



Manual de operaciones y prácticas.

TC-KT-300 / PE
EQUIPO PARA ESTUDIO DE CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA Y CONVECCIÓN NATURAL.

Número de serie: _____

MANUAL DE OPERACIONES Y PRÁCTICAS

EQUIPO PARA ESTUDIO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y CONVECCIÓN NATURAL

TC-KT-300 / PE

CONTENIDO:

1. Fundamentos Teóricos	3
2. Aplicaciones Experimentales	31
3. Prácticas propuestas	32
4. Especificaciones Técnicas	35
5. Seguridad e higiene	40
6. Operación del equipo	42
6.1. Alineación y energizado	43
6.2. Puesta en marcha	44
6.3. Equipo en operación	46
6.4. Paro del equipo	58
7. Guion Experimental	59
8. Mantenimiento y limpieza	72
9. Apéndice	73

1. Fundamentos Teóricos.

CONDUCCIÓN.¹

La conductividad calorífica k es una propiedad que interviene en la mayor parte de los problemas de transmisión de calor. Su importancia en el transporte de energía es análoga a la de la viscosidad en el transporte de cantidad de movimiento. Se comienza por establecer la ley de Fourier de la conducción de calor, que sirve para definir la conductividad calorífica de un gas, líquido o sólido.

Ley de Fourier de la conducción del calor.

Consideremos una placa de un material sólido de superficie A , comprendida entre dos grandes láminas planas y paralelas separadas por una distancia Y . Supongamos que inicialmente (para $t < 0$) el material sólido está en su totalidad a la temperatura T_0 . En el instante $t = 0$ la lámina inferior se pone bruscamente a una temperatura T_1 , ligeramente superior, que se mantiene constante. A medida que transcurre el tiempo varía el perfil de temperatura en la placa y finalmente, se alcanza una distribución lineal de temperatura en estado estacionario.

¹ Bird, R.B. *Fenómenos de transporte*. Barcelona, Reverte, 1992. Cap. 8 Conductividad calorífica y mecanismo del transporte de energía.

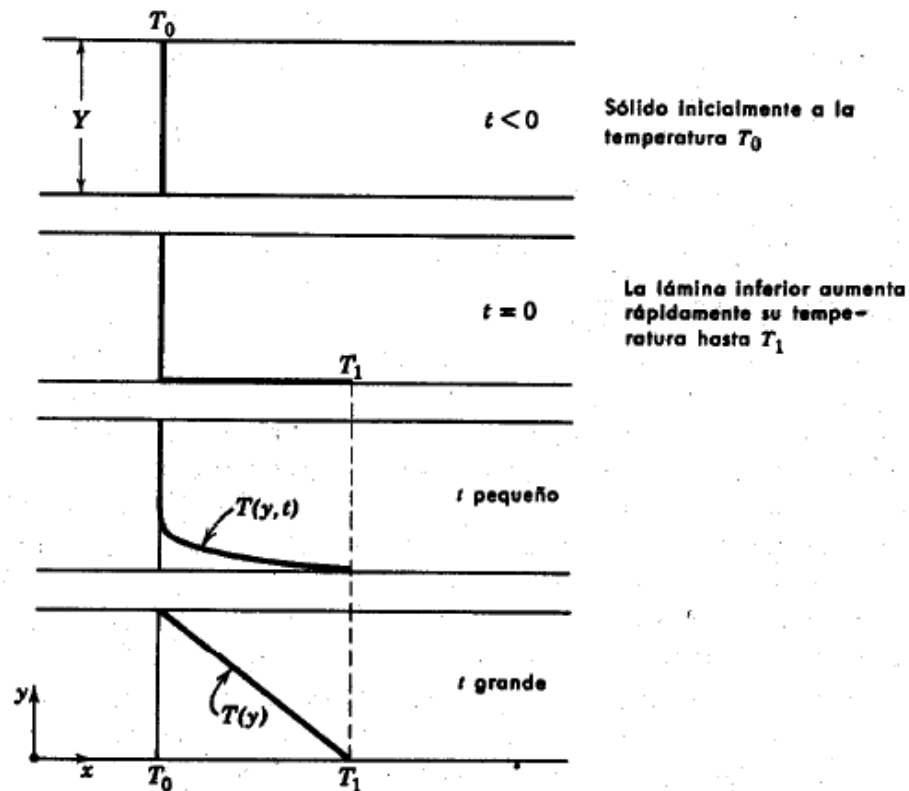


Figura 1. Formación del perfil de temperatura en estado estacionario de una placa solida situada entre dos laminas.

Una vez alcanzadas las condiciones del estado estacionario, tiene que existir una velocidad constante de flujo de calor Q a través de la placa para que se mantenga la diferencia de temperaturas

$\Delta T = T_1 - T_0$. Se ha encontrado que para valores de ΔT suficientemente pequeños se cumple la siguiente relación:

$$\frac{Q}{A} = k \frac{\Delta T}{Y}$$

Es decir, que el flujo de calor por unidad de área es directamente proporcional a la disminución de la temperatura con la distancia Y ; la constante de proporcionalidad k es *la conductividad calorífica* de la placa. La anterior se cumple también para líquidos y gases situados entre las láminas siempre que se tomen las precauciones necesarias para evitar la convección y radiación. Esta ecuación, por lo tanto, describe los procesos de conducción que tienen lugar en sólidos, líquidos y gases.

En los tratamientos analíticos que siguen resulta más conveniente operar con la ecuación anterior expresada en forma diferencial; o sea, que se utiliza la forma límite de esta ecuación correspondiente al caso en que el espesor de la lámina Y tiende hacia cero. El flujo local de calor por unidad de área (densidad de flujo de calor) que tiene lugar en la dirección y positiva se designa por q_y . De acuerdo con esta notación, la ecuación toma la forma:

$$q_y = -k \frac{dT}{dy}$$

Esta ecuación es la forma unidimensional de la *ley de Fourier de la conducción del calor*, que es válida cuando $T = T(y)$. Establece que la densidad de flujo de calor por conducción es proporcional al gradiente de temperatura, o dicho de una forma más gráfica, «el calor se desliza cuesta abajo en la representación gráfica de la temperatura frente a la distancia». En un medio isótropo en el que la temperatura varía en las tres direcciones del espacio, puede escribirse una ecuación análoga a la anterior para cada una de las tres direcciones coordenadas.

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \qquad q_y = -k \frac{dT}{dy} \qquad q_z = -k \frac{dT}{dz}$$

Estas tres relaciones corresponden a los componentes de la ecuación vectorial.

$$q = -k\nabla T$$

que es la forma tridimensional de la ley de Fourier. Establece que el **vector** densidad de flujo de calor q es proporcional al gradiente de temperatura ∇T , y de sentido contrario. Por lo tanto, en un medio isótropo el calor fluye por conducción en la dirección en que el descenso de temperatura es más pronunciado. Para un fluido en movimiento q representa la densidad de flujo de energía calorífica relativa a la velocidad local del fluido.

Se habrá notado que existe una sorprendente semejanza entre la ecuación para la densidad de flujo unidimensional de energía, y la ecuación correspondiente a la densidad de flujo unidimensional de cantidad de movimiento. En ambos casos la densidad de flujo es proporcional al gradiente negativo de una variable macroscópica. y los coeficientes de proporcionalidad son propiedades físicas que dependen de la sustancia y de los valores locales de la presión y la temperatura. Sin embargo, se advierte, que para los casos más complejos, en los que la temperatura y la velocidad varían en las tres direcciones del espacio, las ecuaciones para la densidad de flujo de energía, son más sencillas que las correspondientes ecuaciones para la densidad de flujo de cantidad de movimiento. Esta diferencia se debe a que la energía es un número escalar mientras que la cantidad de movimiento es un vector. Por esta razón la densidad de flujo de energía es un vector con tres componentes, y en cambio, la densidad de flujo de cantidad de movimiento es un tensor con nueve componentes. Por consiguiente, ya se puede anticipar que los problemas de transporte de cantidad de movimiento y los de transporte de energía no serán análogos desde el punto de vista matemático, a excepción de algunos casos geoméricamente sencillos.

Además de la conductividad calorífica definida por la segunda ecuación se utiliza frecuentemente en los tratados de calor la *difusividad térmica*, a , que se define mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}$$

Se utilizan distintos sistemas para expresar las unidades de las magnitudes que se han definido. Para el caso frecuente del sistema c.g.s., tenemos:

$$q_y [=] \text{ cal cm}^{-1} \text{ seg}^{-1}$$

$$T [=] ^\circ K$$

$$y [=] \text{ cm}$$

y por tanto, de la ley de Fourier se deduce:

$$k [=] \text{ cal cm}^{-1} \text{ seg}^{-1} (^\circ K)^{-1}$$

$$a [=] \text{ cm}^2 \text{ seg}^{-1}$$

A veces los datos experimentales están dados en otras unidades, relacionadas de forma sencilla con las anteriores, tales como $\text{Kcal m}^{-1} \text{ hr}^{-1} (^\circ K)^{-1}$. La serie análoga de unidades en el sistema inglés es:

$$q_y [=] \text{ Btu ft}^{-2} \text{ hr}^{-1}$$

$$T [=] ^\circ R$$

$$y [=] \text{ ft}$$

de donde:

$$k [=] \text{ Btu ft}^{-1} \text{ hr}^{-1} (^\circ R)^{-1}$$

$$\alpha [=] \text{ ft}^2 \text{ hr}^{-1}$$

Con el fin de tener en cuenta la interconversión de la energía calorífica y mecánica, la ley de Fourier se expresa a veces de esta forma:

$$q_y = -J_c k \frac{dT}{dy}$$

en la que:

$$q_y [=] \text{erg cm}^{-2} \text{seg}^{-1} \text{ o } \text{ft} - \text{lb, ft}^{-2} \text{hr}^{-1}$$

$$k [=] \text{cal cm}^{-1} \text{seg}^{-1} (^\circ K) \text{ o } \text{Btu ft}^{-1} \text{hr}^{-1} (^\circ R)^{-1}$$

$$T [=] ^\circ K \text{ o } ^\circ R$$

$$y [=] \text{cm o ft}$$

$$J_c [=] \text{erg cal}^{-1} \text{ o } \text{ft} - \text{lb, Btu}^{-1}$$

Se observará que q_y/J_c en la segunda ecuación es lo mismo que q_y . En la ecuación anterior, de modo que las dos formas de la ley de Fourier son totalmente equivalentes. Aquí se utilizará la más sencilla de la ecuación. Puesto que se utilizan con frecuencia ambos sistemas de unidades térmicas y mecánicas, el ingeniero deberá habituarse a realizar frecuentes comprobaciones de la consistencia dimensional. En las tablas 1, 2, 3 y 4 se indican valores experimentales de la conductividad calorífica de gases, líquidos y sólidos.

TABLA 1
VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD CALORÍFICA DE
ALGUNOS GASES COMUNES A LA PRESIÓN DE 1 ATM.*

$$k \times 10^7 \text{ cal cm}^{-1} \text{ seg}^{-1} (\text{°K})^{-1}$$

Gas	100° K	200° K	300° K
H ₂	1625	3064	4227
O ₂	216	438	635
CO ₂	—	227	398
CH ₄	254	522	819
N O	—	425	619

* Tomados de J. O. HIRSCHFELDER, C. F. CURTISS y R. B. BIRD, *Molecular Theory of Gases and Liquids*, Tabla 8.4-10, Wiley Nueva York (1954).

TABLA 2
VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD CALORÍFICA DE
ALGUNOS LÍQUIDOS A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA*

Substancia	Temperatura ^o T(° C)	Conductividad calorífica k (cal seg ⁻¹ cm ⁻¹ (° K) ⁻¹)
Benceno	22,5	0,000378
	60	0,000363
Tetracloruro de carbono	20	0,000247
Éter	30	0,000328
Alcohol etílico	20	0,000400
Glicerina	20	0,000703
Agua	20	0,00143
	60	0,00156
	100	0,00160

* Datos tomados de *Handbook of Chemistry and Physics*, 39ª edición, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, Ohio (1957), pp. 2257-2259. Los datos corregidos para el agua se deben a la amabilidad de los editores.

TABLA 3

**VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD CALORÍFICA DE
ALGUNOS METALES LÍQUIDOS A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA***

Metal	Temperatura $T(^{\circ}\text{C})$	Conductividad calorífica k
		(cal $\text{seg}^{-1} \text{cm}^{-1} (^{\circ}\text{K})^{-1}$)
Al	700	0,247
	790	0,290
Cd	355	0,106
	435	0,119
Pb	330	0,039
	500	0,037
Hg	700	0,036
	0	0,0196
K	120	0,0261
	222	0,0303
Na	200	0,1073
	400	0,0956
Na	600	0,0846
	100	0,2055
Aleación Na-K	300	0,1809
	500	0,1596
56% en peso de Na	100	0,0617
	300	0,0648
44% en peso de K	500	0,0675

* Datos tomados del *Reactor Handbook*, vol. 2, Atomic Energy Commission, **AECD-3646**, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (mayo 1955), pp. 258 y ss.

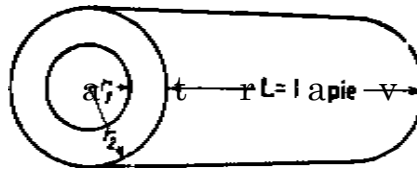
TABLA 4
VALORES EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD CALORÍFICA DE
ALGUNOS SÓLIDOS*

Substancia	Temperatura $T (^{\circ} \text{C})$	Conductividad calorífica k (cal $\text{seg}^{-1} \text{cm-t } (^{\circ} \text{K})^{-1}$)
Aluminio	100	0,492
	300	0,64
	600	1,01
Cadmio	0	0,220
	100	0,216
Cobre	18	0,918
	100	0,908
Acero	18	0,112
	100	0,107
Estaño	0	0,1528
	100	0,143
Ladrillo (rojo corriente)	—	0,001s
Hormigón (bloque)	—	0,0022
Capa de tierra (media)	—	0,004
Vidrio	200	0,0017
Grafito		0,012
Arena (seca)		0,00093
Madera (pino)		
	paralela al eje	0,00030
perpendicular al eje	—	0,00009

* Datos tomados de *Reactor Handbook*, vol. 2, Atomic Energy Commission, AECD-3646, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (mayo, 1955), pp. 1766 y ss.

Flujo de calor a través de la pared de un tubo²

En el paso del calor a través de una pared plana, el área a través de la cual el calor fluye, es constante en toda la trayectoria del flujo de calor. Refiriéndonos a la figura que muestra un tubo de unidad de longitud, el área de la trayectoria del flujo de calor a través de la pared del tubo aumenta con la distancia de la trayectoria desde r_1 a r_2 . El área a cualquier radio r es dada por $2\pi r l$, y si el calor fluye hacia afuera del cilindro el gradiente de temperatura para el incremento de longitud dr es dt/dr .



La ley de Fourier se transforma en:

$$q = 2\pi r k \left(-\frac{dt}{dr} \right) \frac{Btu}{(h)(pie\ lineal)}$$

Integrando:

$$t = -\frac{q}{2\pi k} \ln r + C_1$$

donde $r = r_i$, y $t = t_i$, y cuando $r = r_o$, y $t = t_o$; donde i y o se refieren a las superficies internas y externas respectivamente. Entonces:

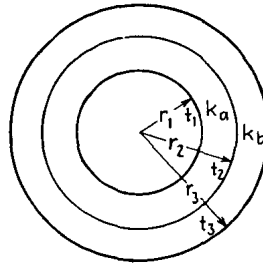
$$q = \frac{2\pi k(t_i - t_o)}{2.3 \log r_o/r_i}$$

² Kern, Donald Q. *Procesos de transferencia de calor*. México, CECSA, 1965. Capítulo 2 Conducción.

y si D es el diámetro

$$\frac{r_o}{r_i} = \frac{D_o}{D_i}$$

Refiriéndose a la siguiente figura, donde se trata de una resistencia cilíndrica compuesta



$$t_1 = t_2 + \frac{2.3q}{2\pi k_a} \log \frac{D_2}{D_1}$$

$$t_2 = t_3 + \frac{2.3q}{2\pi k_b} \log \frac{D_3}{D_2}$$

Sumando,

$$t_1 - t_3 = \frac{2.3q}{2\pi k_a} \log \frac{D_2}{D_1} + \frac{2.3q}{2\pi k_b} \log \frac{D_3}{D_2}$$

Si el diámetro interior del cilindro es mayor que 0.75 del diámetro externo, se puede usar el promedio de los dos. Entonces, para un pie de longitud

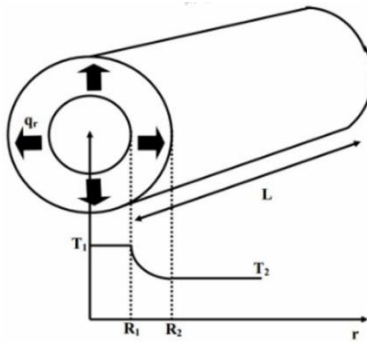
$$q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{\Delta t}{L_a/k_a A_m} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{(D_2 - D_1)/2}{\pi k_a (D_1 + D_2)/2}}$$

Donde $(D_2 - D_1)$ es el grueso del tubo. Dentro de las limitaciones establecidas para la razón D_2/D_1 , la ecuación anterior diferirá de $t_1 - t_3$ por cerca de 1%. De hecho, hay 1.57 ft² de superficie externa por pie lineal y 1.31 ft² de superficie interna. La pérdida de calor por ft² es 343 Btu/h basados en la superficie externa y 411 Btu/h basados en la superficie interna.

Conducción radial

Para condiciones de estado estacionario, sin generación interna de calor, la ley de Fourier en coordenadas cilíndricas se expresa como:

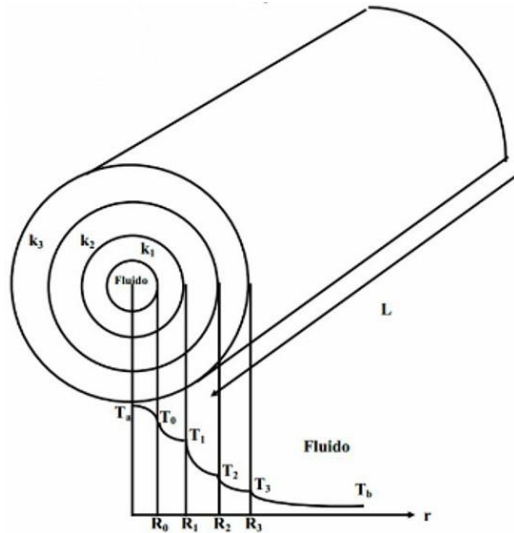
$$Q_r = -kA_r \frac{dT}{dr}$$



Siendo Q_r una constante en la dirección radial. Si consideramos también la forma del área de transferencia para un cilindro tenemos:

$$Q_r = -k (2 \pi r L) \frac{dT}{dr}$$

Donde $(2 \pi r L)$ es el área normal a la dirección de transferencia de calor.



Determine la expresión de la Ley de Fourier bajo condiciones de estado estacionario para las coordenadas adecuadas para conducción radial.

En régimen permanente:

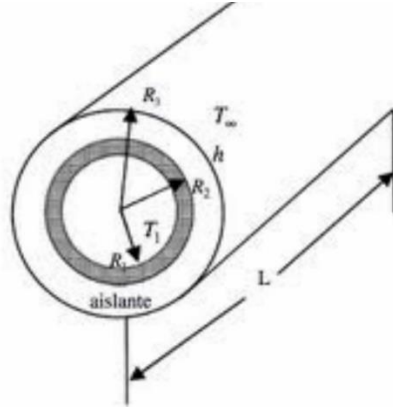
$$q = -k A_{mL} \frac{dT}{dr}$$

Donde:

$$A_{mL} = \frac{A_2 - A_1}{\ln\left(\frac{A_2}{A_1}\right)}$$

Condiciones de límite:

$$r_1 - T_1 ; \quad r_2 - T_2 :$$



$$q dr = -k A dT$$

$$q \int_{T_1}^{T_2} dr = -k A_{mL} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q (r_2 - r_1) = -k A_{mL} (T_2 - T_1)$$

Si: $T_1 > T_2$ $q A_r = k A_{mL} - (T_1 - T_2)$

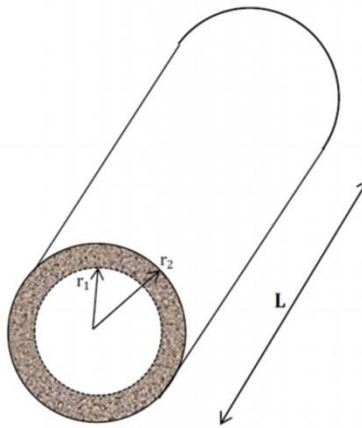
$$q = k A_{mL} \frac{\Delta T}{\Delta r} \rightarrow q = \frac{\Delta T}{\left(\frac{\Delta r}{k A_{mL}}\right)}$$

$$q = \frac{\Delta T}{R}$$

$$R = \left(\frac{\Delta r}{k A_{mL}}\right)$$

Pared cilíndrica

La ecuación de la energía para conducción unidimensional en estado estacionario para una pared cilíndrica puede ser escrita como:



$$T(r = r_1) = T_1 \text{ Condición de borde 1}$$

$$T(r = r_2) = T_2 \text{ Condición de borde 2}$$

Si por ejemplo el calor se transfiere desde adentro hacia afuera del cilindro en la dirección radial, entonces $T_1 > T_2$. para resolver la ecuación, se deben incluir las siguientes condiciones de borde:

Temperatura:

$$T(r) = T_2 + (T_1 - T_2) \frac{\ln(r/r_2)}{\ln(r_1/r_2)}$$

Flujo de calor:

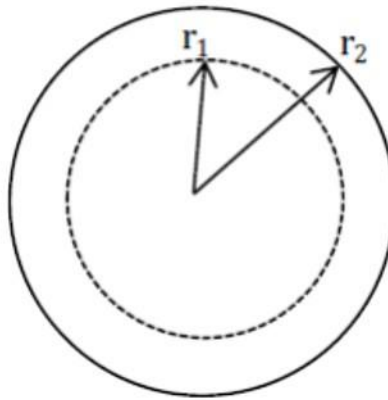
$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{Rt} = \frac{(T_1 - T_2)}{\ln(r_1/r_2)} 2\pi Lk$$

Resistencia térmica:

$$Rt = \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi Lk}$$

Pared esférica

La ecuación de la energía para conducción unidimensional es estado estacionario para una pared esférica puede ser escrita como:



$$T(r = r_1) = T_1 \text{ Condición de borde 1}$$

$$T(r = r_2) = T_2 \text{ Condición de borde 2}$$

La solución de la ecuación, arroja lo que se conoce como el perfil de la temperatura para la conducción unidimensional en estado estacionario para una pared esférica.

$$T(r) = T_1 - (T_1 - T_2) \frac{(1 - (r_1/r))}{(1 - (r_1/r_2))}$$

Por lo que el flujo de calor será:

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{Rt} = \frac{(T_1 - T_2)}{(1/r_1 - 1/r_2)} 4 \pi k$$

Y la resistencia térmica de una pared cilíndrica:

$$Rt = \frac{(1/r_1 - 1/r_2)}{4 \pi k}$$

CONVECCION.³

La transferencia de calor por convección se debe al movimiento del fluido. El fluido frío adyacente a superficies calientes recibe calor que luego transfiere al resto del fluido frío mezclándose con él. La convección libre o natural ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa por agitación mecánica. Pero cuando el fluido se agita mecánicamente, el calor se transfiere por convección forzada. La agitación mecánica puede aplicarse por medio de un agitador, aun cuando en muchas aplicaciones de proceso se induce circulando los fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de tubos. Las convecciones libre y forzada ocurren a diferentes velocidades, la última es la más rápida y por lo tanto, la más común.

³ *Ibíd*em, Capítulo 3 Convección.

Los factores que promueven altas transferencias para la convección forzada, no necesariamente tienen el mismo efecto en la convección libre. Es propósito de este capítulo establecer un método general para obtener las razones de transferencia de calor particularmente en presencia de convección forzada.

Coeficientes de película.

Se vio que en el flujo de calor de una tubería al aire, el paso de calor hacia el aire no se efectuó solamente por convección, en lugar de esto, el flujo se efectúa parcialmente por radiación y parcialmente por convección libre. Existía una diferencia de temperatura entre la superficie de la tubería y la temperatura *promedio* del aire. Puesto que la distancia de la superficie del tubo hasta la región del aire a temperatura promedio es indefinida, la resistencia no se puede computar usando $R_a = L_a/k_a A$, usando k para el aire. Sino que la resistencia debe determinarse experimentalmente midiendo apropiadamente la temperatura de la superficie del tubo, la temperatura del aire y el calor transferido desde el tubo, según la cantidad de vapor que se condense en él. La resistencia de la superficie completa se computó entonces de

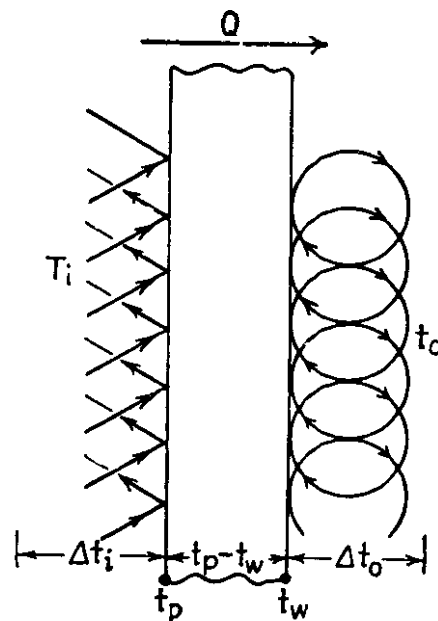
$$R_a = \frac{\Delta t_a}{q} \quad (h)(^{\circ}F)/Btu$$

Si se desea, L_a puede también calcularse a partir de este valor de R_a y sería la longitud de una capa de aire ficticia de conducción, equivalente a la resistencia combinada de conducción, convección libre y radiación. La longitud de la película es de poco significado, aun cuando el concepto de película ficticia encuentra numerosas aplicaciones. En lugar de esto, es preferible trabajar directamente con el recíproco de la resistencia unitaria h , que tiene un origen experimental.

Debido a que el uso de la resistencia unitaria L/k es mucho más común que el uso de la resistencia total de superficie L/kA , la letra R se usará ahora para designar $L/k(h)(\text{pie}^2)(^\circ\text{F})/\text{Btu}$ y se llamará simplemente resistencia.

No todos los efectos de la conducción son necesariamente combinaciones de dos de ellos. Particularmente en el caso de convección libre o forzada a líquidos, y de hecho a muchos gases a temperaturas y diferencia de temperaturas moderadas, la influencia de radiación puede despreciarse y la resistencia experimental corresponde a convección forzada o libre, según el caso.

Considérese una pared de tubería con convección forzada de diferentes magnitudes en ambos lados del tubo.



En el lado interior, el calor es depositado por un fluido caliente, y en el lado exterior el calor es recibido por un líquido frío. Cualquiera de las resistencias puede ser medida independiente- mente, obteniendo la diferencia de temperatura entre la superficie del tubo y la temperatura promedio del líquido. La transferencia de calor puede determinarse a partir del cambio de calor sensible en cualquiera de los fluidos y en la longitud del tubo en la cual ocurra transferencia de calor. Designando por R_i la resistencia interior, y la exterior por R_o ; las temperaturas interiores y exteriores de la pared del tubo por t_p y t_w , y aplicando una expresión para el estado estable,

$$Q = \frac{A_i(T_i - t_p)}{R_i} = \frac{A_o(t_w - t_o)}{R_o}$$

Donde T_i es la temperatura del fluido caliente en la parte interior y t , la temperatura del fluido frío en el exterior. Reemplazando las resistencias por sus recíprocos h_i y h_o , respectivamente,

$$Q = h_i A_i \Delta t_i = h_o A_o \Delta t_o$$

Los recíprocos de la resistencia de transferencia de calor tienen las dimensiones de $\text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^\circ\text{F})$ de diferencia de temperatura, y se llaman *coeficientes individuales de película* o simplemente *coeficientes de película*.

Además de que el coeficiente de película es una medida del flujo de calor por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura, indica la razón o velocidad a la cual fluidos que tienen una variedad de propiedades físicas y bajo diferentes grados de agitación, transfieren calor. Hay otros factores que influyen los coeficientes de película, tales como el tamaño del tubo y si el fluido se considera o no que está dentro del tubo. Con tantas variables, y cada una teniendo su propio grado de influencia en la razón de transferencia de calor (coeficiente de película), es fácilmente comprensible por qué no hay una derivación racional que permita un cálculo directo de los coeficientes de película.

Por otra parte, no es práctico efectuar un experimento para determinar el coeficiente cada vez que se deba añadir o remover calor de un fluido. En lugar de esto, es deseable estudiar algún método de correlación mediante el cual y con la ejecución de algunos experimentos básicos, con un amplio rango de variables, obtener relaciones que mantengan su validez para cualesquiera otras combinaciones de variables. El problema inmediato es establecer un método de correlación y luego aplicarlo a datos experimentales.

Convección forzada.⁴

Se va a considerar un problema de convección forzada en estado estacionario, que presenta un caso límite suficientemente sencillo para poder resolverse analíticamente. Un fluido viscoso cuyas propiedades físicas son constantes (ρ , μ , k , C_p) circula con flujo laminar en un tubo de radio R . Para $z < 0$ la temperatura del fluido es constante e igual a T_0 , y para $z > 0$ hay un flujo constante de calor q_1 a través de la pared. Estas condiciones se dan, por ejemplo, en una tubería que está uniformemente bobinada con una resistencia de calefacción eléctrica.

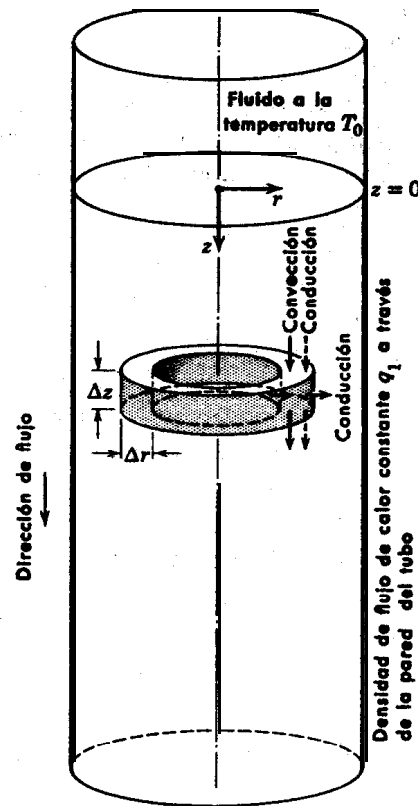
La primera etapa en la resolución de un problema de transmisión de calor por convección forzada consiste en el cálculo de los perfiles de velocidad en el sistema. Se ha visto cómo se realiza esto para el caso de un tubo, mediante la aplicación del método del balance envolvente de cantidad de movimiento. Sabemos que la distribución de velocidad, a una distancia suficientemente alejada aguas abajo del obstáculo, de forma que se sobrepase la longitud de entrada, es

$$V_z = V_{z,max} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right]$$

En la que $V_{z,max}$ viene dada por $(p_0 - p_L)R^2/4\mu L$

Para obtener la distribución de temperatura aplicamos un balance de energía calorífica a un elemento en forma de anillo circular, tal como se indica en la figura siguiente, teniendo en cuenta que T es una función de r y z .

⁴ Bird, *Op. Cit.* Cap. 9 Distribución de temperatura en sólidos y en el flujo laminar Cap. 9, p. 30-39.



A este anillo entra y sale energía por conducción en ambas direcciones r y z (señaladas con las flechas de trazo continuo). También entra y sale energía debido a las corrientes de entrada y salida del fluido que llevan una cierta cantidad de «calor sensible».

Por lo tanto, las contribuciones al balance de energía son:

Entrada de energía por r por conducción

$$q_r|_r \cdot 2\pi r \Delta z$$

Salida de energía por r + Δr por conducción

$$q_r|_{r+\Delta r} \cdot 2\pi(r + \Delta r) \Delta z$$

Entrada de energía por z por conducción

$$q_z|_z \cdot 2\pi r \Delta r$$

Salida de energía por z + Δz por conducción

$$q_z|_{z+\Delta z} \cdot 2\pi r \Delta r$$

Entrada de energía por z debido al flujo del fluido

$$\rho C_p v_z (T - T_0)|_z \cdot 2\pi r \Delta r$$

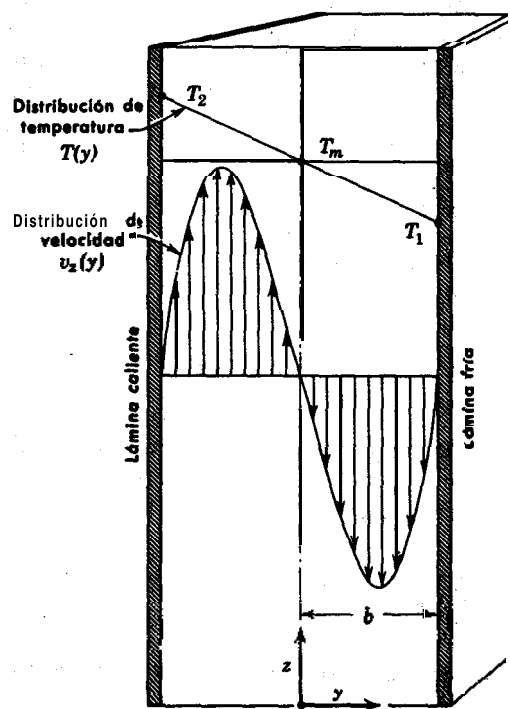
Salida de energía por z + Δz debido al flujo del fluido

$$\rho C_p v_z (T - T_0)|_{z+\Delta z} \cdot 2\pi r \Delta r$$

Estos dos últimos términos representan el contenido calorífico de las corrientes de entrada y salida respecto de una temperatura de referencia T_0 es preciso elegir esta temperatura de referencia ya que las energías no pueden expresarse en forma absoluta, sino relativa. La elección del plano de referencia es arbitraria; y no aparece en la ecuación diferencial.

Convección libre.⁵

Se fija la atención en un problema de convección libre, que corresponde al flujo entre dos paredes paralelas que están a distinta temperatura. Un fluido de densidad ρ y viscosidad μ está situado entre dos paredes verticales separadas entre sí una distancia $2b$, tal como se indica en la figura siguiente:



⁵ *Ibíd.* Cap. 9, p. 36-37.

La pared caliente, situada en $y = -b$, se mantiene a la temperatura T_2 y la pared fría situada en $y = +b$, a la temperatura T_1 . Debido al gradiente de temperatura, el fluido próximo a la pared caliente asciende, mientras que desciende el que está junto a la pared fría. Se supone que el sistema está construido de tal forma que la velocidad volumétrica de flujo de la corriente ascendente es igual a la de la, descendente.

Si las láminas son muy largas en la dirección z , la temperatura será una función exclusiva de y (aparte los efectos finales, por supuesto). Para obtener la distribución de temperatura se aplica un balance de energía calorífica a una envoltura de espesor Δy , que conduce a la siguiente ecuación diferencial de la temperatura (para k constante):

$$k \frac{d^2 T}{dy^2} = 0$$

Esta ecuación se resuelve con las condiciones límite:

C.L. para $y = -b$ $T = T_2$

C.L. para $y = +b$ $T = T_1$

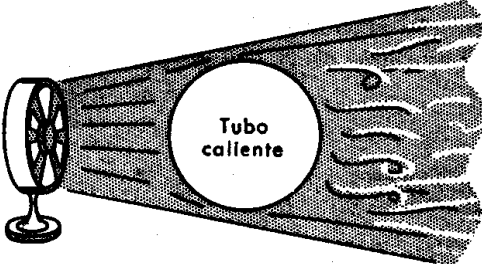
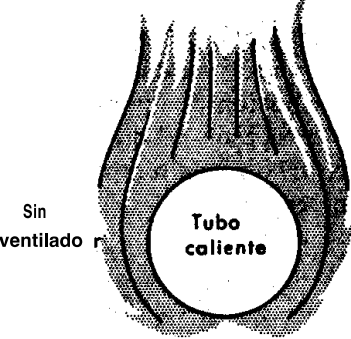
Fácilmente se encuentra que la solución es:

$$T = T_m - \frac{1}{2} \Delta T \left(\frac{y}{b} \right)^2$$

en la que $\Delta T = T_2 - T_1$, es la diferencia entre la temperatura de las paredes y

$T_m = \frac{1}{2} (T_1 + T_2)$, es su media aritmética.

Comparación de la convección libre y forzada en sistemas no isotérmicos.

Transmisión de color por convección forzada  El calor es barrido hacia lo derecha por la corriente forzada de aire	Transmisión de color por convección libre  El calor se transporta hacia arriba por el aire caliente que asciende
1. Las características del flujo están determinados fundamentalmente por una fuerza externo	1. Las características del flujo están determinadas por el efecto de flotación del fluido caliente
2. Primeramente se hallan los perfiles de velocidad, que se utilizan después para calcular los perfiles de temperatura [procedimiento general para fluidos cuyos propiedades físicas son constantes]	2. Los perfiles de velocidad y temperatura están íntimamente relacionados
3. El número de Nusselt depende de los números de Reynolds y Prandtl. (Véase Cap. 13)	3. El número do Nusselt depende de los números de Grashof y Prandtl (Véase Cap. 13)



Manual de operaciones y prácticas.

TC-KT-300 / PE
EQUIPO PARA ESTUDIO DE CONDUCTIVIDAD
TÉRMICA Y CONVECCIÓN NATURAL.

BIBLIOGRAFÍA

Bird, R.B. *Fenómenos de transporte*. Barcelona, Reverte, 1992. Cap. 8 Conductividad calorífica y mecanismo del transporte de energía.

Kern, Donald Q. *Procesos de transferencia de calor*. México, CECSA, 1965. Capítulos 2 y 3.

2. Aplicaciones Experimentales.

- Estudio del intercambio térmico por medio del fenómeno de conducción radial.
- Estudio del intercambio térmico por medio del fenómeno de conducción lineal en una barra de metal con aislamiento.
- Estudio del intercambio térmico por medio del fenómeno de conducción lineal asociado al fenómeno de convección natural en una barra de metal sin aislamiento.
- Comparativo en el estudio del calentamiento de una barra aislada y una barra expuesta a una corriente de aire.
- Determinación del factor de conductividad térmica de diferentes materiales; cobre, aluminio, bronce y acero al carbón.
- Estudio del factor de resistencia a la transferencia de calor en una superficie de contacto y su variación con respecto a la naturaleza de los materiales.
- Estudio de los gradientes de temperatura de acuerdo a diferentes niveles de transferencia
- Determinación de la gráfica Temperatura vs. Distancia.
- Establecimiento de los límites a la frontera.
- Comparativo de las gráficas de gradientes de temperatura para los diferentes materiales bajo diferentes condiciones de operación.
- Sistema de adquisición de datos por medio de software y pantalla táctil de 10.4 pulgadas.

3. Prácticas propuestas.

- 3.1 Estudio de Conducción de Calor Radial en una probeta de Bronce a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera.
- 3.2 Estudio de Conducción de Calor Lineal en una probeta de Cobre a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera
- 3.3 Estudio de Conducción de Calor Lineal en una probeta de Aluminio a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera
- 3.4 Estudio de Conducción de Calor Lineal en una probeta de Acero al carbón a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera.
- 3.5 Estudio de Conducción de Calor Lineal en una probeta de Bronce a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera.

Comparativo de las prácticas 3.1 y 3.5 para analizar el efecto en conducción lineal y radial.

- 3.6 Estudio de Conducción de Calor Lineal en cuatro probetas distintas (Cobre, Aluminio, Acero al carbón y Bronce) a una misma potencia de calentamiento. Establecer el mismo valor de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento de diferentes metales bajo las mismas condiciones de límites en la frontera
- 3.7 Estudio de Conducción de Calor Lineal con el fenómeno simultaneo de Convección Natural en una probeta de Cobre a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera
- 3.8 Estudio de Conducción de Calor Lineal con el fenómeno simultaneo de Convección Natural en una probeta de Aluminio a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera
- 3.9 Estudio de Conducción de Calor Lineal con el fenómeno simultaneo de Convección Natural en una probeta de Acero al carbón a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera
- 3.10 Estudio de Conducción de Calor Lineal con el fenómeno simultaneo de Convección Natural en una probeta de Bronce a diferentes valores de potencia de calentamiento. Establecer distintos valores de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento del mismo metal bajo diferentes condiciones de límites en la frontera.

Comparativo de las prácticas 3.2 a 3.5 con respecto a las prácticas 3.7 a 3.10. Análisis en el fenómeno de conducción de calor para un mismo metal, con respecto al mismo fenómeno cuando es simultáneo con el fenómeno convectivo.

3.11 Estudio de Conducción de Calor Lineal con el fenómeno simultáneo de Convección natural en cuatro probetas distintas (Cobre, Aluminio, Acero al carbón y Bronce) a una misma potencia de calentamiento. Establecer el mismo valor de Set-point en la temperatura de calentamiento de la resistencia. Análisis del comportamiento de diferentes metales bajo las mismas condiciones de límites en la frontera.

Nota: Los resultados en el desarrollo experimental de aquellas prácticas que incluyen el fenómeno convectivo (probetas no aisladas) pueden variar debido a las condiciones de la temperatura ambiente y el flujo de circulación de aire en el aula o laboratorio.

4. Especificaciones Técnicas.

- Unidad piloto completamente instrumentada de pequeña escala para laboratorio. Montada sobre estructura en perfil de aluminio reforzado tipo industrial, compuesta de una unidad de proceso y un gabinete de control, ambas unidades están interconectadas entre sí formando una sola instalación.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción radial de calor, conformado por una probeta de estudio fabricada en bronce, de 18.4 cm. de diámetro y una pulgada de espesor. Seis puertos para medición de temperatura en disposición radial. Aislamiento térmico fabricado en PTFE. Resistencia de calentamiento colocada al centro con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el borde periférico del disco, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, conformado por una probeta de estudio fabricada en bronce, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Aislamiento térmico fabricado en PTFE. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, conformado por una probeta de estudio fabricada en cobre, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Aislamiento térmico fabricado en PTFE. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.

- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, conformado por una probeta de estudio fabricada en aluminio, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Aislamiento térmico fabricado en PTFE. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, conformado por una probeta de estudio fabricada en acero al carbón, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Aislamiento térmico fabricado en PTFE. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, con el fenómeno simultáneo de convección natural, conformado por una probeta de estudio fabricada en bronce, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Sin aislamiento térmico. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, con el fenómeno simultáneo de convección natural, conformado por una probeta de estudio fabricada en cobre, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Sin aislamiento térmico. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.

- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, con el fenómeno simultáneo de convección natural, conformado por una probeta de estudio fabricada en aluminio, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Sin aislamiento térmico. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Módulo para el estudio del fenómeno de transferencia de calor por conducción lineal de calor, con el fenómeno simultáneo de convección natural, conformado por una probeta de estudio fabricada en acero al carbón, de 50 cm. de longitud y una pulgada de diámetro. Doce puertos para medición de temperatura en disposición lineal. Sin aislamiento térmico. Resistencia de calentamiento colocada al inicio de la barra con potencia de 500 Watt. Circulación de agua fría por el extremo final de la barra, estableciendo así los límites a la frontera.
- Doce sensores de temperatura tipo Pt - 100 de tres hilos, intercambiables para ser colocados en diferentes puntos del equipo.

GABINETE DE CONTROL

- Tipo industrial NEMA 4X
- Foco indicador luminoso de tablero energizado
- Botones de marcha y paro de resistencia de calentamiento con indicador luminoso
- Contactor de protección y arranque para resistencia de calentamiento.
- Portafusibles de protección.
- Botón de paro de emergencia tipo hongo de media vuelta.
- Cableado por medio de canaleta y con números de identificación.
- Componentes eléctricos montados sobre riel.

SOFTWARE Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

- Sistema de adquisición de datos y control conformado por un software y Pantalla Táctil de 10.4 pulgadas, a color, con tensión nominal de alimentación a 24 VCD. Montada sobre gabinete de control para visualización de señales de medición y seguimiento del proceso que permite el registro y análisis automático de datos y resultados.

DIMENSIONES APROXIMADAS

Largo: 1.15 metros

Profundidad: 0.55 metros

Altura: 1.05 metros

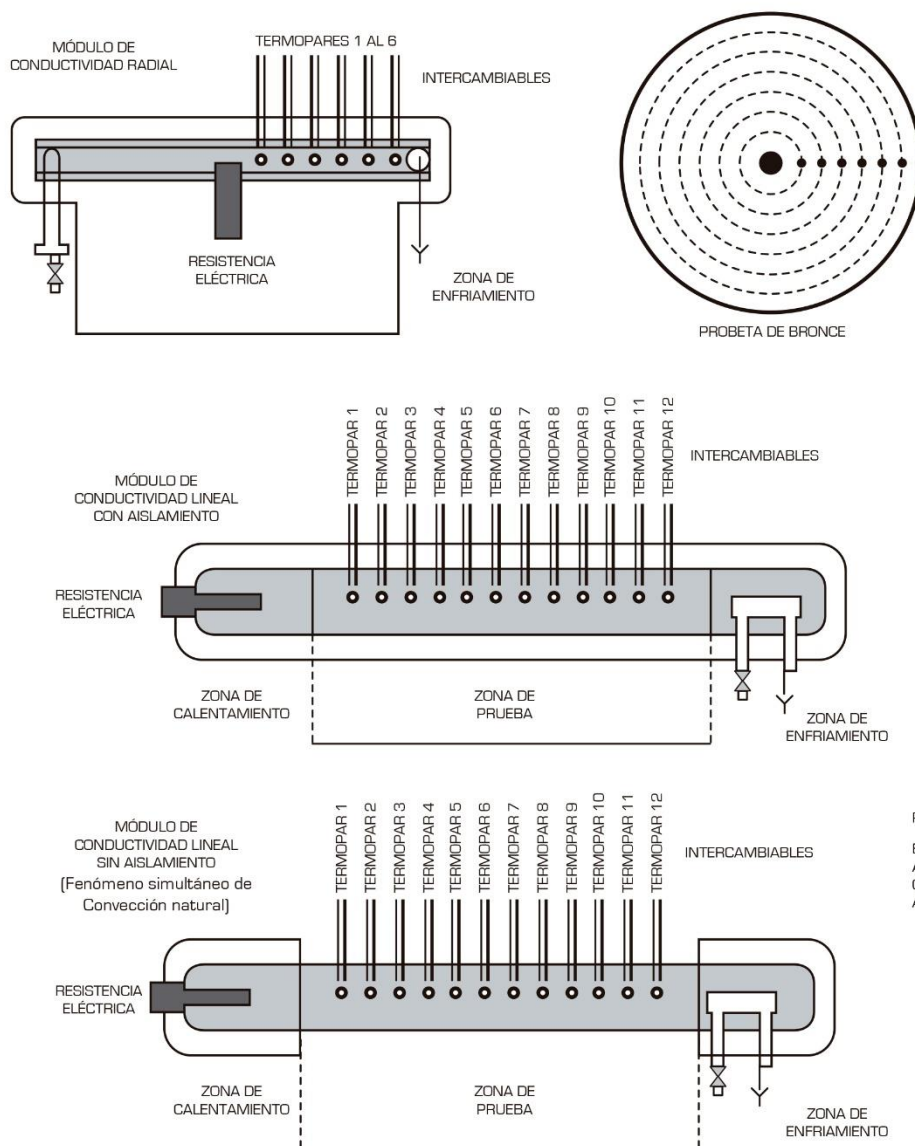
SERVICIOS NECESARIOS

- Alimentación eléctrica: 120 VAC, 60 Hz.
- Protección: 25 Ampere.
- Alimentación de agua de red.
- Drenaje.
- Computadora PC con operación bajo ambiente Windows y Cable Ethernet

INCLUYE:

- Instalación, Puesta en Marcha y Capacitación.
- Manual de operaciones y prácticas en español.

TC-KT-300/PE



5. Seguridad e higiene.

Seguridad e higiene son los procedimientos, técnicas y elementos que se aplican en los centros de trabajo y laboratorios, para el reconocimiento, evaluación y control de los agentes nocivos que intervienen en los procesos y actividades, con el objeto de establecer medidas y acciones para la prevención de accidentes o enfermedades, a fin de conservar la vida, salud e integridad física de las personas, así como evitar cualquier posible deterioro al lugar.

A continuación se enumeran algunas normas que se deben de acatar dentro del laboratorio cuando se esté manejando el equipo.

- Todas las actividades que se realicen con este equipo deberán estar supervisadas por el personal responsable.
- Siempre que el equipo opere es necesario revisar que la puerta del gabinete de control se encuentre cerrada. Si hay necesidad de abrirla, el gabinete debe estar desenergizado.
- Es obligatorio que todos los operadores sigan las normas de seguridad e higiene, indicadas en el reglamento interno del laboratorio.
- Debe revisarse que la estructura del equipo esté fija con los frenos puestos colocados en las llantas.
- Si no se tiene conocimiento de algún componente interno del gabinete, consultar el *Manual Técnico* en el apartado correspondiente y notificar a Generatoris.

- Tener mucho cuidado con la manipulación de la resistencia eléctrica ya que ésta puede estar muy caliente durante o después de la realización de la práctica. Es indispensable usar guantes de carnaza para evitar quemaduras.
- No se debe trabajar por ningún motivo a temperaturas mayores a 120 °C ya que el teflón empieza a degradarse. Por razones de seguridad en el laboratorio, se recomienda trabajar como temperatura máxima 90 °C. Es importante tomar en consideración que la inercia de calentamiento de la resistencia es de 7 °C.
- Al finalizar la experimentación el equipo debe dejarse perfectamente limpio para usos posteriores
- Es obligatorio que todos los operadores usen: Bata, guantes de carnaza y lentes de seguridad durante la operación y limpieza de este equipo.

6. Operación del equipo.

El módulo de conductividad térmica ofrece cuatro distintos materiales para el estudio de la transferencia de calor por conducción como lo son el Cobre, Bronce, Acero al carbón y Aluminio. Con ello se puede analizar la repercusión del área de transferencia y la configuración con respecto a la transferencia de calor Lineal (con aislamiento y sin aislamiento con fenómeno simultáneo de convección natural) o Radial. Para el estudio de los diferentes fenómenos se utilizan doce sensores de temperatura para conducción lineal colocados a lo largo de los módulos de experimentación y seis sensores de temperatura para conducción radial, colocados en puntos estratégicos. Con ellos se analiza la variación de temperatura con respecto a la longitud, tiempo e intensidad de calentamiento.

El primer paso antes de operar el equipo es el reconocimiento de sus componentes principales, mismos que han sido descritos en los numerales 2 y 3 del *Manual Técnico*.

Los servicios auxiliares que se requieren antes y durante la puesta en marcha del equipo son los siguientes:

- A. Verificar que el equipo se encuentre debidamente conectado a 110 VAC, 3 hilos; fase, neutro y tierra. De igual manera, verificar que la protección del equipo sea superior a 25 Amperes.
- B. Verificar el suministro de agua de enfriamiento para la alimentación de los módulos de conducción, así como la disposición de drenaje para evacuar el agua.
- C. Disponer de una computadora con ambiente Windows con entrada Ethernet.
- D. Verificar que la computadora se encuentre conectada con dicho puerto.

6.1. Alineación y energizado.

Alineación de tuberías antes de poner en marcha el equipo.

1. Verificar que se encuentren abiertas las válvulas para suministro de agua de enfriamiento.

Energizado del gabinete de control.

2. Asegurarse que el guardamotor de protección en el interior del gabinete de control se encuentre con el botón negro ON presionado.
3. La operación del equipo debe ser con la puerta del gabinete de control cerrada.
4. Asegurarse que el botón tipo hongo de paro de emergencia de media vuelta esté en la posición adecuada, no presionado. De lo contrario dar media vuelta para liberarlo.
5. Colocar el interruptor general en la posición ON. Debe estar prendida la pantalla táctil y el indicador luminoso blanco de tablero energizado también debe estar iluminado así como los botones rojos de paro de la resistencia y del ventilador.
6. El equipo está listo para ponerse en marcha. Debe seleccionar el módulo de experimentación a emplear colocar tanto la resistencia como los sensores de temperatura en los puertos adecuados. Es importante definir que la numeración de los sensores de temperatura están asociados al software; de tal forma que para conducción radial se deben colocar de forma ascendente del centro al extremo y para la conducción lineal de forma ascendente a partir del extremo más cercano a la resistencia eléctrico.

7. El montaje de las probetas de estudio es realmente sencillo; solo es necesario embonarlas en los soportes de acrílico, después colocar los doce sensores de temperatura y conectar la resistencia eléctrica.
8. En cuanto al módulo de conductividad radial, solo se debe colocar los seis sensores de temperatura y conectar la resistencia eléctrica.

6.2. Puesta en marcha.

9. Verificar que el módulo de estudio se encuentre debidamente colocado.
10. Verificar que todos los sensores de temperatura se encuentren colocados en el módulo de experimentación en forma adecuada. La numeración se explica en el punto 6 de este apartado.
11. Conectar la resistencia de calentamiento al módulo con el que se desea trabajar.
12. Presionar el pulsador verde para suministro de corriente eléctrica a la resistencia.
13. En la pantalla táctil se debe oprimir el recuadro “INGRESAR A MENÚ PRINCIPAL”. Si se quieren revisar los fundamentos teóricos oprimir “FUNDAMENTOS TEÓRICOS”; si se desean consultar las prácticas propuestas oprimir “PRÁCTICAS PROPUESTAS”.

En el apartado de “AYUDA” se dan a conocer los pasos a seguir para la instalación del software que permite hacer la descarga de datos en tu PC; mientras que en el de “SOPORTE TÉCNICO” aparecen los datos del contacto de la empresa Generatoris para la atención al cliente postventa.

14. En la parte inferior de la pantalla aparecen unas pestañas “Conductividad Radial”, “Conductividad Lineal con Aislamiento” y “Conductividad Lineal sin Aislamiento”. Al seleccionar alguna de ellas nos desplegará el módulo correspondiente para así poder iniciar la prueba.
15. Al estar en las pantallas “Conductividad Radial”, “Conductividad Lineal con Aislamiento” y “Conductividad Lineal sin Aislamiento” Se desplegará una nueva pantalla en donde antes de iniciar la prueba se debe ajustar el set point y la frecuencia de registro; para el primero se debe oprimir la casilla que se encuentra delante de la leyenda “SET POINT DE TEMPERATURA (SP)”, aparecerá un teclado numérico donde se tecleará el valor deseado. Para el segundo se oprime la casilla que se encuentre delante de la leyenda “FRECUENCIA DE REGISTRO”, de igual forma aparecerá el teclado numérico y se procede de la misma forma.
16. Definidos los parámetros se oprime “INICIAR”.

6.3. Equipo en operación.

17. Al seguir los siguientes podemos establecer que la prueba ha empezado, debemos dar tiempo para que se llegue al set point deseado, el registro de datos se realiza desde el momento en que dimos iniciada la prueba.
18. Variar el flujo de agua de enfriamiento cuando la energía térmica haya llegado a esa zona.
19. Para obtener la lectura de los resultados experimentales se debe descargar un software en la computadora que esté dispuesta para este fin. Los pasos para hacerlo son los siguientes:

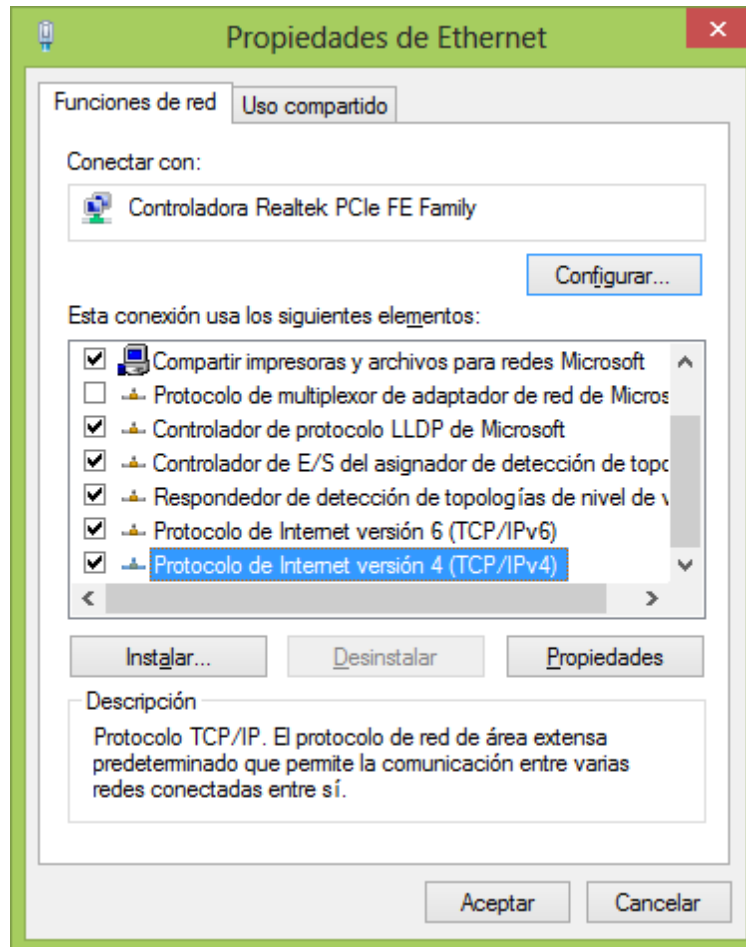
20. Instalación del software y comunicación con la PC

- 20.1 Abrir la carpeta: "UniLogicSetup 1_5_Rev_3(1)"
- 20.2 Dar click en "Sí" cuando aparezca la leyenda: "¿Desea permitir que este programa de un editor desconocido realice cambios en el equipo?"
- 20.3 Después aparecerá el instalador en donde se da click en "Next".
- 20.4 Posteriormente en "Start Installation".
- 20.5 Posteriormente en "Install".
- 20.6 Posteriormente en "Next".
- 20.7 Posteriormente en "I accept the terms of the license agreement".
- 20.8 Posteriormente en "Next".

- 20.9 Posteriormente en “I accept the terms of the license agreement”.
- 20.10 Posteriormente en “Next”.
- 20.11 Posteriormente en “Next”.
- 20.12 Posteriormente en “Install”.
- 20.13 Finalmente en “Finish”.
- 20.14 Si se abre automáticamente el programa instalado “UniLogicSetup 1_5_Rev_3(1)” cerrarlo para poder configurar el puerto Ethernet de la PC.
- 20.15 **Nota:** Instalar solo el software UniLogicSetup 1_5_Rev_3(1) proporcionado por Generatoris.

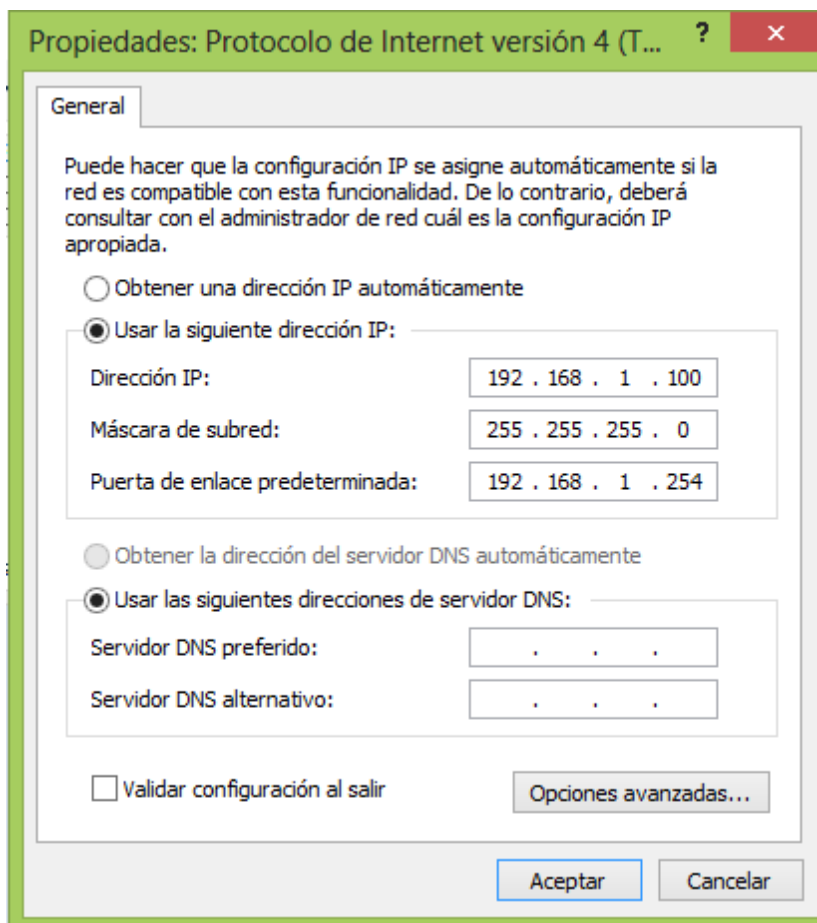
21. Configuración del puerto Ethernet de la PC

- 21.1 Ir a panel de control.
- 21.2 Dar click en “Abrir el Centro de redes y recursos compartidos”.
- 21.3 Dar click en “Cambiar configuración del adaptador”.
- 21.4 Dar click en “Ethernet”.
- 21.5 Dar click en propiedades y se abrirá la siguiente ventana.



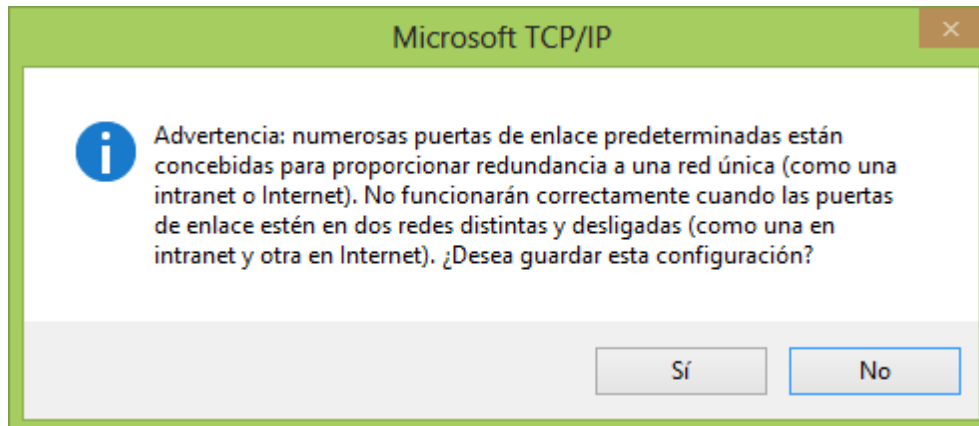
21.6 Dar doble click en “Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4).”

21.7 Dar click en “Propiedades”.



- 21.8 En la Dirección IP se asigna el valor 192.168.1.100
- 21.9 En Máscara de subred se asigna el valor 255.255.255.0
- 21.10 En Puerta de enlace predeterminada se asigna el valor 192.168.1.254
- 21.11 Dar click en “Aceptar”.
- 21.12 Dar click en “Cerrar”.
- 21.13 Finalmente dar click en “Cerrar”.

- 21.14 Si aparece ésta advertencia dar click en “sí” y cerrar todas las ventanas que se abrieron en la configuración del puerto para finalizar.

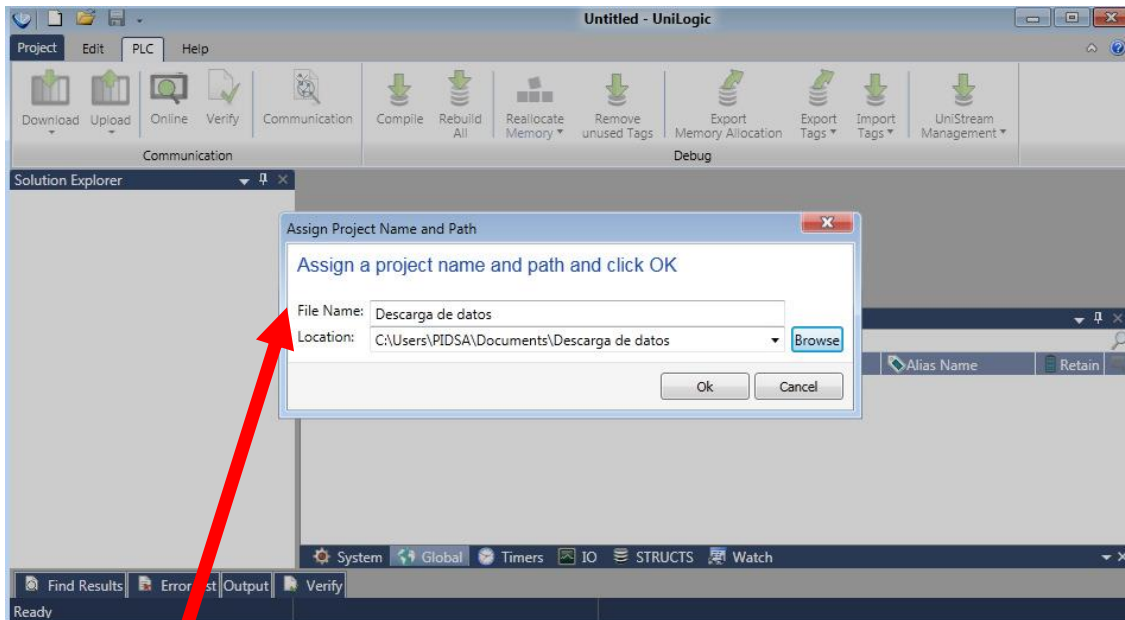


- 21.15 Su puerto ya está configurado para poder realizar descargas.
- 21.16 **Nota:** Si el puerto conserva ésta configuración ya no es necesario reconfigurarlo.

29 Descarga de datos

- 29.1 Verificar que el cable de Ethernet esté conectado.
- 29.2 Abrir el ícono “Unitronics UniLogic” ubicado en el escritorio.
- 29.3 Oprimir “Sí” cuando aparezca la leyenda “¿Desea permitir que este programa de un editor desconocido realice cambios en el equipo?”

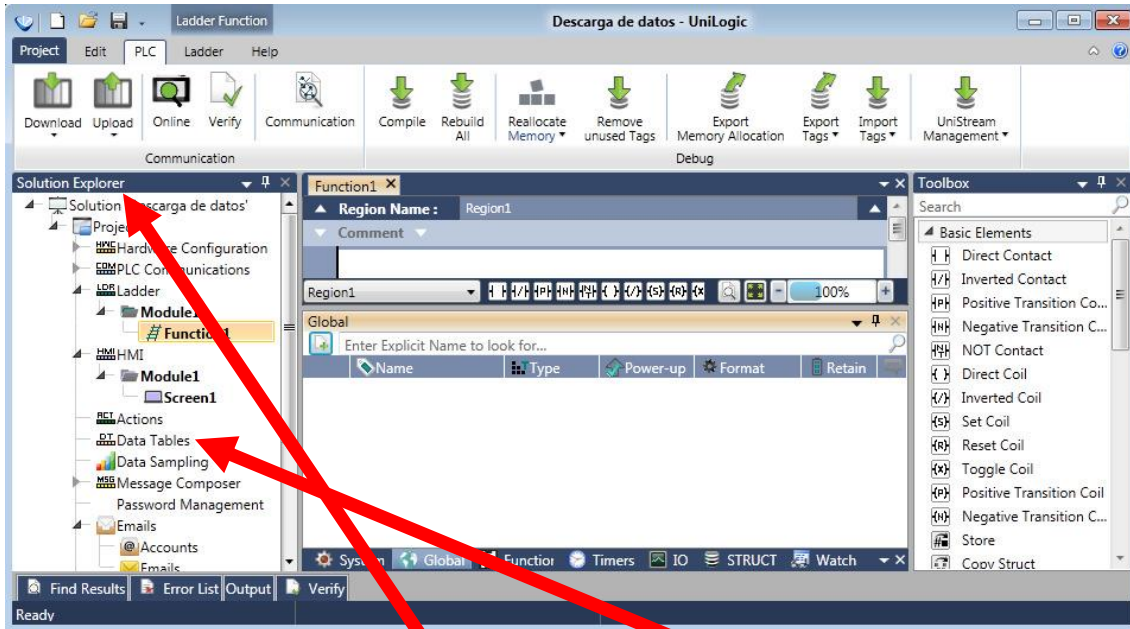
29.4 Al estar en el software oprimir “New”.



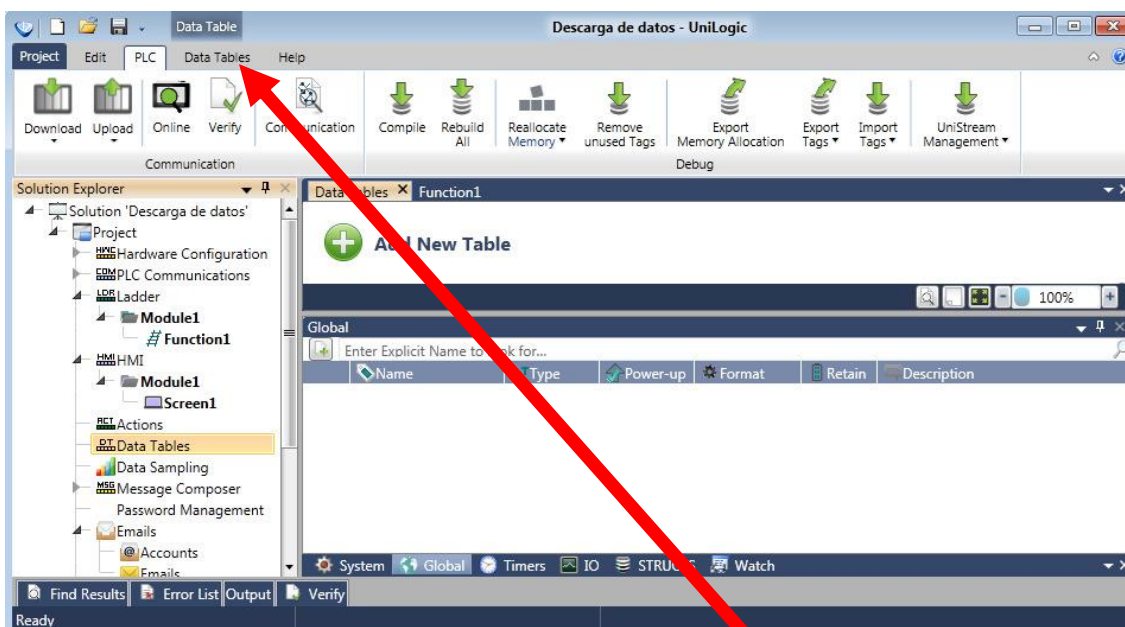
29.5 En “File Name” asignar “Descarga de datos”. (Una vez creado el proyecto, ya no es necesario volverlo a crear para futuras descargas).

29.6 En “Location” oprimir “Browse” y determinar en donde se quieren guardar las corridas experimentales.

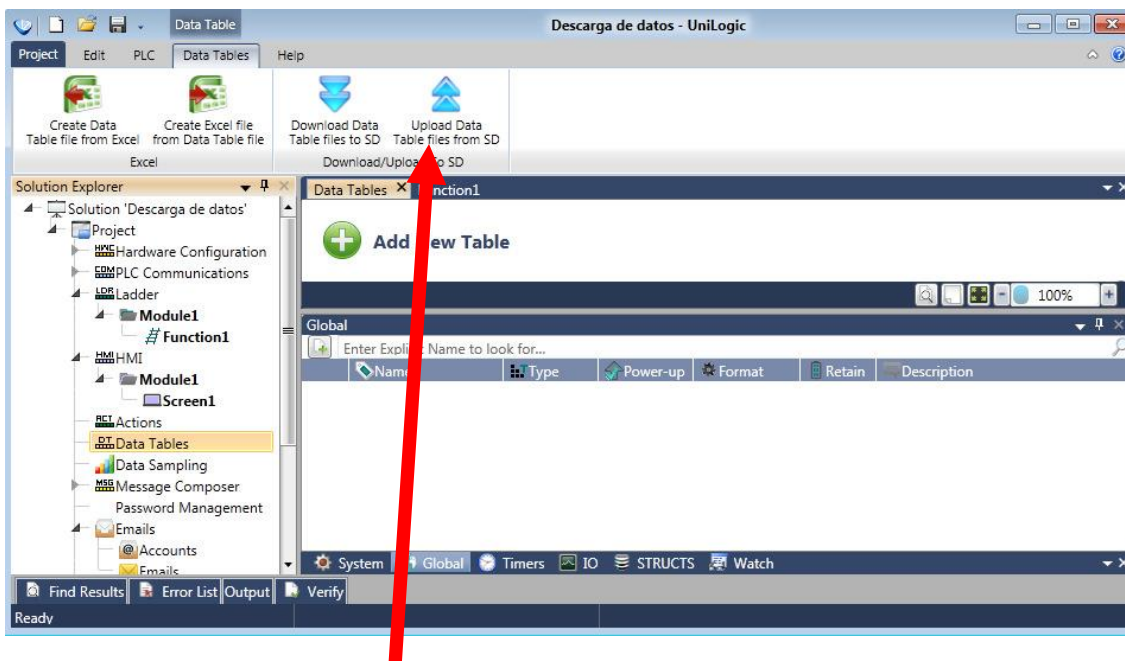
29.7 Oprimir “Ok”.



29.8 En la pestaña de “Solution Explorer” oprimir “Data Tables” para cambiar menú.



29.9 En la barra de tareas de la parte superior ir a “Data Tables” para cambiar menú.



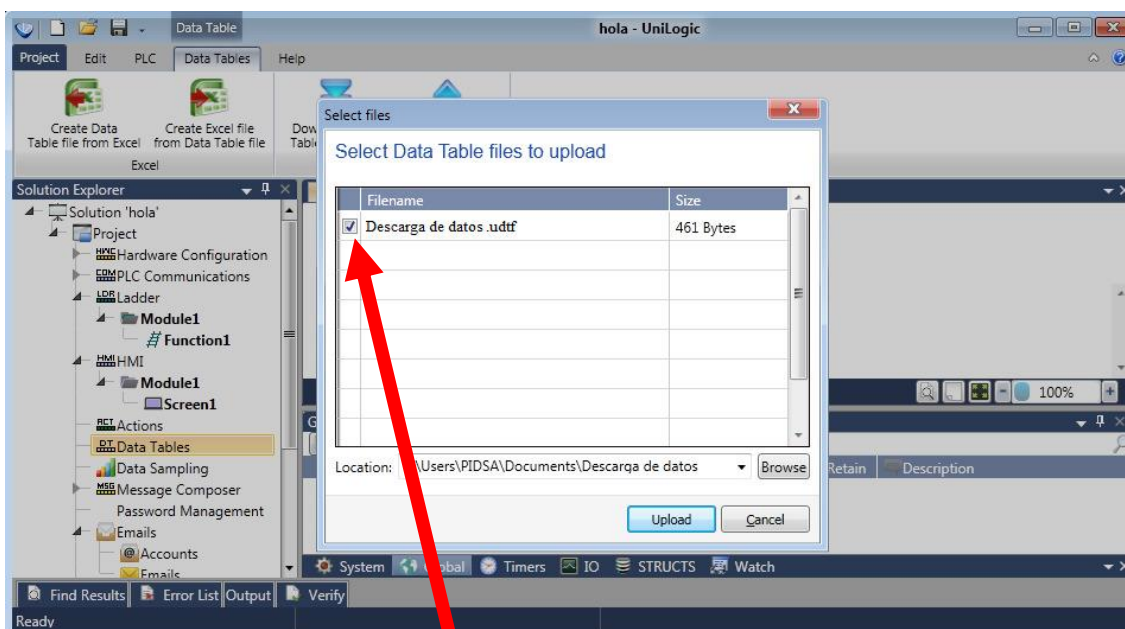
29.10 Oprimir “Upload Data Table files from SD”.



29.11 Cerciorarse que se encuentre en Ethernet y no en USB. También de que sea la IP: 192.168.1.2

29.12 Aparecerá el recuadro de “Select the UniStream PLC to upload from”.

29.13 Oprimir “Upload” para realizar la descarga.



29.14 Seleccionar el file de “Descarga de datos”.

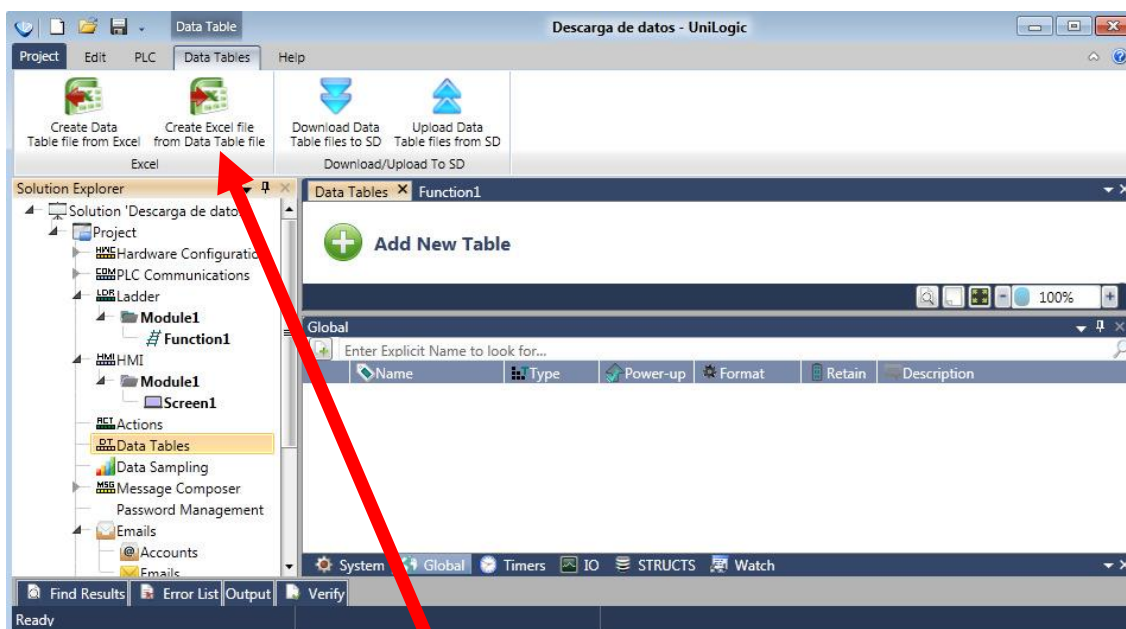
29.15 Oprimir “Browse”.

29.16 Se debe crear una carpeta para que ahí se guarden las corridas de datos que se generen.

29.17 Después se oprime “Seleccionar carpeta”.

29.18 Oprimir “Upload”.

29.19 Oprimir “Ok”.



29.20 Oprimir “Create Excel file from Data Table file”.

29.21 Seleccionar archivo y la carpeta con extensión “.udtf” donde se guardó la descarga.

29.22 Oprimir “Abrir”.

29.23 Se debe de asignar un nombre a la corrida experimental ya en formato “.xls”.

29.24 Oprimir “Guardar”.

29.25 Finalmente oprimir “Ok”.

29.26 Ahora se busca el documento de Excel y se abre para ver la descarga de los valores experimentales.

30 Visualización en computadora.

30.1 Verificar que el cable de Ethernet esté conectado.

30.2 Abrir “VNC-Viewer-5.1.0-Windows-32bit”.

30.3 Aceptar “I have read and accept these terms and conditions”.

30.4 Después click en “Ok”.

30.5 En VNC Server asignar 192.168.1.2

30.6 Después click en “Connect”.

30.7 Después click en “Continue”.

30.8 En Password asignar 1234

30.9 Finalmente click en “Ok”.

30.10 **NOTA IMPORTANTE:** Antes de abrir el programa se debe conectar el cable y para desconectarlo se debe cerrar el software.

6.4. Paro del equipo.

- 31** Presionar el pulsador rojo para detener el suministro de corriente eléctrica a la resistencia.
- 32** Si por alguna razón se tiene que detener la experimentación de emergencia; debe presionarse el hongo de paro de emergencia y automáticamente todos los componentes que estén funcionando dejarán de hacerlo. Para arrancar nuevamente el equipo debe liberarse el hongo de paro de emergencia dando media vuelta a este. Verificar que el gabinete esté energizado.
- 33** Cerrar la válvula de suministro de agua de enfriamiento.
- 34** Regresar el interruptor general a posición off.

7. Guion (es) Experimental (es).

Practica (1 de 1)

Conducción de Calor Lineal y Radial.

1. Objetivos

- Obtener de manera experimental el valor de conductividad térmica en la probeta y comparar con el valor teórico.
- Comprobar el fenómeno de transferencia de calor por conducción, tanto en dirección axial como en dirección radial.
- Comparativo en el estudio del calentamiento de una barra aislada y una barra expuesta a una corriente de aire.
- Obtener la solución general para la distribución de temperatura en la probeta.
- Determinar la rapidez de eliminación de calor por unidad de longitud en la probeta.
- Determinar la expresión del coeficiente de convección.

2. Materiales, equipo y servicios auxiliares.

- Probeta de Bronce del módulo de conductividad Radial.
- Probeta de Latón del módulo de conducción lineal.
- Probeta de Latón del módulo de conducción lineal con el fenómeno simultaneo de Convección Natural.
- Computadora PC con ambiente Windows y conexión a Enthernet.
- Agua de enfriamiento

3. Desarrollo experimental.

La operación del equipo se encuentra en la sección 6 del Manual de Operaciones y Prácticas. Aquí se presentan las consideraciones particulares para la realización de esta práctica. La cual consiste en operaciones básicas:

1. Verificar que el equipo se encuentre conectado a 110 VAC.
2. Conectar los seis termopares a la probeta de estudio de conducción radial conforme a la numeración establecida en la pantalla táctil.
3. Conectar las mangueras de alimentación y de salida del sistema de agua de enfriamiento.
4. Conectar la resistencia de calentamiento en el puerto de la probeta
5. Conectar la computadora con el cable correspondiente.
6. Fijar un set point de temperatura y la frecuencia de registro.
7. Oprimir el botón verde de prendido de resistencia de calentamiento.

8. Los datos experimentales se deben descargar en la computadora después de que se haya terminado la experimentación.
9. Una vez que el primer termopar alcanza la temperatura del set point, oprimir el botón rojo de paro de resistencia de calentamiento.
10. Repetir los pasos 1 al 9 para la probeta de Latón del módulo de conducción lineal, la prueba debe realizarse con los 12 sensores.
11. Repetir los pasos 1 al 9 para la probeta de Latón del módulo de conducción lineal con el fenómeno simultaneo de convección natural, la prueba debe realizarse con los 12 sensores.

4. Obtención de datos experimentales.

Al llegar al estado de equilibrio, es decir, cuando la “T1” llegue al set point establecido, se deben registrar los siguientes datos.

Conducción radial.

Variable	Bronce
Potencia de resistencia (Watt)	
Tiempo de la experimentación (min)	
Set Point en zona de calentamiento. °C	
Temperatura 1. (°C)	
Temperatura 2. (°C)	
Temperatura 3. (°C)	
Temperatura 4. (°C)	
Temperatura 5. (°C)	
Temperatura 6. (°C)	

2. Conducción Lineal.

Variable	Latón
Set Point en zona de calentamiento. °C	
Temperatura 1. (°C)	
Temperatura 2. (°C)	
Temperatura 3. (°C)	
Temperatura 4. (°C)	
Temperatura 5. (°C)	
Temperatura 6. (°C)	
Temperatura 7. (°C)	
Temperatura 8. (°C)	
Temperatura 9. (°C)	
Temperatura 10. (°C)	
Temperatura 11. (°C)	
Temperatura 12. (°C)	

3. Conducción lineal con el fenómeno simultaneo de convección natural.

Variable	Latón
Set Point en zona de calentamiento. °C	
Temperatura 1. (°C)	
Temperatura 2. (°C)	
Temperatura 3. (°C)	
Temperatura 4. (°C)	
Temperatura 5. (°C)	
Temperatura 6. (°C)	
Temperatura 7. (°C)	
Temperatura 8. (°C)	
Temperatura 9. (°C)	
Temperatura 10. (°C)	
Temperatura 11. (°C)	
Temperatura 12. (°C)	

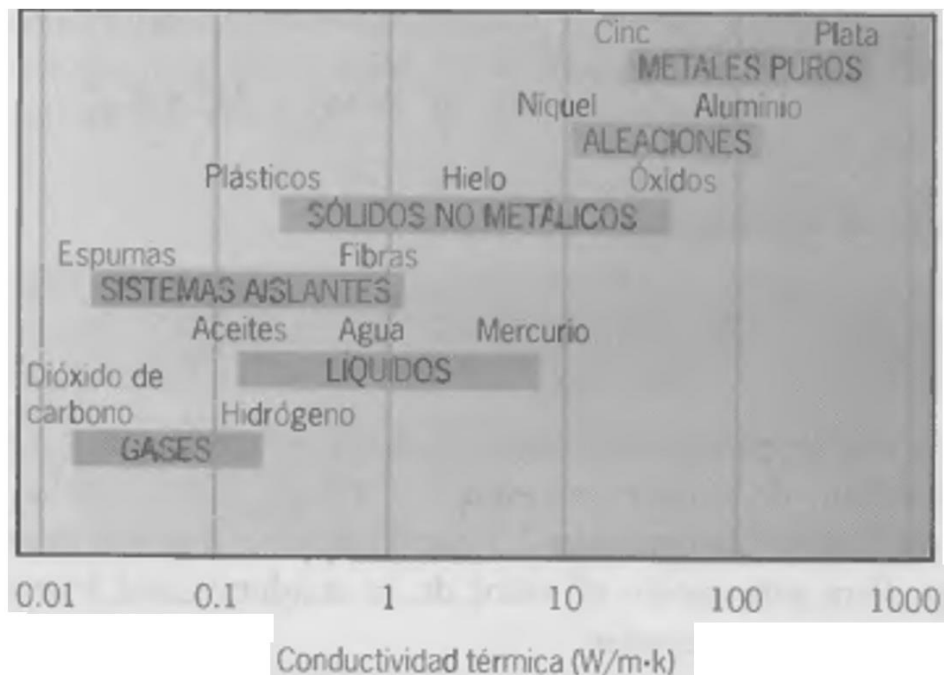
5. Desarrollo de datos experimentales.

1. Conductividad térmica:

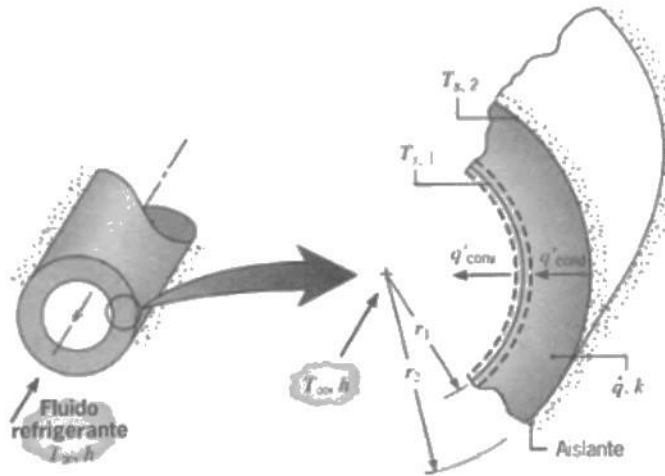
Ecuación de Fourier:

$$Q = \frac{K * A}{L} * \Delta T$$

1.1 Con el valor obtenido de K experimental, encontrar el parámetro en el se ubica dicho valor.



Cálculos teóricos.



Consideraciones:

- Condiciones de estado estable.
- Conducción radial unidimensional.
- Propiedades constantes.
- Generación volumétrica de calor uniformes.
- Superficie exterior adiabática.

Encontrar:

- Solución general para la distribución de temperaturas $T_{(r)}$.
- Condiciones de frontera apropiadas y la forma correspondiente de la distribución de temperaturas.
- Rapidez de eliminación de calor.
- Coeficiente de convección en la superficie interna.

Para determinar distribución de temperaturas $T_{(r)}$.

Forma general de la ecuación de calor:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho C_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Condiciones:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) + \frac{\dot{q}}{k} = 0$$

Solución está dada por:

$$T_{(r)} = - \frac{\dot{q}}{2k} r^2 + C_1 \ln r + C_2$$

Para condiciones de frontera.

Se necesita evaluar C_1 y C_2 , y en este problema resulta apropiado especificar ambas condiciones en r_2 , recurriendo al límite de temperatura que se estableció:

$$T(r_2) = T_{s2}$$

Por lo tanto y aplicando la ley de Fourier, en la superficie adiabática:

$$\left. \frac{dT}{dr} \right|_2 = 0$$

Aplicando en la ecuación:

$$T_{s2} = -\frac{\dot{q}}{4k} r_2^2 + C_1 \ln r_2 + C_2$$

$$0 = -\frac{\dot{q}}{2k} r_2^2 + C_1$$

$$C_1 = -\frac{\dot{q}}{2k} r_2^2$$

$$C_2 = T_{s2} + \frac{\dot{q}}{4k} r_2^2 - \frac{\dot{q}}{2k} r_2^2 \ln r_2$$

Sustituyendo en las ecuaciones:

$$T(r) = T_{s2} + \frac{\dot{q}}{4k} (r_2^2 - r^2) - \frac{\dot{q}}{2k} r_2^2 \ln \frac{r_2}{r}$$

Para la rapidez de eliminación de calor.

Se determina obteniendo la transferencia de calor por conducción en r_1 o evaluándola rapidez total de generación para el tubo. De la ley de Fourier:

$$q'_r = -k2\pi r \frac{dT}{dr}$$

Así, al sustituir en la ecuación y evaluar el resultado en r_1 :

$$q'_r = -k2\pi r \left(-\frac{\dot{q}}{2k} r_1 + \frac{\dot{q}}{2k} \frac{r_2^2}{r_1} \right) = \pi \dot{q} (r_2^2 - r_1^2)$$

De forma alternativa, como la probeta está aislada en r_2 , la rapidez a la que se genera el calor en el tubo debe ser igual a la rapidez de eliminación en r_1 . Es decir, para un volumen de control alrededor del tubo, el requerimiento de conservación de la energía, se reduce a:

$$\dot{E}_g - \dot{E}_{sale} = 0$$

Donde:

$$\dot{E}_g = \dot{q}\pi (r_2^2 - r_1^2)L$$

$$\dot{E}_{sale} = q'_{cond} L = -q'_r(r_1) L$$

De aquí:

$$q'_r(r_1) = -\pi \dot{q} (r_2^2 - r_1^2)$$

Para requerimiento de conservación de la energía, a la superficie interna, se sigue que:

$$q'_{cond} = q'_{conv}$$

O

$$\pi \dot{q} (r_2^2 - r_1^2) = h 2 \pi r_1 (T_{s1} - T_{\infty})$$

Por tanto:

$$h = \frac{\dot{q} (r_2^2 - r_1^2)}{2 r_1 (T_{s1} - T_{\infty})}$$

Donde T_{s1} se obtiene evaluando la ecuación:

$$T(r) = T_{s2} + \frac{\dot{q}}{4k} (r_2^2 - r^2) - \frac{\dot{q}}{2k} r_2^2 \ln \frac{r_2}{r}$$

En $r = r_1$

Las conductividades térmicas de las probetas con las que se cuenta son las siguientes:

Material	Conductividad térmica (W/m°C)	Capacidad Calorífica (Kcal/ kg °c)	Densidad (g/cm ³)
Bronce	116 - 186	0.086	8.89
Latón	103.8	0.094	8.6

Conducción lineal.

El área transversal de las probetas es de $5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

La longitud entre los muestreos es de 0.03 m

Conducción radial.

El área transversal de las probetas es de 0.0265 m^2

La longitud entre los muestreos es de 0.015 m

Actividades por realizar:

1. Gráfico perfiles de temperatura con la distancia (conducción lineal).
2. Gráfico perfiles de temperatura con la distancia (conducción lineal con el fenómeno simultáneo de convección natural).

Comparar los gráficos y tendencias obtenidos.

3. Gráfico perfiles de temperatura con la distancia (conducción radial).
4. Gráfico de temperaturas con la ecuación de difusión de calor en los tipos de conducción (lineal y radial).

Fuente de consulta:

P. Incropera Frank, P. De Witt David. *Fundamentos de transferencia de calor*. Ed. Prentice Hall. Cuarta Edición. México. 1999.

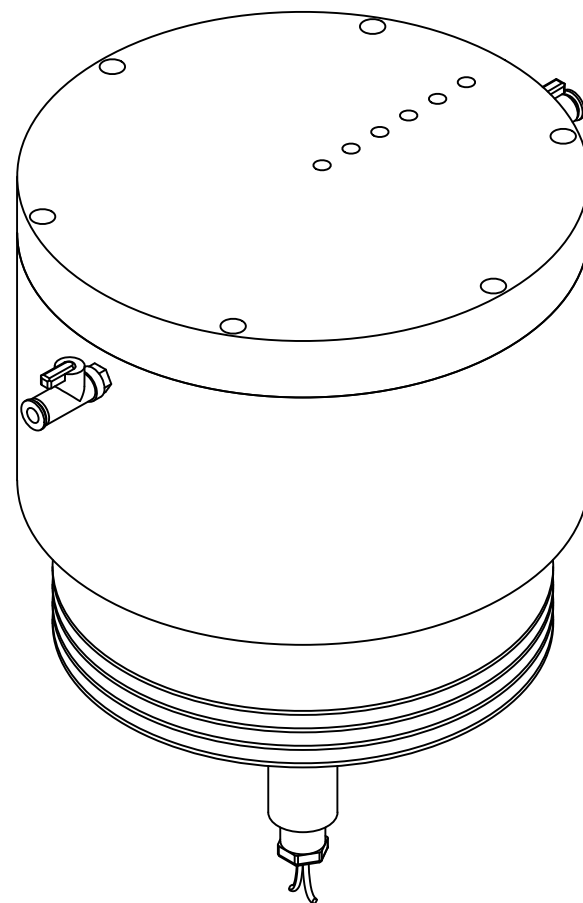
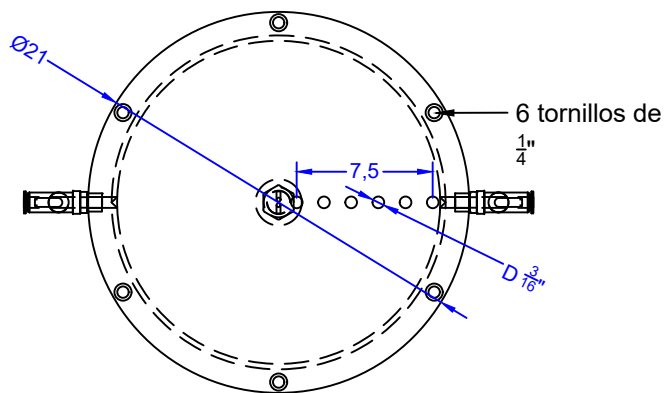
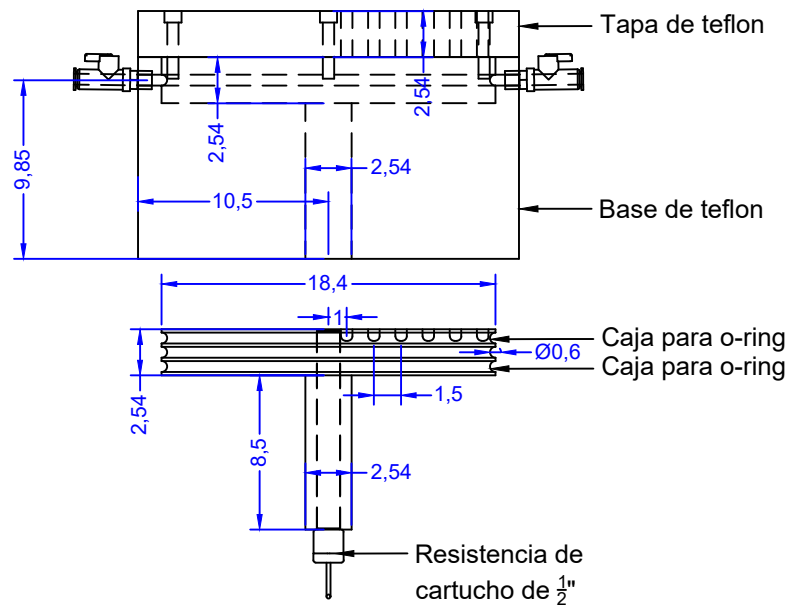
8. Mantenimiento y limpieza.

El programa o plan de mantenimiento preventivo se trata de la descripción detallada de las tareas de mantenimiento preventivo asociadas a un equipo o máquina, explicando las acciones, plazos y recambios a utilizar; en general, hablamos de tareas de limpieza, comprobación, ajuste, lubricación y sustitución de piezas.

- El equipo para el estudio de conducción y convección de calor requiere poco mantenimiento y la limpieza es realmente fácil.
- Es fundamental dejar enfriar y colocar en un lugar seguro las probetas y patrones de ensayo cuando se termine la experimentación.
- Se recomienda remover el polvo acumulado semanalmente, si es que el equipo permanece sin actividad. Para ello es suficiente el uso de un lienzo húmedo.
- **No debe usarse solvente para la limpieza del equipo y especialmente para el gabinete de control pues se corre el riesgo de daño. Se recomienda el uso de ceras de pulimento para automóviles (polish). Para el ducto de acrílico se deberá utilizar solamente un paño húmedo.**
- En general los componentes de la unidad son de tipo industrial y no requieren de mantenimiento. En caso de falla consultar con los anexos técnicos de este manual.
- Generatoris S.A. de C. V. realizará visitas anuales a las instalaciones de sus equipos ante su solicitud escrita en menos de una semana. En caso de requerir algún servicio extraordinario antes de lo pactado por favor, no dude en contactarnos.

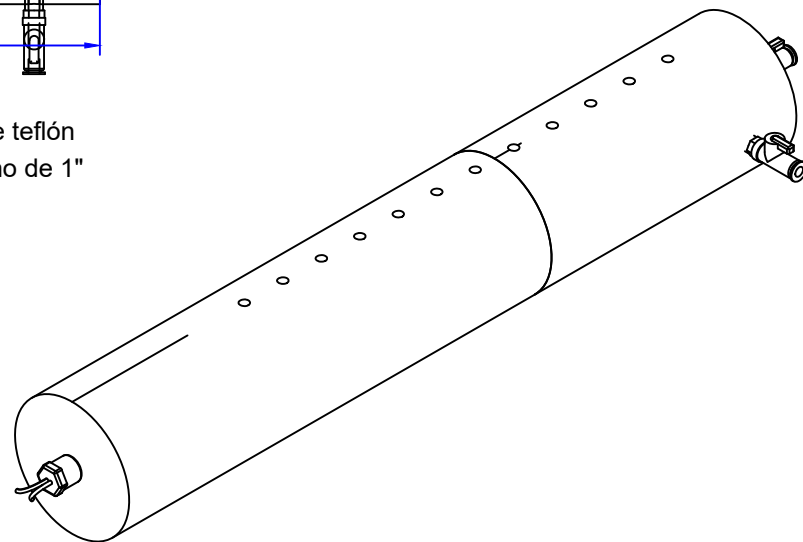
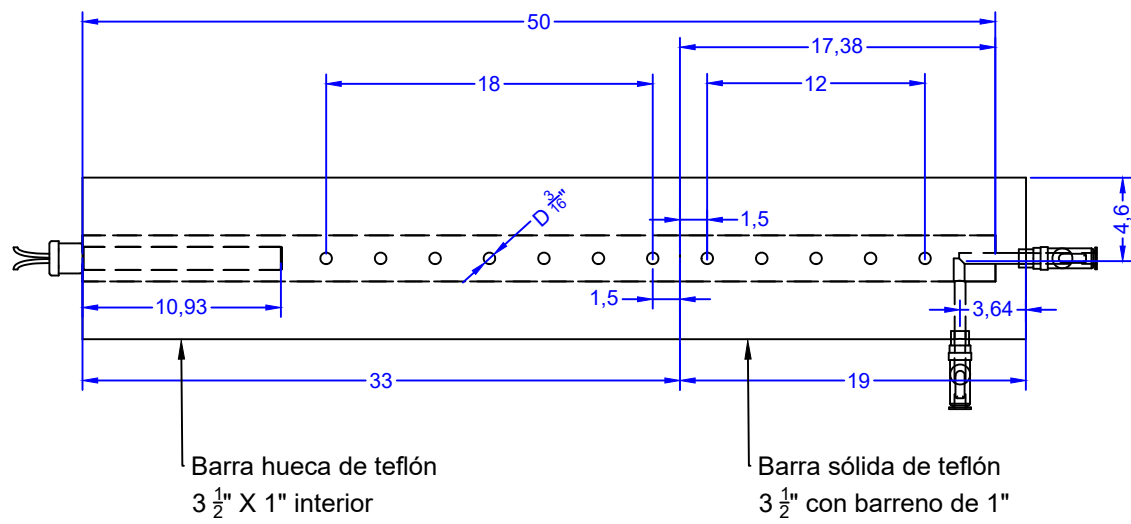
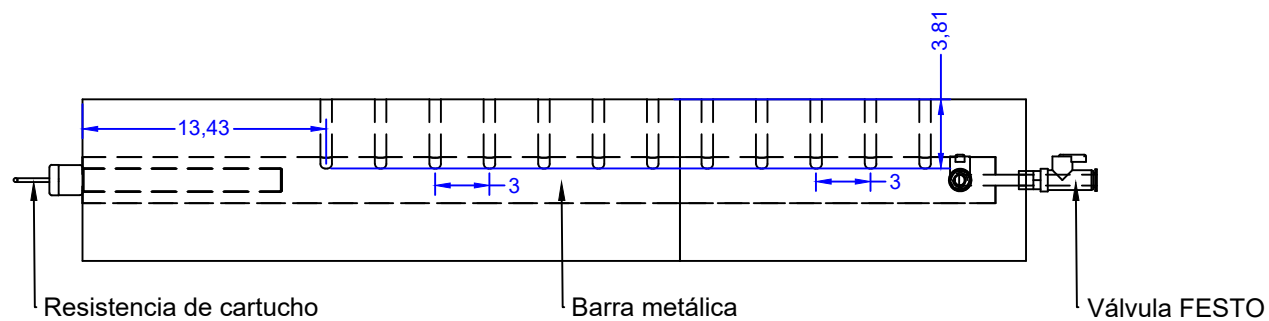
9. Apéndice.

- 9.1. Dimensiones en módulo de conductividad radial.
- 9.2. Dimensiones en módulos de conductividad lineal con aislamiento.
- 9.3. Dimensiones en módulos de conductividad lineal sin aislamiento.



Generatoris S.A. de C.V.
EQUIPOS PILOTO PARA CAPACITACIÓN Y ENSEÑANZA

MODELO:	Disco metálico con resistencia de cartucho	MATERIAL: Diferentes materiales									
		NO. DE PIEZAS:	1	UNIDAD DE MEDIDA:	cm	PROVEEDOR:	José Luis Olvera				
	N/A-Disco aislado-	MARCA:	Generatoris	ELABORÓ:	CDVG	FECHA:	12-Ene-16	REVISIÓN:	01	FOLIO:	1/1



Generatoris S.A. de C.V.
EQUIPOS PILOTO PARA CAPACITACIÓN Y ENSEÑANZA

Barra metálica con resistencia de cartucho aislada con teflón

MATERIAL:

Diferentes materiales

NO. DE PIEZAS:

1

UNIDAD DE MEDIDA:

cm

PROVEEDOR:

José Luis Olvera

MODELO:

N/A-Barra aislada-

MARCA:

Generatoris

ELABORÓ: CDVG

FECHA:

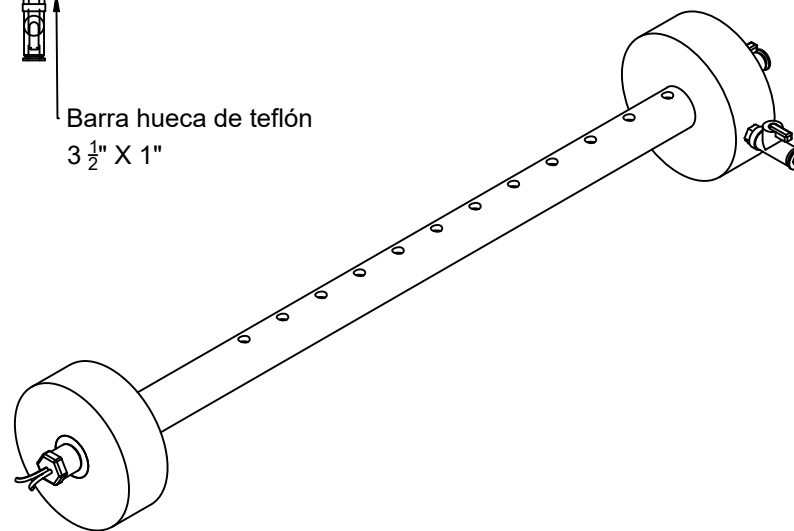
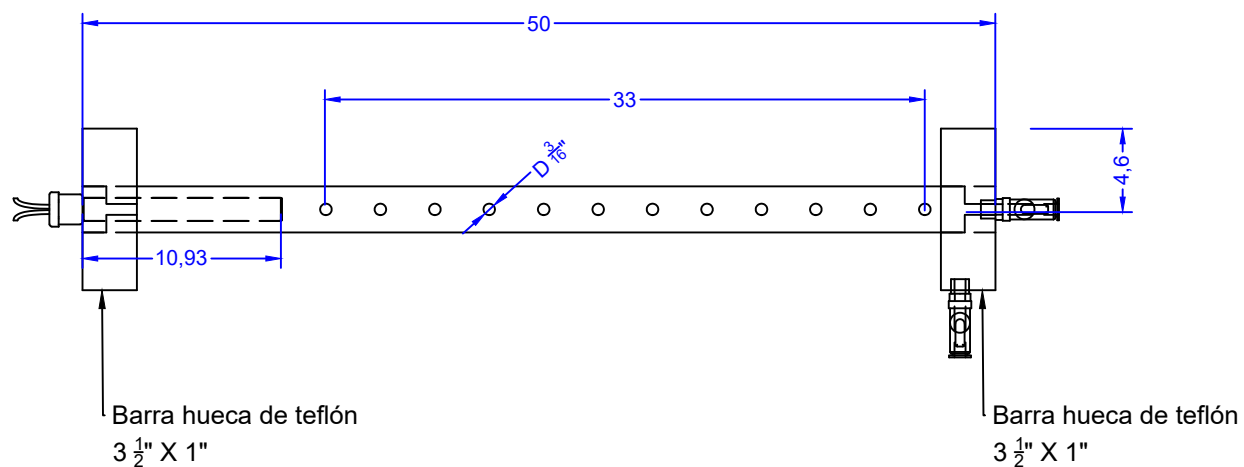
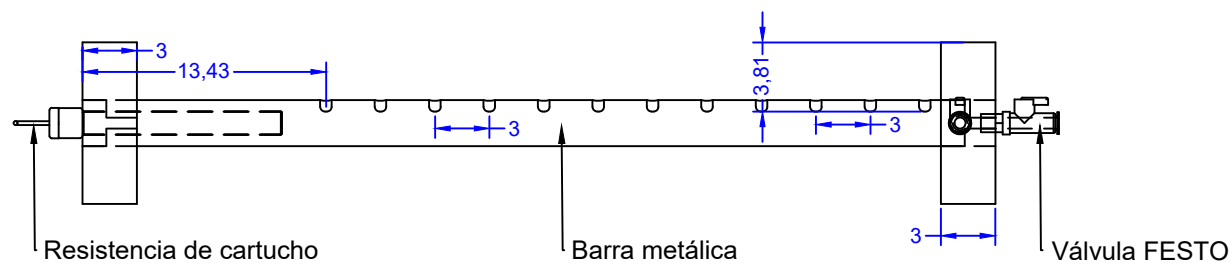
12-Ene-16

REVISIÓN:

01

FOLIO:

1/1



Generatoris S.A. de C.V.
EQUIPOS PILOTO PARA CAPACITACIÓN Y ENSEÑANZA

MODELO:	N/A-Barra aislada-	Barra metálica con resistencia de cartucho		MATERIAL:	Diferentes materiales							
		NO. DE PIEZAS:	1	UNIDAD DE MEDIDA:	cm	PROVEEDOR:	José Luis Olvera					
		MARCA:	Generatoris	ELABORÓ:	CDVG	FECHA:	12-Ene-16	REVISIÓN:	01	FOLIO:	1/1	