 | 267      |
| 1.075  | 0.3311 | 0.9684 | 44.3650  |
| 4.6888 | 0.9684 | 4.4138 | 255.1274 |

Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1=493.2490$$

$$a_2=-290.2331$$

$$a_3=-402.5005$$

### Segunda prueba

$$G(x)=a_1+a_2(x)+a_3(\exp(-x^2)) \quad f_1(x)=1; f_2(x)=x; f_3(x)=\exp(-x^2)$$

|        |        |        |          |
|--------|--------|--------|----------|
| 5      | 2.075  | 3.9961 | 241.9    |
| 2.075  | 1.2611 | 1.4104 | 72.1085  |
| 3.9961 | 1.4104 | 3.3541 | 209.4803 |

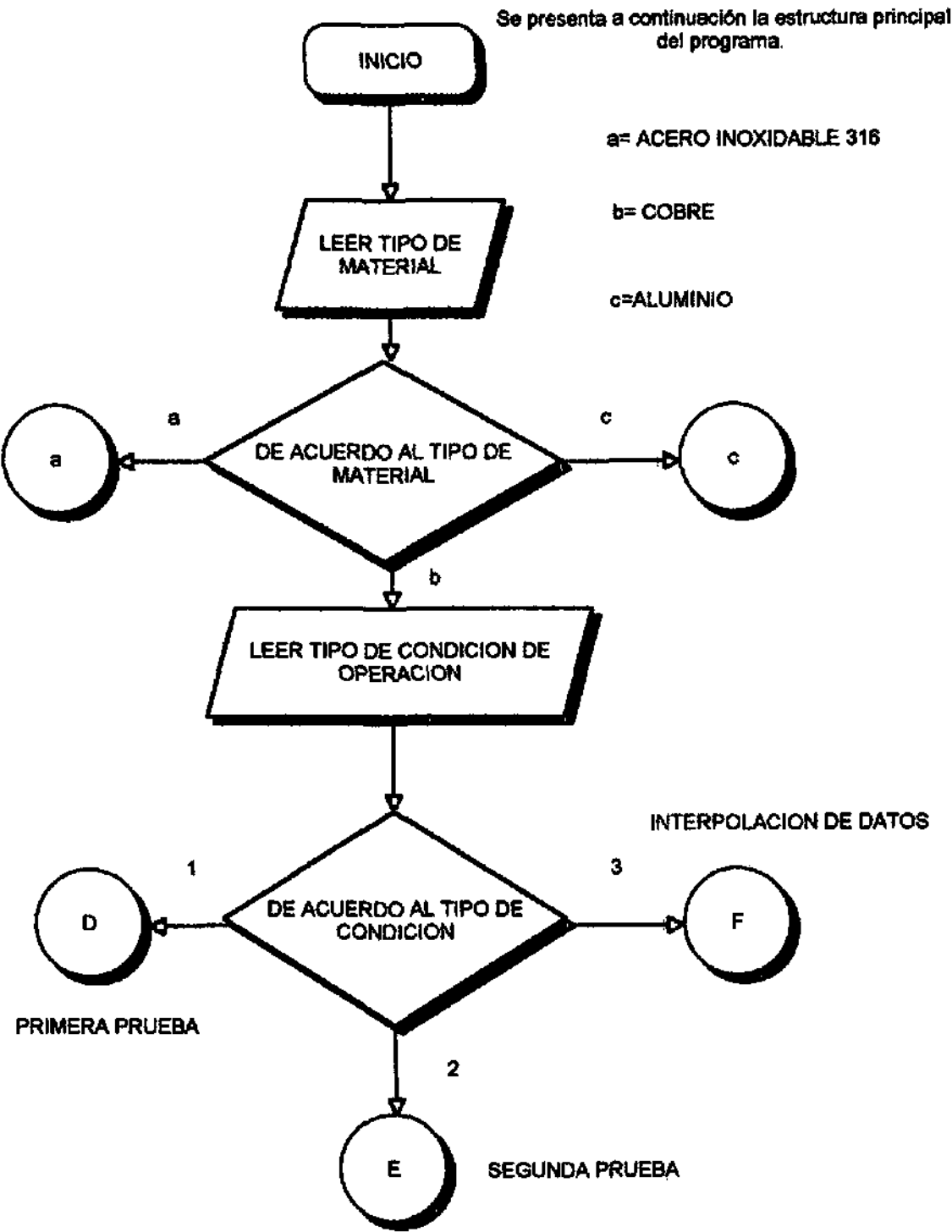
Resolviendo el sistema de ecuaciones presente obtenemos las siguientes constantes:

$$a_1=299.6623$$

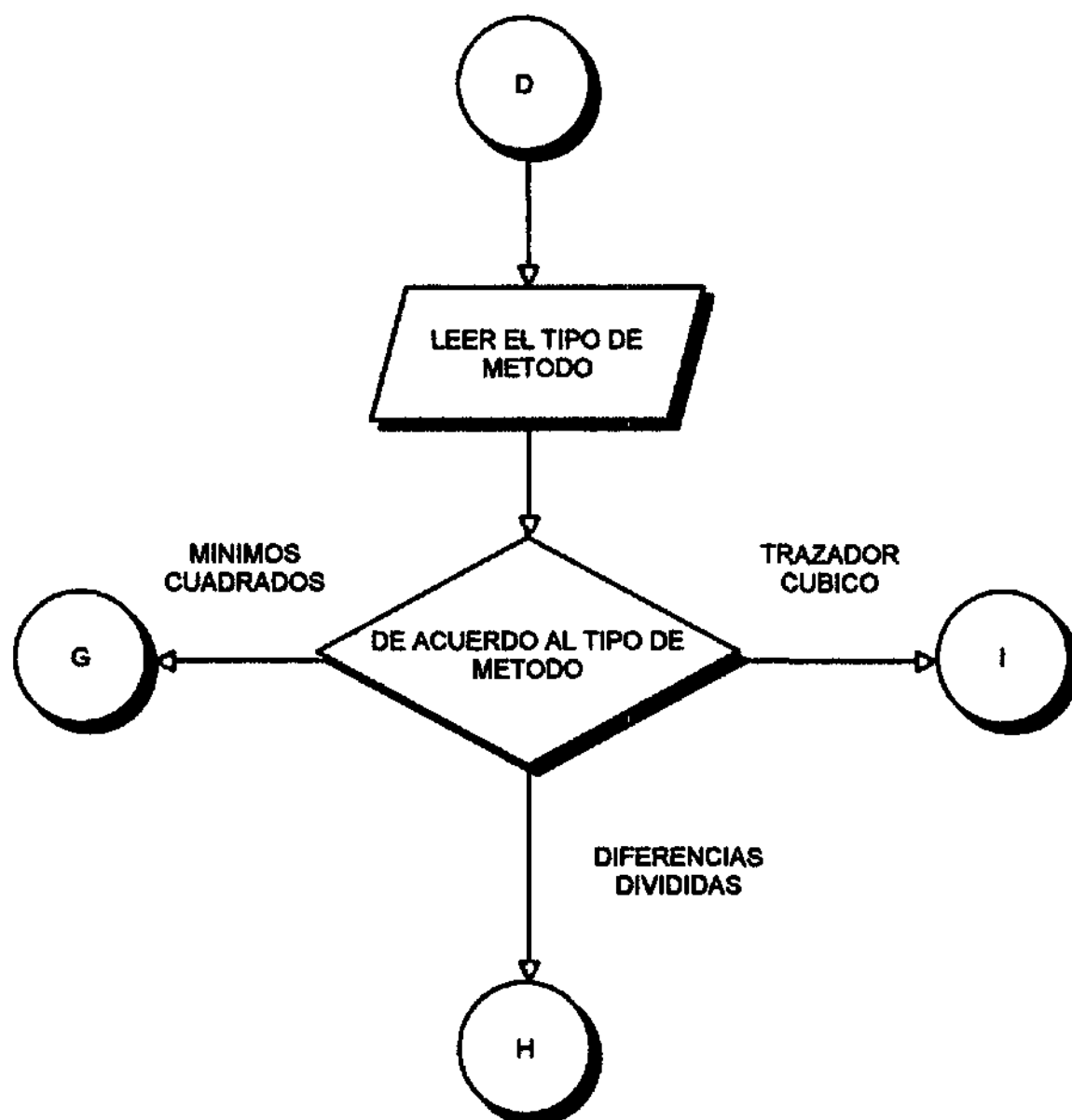
$$a_2=-200.9447$$

$$a_3=-210.0676$$

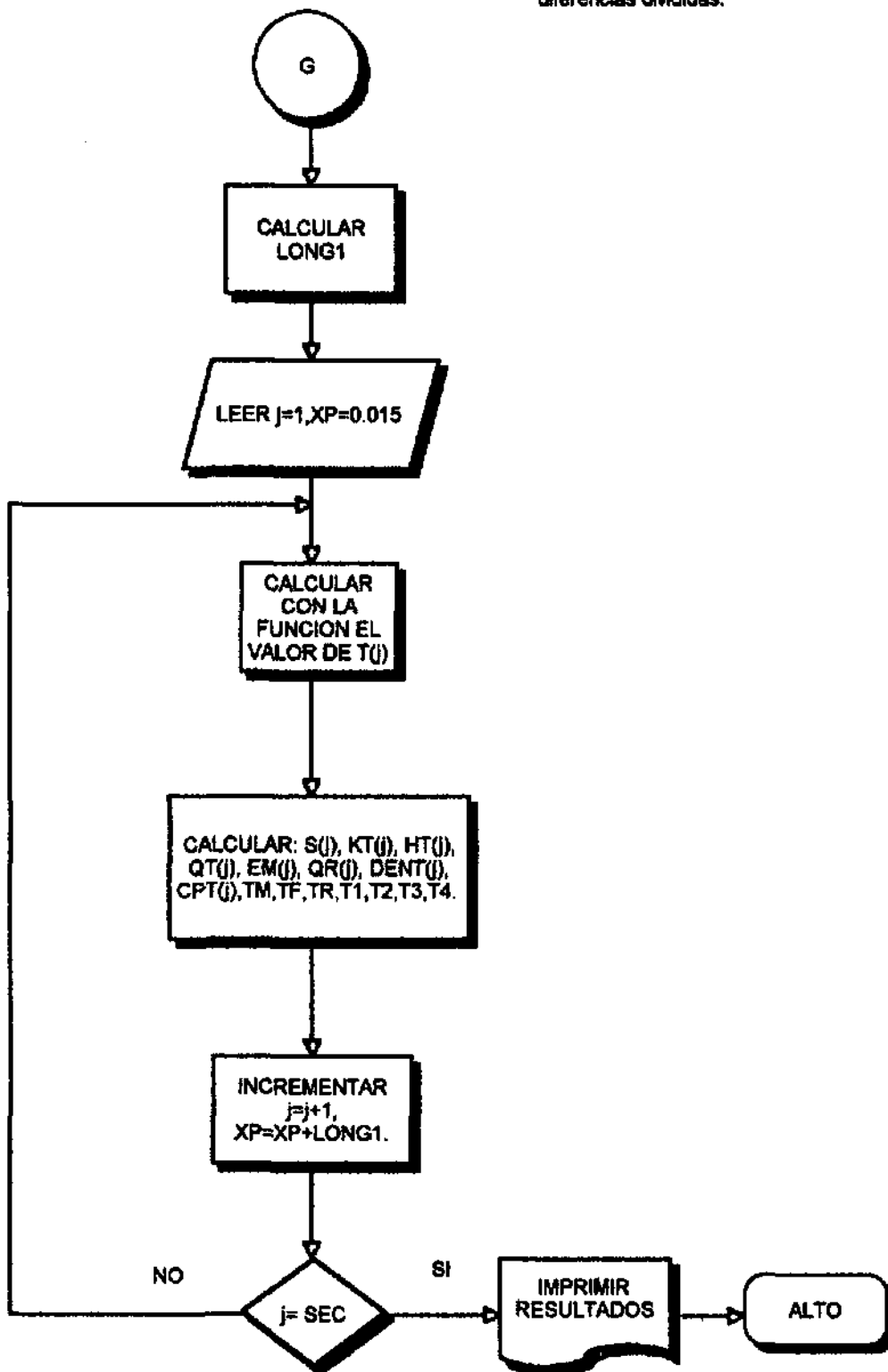
5.2.- DIAGRAMA DE FLUJO



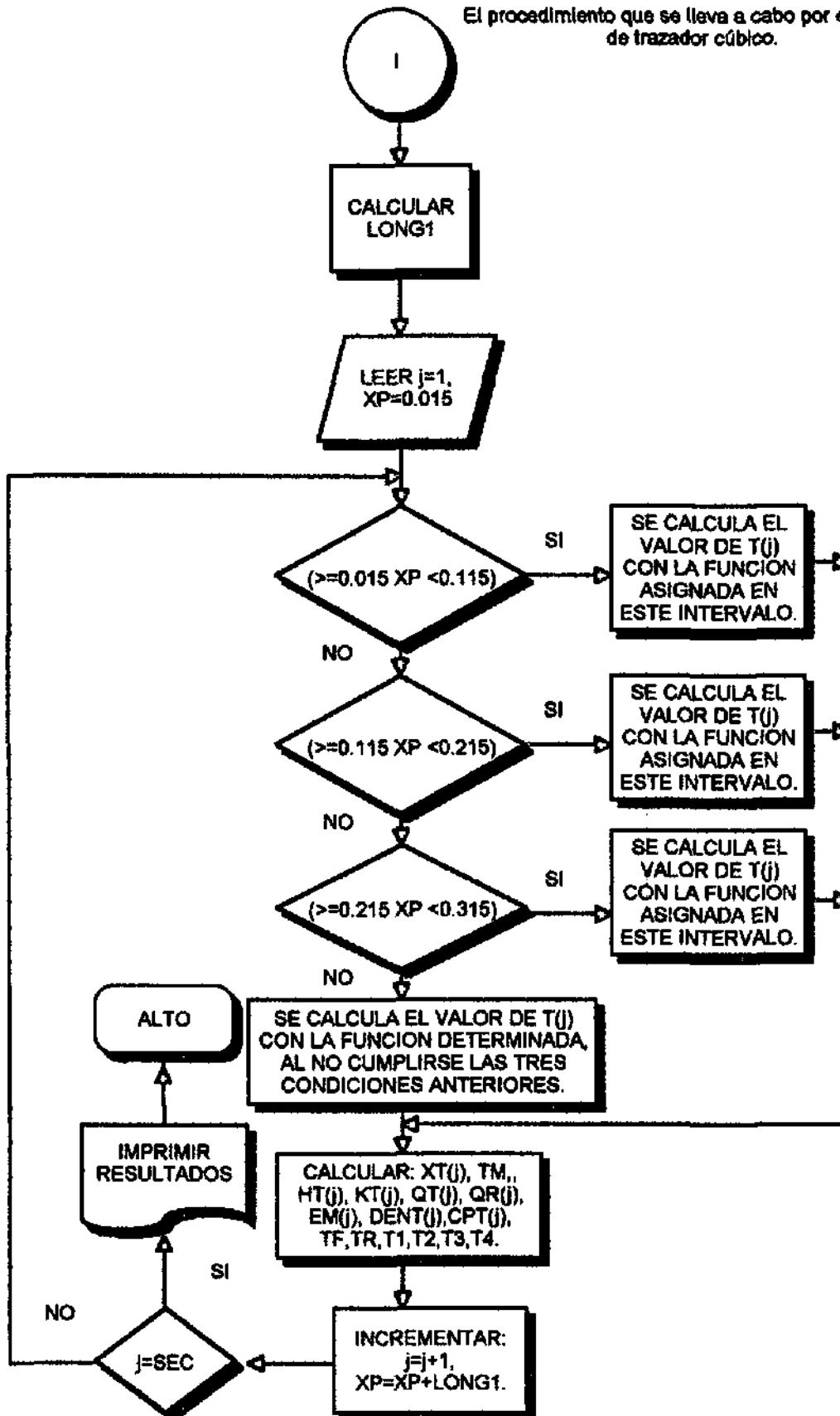
El procedimiento que se lleva la primera prueba es la misma para la segunda prueba y para la interpolacion lineal.



El procedimiento que se lleva a cabo por el método de mínimos cuadrados y diferencias divididas.



El procedimiento que se lleva a cabo por el método de trazador cúbico.



Las opciones a (acero inoxidable 316) y c (aluminio), llevan el mismo procedimiento de la opción b (cobre). En la opción (F) realiza el mismo procedimiento de la estructura (D=E), aplicando interpolación lineal para determinar T(j).

### 5.3.-LISTADO DEL PROGRAMA

```
PROGRAM PERFIL10;

USES CRT,GRAPH;

CONST
SEC=10;PI=3.1416;D=0.019;

VAR
ELIJA,j,Ts:INTEGER;
AREA,PERI,LONG,LONG1,XP,Ta,TD,TM,TF,TR,T1,T3,T4:REAL;
T2,S0,S1,S2,S4,S5,S6,S7,RED1,RED2,RED3:REAL;
ELIJA1,ELIJA2,ELIJA3,VER,TECLA:CHAR;
T:ARRAY[0..SEC] OF REAL;XT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
KT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;HT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
QT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;EM:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
QR:ARRAY[0..SEC] OF REAL;TAI:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
TBL:ARRAY[0..SEC] OF REAL;BB:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
AA:ARRAY[0..SEC] OF REAL;DENT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
CPT:ARRAY[0..SEC] OF REAL;PERFIL:ARRAY[0..SEC] OF REAL;
FZA:ARRAY[0..SEC] OF REAL;

(***** IMPRIME PRESENTACION *****)
PROCEDURE PRESENTA;

CONST
MAXCOLUM=320;MAXRENGL=480;MAXCOLOR=16;
MAXITERACION=502;MAXTA=4;

VAR
WMAX,ZMAX,WMIN,ZMIN,P,DELTAP,DELTAQ,W,Z,WCUAD,ZCUAD:REAL;
I,COLOR,RENGL,COLUM,GRAPHDRIVER,GRAPHMODE:INTEGER;
TECLA:CHAR;
WZ:ARRAY[0..479] OF REAL;

BEGIN
WMAX:=0.745388;WMIN:=0.745464;ZMAX:=0.113030;ZMIN:=0.112967;
GRAPHDRIVER:=DETECT;INITGRAPH(GRAPHDRIVER,GRAPHMODE,"");
DELTAP:=(WMAX-WMIN)/MAXCOLUM;
DELTAQ:=(ZMAX-ZMIN)/MAXRENGL;
WZ[0]:=ZMAX;
FOR RENGL:=1 TO MAXRENGL DO
WZ[RENGL]:=WZ[RENGL-1]-DELTAQ;
P:=WMIN;
FOR COLUM:=0 TO MAXCOLUM DO
BEGIN
FOR RENGL:=0 TO MAXRENGL DO
BEGIN
W:=0.0;Z:=0.0;WCUAD:=0.0;ZCUAD:=0.0;
COLOR:=1;
REPEAT
WCUAD:=W*W;ZCUAD:=Z*Z; Z:=2*W*Z+WZ[RENGL];
W:=WCUAD-ZCUAD+P; INC(COLOR);
UNTIL (COLOR>=MAXITERACION) OR (WCUAD+ZCUAD>=MAXTA);
PUTPIXEL(COLUM,RENGL,(COLOR MOD MAXCOLOR));
END;
END;
```

```

P:=P+DELTAP;
END;
SETLINESTYLE(SOLIDLN,0,THICKWIDTH); RECTANGLE(321,1,640,480);SETBKCOLOR(1);SETCOLOR(14);
OUTTEXTXY(370,20,UMIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA);OUTTEXTXY(400,31,DEL ESTADO DE
PUEBLA); OUTTEXTXY(365,110,ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA);OUTTEXTXY(408,200,NOMBRE DEL
PROGRAMA);OUTTEXTXY(370,220,"DETERMINACION DE PERFILES
DE);OUTTEXTXY(363,231,TEMPERATURA EN SOLIDOS METALICOS");OUTTEXTXY(425,350,REALIZADO
POR);OUTTEXTXY(383,365,ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA);
OUTTEXTXY(467,450,'1996');TECLA:=READKEY;CLOSEGRAPH;
END;

```

(\*\*\*\*\* IMPRESION DEL MARCO \*\*\*\*\*)

```

PROCEDURE MARGEN;
BEGIN
  GOTOXY(4,2);WRITE(CHR(201));
  FOR j:=5 TO 75 DO
    BEGIN
      GOTOXY(j,2);WRITE(CHR(205));
      GOTOXY(j,23);WRITE(CHR(205));
    END;
  GOTOXY(4,23);WRITE(CHR(200));
  GOTOXY(76,2);WRITE(CHR(187));
  GOTOXY(76,23);WRITE(CHR(188));
  FOR j:=3 TO 22 DO
    BEGIN
      GOTOXY(4,j);WRITE(CHR(186));
      GOTOXY(76,j);WRITE(CHR(186));
    END;
  END;

```

(\*\*\*\*\* EL BLOQUE A CONTINUACION, PRESENTA LA GRAFICA  $T=f(x)$  \*\*\*\*\*)

```

PROCEDURE GRAFICA;

VAR
  B1,A1,B2,A2: REAL;
  j,C1,C2,GRAPHDRIVER,GRAPHMODE,INCX,INCT:INTEGER;
  TECLA:CHAR;

BEGIN
  CLRSCR;
  GRAPHDRIVER:=DETECT;INITGRAPH(GRAPHDRIVER,GRAPHMODE, "");
  SETBKCOLOR(1);SETCOLOR(14);SETLINESTYLE(SOLIDLN,0,THICKWIDTH);
  LINE(50,430,590,430);
  LINE(50,30,590,430);
  B1:=520/(XT[SEC]-XT[0]);A1:=-XT[0]*B1;
  B2:=380/(T[SEC]-T[0]);A2:=-T[0]*B2;
  j:=0;
  REPEAT
    C1:=ROUND(ABS(A1+(B1*XT[j]))+50);
    C2:=ROUND(ABS(A2+(B2*T[j]))+50);
    OUTTEXTXY(C1-3,430,CHR(179));
    OUTTEXTXY(44,C2-7,CHR(095));
    PUTPIXEL(C1,C2,7);
    j:=j+1;
  UNTIL(j>SEC);
  OUTTEXTXY(140,20,'GRAFICA DE TEMPERATURA EN FUNCION DE LA DISTANCIA');
  OUTTEXTXY(47,27,CHR(024));OUTTEXTXY(8,28,T(°C));
  OUTTEXTXY(590,427,CHR(026));OUTTEXTXY(590,450,'X(m)');
  TECLA:=READKEY;
  CLOSEGRAPH;
END;

```

(\*\*\*\*\* EL SIGUIENTE BLOQUE IMPRIME LOS RESULTADOS \*\*\*\*\*)  
 (\*\*\*\*\* DE SUS PROPIEDADES DE CADA MATERIAL \*\*\*\*\*)  
 PROCEDURE RESULTA;

```

BEGIN
  CLRSCR;
  GOTOXY(28,2);WRITE('TABLA DE RESULTADOS');
  GOTOXY(14,5);WRITE('DISTANCIA (m)');
  GOTOXY(30,5);WRITE('TEMPERATURA (°C)');
  GOTOXY(50,5);WRITE('CALOR (Kcal/hr)');
  FOR j:=0 TO SEC DO
    BEGIN
      GOTOXY(11,7+j);WRITE(XT[j]);
      GOTOXY(29,7+j);WRITE(T[j]);
      GOTOXY(49,7+j);WRITE(QT[j]);
      TECLA:=READKEY;
    END;
  GOTOXY(5,23); WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;
  CLRSCR;
  GOTOXY(28,2);WRITE('TABLA DE RESULTADOS');
  GOTOXY(12,5);WRITE('TEMPERATURA (°C)');
  GOTOXY(30,5);WRITE('K (Kcal/hr*m*°C)');
  GOTOXY(49,5);WRITE('h (Kcal/hr*m^2*°C)');
  FOR j:=0 TO SEC DO
    BEGIN
      GOTOXY(11,7+j);WRITE(T[j]);
      GOTOXY(29,7+j);WRITE(KT[j]);
      GOTOXY(48,7+j);WRITE(HT[j]);
      TECLA:=READKEY;
    END;
  GOTOXY(5,23);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;
  CLRSCR;
  GOTOXY(28,2);WRITE('TABLA DE RESULTADOS');
  GOTOXY(12,5);WRITE('TEMPERATURA (°C)');
  GOTOXY(30,5);WRITE('DENSIDAD (Kg/m^3)');
  GOTOXY(49,5);WRITE('Cp (Kcal/Kg*°C)');
  FOR j:=0 TO SEC DO
    BEGIN
      GOTOXY(11,7+j);WRITE(T[j]);
      GOTOXY(29,7+j);WRITE(DENT[j]);
      GOTOXY(48,7+j);WRITE(CPT[j]);
      TECLA:=READKEY;
    END;
  GOTOXY(5,23);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;
  CLRSCR;
  GOTOXY(31,2);WRITE('TABLA DE RESULTADOS');
  GOTOXY(12,5);WRITE('TEMPERATURA (°C)');
  GOTOXY(35,5);WRITE('EMISIVIDAD');
  GOTOXY(52,5);WRITE('Q RADIACION (Kcal/hr)');
  FOR j:=0 TO SEC DO
    BEGIN
      GOTOXY(11,7+j);WRITE(T[j]);
      GOTOXY(31,7+j);WRITE(EM[j]);
      GOTOXY(53,7+j);WRITE(QR[j]);
      TECLA:=READKEY;
    END;
  GOTOXY(5,23);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;

```

```

CLRSCR;
GOTOXY(31,2);WRITE('TABLA DE RESULTADOS');
GOTOXY(12,5);WRITE('TEMPERATURA (°C)');
GOTOXY(36,5);WRITE('PERFIL');
GOTOXY(55,5);WRITE('FZA. IMPULSORA');
FOR j:=0 TO SEC DO
  BEGIN
    GOTOXY(11,7+j);WRITE(T[j]);
    GOTOXY(31,7+j);WRITE(PERFIL[j]);
    GOTOXY(53,7+j);WRITE(FZA[j]);
    TECLA:=READKEY;
    END;
  GOTOXY(5,23);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;
END;
(***** IMPRESION DE TEXTO *****)
PROCEDURE TEXTO;
BEGIN
  GOTOXY(28,5);WRITE('CONDICIONES DE OPERACION');
  GOTOXY(15,8);WRITE('D) CUANDO  $T_s=110$ ,  $T_a=16.8$  Y  $(0.015 \geq X \leq 0.415)$ );
  GOTOXY(15,9);WRITE('E) CUANDO  $T_s=139$ ,  $T_a=19.9$  Y  $(0.015 \geq X \leq 0.815)$ );
  GOTOXY(15,10);WRITE('F) CUANDO  $(>110 T_s < 139)$ ,  $(>16.8 T_a < 19.9)$  Y  $(0.015 \geq X \leq 0.415)$ );
END;

PROCEDURE TEXTO1;
BEGIN
  GOTOXY(30,5);WRITE('TIPOS DE METODOS');
  GOTOXY(20,8);WRITE('G) MINIMOS CUADRADOS POR COMBINACION LINEAL');
  GOTOXY(20,9);WRITE('H) DIFERENCIA DIVIDIDA');
  GOTOXY(20,10);WRITE('I) INTERPOLACION CUBICA DE TRAZADOR');
END;

PROCEDURE MENU;
BEGIN
  GOTOXY(33,5);WRITE('MENU PRINCIPAL');
  GOTOXY(25,8);WRITE('1) INTRODUCCION');
  GOTOXY(25,9);WRITE('2) PRESENTACION');
  GOTOXY(25,10);WRITE('3) CONVECCION NATURAL (FLUJO LAMINAR)');
  GOTOXY(25,11);WRITE('4) SALIR');
END;

PROCEDURE INTRODUCCION;
BEGIN
  CLRSCR;MARGEN;GOTOXY(33,3);WRITE('INTRODUCCION');
  GOTOXY(7,5);WRITE('EL PRESENTE PROGRAMA, SIMULA LOS PERFILES DE TEMPERATURA EN REGIMEN');
  GOTOXY(7,6);WRITE('ESTACIONARIO SIENDO APLICABLE A LOS TRES TIPOS DE MATERIALES QUE');
  GOTOXY(7,7);WRITE('SON: ALUMINIO, COBRE Y ACERO INOXIDABLE 316. ');
  GOTOXY(7,8);WRITE('GOTOXY(7,9);WRITE('SE MENCIONAN A CONTINUACION LAS CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA. ');
  GOTOXY(7,10);WRITE('GOTOXY(7,11);WRITE('1.- CADA TIPO DE MATERIAL, SE TIENE LA OPCION DE ELEGIR LA CONDI- ');
  GOTOXY(7,12);WRITE('CION DE OPERACION , EL NUM. DE SECCIONES DENTRO DEL INTERVALO');
  GOTOXY(7,13);WRITE('ESPECIFICADO DE LONGITUD Y EL TIPO DE METODO A EMPLEAR ( QUE');
  GOTOXY(7,14);WRITE('SON MINIMOS CUADRADOS, DIFERENCIAS DIVIDIDAS Y TRAZADOR CUBICO));
  GOTOXY(7,15);WRITE('2.- MUESTRA EN LA PANTALLA LOS DATOS (RESULTADOS) SIGUIENTES: DIS- ');
  GOTOXY(7,16);WRITE('TANCIA , TEMPERATURA , CALOR DISIPADO , CONDUCTIVIDAD TERMICA , ');
  GOTOXY(7,17);WRITE('COEFICIENTE CONVECTIVO , EMISIVIDAD , CALOR DISIPADO POR RADIA- ');
  GOTOXY(7,18);WRITE('CION, DENSIDAD , CAPACIDAD CALORIFICA , PERFIL DE TEMPERATURA. ');
  GOTOXY(7,19);WRITE('Y FUERZA IMPULSORA TERMICA. ( DONDE CADA COLUMNA CONTIENE SU');
  GOTOXY(7,20);WRITE('ANALISIS DIMENSIONAL ');
  GOTOXY(7,22);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
  TECLA:=READKEY;CLRSCR;MARGEN;GOTOXY(33,3);WRITE('INTRODUCCION');

```

```

GOTOXY(7,6);WRITE(3.- PRESENTA LA OPCION DE MOSTRAR LA GRAFICA DE TEMPERATURA EN FUN-');
GOTOXY(7,7);WRITE( ' CION DE LA DISTANCIA. '); GOTOXY(7,8);WRITE(4.- EN LA INTERPOLACION DE
DATOS SE EMPLEO UNA ECUACION LINEAL DE '); GOTOXY(7,9);WRITE( ' DOS VARIABLES QUE ESTAN
EN FUNCION DE Ts(FUENTE DE CALOR) PARA '); GOTOXY(7,10);WRITE( ' DETERMINAR LA
TEMPERATURA, TAMBIEN PARA DETERMINAR Ta SE UTI- '); GOTOXY(7,11);WRITE( ' LIZO UNA
ECUACION LINEAL QUE ESTA EN FUNCION DE Ts. '); GOTOXY(7,12);WRITE(5.- LA OPCION DE
INTERPOLAR, SE DEBE DAR EL VALOR DE Ts DENTRO DEL '); GOTOXY(7,13);WRITE( ' INTERVALO
ESPECIFICADO SINO SALE DEL PROGRAMA. '); GOTOXY(7,14);WRITE(6.- OPRIMA LA TECLA ENTER
CUANDO SE IMPRIMA CADA RENGLON DE LA TA- '); GOTOXY(7,15);WRITE( ' BLA DE RESULTADOS Y
TAMBIEN DE LA GRAFICA. '); GOTOXY(7,22);WRITE('OPRIMA CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR');
TECLA:=READKEY;CLRSCR;
END;

```

(\*\*\*\*\*EN ESTE BLOQUE SE CALCULAN SUS PROPIEDADES DE CADA MATERIAL\*\*\*\*\*)

PROCEDURE ACERO;

BEGIN

```

XP:=0.015;j:=0;
REPEAT
XT[j]:=XP;TF:=(1.8*T[j])+32;
TM:=(T[j]-Ta)/D;
KT[j]:=(9.514425908-(5.397448479E-4*TF))*1.73*0.860436;
HT[j]:=1.32*(EXP(0.25*LN(ABS(TM))))*0.860436;
QT[j]:=(SQRT(KT[j]*HT[j]*AREA*PERI))*TD;RED1:=HT[j]*PERI;RED2:=KT[j]*AREA;
RED3:=SQRT((RED1/RED2));PERFIL[j]:=XT[j]*RED3;FZA[j]:=TD*(EXP(-PERFIL[j]));
TR:=TF+459.67;T1:=EXP(4*LN(TR));
T3:=(1.8*Ta)+32;T4:=T3+459.67;T2:=EXP(4*LN(T4));
EM[j]:=0.244693877+(3.401360544E-5*TF);
QR[j]:=0.173E-8*3.0523E-3*0.252*EM[j]*(T1-T2);
DENT[j]:=(487.8753437+(1.833180568E-3*TF))*16.02826855;
CPT[j]:=(0.109688359+(4.582951421E-6*TF))*1;
j:=j+1; XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);

```

END;

PROCEDURE COBRE;

BEGIN

```

XP:=0.015;j:=0;
REPEAT
XT[j]:=XP;TF:=(1.8*T[j])+32;
TM:=(T[j]-Ta)/D;
KT[j]:=(225.2027654-(0.038228375*TF)+(2.00617284E-5*TF*TF))*1.73*0.860436;
HT[j]:=1.32*(EXP(0.25*LN(TM))))*0.860436;
QT[j]:=(SQRT(KT[j]*HT[j]*AREA*PERI))*TD;RED1:=HT[j]*PERI;RED2:=KT[j]*AREA;
RED3:=SQRT((RED1/RED2));PERFIL[j]:=XT[j]*RED3;FZA[j]:=TD*(EXP(-PERFIL[j]));
TR:=TF+459.67;T1:=EXP(4*LN(TR));
T3:=(1.8*Ta)+32;T4:=T3+459.67;T2:=EXP(4*LN(T4));
EM[j]:=0.57;
QR[j]:=0.173E-8*3.0523E-3*0.252*EM[j]*(T1-T2);
DENT[j]:=(554.8933612+(1.568217459E-3*TF))*16.02826855;
CPT[j]:=(0.163111111+(2.77777778E-5*TF))*1;
j:=j+1; XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);

```

END;

PROCEDURE ALUMIN;

BEGIN

```

XP:=0.015;j:=0;
REPEAT
XT[j]:=XP;TF:=(1.8*T[j])+32;
TM:=(T[j]-Ta)/D;
KT[j]:=(116.9375802+(5.679012346E-4*TF)+(4.320987654E-5*TF*TF))*1.73*0.860436;
HT[j]:=1.32*(EXP(0.25*LN(TM))))*0.860436;

```

```

QT[j]:=(SQRT(KT[j]*HT[j]*AREA*PERI))*TD;RED1:=HT[j]*PERI;RED2:=KT[j]*AREA;
RED3:=SQRT((RED1/RED2));PERFIL[j]:=XT[j]*RED3;FZA[j]:=TD*(EXP(-PERFIL[j]));
TR:=TF+459.67;T1:=EXP(4*LN(TR));
T3:=(1.8*Ta)+32;T4:=T3+459.67;T2:=EXP(4*LN(T4));
EM[j]:=0.026428571+(2.857142857E-5*TF);
QR[j]:=0.173E-8*3.0523E-3*0.252*EM[j]*(T1-T2);
DENT[j]:=(168.8125-(3.125E-3*TF))*16.02826855;
CPT[j]:=(0.368488888+(1.722222222E-4*TF))*1;
j:=j+1; XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
(***** DETERMINA EL TIPO DE CONDICION DE OPERACION *****)
PROCEDURE CONDICION;
BEGIN
  IF ELIJA2='D' THEN
    BEGIN
      LONG:=0.415; LONG1:=(LONG-0.015)/SEC;
      Ta:=16.8;Ts:=110;TD:=Ts-Ta;
    END;
  IF ELIJA2='E' THEN
    BEGIN
      LONG:=0.815; LONG1:=(LONG-0.015)/SEC;
      Ta:=19.9;Ts:=139;TD:=Ts-Ta;
    END;
  IF ELIJA2='F' THEN
    BEGIN
      CLRSCR;LONG:=0.415;LONG1:=(LONG-0.015)/SEC;MARGEN;
      GOTOXY(22,12);WRITE('ASIGNE EL VALOR DE Ts(°C):');READLN(Ts);
      Ta:=5.04137931+(0.106896551*Ts);TD:=Ts-Ta;
    END;
END;

(**EN ESTE BLOQUE SE DETERMINA LA TEMPERATURA POR CUALQUIER METODO POR USAR**)

PROCEDURE CALACE1;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    T[j]:=-21.0851+(46.1012*XP)-(21.9005*LN(XP));
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
  UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALACE2;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    S0:=71.5-(394*(XP-0.015))+(1465*(XP-0.015)*(XP-0.115));
    S1:=3783.333333*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
    S2:=7791.666665*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
    T[j]:=S0+S1+S2;
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
  UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALACE3;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
      BEGIN
        T[j]:=71.5-(467.497*(XP-0.015))+(7423.174*(XP-0.015)*(XP-0.015));

```

```

END;
IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
BEGIN
T[j]:=32.1-(246.304*(XP-0.115))+(2227.175*(EXP(2*LN(XP-0.115))))-(7818.801*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
END;
IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
BEGIN
T[j]:=22.0-(34.467*(XP-0.215))-(118.7*(XP-0.215)*(XP-0.215))+(1145.022*(XP-0.215)*(XP-0.215)*(XP-0.215));
END;
IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=18.5-(24.064*(XP-0.315))+(224.841*(EXP(2*LN(XP-0.315))))-(749.395*(EXP(3*LN(XP-0.315))));
END;
IF (XP=0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=17.6;
END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALACE4;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
IF (XP>=0.015) AND (XP<0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=16.38654673+(44.20188322*XP)-(21.19756433*LN(XP));
END;
IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
BEGIN
T[j]:=20.6-(3*(XP-0.415));
END;
IF (XP>=0.615) AND (XP<=0.815) THEN
BEGIN
T[j]:=20.0;
END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALACE5;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
IF (XP>=0.015) AND (XP<0.415) THEN
BEGIN
S4:= 73.3-(238*(XP-0.015))+(531.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
S5:= -791.6666667*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
S6:= 888.0208334*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);
T[j]:=S4+S5+S6;
END;
IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
BEGIN
T[j]:=20.6-(3*(XP-0.415));
END;
IF (XP>=0.615) AND (XP<=0.815) THEN
BEGIN
T[j]:=20.0;
END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);

```

```

END;
PROCEDURE CALACE6;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
      BEGIN
        T[j]:= 73.3-(293.648*(XP-0.015))+(1384.565*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
        END;
      IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
        BEGIN
          T[j]:= 25.7-(31.153*(XP-0.215))+(140.653*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
          END;
        IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
          BEGIN
            T[j]:= 20.6-(3*(XP-0.415));
            END;
          IF (XP>=0.615) AND (XP<=0.815) THEN
            BEGIN
              T[j]:=20;
              END;
            j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
            UNTIL(j>SEC);
  END;

```

```

PROCEDURE CALACE7;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    TAI[j]:=21.0851+(46.1012*XP)-(21.9005*LN(XP));
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.415) THEN
      BEGIN
        TBI[j]:=16.38654673+(44.20188322*XP)-(21.19756433*LN(XP));
        END;
      IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
        BEGIN
          TBI[j]:=20.6-(3*(XP-0.415));
          END;
        IF (XP>=0.615) AND (XP<=0.815) THEN
          BEGIN
            TBI[j]:=20.0;
            END;
          BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
          AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
          T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
          j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
          UNTIL(j>SEC);
  END;

```

```

PROCEDURE CALACE8;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    S0:=71.5-(394*(XP-0.015))+(1465*(XP-0.015)*(XP-0.115));
    S1:=-3783.333333*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
    S2:=7791.666665*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
    TAI[j]:=S0+S1+S2;
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.415) THEN
      BEGIN
        S4:= 73.3-(238*(XP-0.015))+(531.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
        S5:= -791.6666667*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
        S6:= 888.0208334*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);

```

```

    TBI[j]:=S4+S5+S6;
    END;
    IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
    BEGIN
        TBI[j]:=20.6-(3*(XP-0.415));
    END;
    IF (XP>=0.615) AND (XP<=0.815) THEN
    BEGIN
        TBI[j]:=20.0;
    END;
    BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
    AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
    T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
    UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALACE9;
BEGIN
    j:=0;XP:=0.015;
    REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
    BEGIN
        TAI[j]:=71.5-(467.497*(XP-0.015))+(7423.174*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
    END;
    IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
    BEGIN
        TAI[j]:=32.1-(246.304*(XP-0.115))+(2227.175*(EXP(2*LN(XP-0.115))))-(7818.801*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
    END;
    IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
    BEGIN
        TAI[j]:=22.0-(34.467*(XP-0.215))-(118.7*(XP-0.215)*(XP-0.215))+(1145.022*(XP-0.215)*(XP-0.215)*(XP-0.215));
    END;
    IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
    BEGIN
        TAI[j]:=18.5-(24.064*(XP-0.315))+(224.841*(XP-0.315)*(XP-0.315))-(749.395*(XP-0.315)*(XP-0.315)*(XP-0.315));
    END;
    IF (XP=0.415) THEN
    BEGIN
        TAI[j]:=17.6;
    END;
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
    BEGIN
        TBI[j]:=73.3-(293.648*(XP-0.015))+(1384.565*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
    END;
    IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
    BEGIN
        TBI[j]:=25.7-(31.153*(XP-0.215))+(140.653*(XP-0.215)*(XP-0.215)*(XP-0.215));
    END;
    IF (XP=0.415) THEN
    BEGIN
        TBI[j]:=20.6;
    END;
    BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
    AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
    T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
    UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB1;
BEGIN

```

```

j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
T[j]:=304.6368-(198.2601*XP)-(200.3187*EXP(-XP*XP));
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB2;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
S0:= 101.2-(159*(XP-0.015));
S1:= 1216.666667*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
S2:= -5291.666668*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
T[j]:=S0+S1+S2;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB3;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
BEGIN
T[j]:= 101.2-(154.173*(XP-0.015))-(487.505*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
END;
IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
BEGIN
T[j]:= 85.3-(168.507*(XP-0.115))-(146.266*(EXP(2*LN(XP-0.115))))+(2437.526*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
END;
IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
BEGIN
T[j]:=69.4-(125.077*(XP-0.215))+(585.065*(EXP(2*LN(XP-0.215))))-(1962.404*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
END;
IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=60.8-(66.751*(XP-0.315))-(3.715*(XP-0.315)*(XP-0.315))+(12.382*(XP-0.315)*(XP-0.315)*(XP-0.315));
END;
IF (XP=0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=54.1;
END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB4;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
T[j]:= 356.8938-(227.5669*XP)-(244.7806*EXP(-XP*XP));
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB5;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
S4:=109.3-(182*(XP-0.015))+(261.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
S5:= -285.4166667*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
S6:= 289.0625*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);
T[j]:=S4+S5+S6;

```

```

j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB6;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
BEGIN
T[j]:=109.3-(207.963*(XP-0.015))+(645.971*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
END;
IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
BEGIN
T[j]:=72.9-(130.209*(XP-0.215))+(387.505*(EXP(2*LN(XP-0.215))))-(616.833*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
END;
IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN
BEGIN
T[j]:=57.4-(49.309*(XP-0.415))+(17.479*(XP-0.415)*(XP-0.415))+(107.306*(XP-0.415)*(XP-0.415)*(XP-0.415));
END;
IF (XP>=0.615) AND (XP<0.815) THEN
BEGIN
T[j]:=49.1-(29.386*(XP-0.615))+(81.85*(XP-0.615)*(XP-0.615))-(136.444*(XP-0.615)*(XP-0.615)*(XP-0.615));
END;
IF (XP=0.815) THEN
BEGIN
T[j]:=45.4;
END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB7;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
TAI[j]:=304.6368-(198.2601*XP)-(200.3187*EXP(-XP*XP));
TBI[j]:=356.8938-(227.5669*XP)-(244.7806*EXP(-XP*XP));
BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALCOB8;
BEGIN
j:=0;XP:=0.015;
REPEAT
S0:=101.2-(159*(XP-0.015));
S1:=1216.666667*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
S2:=-5291.666668*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
TAI[j]:=S0+S1+S2;
S4:=109.3-(182*(XP-0.015))+(261.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
S5:=-285.4166667*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
S6:=289.0625*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);
TBI[j]:=S4+S5+S6;
BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;

```

```

PROCEDURE CALCOB9;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
      BEGIN
        TAI[j]:=101.2-(154.173*(XP-0.015))-(487.505*(XP-0.015)*(XP-0.015));
        END;
      IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
        BEGIN
          TAI[j]:=85.3-(168.507*(XP-0.115))-(146.266*(EXP(2*LN(XP-0.115))))+(2437.526*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
          END;
        IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
          BEGIN
            TAI[j]:=69.4-(125.077*(XP-0.215))+(585.065*(EXP(2*LN(XP-0.215))))-(1962.404*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
            END;
          IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
            BEGIN
              TAI[j]:=60.8-(66.751*(XP-0.315))-(3.715*(XP-0.315)*(XP-0.315))+(12.382*(XP-0.315)*(XP-0.315)*(XP-0.315));
              END;
            IF (XP=0.415) THEN
              BEGIN
                TAI[j]:=54.1;
                END;
            IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
              BEGIN
                TBI[j]:=109.3-(207.963*(XP-0.015))+(645.971*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
                END;
            IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
              BEGIN
                TBI[j]:=-72.9-(130.209*(XP-0.215))+(387.505*(XP-0.215)*(XP-0.215))-(616.833*(XP-0.215)*(XP-0.215)*(XP-0.215));
                END;
            IF (XP=0.415) THEN
              BEGIN
                TBI[j]:=57.4;
                END;
            BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
            AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
            T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
            j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
            UNTIL(j>SEC);
          END;
        PROCEDURE CALALU1;
        BEGIN
          j:=0;XP:=0.015;
          REPEAT
            T[j]:=493.2490-(290.2331*XP)-(402.5005*EXP(-XP*XP));
            j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
            UNTIL(j>SEC);
          END;
        PROCEDURE CALALU2;
        BEGIN
          j:=0;XP:=0.015;
          REPEAT
            S0:=86.4-(222*(XP-0.015))+(110*(XP-0.015)*(XP-0.115));
            S1:=1900*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
            S2:=-9166.666668*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
            T[j]:=S0+S1+S2;
            j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
            UNTIL(j>SEC);

```

```

END;
PROCEDURE CALALU3;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
      BEGIN
        T[j]:= 86.4-(218.746*(XP-0.015))-(328.607*(XP-0.015)*(XP-0.015));
        END;
      IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
        BEGIN
          T[j]:= 64.2-(228.188*(XP-0.115))-(98.592*(EXP(2*LN(XP-0.115))))+(3842.812*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
          END;
        IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
          BEGIN
            T[j]:= 44.2-(133.371*(XP-0.215))+(1054.367*(EXP(2*LN(XP-0.215))))-(3642.606*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
            END;
          IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
            BEGIN
              T[j]:=37.8-(31.419*(XP-0.315))-(38.524*(XP-0.315)*(XP-0.315))+(128.4*(XP-0.315)*(XP-0.315)*(XP-0.315));
              END;
            IF (XP=0.415) THEN
              BEGIN
                T[j]:=34.4;
                END;
              j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
              UNTIL(j>SEC);
            END;
          PROCEDURE CALALU4;
          BEGIN
            j:=0;XP:=0.015;
            REPEAT
              T[j]:=299.6623-(200.9447*XP)-(210.0676*EXP(-XP*XP));
              j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
              UNTIL(j>SEC);
            END;
          PROCEDURE CALALU5;
          BEGIN
            j:=0;XP:=0.015;
            REPEAT
              S4:= 86.6-(151*(XP-0.015))+(156.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
              S5:= -27.08333333*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
              S6:= -197.9166668*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);
              T[j]:=S4+S5+S6;
              j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
              UNTIL(j>SEC);
            END;
          PROCEDURE CALALU6;
          BEGIN
            j:=0;XP:=0.015;
            REPEAT
              IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
                BEGIN
                  T[j]:=86.6-(164.013*(XP-0.015))+(323.781*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
                  END;
                IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
                  BEGIN
                    T[j]:=56.4-(125.091*(XP-0.215))+(194.230*(EXP(2*LN(XP-0.215))))-(56.096*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
                    END;
                  IF (XP>=0.415) AND (XP<0.615) THEN

```

```

BEGIN
  T[j]:=38.7-(54.055*(XP-0.415))+(160.579*(EXP(2*LN(XP-0.415)))-(262.769*(EXP(3*LN(XP-0.415))));
END;
IF (XP>=0.615) AND (XP<0.815) THEN
  BEGIN
    T[j]:=32.2-(21.392*(XP-0.615))+(2.949*(EXP(2*LN(XP-0.615)))-(4.916*(EXP(3*LN(XP-0.615))));
  END;
IF (XP=0.815) THEN
  BEGIN
    T[j]:=28;
  END;
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALALU7;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    TAI[j]:=493.2490-(290.2331*XP)-(402.5005*EXP(-XP*XP));
    TBI[j]:=299.6623-(200.9447*XP)-(210.0676*EXP(-XP*XP));
    BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
    AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
    T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
  UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALALU8;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    S0:= 86.4-(222*(XP-0.015))+(110*(XP-0.015)*(XP-0.115));
    S1:= 1900*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215);
    S2:= -9166.666668*(XP-0.015)*(XP-0.115)*(XP-0.215)*(XP-0.315);
    TAI[j]:=S0+S1+S2;
    S4:= 86.6-(151*(XP-0.015))+(156.25*(XP-0.015)*(XP-0.215));
    S5:= -27.08333333*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415);
    S6:= -197.9166668*(XP-0.015)*(XP-0.215)*(XP-0.415)*(XP-0.615);
    TBI[j]:=S4+S5+S6;
    BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
    AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
    T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
    j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
  UNTIL(j>SEC);
END;
PROCEDURE CALALU9;
BEGIN
  j:=0;XP:=0.015;
  REPEAT
    IF (XP>=0.015) AND (XP<0.115) THEN
      BEGIN
        TAI[j]:=86.4-(218.746*(XP-0.015))-(328.607*(XP-0.015)*(XP-0.015));
      END;
    IF (XP>=0.115) AND (XP<0.215) THEN
      BEGIN
        TAI[j]:=64.2-(228.188*(XP-0.115))-(98.592*(EXP(2*LN(XP-0.115)))+(3842.812*(EXP(3*LN(XP-0.115))));
      END;
    IF (XP>=0.215) AND (XP<0.315) THEN
      BEGIN
        TAI[j]:=44.2-(133.371*(XP-0.215))+(1054.367*(EXP(2*LN(XP-0.215)))-(3642.606*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
      END;

```

```

IF (XP>=0.315) AND (XP<0.415) THEN
  BEGIN
    TAI[j]:=37.8-(31.419*(XP-0.315))-(38.524*(EXP(2*LN(XP-0.315))))+(128.4*(EXP(3*LN(XP-0.315))));
  END;
IF (XP=0.415) THEN
  BEGIN
    TAI[j]:=34.4;
  END;
IF (XP>=0.015) AND (XP<0.215) THEN
  BEGIN
    TBI[j]:=86.6-(164.013*(XP-0.015))+(323.781*(XP-0.015)*(XP-0.015)*(XP-0.015));
  END;
IF (XP>=0.215) AND (XP<0.415) THEN
  BEGIN
    TBI[j]:=56.4-(125.091*(XP-0.215))+(194.230*(EXP(2*LN(XP-0.215)))-(56.096*(EXP(3*LN(XP-0.215))));
  END;
IF (XP=0.415) THEN
  BEGIN
    TBI[j]:=38.7;
  END;
BB[j]:=(TBI[j]-TAI[j])/29;
AA[j]:=TAI[j]-(110*BB[j]);
T[j]:=AA[j]+(BB[j]*Ts);
j:=j+1;XP:=XP+LONG1;
UNTIL(j>SEC);
END;
(***** AQUÍ COMIENZA EL PROGRAMA PRINCIPAL *****)
BEGIN
  REPEAT
    TEXTMODE(3);TEXTBACKGROUND(5);TEXTCOLOR(14);CLRSCR;MARGEN;MENU;
    GOTOXY(25,13);WRITE('ELIJA UNA OPCIÓN: ');READLN(ELIJA);
    CASE ELIJA OF
      1:BEGIN
        INTRODUCCION;
        END;
      2:BEGIN
        PRESENTA;
        END;
      3:BEGIN
        CLRSCR; MARGEN;
        GOTOXY(28,5);WRITE('LISTA DE SÓLIDOS METÁLICOS');
        GOTOXY(28,8);WRITE('A) ACERO INOXIDABLE 316');
        GOTOXY(28,9);WRITE('B) COBRE');
        GOTOXY(28,10);WRITE('C) ALUMINIO');
        GOTOXY(28,12);WRITE('ELIJA EL METAL DESEADO:');READLN(ELIJA1);
        CLRSCR;AREA:=(PI*D*D)/4;PERI:=PI*D;
        CASE ELIJA1 OF
          'A':BEGIN
            MARGEN;TEXTO;
            GOTOXY(26,12);WRITE('ESCOJA LA CONDICIÓN DESEADA:');READLN(ELIJA2);
            CASE ELIJA2 OF
              'D':BEGIN
                CLRSCR;MARGEN;TEXTO1;
                GOTOXY(20,12);WRITE('ESCOJA EL MÉTODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
                CASE ELIJA3 OF
                  'G':BEGIN
                    CONDICION;CALACE1;
                    END;
                  'H':BEGIN
                    CONDICION;CALACE2;

```

```

        END;
    T:BEGIN
        CONDICION;CALACE3;
    END;
END;
E:BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
    CASE ELIJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;CALACE4;
        END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;CALACE5;
        END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;CALACE6;
        END;
    END;
END;
F:BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
    CASE ELIJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALACE7;
        END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALACE8;
        END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALACE9;
        END;
    END;
END;
END;
ACERO;
RESULTA;
CLRSCR;MARGEN;
GOTOXY(25,12);WRITE('QUIERES VER LA GRAFICA (S/N):');READLN(VER);
IF VER='S' THEN
    BEGIN
        GRAFICA;
    END;
END;
B:BEGIN
    MARGEN;TEXT0;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA LA CONDICION DESEADA:');READLN(ELIJA2);
    CASE ELIJA2 OF
        'D':BEGIN
            CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
            GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
            CASE ELIJA3 OF
                'G':BEGIN
                    CONDICION;CALCOB1;
                END;
                'H':BEGIN
                    CONDICION;CALCOB2;
                END;
            END;
        END;
    END;
END;

```

```

        T:BEGIN
            CONDICION;CALCOB3;
        END;
    END;
END;
'E:BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
    CASE ELIJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;CALCOB4;
        END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;CALCOB5;
        END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;CALCOB6;
        END;
    END;
END;
'F':BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
    CASE ELIJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALCOB7;
        END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALCOB8;
        END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALCOB9;
        END;
    END;
END;
END;
COBRE;
RESULTA;
CLRSCR;MARGEN;
GOTOXY(25,12);WRITE('QUIERES VER LA GRAFICA (S/N):');READLN(VER);
IF VER='S' THEN
    BEGIN
        GRAFICA;
    END;
END;
'C':BEGIN
    MARGEN;TEXT0;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA LA CONDICION DESEADA:');READLN(ELIJA2);
    CASE ELIJA2 OF
        'D':BEGIN
            CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
            GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELIJA3);
            CASE ELIJA3 OF
                'G':BEGIN
                    CONDICION;CALALU1;
                END;
                'H':BEGIN
                    CONDICION;CALALU2;
                END;
                'T':BEGIN

```

```

        CONDICION;CALALU3;
    END;
END;
END;
E:BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;
    GOTOXY(25,12);WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELJA3);
    CASE ELJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;CALALU4;
            END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;CALALU5;
            END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;CALALU6;
            END;
    END;
END;
F:BEGIN
    CLRSCR;MARGEN;TEXT01;GOTOXY(25,12);
    WRITE('ESCOJA EL METODO DESEADO:');READLN(ELJA3);
    CASE ELJA3 OF
        'G':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALALU7;
            END;
        'H':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALALU8;
            END;
        'T':BEGIN
            CONDICION;IF (Ts<=110) THEN EXIT;IF (Ts>=139) THEN EXIT;CALALU9;
            END;
    END;
END;
END;
ALUMIN;
RESULTA;
CLRSCR;MARGEN;
GOTOXY(25,12);WRITE('QUIERES VER LA GRAFICA (S/N):');READLN(VER);
IF VER='S' THEN
    BEGIN
        GRAFICA;
    END;
END;
END;
END;
4 : BEGIN
    END;
END;
UNTIL(ELJA=4);
END.
(***** CULMINACION DEL PROGRAMA PRINCIPAL *****)

```

## CUADRO DE ECUACIONES MATEMATICAS EMPLEADAS PARA DETERMINAR LAS SIGUIENTES VARIABLES:

### ECUACIONES SIMPLIFICADAS PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION NATURAL DEL AIRE (Mc Adams)

En el caso especial de la convección desde un cuerpo caliente al aire, las correlaciones de diseño pueden ser simplificadas a las relaciones siguientes:

| GEOMETRIA                 | TIPO DE FLUJO | FORMULA<br>(W/m <sup>2</sup> *°C)                  |
|---------------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| CILINDROS<br>HORIZONTALES | LAMINAR       | $h = 1.32 \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4}$ |
|                           | TURBULENTO    | $h = 1.24 (\Delta T)^{1/3}$                        |

Estas correlaciones, para el caso del aire y presiones bajas y moderadas se corrigen multiplicando las ecuaciones por el factor siguiente:

$$\begin{array}{ll} P^{1/2} & \text{para flujo laminar} \\ P^{2/3} & \text{para flujo turbulento} \end{array}$$

donde P esta dado en atmósferas.

### ECUACION DE FOURIER

$$Q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x=0} \quad (3.8)$$

### ECUACION DE NEWTON

$$Q = \int_0^x Ph(T - T_a)dx \quad (3.9)$$

### ECUACION DE STEFAN BOLTZMANN

$$Q / A = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.33)$$

### ECUACION DE PERFIL DE TEMPERATURAS DE LA BARRA

$$\frac{T - T_a}{T_s - T_a} = e^{-x\sqrt{m}} = e^{-x\sqrt{h/a}} \quad (3.7)$$

# ECUACION DE CALOR DISIPADO POR LA BARRA

$$Q = (-kA)(T_s - T_a) \left( -\sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad \text{ó} \quad Q = (kA)(T_s - T_a) \left( \sqrt{\frac{\beta}{\alpha}} \right) \quad (3.10)$$

## ECUACION RENDIMIENTO DE LA BARRA

$$\eta = \frac{\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \left[ 1 - e^{-x\sqrt{\frac{\beta}{\alpha}}} \right]}{x} \quad (3.15)$$

Las ecuaciones que se presentan a continuación fueron determinadas por el método de mínimos cuadrados

DENSIDAD (lb/ft<sup>3</sup>)  $\rho=(a+bT)$

|   | ALUMINIO  | COBRE          | ACERO INOXIDABLE<br>316 |
|---|-----------|----------------|-------------------------|
| a | 168.8125  | 554.8933612    | 487.8753437             |
| b | -3.125E-3 | 1.568217459E-3 | 1.833180568E-3          |

CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/lb\*°F)  $C_p=(a+bT)$

|   | ALUMINIO       | COBRE          | ACERO INOXIDABLE<br>316 |
|---|----------------|----------------|-------------------------|
| a | 0.368488888    | 0.163111111    | 0.109688359             |
| b | 1.722222222E-4 | 2.777777778E-5 | 4.58295142E-6           |

CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/hr\*ft\*°F)  $k=(a+bT+cT^2)$

|   | ALUMINIO       | COBRE         | ACERO INOXIDABLE<br>316 |
|---|----------------|---------------|-------------------------|
| a | 116.9375802    | 225.2027654   | 9.514425908             |
| b | 5.679012346E-4 | -0.038228375  | -5.397448479E-4         |
| c | 4.320987654E-5 | 2.00617284E-5 | 0                       |

EMISIVIDAD (adimensional)  $\varepsilon=(a+bT)$

|   | ALUMINIO       | COBRE | ACERO INOXIDABLE<br>316 |
|---|----------------|-------|-------------------------|
| a | 0.026428571    | 0.57  | 0.244693877             |
| b | 2.857142857E-5 | 0     | 3.401360544E-5          |

## **CAPITULO VI**

## **CONCLUSIONES**

## **6.1.- CONCLUSIONES**

1.- LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL Y DEL PROGRAMA REALIZADO, DONDE SE EMPLEARON LOS TRES DIFERENTES METALES SOLIDOS, SE DETERMINO QUE EL COBRE SUPERA A LOS OTROS DOS METALES(QUE SON EL ALUMINIO Y EL ACERO INOXIDABLE 316), POR LAS SIGUIENTES RAZONES:

\*CUANDO AUMENTA LA TEMPERATURA SE OBSERVO QUE LA DENSIDAD PARA EL ALUMINIO DISMINUYE (SE EXPANDE) Y SUCEDE LO CONTRARIO PARA EL COBRE Y EL ACERO.

\*CUANDO AUMENTA LA TEMPERATURA SE OBSERVO QUE LA CAPACIDAD CALORIFICA AUMENTA PARA EL COBRE Y EL ALUMINIO, MIENTRAS QUE PARA EL ACERO ES CONSTANTE.

\*CUANDO AUMENTA LA TEMPERATURA SE OBSERVO QUE EL COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TERMICA AUMENTA PARA EL ALUMINIO, DISMINUYE PARA EL COBRE (PERO SU VALOR SIGUE SIENDO MAYOR CON RESPECTO AL ACERO Y EL ALUMINIO) Y ES CONSTANTE PARA EL ACERO.

\*EL COBRE AL PRESENTAR UNA FUERZA IMPULSORA SUPERIOR A LAS DEMAS, NOS MUESTRA QUE SERA MAYOR LA VELOCIDAD DE TRANSMISION DE CALOR POR UNIDAD DE AREA (SE DESPLAZARA MAS FACILMENTE).

\*AL TENER UN MEJOR DESARROLLO EL COBRE EN LOS PERFILES DE TEMPERATURA NOS DICE QUE LA DISTANCIA DE PENETRACION (DADO EN PORCENTAJE) A LO LARGO DE LA BARRA SERA MAYOR, COMO TAMBIEN SU APRECIACION EN LA VARIACION DE TEMPERATURA).

\*EL CUERPO MAS RADIANTE ES EL COBRE QUE SUPERA A LOS OTROS DOS METALES.

2.- SE COMPROBO QUE LA ECUACION DIFERENCIAL Y LAS CONDICIONES DE CONTORNO ESTABLECIDAS PARA EL MODELO SON VALIDAS PARA EL TRABAJO EXPERIMENTAL Y DEL PROGRAMA A PARTIR DE LOS VALORES OBTENIDOS.

3.- LOS TRES METODOS UTILIZADOS PARA DETERMINAR LA DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS SOBRESALE EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS POR LOS SIGUIENTES DETALLES:

a) PROPORCIONA UNA FUNCION APROXIMANTE CON LOS DATOS EXPERIMENTALES.

b) NO TIENE MUCHOS PROBLEMAS DE FLUCTUACION EN EL INTERVALO DE CADA PAR DE DATOS EXPERIMENTALES.

4.- EL PROGRAMA NOS OTORGA UNA VENTAJA EN LO SIGUIENTE: EN DETERMINAR LA TEMPERATURA EN CUALQUIER POSICION DENTRO DEL RANGO ESPECIFICADO Y DE LAS CONDICIONES DE OPERACION SIN TENER LA NECESIDAD DE REALIZAR NUEVAMENTE EL EXPERIMENTO.

5.- SE PROPONE COMO UN PROYECTO A LARGO O CORTO PLAZO PARA EL AREA DE INVESTIGACION CON EL FIN DE COMPLEMENTAR ESTOS ANALISIS, CON OTROS MATERIALES O LA UTILIZACION DE OTRAS TECNICAS DE CALCULO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA MISMA.

# GLOSARIO

## LISTA DE TERMINOS

Prensastopa. - Es un junta consistente en un manguito o cámara anular que se llena de estopa, algodón y otras fibras embebidas de grasas entorno de un árbol, vástago, etc., para evitar los escapes del vapor en los cilindros y otros órganos de las máquinas de vapor.

Registrador. - Son aquellos instrumentos que inscriben en un papel los resultados de cálculos o medidas, la hora precisa en que ocurre un fenómeno, la evolución de alguna magnitud en función del tiempo, etc.

Flujo. - La velocidad a la cual un material se transporta a través de una línea de proceso.

Isotrópico. - Se dice de los cuerpos y medios cuyas propiedades físicas se manifiestan igualmente en todas las direcciones.

Barreno. - Agujero hecho con la barrena (la barrena para metales se llaman con más propiedad brocas).

Fluido. - Se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo cortante.

Calor. - Forma de energía perceptible por las sensaciones que engendran en nosotros las acciones de los cuerpos calientes y fríos.

Estado estacionario. - Es cuando la temperatura y sus propiedades del material, en un punto dado no varía con el tiempo y están solamente en función de la posición.

Emisividad. - Es la razón del poder emisorio total de una superficie sobre el poder emisorio total de una superficie radiante ideal a la misma temperatura.

Calor específico. - Es la cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa.

Viscosidad. - Propiedad de los fluidos en los cuales el roce de unas moléculas con otras, opone una resistencia al movimiento uniforme de su masa.

Flujo laminar. - Es cuando a velocidades bajas los fluidos tienden a moverse sin mezcla lateral, y las capas contiguas se deslizan unas sobre otras, como las cartas de una baraja. No existen corrientes transversales ni torbellinos.

Flujo turbulento. - Es cuando a velocidades superiores aparece la turbulencia, formándose torbellinos, que dan lugar a mezcla lateral.

Niple. - Es un tubo de acero de acoplamiento recalcado con vástago rayado de conexión o ranurado y con rosca NPT en el lado macho (NPT = rosca americana estándar para tubo).

## BIBLIOGRAFIA

## **LISTA DE LIBROS:**

PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR  
DONALD Q. KERN  
EDITORIAL CECSA

TRANSFERENCIA DE MOMENTO, CALOR Y MASA  
JAMES R. WELTY  
EDITORIAL LIMUSA

OPERACIONES BASICAS DE INGENIERIA QUIMICA  
WARREN L. McCABE  
EDITORIAL MCGRAW-HILL  
CUARTA EDICION

CONDUCTION OF HEAT IN SOLIDS  
H.S. CARSLAW AND J.C. JAEGER  
CLARENDON QUESS-OXFORD (1986)  
SEGUNDA EDICION

HANDBOOK OF HEAT TRANSFER  
ROHSENOW AND HARTNETT  
EDITORIAL Mc GRAW-HILL

HEAT TRANSMISSION  
W.H. Mc ADAMS  
EDITORIAL Mc GRAW-HILL  
TERCERA EDICION

FENOMENOS DE TRANSPORTE  
R.B. BIRD, W.E. STEWART, E.N. LIGHTFOOT  
EDITORIAL REPLA

TRANSFERENCIA DE CALOR  
B.V. KARLEKAR, R.M. DESMOND  
EDITORIAL INTERAMERICANA  
SEGUNDA EDICION

TRANSFERENCIA DE CALOR  
J.P. HOLMAN  
EDITORIAL CECSA

APPLIED MATHEMATICS IN CHEMICAL ENGINEERING  
HAROLD S. MICKLEY, THOMAS K. SHERWOOD, CHARLES E. REED  
EDITORIAL Mc GRAW-HILL

PRINCIPLES OF UNIT OPERATIONS  
ALA S. FOUST, LEONARD A. WENZEL, CURTIS W. CLUMP  
LOUIS MAUS, L. BRYCE ANDERSEN.  
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING LEHIGH UNIVERSITY  
BETHLEHEM, PENNSYLVANIA.  
SEGUNDA EDICION

ANALISIS NUMERICO  
RICHARD L. BURDEN  
EDITORIAL IBEROAMERICA

ANALISIS NUMERICO  
W. ALLEN SMITH  
PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.  
(1988)

INTRODUCCION A LOS METODOS NUMERICOS CON PASCAL  
ATKINSON HARLEY  
ADDISON-WESLEY IBEROAMERICANA

METODOS NUMERICOS APLICADOS CON SOFTWARE  
SHOICHIRO NAKAMURA  
PRENTICE-HALL

# APENDICE A

## SIMBOLOGIA

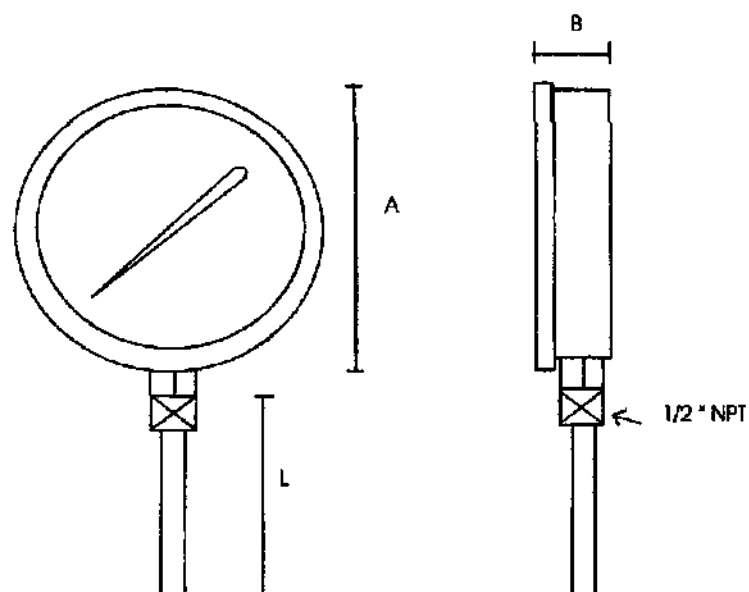
### SIMBOLO SIGNIFICADO UNIDADES CONSISTENTES METRICAS Y DE INGENIERIA

|                |                                              |                                                                                          |
|----------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Q              | Flujo de calor                               | Btu/h, Kcal/h                                                                            |
| C <sub>p</sub> | Calor específico                             | Btu/(lb)(°F), cal/(gr)(°C)                                                               |
| ρ              | Densidad                                     | lb/ft <sup>3</sup> , gr/cm <sup>3</sup>                                                  |
| k              | Conductividad<br>térmica                     | Btu/(h)(ft)(°F), cal/(seg)(cm)(°C)                                                       |
| α              | Difusividad<br>térmica                       | ft <sup>2</sup> /h, cm <sup>2</sup> /seg                                                 |
| θ              | Tiempo                                       | h, seg                                                                                   |
| L              | Longitud                                     | ft, cm, m, mm                                                                            |
| A              | Area                                         | ft <sup>2</sup> , cm <sup>2</sup> , m <sup>2</sup> , mm <sup>2</sup> , pulg <sup>2</sup> |
| T              | Temperatura                                  | °F, °C                                                                                   |
| μ              | Viscosidad                                   | lb/(ft)(h), gr/(cm)(seg)                                                                 |
| D              | Diámetro                                     | m, mm, ft, cm, pulg                                                                      |
| x              | Distancia axial                              | ft, m, cm, mm, pulg                                                                      |
| P              | Perímetro                                    | ft, m, cm, mm, pulg                                                                      |
| η              | Rendimiento                                  | adimensional                                                                             |
| I              | Intensidad de<br>radiación                   | Btu/(h)(ft <sup>2</sup> )                                                                |
| R              | Resistencia<br>térmica                       | (h)(ft <sup>2</sup> )(°F)/Btu                                                            |
| P              | Presión                                      | Kgf/cm <sup>2</sup> , lb/ft <sup>2</sup>                                                 |
| π              | pi                                           | 3.1416                                                                                   |
| φ, ϕ           | Función                                      |                                                                                          |
| r              | Radio                                        | m, mm, ft, pulg, cm                                                                      |
| ε              | Emisividad                                   | adimensional                                                                             |
| h              | Coefficiente de<br>transferencia de<br>calor | Btu/(h)(ft <sup>2</sup> )(°F), W/m <sup>2</sup> ·°C                                      |
| σ              | Cte. de Stefan<br>Boltzmann                  | Btu/(h)(ft <sup>2</sup> )(°R)                                                            |
| C              | Ctes. de la ley<br>de Planck                 |                                                                                          |
| λ              | Longitud de onda                             | micrones                                                                                 |
| F <sub>A</sub> | Factor geométrico                            | adimensional                                                                             |
| F <sub>ε</sub> | Factor de emisividad                         | adimensional                                                                             |
| β              |                                              | 1/h, 1/seg                                                                               |
| Re             | Número de Reynolds                           | adimensional                                                                             |
| Fo             | Número de Fourier                            | adimensional                                                                             |
| Gr             | Número de Grashof                            | adimensional                                                                             |
| Nu             | Número de Nusselt                            | adimensional                                                                             |
| Pe             | Número de Peclet                             | adimensional                                                                             |
| Pr             | Número de Prandtl                            | adimensional                                                                             |

#### Subíndices

|   |                   |
|---|-------------------|
| b | Cuerpo negro      |
| 1 | Fuente            |
| 2 | Receptor          |
| a | Medio ambiente    |
| s | Fuente de calor   |
| o | Exterior del tubo |

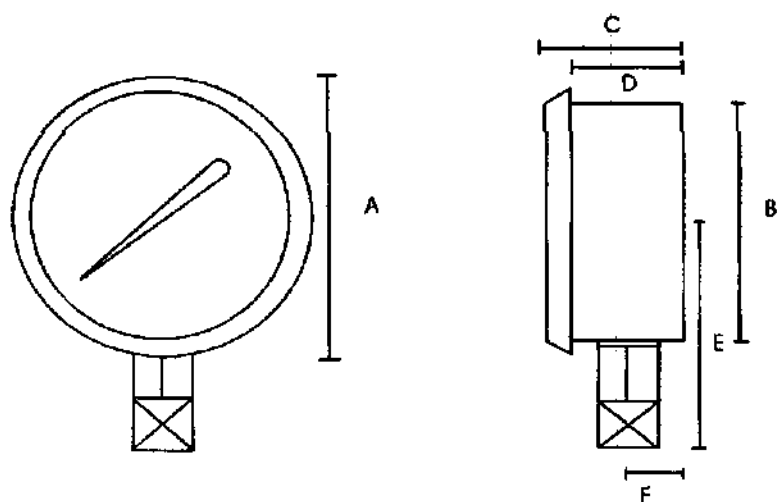
## APENDICE B



A=83.3  
B=19  
L=63.5

| TERMOMERO INMEXICO               |               |
|----------------------------------|---------------|
| DISEÑO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |               |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |               |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |               |
| FECHA: ENERO 1996                | ACOTACION: mm |

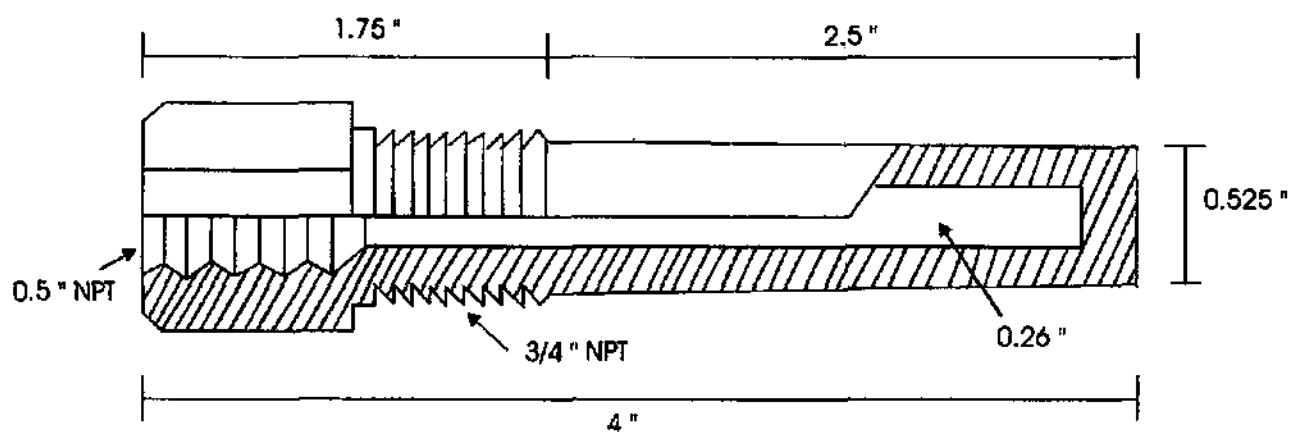
FIG. 3.2



A=70  
B=62  
C=33  
D=26  
E=59  
F=11

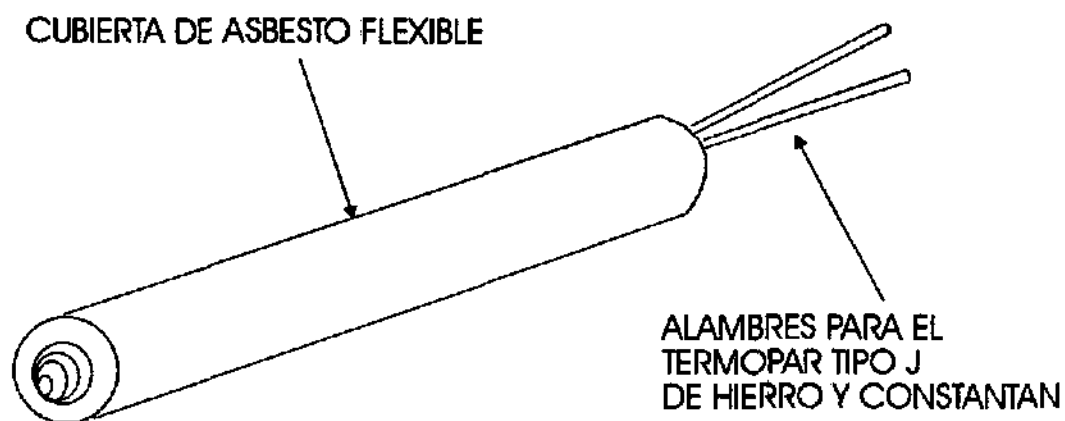
| MANOMERO                         |               |
|----------------------------------|---------------|
| DISEÑO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |               |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |               |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |               |
| FECHA: ENERO 1996                | ACOTACION: mm |

FIG. 3.3



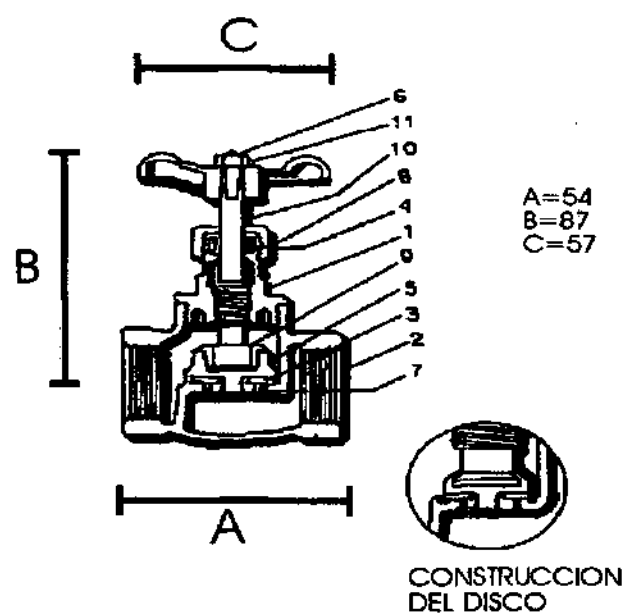
| TERMOPORO                        |                  |
|----------------------------------|------------------|
| DISEÑO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |                  |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |                  |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |                  |
| FECHA: ENERO 1996                | ACOTACION: pulg. |

FIG. 3.4



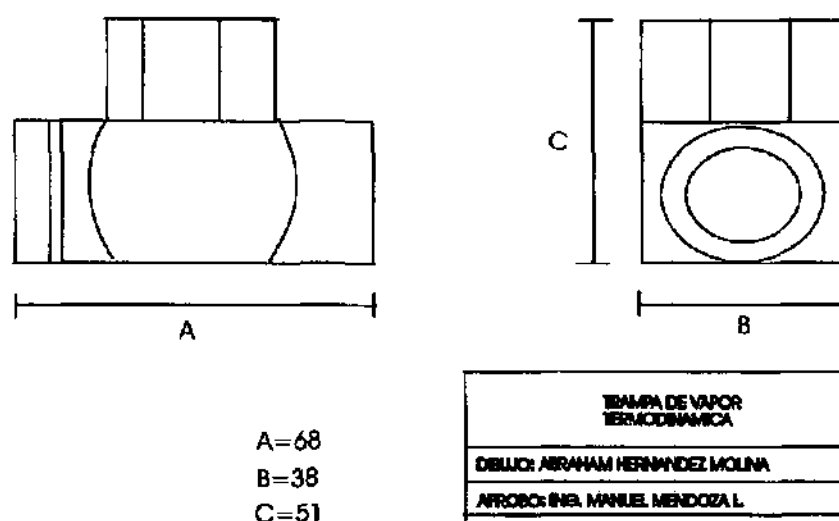
| TERMOPAR TIPO J                  |  |
|----------------------------------|--|
| DISEÑO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |  |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |  |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |  |
| FECHA: ENERO 1996                |  |

FIG. 3.5



| VALVULA GLOBO                    |               |
|----------------------------------|---------------|
| DIBUJO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |               |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |               |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |               |
| FECHA: ENERO 1995                | ACOTACION: mm |

FIG. 3.6



| TRAMPA DE VAPOR<br>TERMODINAMICA |               |
|----------------------------------|---------------|
| DIBUJO: ABRAHAM HERNANDEZ MOLINA |               |
| APROBO: ING. MANUEL MENDOZA L.   |               |
| REVISO: ING. ADOLFO PEREZ D.     |               |
| FECHA: ENERO 1995                | ACOTACION: mm |

FIG. 3.7

## APENDICE C

| MATERIAL                          | $\rho$<br>lb/in. <sup>3</sup> | C<br>Btu/lb.-°F | k<br>Btu/hr.-ft.-°F | $t_d$<br>°F | $\alpha$<br>ft. <sup>2</sup> /hr | $\sqrt{\rho C k (t_d - 80)}$<br>Btu/sec. <sup>1/2</sup> ft. <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ALUMINIUM                         | 165                           | 0.26            | 144                 | 1220        | 3.36                             | 1495                                                                     |
| ALUMINA                           | 250                           | 0.31            | 2.5                 | 3722        | 0.0322                           | 845                                                                      |
| BERYLLIUM                         | 109                           | 0.81            | 40                  | 2343        | 0.454                            | 2240                                                                     |
| BERYLLIA                          | 172                           | 0.50            | 10                  | 4620        | 0.116                            | 2210                                                                     |
| BERYLLIUM CARBIDE                 | 152                           | 0.31            | 1.3                 | 3780        | 0.0276                           | 483                                                                      |
| BORON CARBIDE                     | 156                           | 0.44            | 16                  | 4410        | 0.233                            | 2390                                                                     |
| BORON NITRIDE                     | 135                           | 0.45            | 15                  | 5427        | 0.247                            | 2690                                                                     |
| CHROMIUM                          | 445                           | 0.12            | 40                  | 2822        | 0.749                            | 2115                                                                     |
| COLUMBIUM                         | 535                           | 0.072           | 40                  | 4379        | 1.04                             | 2815                                                                     |
| COPPER                            | 558                           | 0.092           | 203                 | 1981        | 3.96                             | 3235                                                                     |
| GRAPHITE                          | 108                           | 0.47            | 16                  | 6600        | 0.316                            | 3100                                                                     |
| GRAPHITE (PYROLYTIC, A-DIRECTION) | 137                           | 0.47            | 42                  | 6700        | 0.652                            | 5740                                                                     |
| GRAPHITE (PYROLYTIC, C-DIRECTION) | 137                           | 0.47            | 0.68                | 6700        | 0.0106                           | 730                                                                      |
| HASTELLOY (R-235)                 | 511                           | 0.11            | 15                  | 2464        | 0.266                            | 1155                                                                     |
| HAYNES ALLOY (25)                 | 570                           | 0.092           | 16                  | 2425        | 0.305                            | 1135                                                                     |
| INCONEL CO                        | 519                           | 0.13            | 20                  | 2540        | 0.297                            | 1505                                                                     |
| IRIDIUM                           | 1400                          | 0.031           | 34                  | 4449        | 0.784                            | 2800                                                                     |
| IRON                              | 491                           | 0.14            | 20                  | 2794        | 0.291                            | 1675                                                                     |
| MAGNESIUM                         | 112                           | 0.25            | 60                  | 1204        | 2.14                             | 769                                                                      |
| MAGNESIA                          | 224                           | 0.33            | 4.9                 | 5070        | 0.0663                           | 1580                                                                     |
| MOLYBDENUM                        | 638                           | 0.084           | 53                  | 4752        | 0.990                            | 4155                                                                     |
| NICKEL                            | 556                           | 0.13            | 40                  | 2651        | 0.553                            | 2305                                                                     |
| PLATINUM                          | 1340                          | 0.032           | 40                  | 3223        | 0.933                            | 2175                                                                     |
| PYROCERAM                         | 162                           | 0.31            | 1.7                 | 2462        | 0.0338                           | 367                                                                      |
| RHODIUM                           | 775                           | 0.059           | 51                  | 3571        | 1.12                             | 2810                                                                     |
| RENÉ                              | 515                           | 0.16            | 10                  | 2450        | 0.121                            | 1135                                                                     |
| SILICON                           | 145                           | 0.16            | 48                  | 2570        | 2.07                             | 1385                                                                     |
| SILICON CARBIDE                   | 198                           | 0.12            | 10                  | 4890        | 0.420                            | 1240                                                                     |
| SILICON NITRIDE                   | 214                           | 0.32            | 0.92                | 3452        | 0.0134                           | 446                                                                      |
| STEEL 4130                        | 490                           | 0.16            | 50                  | 2700        | 0.637                            | 2735                                                                     |
| STEEL 4340                        | 489                           | 0.11            | 22                  | 2740        | 0.410                            | 1525                                                                     |
| STEEL 316                         | 492                           | 0.12            | 8.3                 | 2250        | 0.141                            | 800                                                                      |

## SOLIDS

| METALS      | DENSITY, lb/cu-ft |
|-------------|-------------------|
| ALUMINIUM   | 165               |
| COPPER      | 556               |
| IRON, CAST  | 450               |
| LEAD        | 710               |
| NICKEL      | 537               |
| STEEL, MILD | 489               |
| TIN         | 459               |
| ZINC        | 440               |

# SOLIDS

| METALS     | HEAT CAPACITY, Btu/lb-°F       |
|------------|--------------------------------|
| ALUMINIUM  | 0.374 (0 °C), 0.405 (100 °C)   |
| COPPER     | 0.164 (0 °C), 0.169 (100 °C)   |
| IRON, CAST | 0.214 (20-100 °C)              |
| LEAD       | 0.0535 (0 °C), 0.0575 (100 °C) |
| NICKEL     | 0.0186 (0 °C), 0.206 (100 °C)  |
| STEEL      | 0.12                           |
| TIN        | 0.096 (0 °C), 0.104 (100 °C)   |
| ZINC       | 0.164 (0 °C), 0.172 (100 °C)   |

TABLA

|  | $\rho$ | $C_p$ | $\alpha$ | $k$ |
|--|--------|-------|----------|-----|
|--|--------|-------|----------|-----|

|  | lb/ft <sup>3</sup> | Kg/m <sup>3</sup> | Btu/lb-°F | J/Kg-K | ft <sup>2</sup> /hr | m <sup>2</sup> /seg x 10 <sup>5</sup> | Btu/hr-ft-°F | Btu/hr-ft-°F | Btu/hr-ft-°F | W/m-K | W/m-K | W/m-K |
|--|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------------------|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|-------|
|  | 68°F               | 293K              | 68°F      | 293K   | 68°F                | 293K                                  | 68°F         | 212°F        | 572°F        | 293K  | 373K  | 573K  |

| METALES          |       |        |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |
|------------------|-------|--------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| ALUMINIO         | 168.6 | 2701.1 | 0.224 | 9.383 | 3.55 | 9.16  | 132  | 133  | 133  | 229  | 229  | 230  |
| COBRE            | 555   | 8890   | 0.092 | 3.854 | 3.98 | 10.27 | 223  | 219  | 213  | 386  | 379  | 369  |
| ORO              | 1206  | 19320  | 0.031 | 1.299 | 4.32 | 11.66 | 169  | 170  | 172  | 293  | 294  | 298  |
| HIERRO           | 492   | 7880   | 0.122 | 5.110 | 0.83 | 2.14  | 42.3 | 39   | 31.6 | 73.2 | 68   | 54   |
| PLOMO            | 708   | 11300  | 0.030 | 1.257 | 0.80 | 2.06  | 20.3 | 19.3 | 17.2 | 35.1 | 33.4 | 29.8 |
| MAGNESIO         | 109   | 1750   | 0.248 | 10.39 | 3.68 | 9.30  | 99.5 | 96.8 | 91.4 | 172  | 168  | 158  |
| NIQUEL           | 556   | 8910   | 0.11  | 4.560 | 0.87 | 2.24  | 53.7 | 47.7 | 36.9 | 93.0 | 82.6 | 63.9 |
| PLATINO          | 1340  | 21500  | 0.032 | 1.340 | 0.09 | 0.23  | 40.5 | 41.9 | 43.5 | 70.1 | 72.5 | 75.3 |
| PLATA            | 656   | 10500  | 0.057 | 2.388 | 6.42 | 16.57 | 240  | 237  | 209  | 415  | 410  | 362  |
| ESTAÑO           | 450   | 7210   | 0.051 | 2.136 | 1.57 | 4.05  | 36   | 34   | -    | 62   | 59   | -    |
| TUNGSTENO        | 1206  | 19320  | 0.032 | 1.340 | 2.44 | 6.30  | 94   | 87   | 77   | 160  | 150  | 130  |
| URANIO           | 1167  | 18700  | 0.027 | 1.131 | 0.53 | 1.37  | 16.9 | 17.2 | 19.6 | 29.3 | 29.8 | 33.9 |
| ZINC             | 446   | 7150   | 0.094 | 3.937 | 1.55 | 4.00  | 65   | 63   | 58   | 110  | 110  | 100  |
| ALEACIONES       |       |        |       |       |      |       |      |      |      |      |      |      |
| ALUMINIO 2024    | 173   | 2770   | 0.230 | 9.634 | 1.76 | 4.54  | 70.2 |      |      | 122  |      |      |
| BRONCE           | 532   | 8520   | 0.091 | 3.812 | 1.27 | 3.28  | 61.8 | 73.9 | 85.3 | 107  | 128  | 148  |
| CONSTANTAN       | 557   | 8920   | 0.098 | 4.105 | 0.24 | 0.62  | 13.1 | 15.4 |      | 22.7 | 26.7 |      |
| HIERRO FUNDIDO   | 455   | 7920   | 0.100 | 4.184 | 0.65 | 1.68  | 29.6 | 26.8 |      | 51.2 | 46.4 |      |
| NICROMO V        | 530   | 8490   | 0.106 | 4.440 | 0.12 | 0.31  | 7.06 | 7.99 | 9.94 | 12.2 | 13.8 | 17.2 |
| ACERO INOXIDABLE | 488   | 7820   | 0.110 | 4.608 | 0.17 | 0.44  | 9.4  | 10.0 | 13   | 16   | 17.3 | 23   |
| HIERRO DULCE     | 488   | 7820   | 0.113 | 4.733 | 0.45 | 1.16  | 24.8 | 24.8 | 22.9 | 42.9 | 42.9 | 39.0 |

**HEAT TRANSMISSION**  
**TABLE NORMAL TOTAL EMISSIVITY OF VARIOUS SURFACES**

| SURFACE                                                 | t, deg F° | EMISSIVITY     | REFERENCE NUMBER |
|---------------------------------------------------------|-----------|----------------|------------------|
| <b>ALUMINIUM:</b>                                       |           |                |                  |
| HIGHLY POLISHED PLATE, 98.3 PURE                        | 440-1070  | 0.039-0.057    | 26               |
| POLISHED                                                | 212       | 0.095          | 1                |
| ROUGH POLISH                                            | 212       | 0.18           | 1                |
| ROUGH PLATE                                             | 100       | 0.055-0.07     | 25               |
| COMMERCIAL SHEET                                        | 212       | 0.09           | 1                |
| OXIDIZED AT 1110°F                                      | 390-1110  | 0.11-0.19      | 23               |
| HEAVILY OXIDIZED                                        | 200-940   | 0.20-0.31      | 2                |
| ALUMINUM OXIDE                                          | 530-930   | 0.63-0.42      | 21               |
| ALUMINUM OXIDE                                          | 930-1520  | 0.42-0.26      | 21               |
| AL-SURFACED ROOFING                                     | 100       | 0.216          | 15               |
| <b>ALUMINUM ALLOYS</b>                                  |           |                |                  |
| ALLOY 75 ST; A,B <sub>1</sub> ,C                        | 75        | 0.11,0.10,0.08 | 36               |
| ALLOY 75 ST; A <sup>c</sup>                             | 450-900   | 0.22-0.16      | 36               |
| ALLOY 75 ST; B <sup>c</sup>                             | 450-800   | 0.20-0.18      | 36               |
| ALLOY 75 ST; C <sup>c</sup>                             | 450-930   | 0.22-0.15      | 36               |
| ALLOY 24 ST; A,B <sub>1</sub> ,C                        | 75        | 0.09           | 36               |
| ALLOY 24 ST; A <sup>c</sup>                             | 450-910   | 0.17-0.15      | 36               |
| ALLOY 24 ST; B <sup>c</sup>                             | 450-940   | 0.20-0.16      | 36               |
| ALLOY 24 ST; C <sup>c</sup>                             | 450-860   | 0.16-0.13      | 36               |
| <b>COPPER:</b>                                          |           |                |                  |
| CAREFULLY POLISHED ELECTROLYTIC COPPER                  | 176       | 0.018          | 16               |
| POLISHED                                                | 242       | 0.023          | 34               |
| POLISHED                                                | 212       | 0.052          | 1                |
| COMMERCIAL EMERIED, POLISHED, BUT PITS REMAINING        | 66        | 0.030          | 25               |
| COMMERCIAL, SCRAPED SHINY, BUT NOT MIRROR LIKE ??       | 72        | 0.072          | 25               |
| PLATE, HEATED LONG TIME, COVERED WITH THICK OXIDE LAYER | 77        | 0.78           | 25               |
| PLATE HEATED AT 1110°F                                  | 390-1110  | 0.57           | 23               |
| CUPROUS OXIDE                                           | 1470-2010 | 0.66-0.54      | 4                |
| MOLTEN COPPER                                           | 1970-2330 | 0.16-0.13      | 4                |
| <b>DOW METAL:</b>                                       |           |                |                  |
| A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> ,C                        | 75        | 0.15,0.15,0.12 | 36               |
| A <sup>c</sup>                                          | 450-750   | 0.24-0.20      | 36               |
| B <sub>1</sub> <sup>c</sup>                             | 450-800   | 0.16           | 36               |
| C <sup>c</sup>                                          | 450-760   | 0.21-0.18      | 36               |
| <b>STAINLESS STEELS:</b>                                |           |                |                  |
| POLISHED                                                | 212       | 0.074          | 1                |
| TYPE 301; A,B <sub>2</sub> ,C                           | 75        | 0.21,0.27,0.16 | 36               |
| TYPE 301; A <sup>c</sup>                                | 450-1740  | 0.57-0.55      | 36               |
| TYPE 301; B <sub>2</sub> <sup>c</sup>                   | 450-1725  | 0.54-0.63      | 36               |
| TYPE 301; C <sup>c</sup>                                | 450-1650  | 0.51-0.70      | 36               |
| TYPE 316; A,B <sub>2</sub> ,C                           | 75        | 0.28,0.28,0.17 | 36               |
| TYPE 316; A <sup>c</sup>                                | 450-1600  | 0.57-0.66      | 36               |

|                                       |          |                  |    |
|---------------------------------------|----------|------------------|----|
| TYPE 316; B <sub>2</sub> <sup>c</sup> | 450-1920 | 0.52-0.50        | 36 |
| TYPE 316; C <sup>c</sup>              | 450-1920 | 0.26-0.31        | 36 |
| TYPE 347; A, B <sub>2</sub> , C       | 75       | 0.39, 0.35, 0.17 | 36 |
| TYPE 347; A <sup>c</sup>              | 450-1650 | 0.52-0.65        | 36 |
| TYPE 347; B <sub>2</sub> <sup>c</sup> | 450-1610 | 0.51-0.65        | 36 |
| TYPE 347; C <sup>c</sup>              | 450-1650 | 0.49-0.64        | 36 |
| TYPE 304; (8 Cr, 18 Ni)               | 420-914  | 0.44-0.36        | 24 |

## CUADRO DE ECUACIONES MATEMATICAS EMPLEADAS PARA DETERMINAR LAS SIGUIENTES VARIABLES:

### ECUACIONES SIMPLIFICADAS PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION NATURAL DEL AIRE (Mc Adams)

En el caso especial de la convección desde un cuerpo caliente al aire, las correlaciones de diseño pueden ser simplificadas a las relaciones siguientes:

| GEOMETRIA                 | TIPO DE FLUJO | FORMULA<br>(W/m <sup>2</sup> ·°C)                  |
|---------------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| CILINDROS<br>HORIZONTALES | LAMINAR       | $h = 1.32 \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{1/4}$ |
|                           | TURBULENTO    | $h = 1.24 (\Delta T)^{1/3}$                        |

Estas correlaciones, para el caso del aire y presiones bajas y moderadas se corrigen multiplicando las ecuaciones por el factor siguiente:

$$\begin{array}{ll} P^{1/2} & \text{para flujo laminar} \\ P^{2/3} & \text{para flujo turbulento} \end{array}$$

donde P esta dado en atmósferas.

### ECUACION DE FOURIER

$$Q = -kA \left( \frac{dT}{dx} \right)_{x=0} \quad (3.8)$$

### ECUACION DE NEWTON

$$Q = \int_0^x Ph(T - T_a)dx \quad (3.9)$$

### ECUACION DE STEFAN BOLTZMANN

$$Q / A = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.33)$$

# ECUACION DE PERFIL DE TEMPERATURAS DE LA BARRA

$$\frac{T - T_a}{T_s - T_a} = e^{-x\sqrt{m}} = e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \quad (3.7)$$

# ECUACION DE CALOR DISIPADO POR LA BARRA

$$Q = (-kA)(T_s - T_a)\left(-\sqrt{\beta/\alpha}\right) \text{ ó } Q = (kA)(T_s - T_a)\left(\sqrt{\beta/\alpha}\right) \quad (3.10)$$

# ECUACION RENDIMIENTO DE LA BARRA

$$\eta = \frac{\sqrt{\alpha/\beta} \left[ 1 - e^{-x\sqrt{\beta/\alpha}} \right]}{x} \quad (3.15)$$

Las ecuaciones que se presentan a continuación fueron determinadas por el método de mínimos cuadrados

DENSIDAD (lb/ft<sup>3</sup>)  $\rho=(a+bT)$

|   | ALUMINIO  | COBRE          | ACERO INOXIDABLE 316 |
|---|-----------|----------------|----------------------|
| a | 168.8125  | 554.8933612    | 487.8753437          |
| b | -3.125E-3 | 1.568217459E-3 | 1.833180568E-3       |

CAPACIDAD CALORIFICA (BTU/lb\*°F)  $C_p=(a+bT)$

|   | ALUMINIO       | COBRE          | ACERO INOXIDABLE 316 |
|---|----------------|----------------|----------------------|
| a | 0.368488888    | 0.163111111    | 0.109688359          |
| b | 1.722222222E-4 | 2.777777778E-5 | 4.58295142E-6        |

CONDUCTIVIDAD TERMICA (BTU/hr\*ft\*°F)  $k=(a+bT+cT^2)$

|   | ALUMINIO       | COBRE         | ACERO INOXIDABLE 316 |
|---|----------------|---------------|----------------------|
| a | 116.9375802    | 225.2027654   | 9.514425908          |
| b | 5.679012346E-4 | -0.038228375  | -5.397448479E-4      |
| c | 4.320987654E-5 | 2.00617284E-5 | 0                    |

EMISIVIDAD (adimensional)  $\epsilon=(a+bT)$

|   | ALUMINIO       | COBRE | ACERO INOXIDABLE 316 |
|---|----------------|-------|----------------------|
| a | 0.026428571    | 0.57  | 0.244693877          |
| b | 2.857142857E-5 | 0     | 3.401360544E-5       |



### TABLA DE CONVERSIONES

| UNIDAD DE MEDIDA           | MULTIPLICAR POR: | PARA OBTENER:              |
|----------------------------|------------------|----------------------------|
| Pie                        | 12               | Pulg.                      |
| Pulg.                      | 0.0254           | Metro                      |
| Metro                      | 100              | Centímetro                 |
| Lb                         | 453.59           | Gramos                     |
| Gramos                     | 0.001            | Kiogramos                  |
| Btu/ft <sup>2</sup> *hr*°F | 1.73             | W/m <sup>2</sup> *K        |
| W                          | 0.0143           | Kcal/min                   |
| Btu/lb*°F                  | 1                | Kcal/Kg*°C                 |
| lb/ft <sup>3</sup>         | 16.02826855      | Kg/m <sup>3</sup>          |
| W/m <sup>2</sup> *°C       | 0.860436         | Kcal/hr*m <sup>2</sup> *°c |
| Btu                        | 0.252            | Kcal                       |
| Pulg <sup>2</sup>          | 6.452            | Cm <sup>2</sup>            |
| Pie <sup>2</sup>           | 144              | Pulg <sup>2</sup>          |
| hr                         | 60               | min                        |