



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS**

---

---

**LABORATORIO DE FENOMENOS DE TRANSPORTE**

**PRACTICA DE CALORIMETRIA**

**CONDUCCION DE CALOR EN UNA  
BARRA CILINDRICA CON PERDIDAS DE CALOR**

**ELABORADO POR:**

**DR. MANUEL DE JESUS MACIAS HERNANDEZ**

**DR. SALVADOR ALFARO HERNANDEZ**

**ING. FRANCISCO RAUL SAUCEDO JIMENEZ**



MEXICO, D.F.

ENERO 2010

## **PRACTICA DE CALORIMETRÍA**

### **Objetivo General**

Al término de la práctica, el alumno será capaz de identificar y medir la transferencia de calor, a través de un cuerpo sólido.

### **Objetivos Específicos**

1. El alumno realizará, el balance de calor total a través de una varilla sólida de bronce
2. El alumno, determinará la cantidad de calor que se transfiere a través del cuerpo sólido aplicando la ley de Fourier
3. El alumno determinará la cantidad de calor perdido hacia los alrededores, mediante el cálculo del coeficiente de transmisión de calor
4. El alumno identificara, cuando se alcanza el estado estacionario de transferencia de calor, mediante un perfil de temperaturas

## **ANTECEDENTES**

### **TRANSPORTE MOLECULAR DE LA ENERGIA**

La ciencia de la termodinámica trata de las transiciones cuantitativas y reacomodos de Energía como Calor en los cuerpos de Materia. La Ciencia de la Transferencia de Calor esta relacionada con la razón de intercambio de Calor entre cuerpos calientes y fríos llamados Fuente y Recibidor. Cuando se vaporiza una libra de agua ò se condensa una libra de vapor, el cambio de Energía en los dos procesos es idéntico. La velocidad a la que cualquiera de estos procesos puede hacerse progresar con una fuente ò receptor independiente es, sin embargo, inherentemente muy diferente. Generalmente, la Vaporización es un fenómeno mucho más rápido que la Condensación.

El estudio de la Transferencia de Calor se facilitará grandemente mediante una cabal comprensión de la naturaleza del Calor. Sin embargo, esta es una ventaja que no esta fácilmente disponible para estudiantes de Transporte de Energía ò Termodinámica, ya que se han descubierto muchas manifestaciones del Calor, lo que ha impedido que una teoría simple las cubra a todas ellas. Para propósitos de Ingeniería es necesario comenzar el estudio con información básica acerca de los Fenómenos de Transporte.

Las fases de una sustancia simple, sólida, líquida y gaseosa, están asociados con su contenido de Energía. En la fase sólida las moléculas ò átomos están muy cercanos, dando esto rigidez. En la fase líquida existe suficiente Energía Térmica para extender la distancia de las moléculas adyacentes, de manera que se pierde la rigidez. En la fase gaseosa, la presencia de Energía Térmica adicional resulta en una separación relativamente completa de los átomos ò moléculas, de manera que pueden permanecer en cualquier lugar de un espacio cerrado. También se ha establecido que,

dondequiera que ocurra un cambio de fase fuera de la región crítica, se involucra una gran cantidad de Energía en esa transición.

Para una misma sustancia en sus diferentes fases, sus varias propiedades Térmicas tienen diferente orden de Magnitud. Por ejemplo, el Calor Específico por unidad de Masa es muy bajo para los sólidos, alto para los líquidos, y usualmente, de valores intermedios para los gases. Asimismo, en cualquier cuerpo que absorba o pierda Calor, deben guardarse especiales consideraciones respecto a si el cambio es de Calor latente, o Sensible, o de Ambos. Más aún, se conoce que también una fuente caliente es capaz de grandes excitaciones subatómicas, a tal grado que emite Energía sin ningún contacto directo con el receptor, y este es el principio fundamental de la Radiación. Cada tipo de intercambio exhibe sus propias peculiaridades.

Mecanismos de la transferencia de Calor.- Hay tres formas diferentes en las que el Calor puede pasar de la fuente al receptor, aun cuando muchas de las aplicaciones en la Ingeniería son combinaciones de dos o tres, como en el caso de los fenómenos de transporte, la mayoría de los casos, sino es que todos, estos interactúan entre sí, por lo que es muy difícil verlos aislados a cada uno. Estas formas son: Conducción, Convección y Radiación.

### Conceptos Básicos

**Calorimetría**, es la Ciencia que se encarga de la medición de cantidad de energía generada en un proceso de intercambio de calor.

**Calorímetro**, es el instrumento de medición que permite cuantificar la cantidad de energía calorífica en un proceso de intercambio de calor, a través de la medición de variables tales como la temperatura y la capacidad calorífica de una sustancia,

**Calor**, es una forma de identificar la presencia o ausencia de energía, en este caso calorífica, mediante la presencia de un gradiente de temperatura, entre una sustancia caliente y una sustancia fría. También representa la cantidad de energía que un cuerpo transfiere a otro como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ambos.

**Transferencia de Calor**, es un proceso mediante el que se intercambia energía en forma de calor entre distintas sustancias o cuerpos, o bien puede ser un mismo cuerpo pero con diferente temperatura en diferentes regiones del cuerpo.

**Formas de transferencia de calor.** El calor se transfiere principalmente por 3 mecanismos, que son convección, radiación y conducción. Aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, generalmente uno de ellos predomina sobre los otros dos, dependiendo del proceso de estudio.

**Conducción**, generalmente se asocia a los sólidos, en el sentido de que este mecanismo de transferencia es necesario el contacto entre la sustancia caliente y la sustancia fría. Por ejemplo, Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción.

Ley de Fourier 
$$Q = kA \frac{dT}{dx}$$

**Convección**, este tipo de mecanismo de transferencia de calor, es asociado a los fluidos, debido a su constante movimiento. Por ejemplo, si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, se produce un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Esta dada por la ley de Newton de transferencia de calor

$$Q = As h(T - Ta)$$

**Radiación**, La transferencia de calor por radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección, esta diferencia es que las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Esta involucra la Transferencia de Energía Radiante desde una fuente a un receptor, parte de la Energía se absorbe por el receptor y parte es reflejada por él. Basándose en la Segunda Ley de la Termodinámica, Boltzmann estableció la velocidad a la cuál una fuente de Calor es:

$$dQ = \sigma \epsilon dA T^4$$

Esta se conoce como la Ley de la Cuarta Potencia, T es la temperatura absoluta,  $\sigma$  es una constante adimensional, pero  $\epsilon$  es un factor peculiar a la Radiación y se llama Emisividad, igual que la conductividad Térmica k ó el Coeficiente de Transferencia de Calor h, debe también determinarse experimentalmente

**Temperatura**, es una magnitud física que mide la concentración de energía, esto significa que la temperatura es una propiedad física que mide que tan caliente o frío esta una sustancia. La temperatura se mide en unidades llamadas grados, por medio de los termómetros o termopares. Un termómetro es un instrumento que mide la temperatura de un sistema en forma cuantitativa. Las escalas de temperatura fueron desarrolladas por los científicos con el propósito de comunicar y comparar sus resultados. Las dos mas utilizadas son las Celsius y Kelvin.

## LEY DE FOURIER

La ley de Fourier, establece que la densidad de flujo de calor por conducción, es proporcional a un gradiente de temperatura, e inversamente proporcional a la distancia de propagación del calor.

$$q_x = k \frac{dT}{dx}$$

Donde  $q_x$  = cantidad o densidad de calor [=]  $\text{cal cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

k = constante de conductividad de calor [=]  $\text{cal cm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$

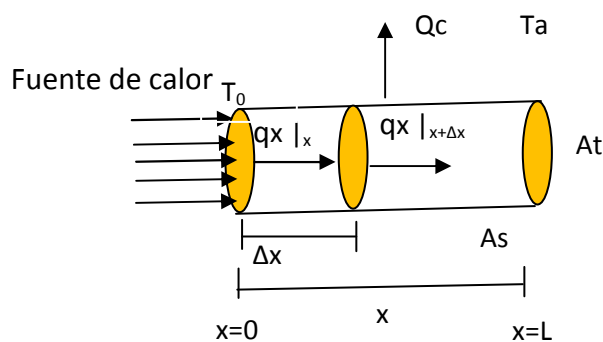
dT = gradiente de temperatura [=] K

dx = gradiente de desplazamiento (propagación de calor) [=] cm

Esta ley aplica, para este caso en donde se considera que la cantidad de calor es constante y la propagación del calor es unidimensional (un solo sentido).

### Balance de calor en un elemento diferencial de la barra con pérdidas de calor

Se tiene una barra sólida que se calienta con una fuente eléctrica en la parte lateral de la barra en contacto uniforme con el área transversal, las pérdidas de calor se transfieren en el área superficial.



Ley de continuidad del calor en un estado no estacionario con pérdidas de calor

**Acumulación = [ calor inicial ] - [ calor por conducción ] - [ calor perdido por convección ]**

$$\frac{dT}{dt} = \left[ k A_t \frac{dT}{dx} \right]_x - \left[ -k A_t \frac{dT}{dx} \right]_{x+\Delta x} - A_s h(T - T_a) \quad \dots\dots\dots(1)$$

Ley de continuidad del calor en estado estacionario (régimen permanente) cuando la ec.1 el termino  $\frac{dT}{dt} = 0$  el calor acumulado es cero por lo tanto se obtiene la siguiente ecuación(2)

**[ Calor inicial ] - [calor por conducción] - [calor perdido por convección]**

$$\left[ k A_t \frac{dT}{dx} \right]_x - \left[ -k A_t \frac{dT}{dx} \right]_{x+\Delta x} - A_s h(T - T_a) = 0 \quad (\text{Régimen permanente})\dots\dots\dots(2)$$

O también se puede dejar en función de flujo de calor

$$Q_{inicial} - Q_x - Q_{perdido} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Flujo de calor en kCal/hr

$$Q_x = qA_t \dots\dots\dots(4)$$

Flux de calor dado por la ley de Fourier en la sección transversal

$$q_{x+\Delta x} = k \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots(5)$$

Calor perdido dado en la superficie por convección

$$Q_{perdido} = h A_s (T_x - T_a) \dots\dots\dots(6)$$

$Q=A q_x$  Flujo de calor en cal/hr

$q=$  flux de calor cal/hr  $m^2$ .

$A_t=$  Área transversal de la varilla =  $\pi D^2/4$

$A_s=$  Área superficial de la varilla =  $\pi DL$

$T_1=$  Temperatura inicial de la barra

**PERFIL DE TEMPERATURAS**

Si  $q_y$  es constante y aplicando ley de Fourier

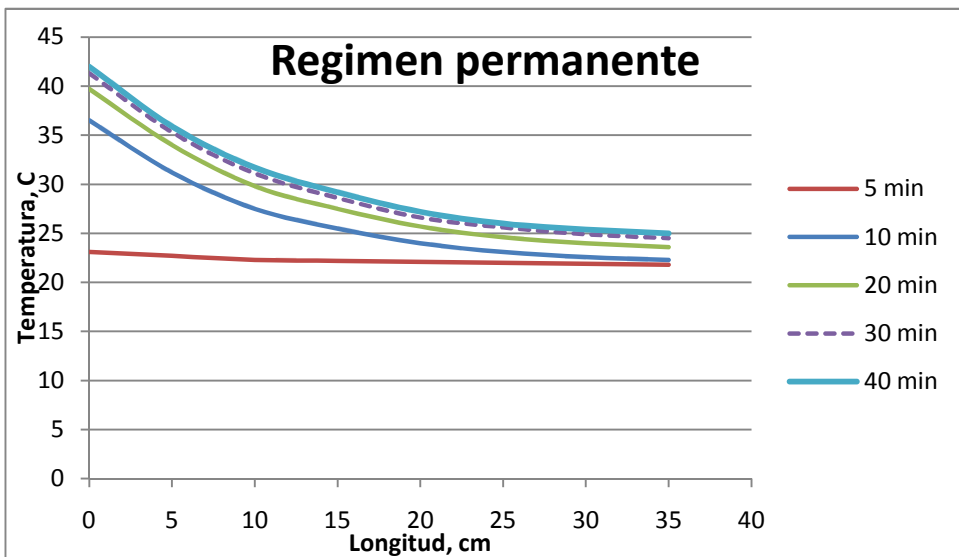
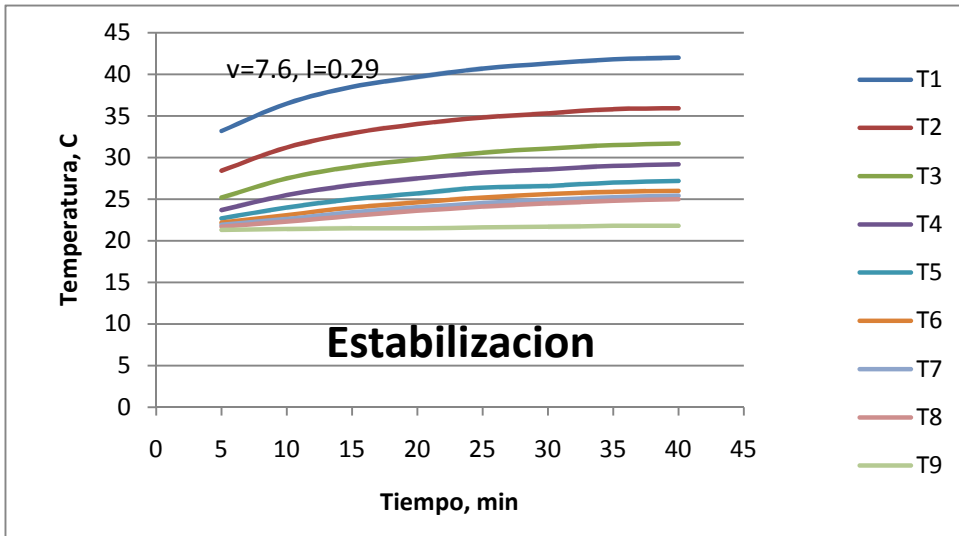
$$\frac{q_{x+\Delta x} \Delta x}{k} = \Delta T \dots\dots\dots(7)$$

## PROCEDIMIENTO DE LA PRÁCTICA

1. Explicación del equipo y nodos en la varilla
2. Ubicación de la fuente
3. Se enciende el equipo
4. Tener a la mano un cronometro para realizar lecturas de las temperaturas
5. Se lleva a 3.1 volts y  $I=0.1$
6. Se enciende el cronometro y en 5 min transcurridos se toma las lecturas de las temperaturas de T1 a la T9.
7. Para observar la estabilización las temperaturas se sigue tomando las temperaturas en 10,15, 20, 25 y 30 min. Con este voltaje se a encontrado estabilización de las temperaturas en cada nodo de entre 30 y 35 min. Con un error  $\pm 0.1-0.2$
8. Se obtiene la estabilización y se subraya las temperaturas permanentes en el último tiempo. Estas temperaturas se tomaran para el balance de energía.
9. Encontrada la estabilización de las temperaturas en cada nodo en seguida se realiza la segunda prueba.
10. Se lleva a 7.6 Volts y  $I=0.29$
11. Y nuevamente se procede con el punto 4
12. Se toman lecturas de 5, 10, 15, 20,25, 30,35 min. Con este voltaje se a encontrado en un intervalo de tiempo de 35 a 40 min.
13. Se procede al punto 8.
14. Obtención de graficas de **estabilización** de temperaturas y tiempo.
15. Obtención de graficas de temperaturas en cada tiempo contra longitud de la barra **régimen permanente**.
16. Balance de calor en cada nodo obteniendo el calor conducido y perdido con respecto al calor inicial.

La práctica considera 80 min para las pruebas y 30 min de explicación del equipo en un total de tiempo empleado de 110 min.

Grafica de estabilización y régimen permanente



## CALCULOS

### BALANCE DE CALOR

Encontrado el régimen se toman en cuenta las temperaturas en cada nodo (EC.3)

CALOR INICIAL – CALOR POR CONDUCCION – CALOR PERDIDO

$$Q_{inicial} - Q_x - Q_{perdido} = 0$$

El  $Q_{inicial}$  se calcula con la fuente

$$Q_{inicial} = V * I = \text{watts}$$



$$Q_{inicial} = V * I = \text{watts}$$

Qx se calcula con la ecuación de ec. 4 y la ec de Fourier (ec.5)

$$Q_x = At k \frac{T_x - T_0}{x - x_0}$$

### SE CALCULAN LOS FLUX y FLUJO DE CALOR EN CADA NODO

El flux inicial se calcula con

$$q_{inicial} = \frac{Q_{inicial}}{At}$$

Los siguientes flux en cada nodo se calculan con la ecuación de Fourier (ec.5)

$$-q_{x+\Delta x} = k \frac{T_x - T_0}{x - x_0}$$

Donde T<sub>0</sub>= es la temperatura inicial (T<sub>1</sub>)

Se calcula los flux en cada nodo con respecto a la inicial.

Se calcula el flujo de calor para cada nodo ec.4

$$Q_x = q \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

Tabla de conducción de calor con flux y flujo de calor

				TX, C				
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
				L, cm				
	0	5	10	15	20	25	30	35
Flux Kcal/m <sup>2</sup> h		q5	q10	q15	q20	q25	q30	q35
Flujo Kcal/h		Q5	Q10	Q15	Q20	Q25	Q30	Q35

### SE CALCULA EL CALOR PERDIDO EN CADA NODO

$$Q_{inicial} - Q_x = Q_{perdido}$$

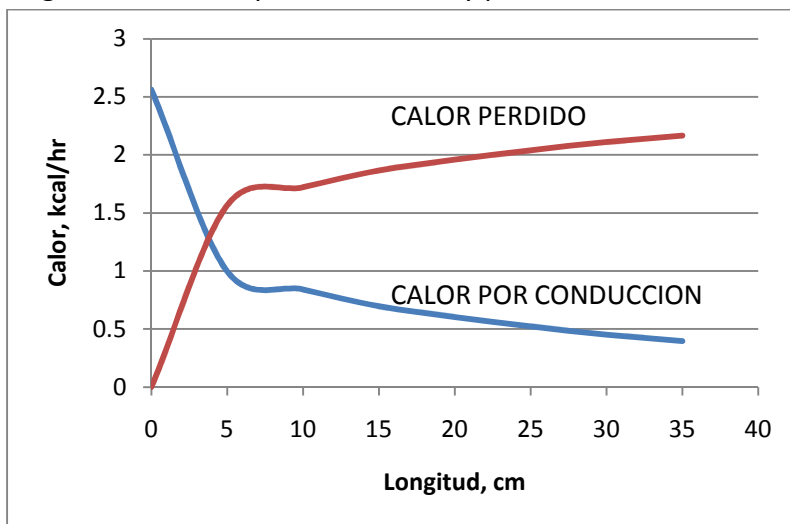
Qx es el calor en cada nodo de Q5 hasta Q35

El calor global perdido es con la diferencia del (Qinicial – Q35)

$$Q_{inicial} - Q_{35} = Q_{Global\ perdido}$$

	0	5	10	15	20	25	30	35
Flujo Coduc.	$Q_{INICIAL}$ Kcal/m <sup>2</sup> h	Q5	Q10	Q15	Q20	Q25	Q30	Q35
Flujo perdido	Kcal/h	$QP5 = Q_{INICIAL} - Q5$	$QP10 = Q_{INICIAL} - Q10$	QP15	QP20	QP25	QP30	QP35

Se grafican el calor por conducción y perdido en cada nodo



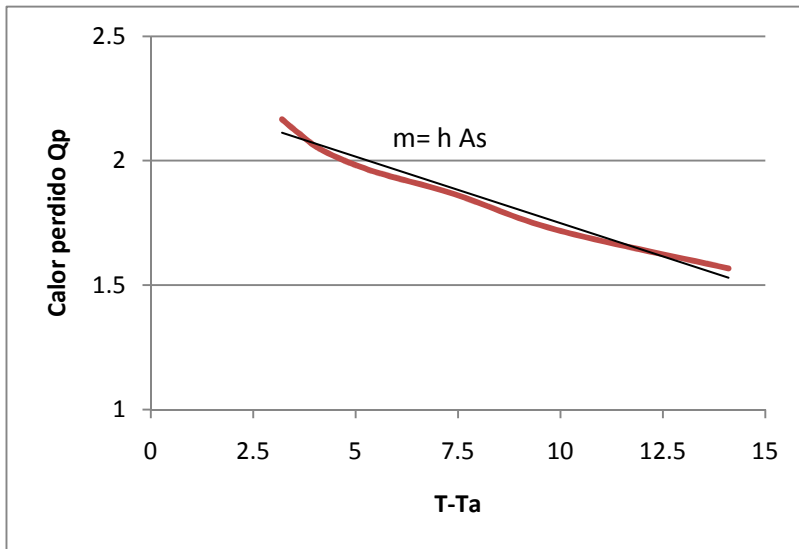
CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR (h) DEL PERDIDO

$$Q_{perdido} = h As (T_x - T_a)$$

	Qperdido		
T1	0	-----	
T2	Qp5	(T2-Ta)	
T3	Qp10	(T3-Ta)	
T4	Qp15	(T4-Ta)	
T5	Qp20	(T5-Ta)	
T6	Qp25	(T6-Ta)	
T7	Qp30	(T7-Ta)	
T8	Qp35	(T8-Ta)	

Se obtiene el valor de la **PENDIENTE** de  $m=h A_s$  y se grafica en excel

Se despeja dividiendo entre  $A_s$  área superficial  $h= m/A_s$



El valor de  $(h)$  calculada se compara con los datos del aire en reposo s de la literatura ver anexo TABLA 4.1-2

#### PERFILES DE TEMPERATURA EXPERIMENTALES Y TEORICAS

Comparar las temperaturas con la conducción de la teorica ( ley de fourier) en cada gradiente de 5 cm con la (ec. 7)

$$-\frac{q_{x+\Delta x} \Delta x}{k} = \Delta T$$

#### CONCLUSIONES

1. Concluir con las graficas la estabilización y régimen permanente
2. Concluir con la grafica de conducción y perdidas de calor
3. Concluir comparación con la  $h$  en contrada experimentalmente y en tabla.
4. Concluir con el perfil de temperaturas experimentales en régimen permanente y el perfil teórico de la ley de Fourier.

## DATOS EXPERIMENTALES

### Varilla de bronce

Diámetro = 1 cm

Longitud = 35 cm

$A_t$  area transversal =  $\pi D^2/4$

$A_s$  area superficial =  $2\pi rL$

$k_{\text{bronce}} = 104 \text{ Kcal/ h m}$

Datos de Calorimetro

Voltaje (V) = volts

Intensidad (I) = amp

Perfil de temperaturas, a través de la longitud de la varilla, $\Delta y = 5 \text{ cm}$									
Tiempo (min)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
3									
6									
9									
12									
15									
20									
25									
30									
35									

Nota: se deja de medir temperaturas, hasta que se encuentra el régimen permanente es decir cuando la variación de temperaturas entre cada uno de los nodos (puntos de medición) sea mínima, ya que como no se tienen aislado el sistema, hay pérdidas de calor hacia la atmósfera

**ANEXO**

Tabla 4.1-2 Magnitudes aproximadas de algunos coeficientes de transferencia de calor

<b>Mecanismos</b>	<b>Intervalo de los valores de h</b>	
	<b>Btu/h pie<sup>2</sup> °F</b>	<b>W/m<sup>2</sup> K</b>
Condensación de Vapor	1000 - 5000	57000 - 28000
Condensación de líquidos orgánicos	200 - 500	11000 - 2800
Líquidos en ebullición	300 - 5000	1700 - 28000
Agua en Movimiento	50 - 3000	280 - 17000
Hidrocarburos de movimiento	10 - 300	05.5 - 1700
Aire en reposo	0.5 - 4	02.8 - 23
Corrientes de Aire	2 - 10	11.3 - 5.5

## MANEJO DEL CALORIMETRO

- 1.- Intercambiador de calor de Superficies Extendidas (Esbelta ) mod. HT 15 , figura IV. 11
  - 2.- 8 termocoples a lo largo de la varilla con intervalos entre c/u de 50 mm., figura.IV.12
  - 3.- No Break
  - 4.- P.C: con software ARMFIELD precargado
  - 5.-Transductor ( No.28)
  - 6.-Unidad de Servicio de Transferencia de Calor, mod. Ht 10X de 110 V, 60 hz. Monofàsico figura IV. 10
  - 7.- Varilla de Bronce, recubierta de pintura negro mate,resistente al Calor, de 350 mm de longitud X 10mm de diàmetro, incluida en la figura IV.11 ( No. 3)
  - 8.- 1 Termocople T9 al lado de la varilla para medir la Temperatura del aire Ta
- Los instrumentos deben ser conectados tal como se muestra en la figura IV.10

### *OPERACIÓN DEL EQUIPO.-*

- 1.- Poner el equipo en condiciones de operación, observar que el mòdulo principal tenga todas las conexiones en su lugar (No. 25 ), mover el switch principal ( No. 27) colocado en la parte posterior de este mòdulo en ON. (ROJO).
- 2.- Prender el equipo pulsando el Boton de Encendido colocado en la parte frontal izquierda ( No.13)
- 3.- Colocar el selector del Mòdulo ( No.14 ), en la posición de Manual,( mostrar que si se pone en automàtico se perderan los valores).
- 4.- Encender la PC para realizar la demostración gràfica del experimento.
- 5.-Leer por medio del indicador ( No.16), la Cantidad de Voltaje para esta pràctica,  $V = 5.8$  volts, colocando la Perilla reguladora en 3.0 ( No.15)
- 6.- Por medio del botón selector VIRL, ( No.17) , leer en el Indicador ( No. 16) colocando en posición V, la cantidad de Volts sugeridos, Inmediatamente después , Leer colocando en posición I , la cantidad de Amperes, que para estas condiciones marque dicha posición.
- 7.-Lea el valor de Temperatura en °C, en la pantalla (No.19) de cada uno de los termocoples ( T1 – T8), en el botòn selector ( No.20), registrele en la Tabla de Datos

experimentales, espere de 5 a 10 min. Después de haber realizado la selección V, en el botón selector (No.17).

8.- Por último lea la Temperatura en °C en la pantalla (No.19) del aire experimental ( Ta ), colocando el botón selector ( No.20 ) en el termocople T9.

HT15 EXTENDED SURFACE HEAT TRANSFER ACCESSORY (COMPUTER COMPATIBLE)

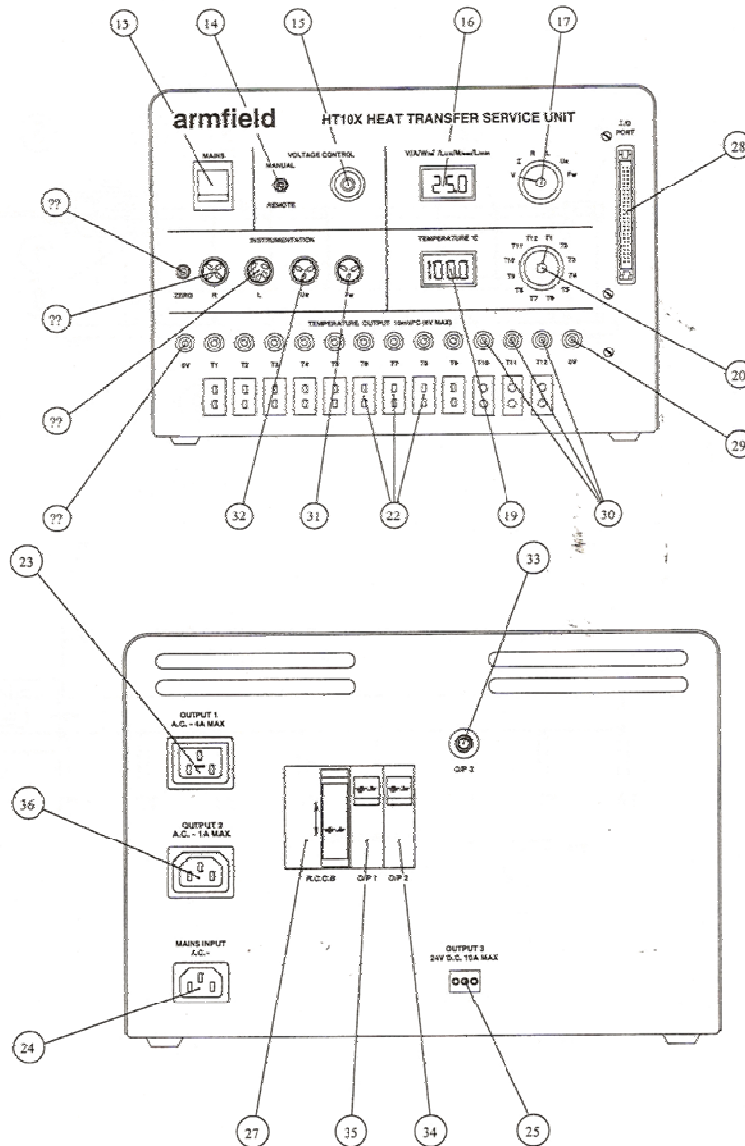
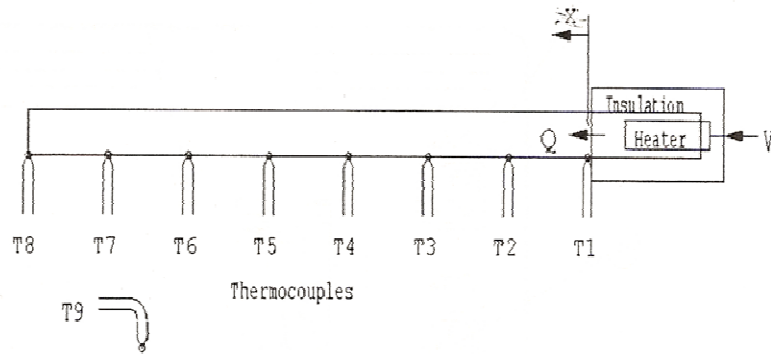
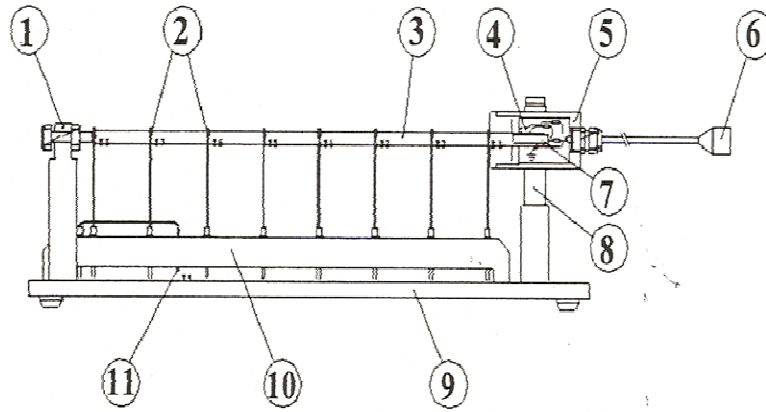


fig. IV.10

HT15 EXTENDED SURFACE HEAT TRANSFER ACCESSORY (COMPUTER COMPATIBLE)



FIGS. IV. 11 y12



## **BIBLIOGRAFIA.-**

1.- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, DONALD Q. KERN, CECSA, 1980

2.- FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA, DE MOMENTO, CALOR Y MASA, JAMES WELTY, CHARLES E. WICKS Y ROBERT E. WILSON, LIMUSA, 1986.

3.- FENOMENOS DE TRANSPORTE 2ª. EDICION, BYRON BIRD, WARREN STEWART, EDWIN LIGHTFOOD, LIMUSA-WILEY, 2008.

4.- EXPERIMENTS IN TRANSPORT PHENOMENA, E.J. CROSBY, ED. JHON WILEY AND SONS, INC, 1968

5.- FUNDAMENTAL OF HEAT AND MASS TRANSFER, FRANK K.P., INCROPERA, 5a ED. JHON WILEY 2001.

6.- TERMODINAMICA DE LA INGENIERIA QUIMICA, J.M. SMITH, VAN NESS, ED. MA GRAW HILL, 1989

7.- THE BASIC CONCEPTS IN TRANSPORT PHENOMENA, R.S. BRODKEY, ED. MC GRAW HILL, 1988.