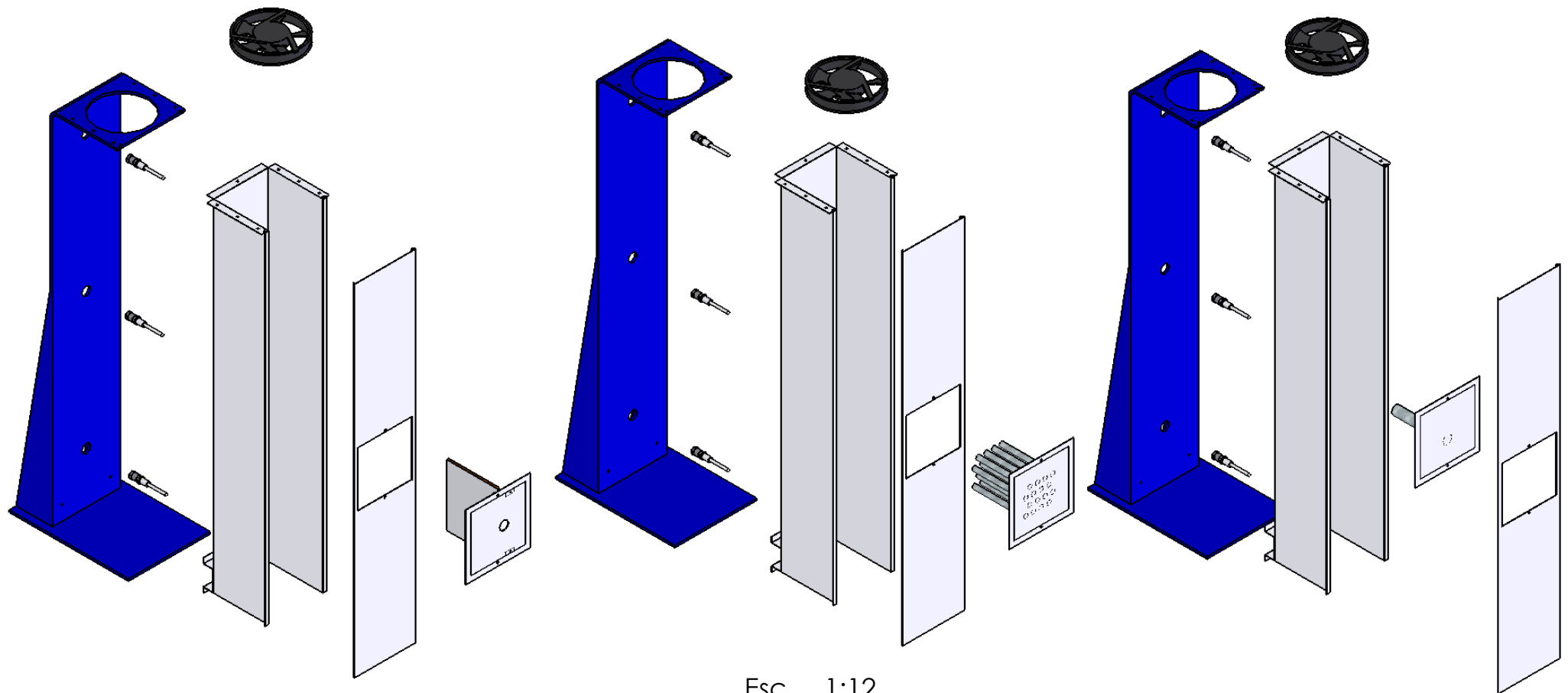


Explosionado Placa Plana

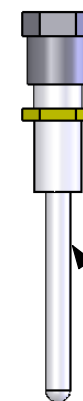
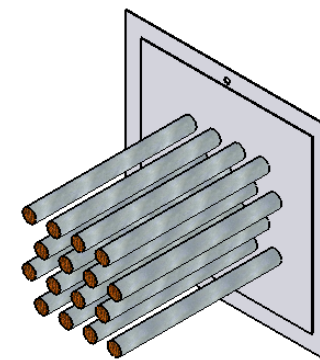
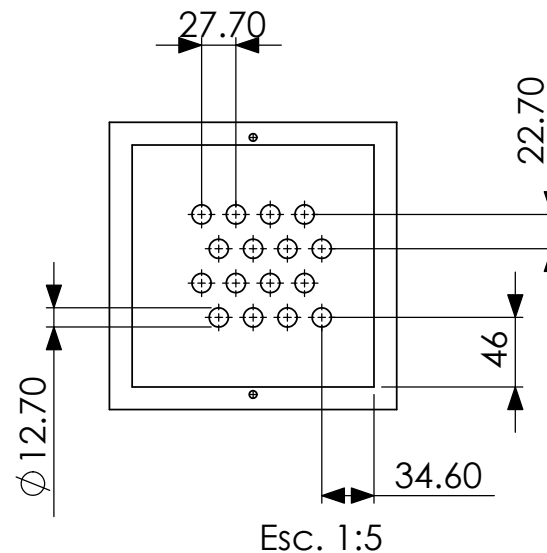
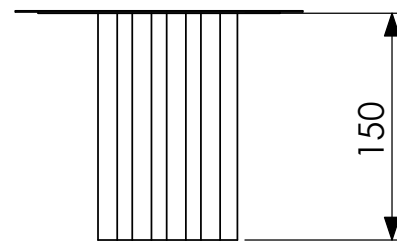
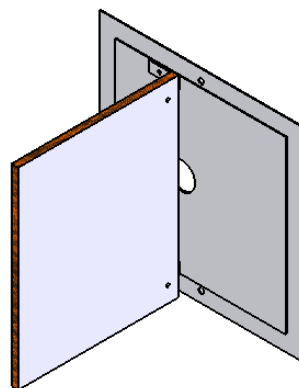
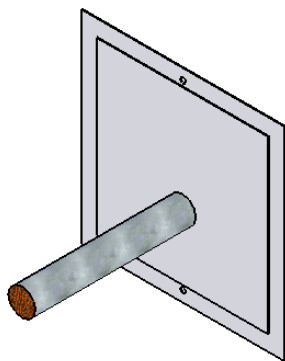
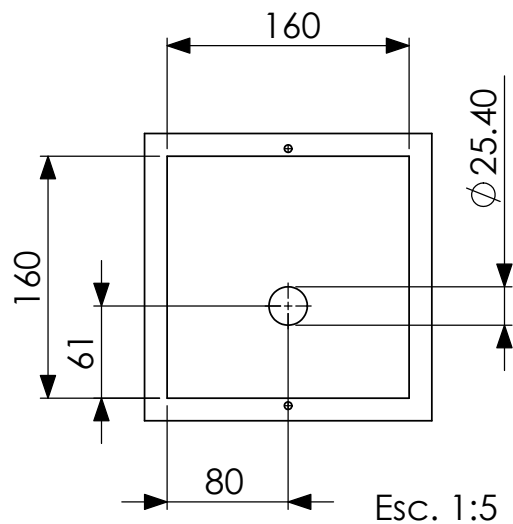
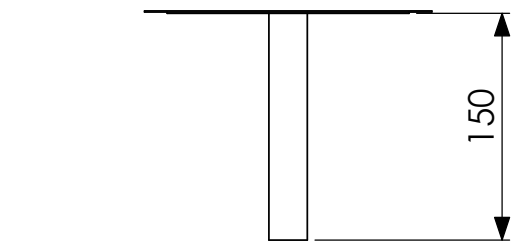
Explosionado Banco de Tubos

Explosionado Cilindro

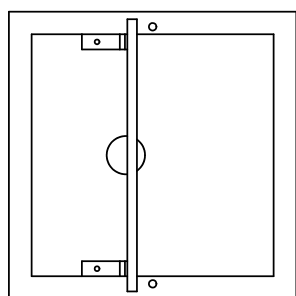


Esc. 1:12

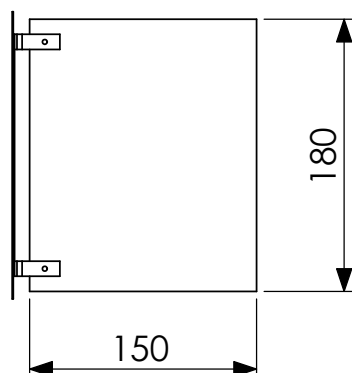
Dibujó:	Carlos Gomez Luciano Uribe	BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION PROMEDIO
Fecha:		
Escala:	indicadas	
Escuela de:	Ingeniería Mecánica	
Hoja 1 de 3		
		UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA



RTD PT100
Long. 80mm Diam. 1/4"
Esc. 1:2



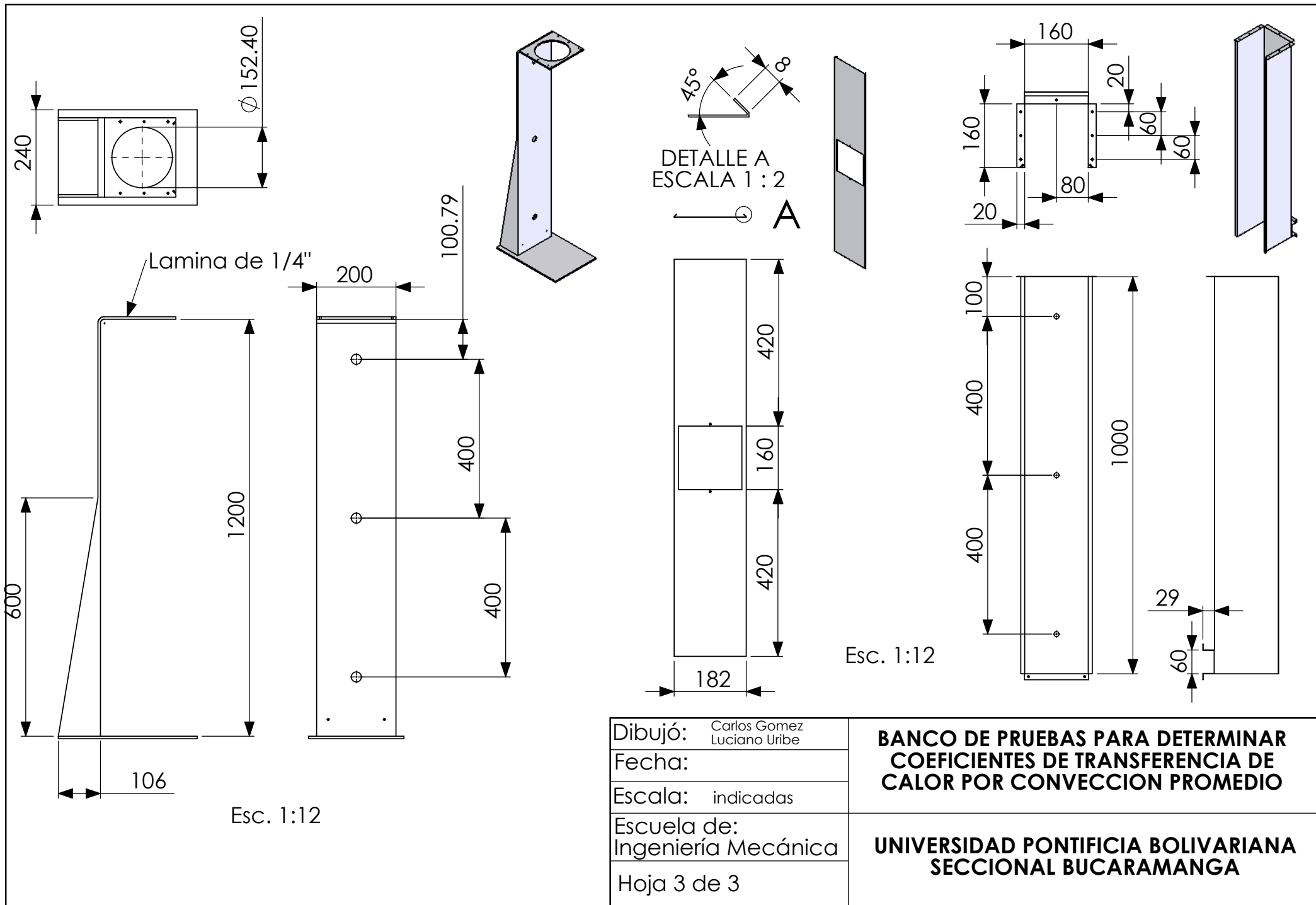
Esc. 1:5



Dibujó: Carlos Gomez
Luciano Uribe
Fecha:
Escala: indicadas
Escuela de:
Ingeniería Mecánica
Hoja 2 de 3

**BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR
COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE
CALOR POR CONVECCION PROMEDIO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA**



Dibujó:	Carlos Gomez Luciano Uribe
Fecha:	
Escala:	indicadas
Escuela de:	Ingeniería Mecánica
Hoja 3 de 3	

**BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR
COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE
CALOR POR CONVECCION PROMEDIO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA**



**BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR EXPRESIONES DE
COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN
PROMEDIO**



LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIA SECCIONAL BUCARAMANGA



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	3
1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	4
1.1 COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL EQUIPO	4
1.2 PUESTA EN MARCHA.	5
2. NORMAS DE SEGURIDAD.....	7
2.1 Peligro de lesiones.....	7
2.2 Peligro de daño del equipo o alguno de sus componentes	7
3. MARCO TEORICO.....	8
3.1 Flujo local de calor	8
3.2 La cifra Reynolds.....	8
3.3 El número de Nusselt.....	9
4. EXPERIMENTOS	10
5. FICHA TÉCNICA.....	11
5.1 Ducto.....	11
5.2 Elementos calefactores.....	11
BIBLIOGRAFIA	13
ANEXOS	14
Tabla 1. Propiedades termofísicas del aire.....	14
Tabla 2. Comparación entre anemómetro calibrado y el EA-200	15



INTRODUCCION

En Ingeniería Mecánica un campo de gran importancia es la transmisión o transferencia de energía en forma de calor, industrialmente se aplican las tres formas de transferencia de calor que son: Conducción, Radiación y Convección que es el eje de ésta práctica de laboratorio.

La transferencia de calor por convección se divide en convección libre y forzada, este equipo y fue diseñado para realizar prácticas por convección forzada, lo que no significa que no pueda servir para prácticas de convección libre, pero se le tendrían que realizar unos pequeños ajustes.

Para convección forzada, el fluido se calienta al hacer contacto con el elemento calefactor, este fluido es forzado a circular por el ducto con ayuda de un ventilador que realiza tiro forzado.

El **BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION PROMEDIO**, fue diseñado y construido para calcular coeficientes de convección, cantidad de calor y potencia disipados, los datos para estos cálculos son hallados de forma experimental y seguramente introducirán algún porcentaje de error.

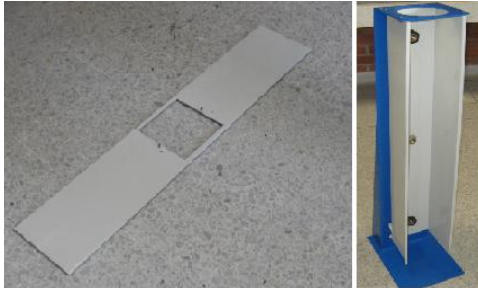
Debido a las distintas configuraciones de los elementos calefactores y de la variabilidad tanto de la potencia disipada como de la velocidad del ventilador, es posible visualizar el proceso de convección y saber qué o cuál tipo de aplicación industriales tenga, por medio de un programa de PC es posible realizar un monitoreo de las pruebas realizadas y de variar el proceso en el momento que se desee.

En esta guía se muestran primero algunos fundamentos teóricos y luego se presentan algunos pasos y recomendaciones para llevar a cabo las pruebas y mediciones.



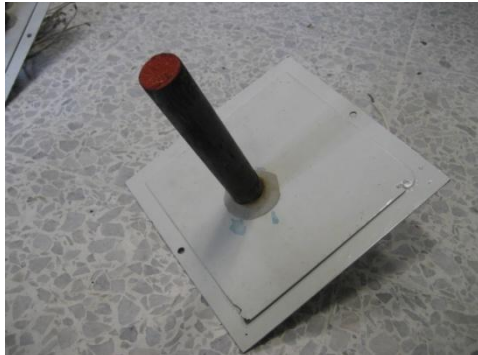
1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

1.1 COMPONENTES Y ACCESORIOS DEL EQUIPO



DUCTO O TUNEL

Con una sección transversal de 16cmx16cm y una longitud de 1m, a través de él pasa el aire introducido por el ventilador. Los elementos calefactores se sujetan en la tapa mediante tornillos con tuerca de mariposa.



ELEMENTO DE CARTUCHO O TUBO

Elemento calefactor, tiene 1in de diámetro y una longitud de 15 cm, alcanza una potencia máxima de 100W.



BANCO DE TUBOS

Arreglo escalonado, tiene un número total de 16 tubos, con una longitud de 15 cm, diámetro de 1/2in, ST=1,09in y SL= 0,89in, suma una potencia máxima de 1600W.

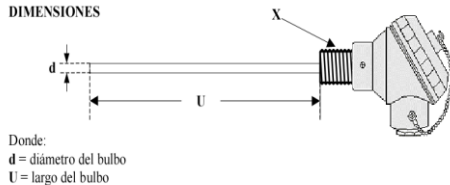


ELEMENTO DE PLACA PLANA

Elemento calefactor, con longitud de referencia $l=18\text{cm}$, ancho $b=15\text{cm}$, con potencia máxima de 100W.



DIMENSIONES



VENTILADOR FULLTECH UF15P

Con velocidad graduable, sirve para obligar a aire a fluir por el ducto. Ver ficha técnica.

SENSOR DE TEMPERATURA RTD

3 RTD tipo PT100, con una rango de medición de temperatura de 0-500°C, con una diámetro de 1/8 de pulgada y una longitud de 8cm, utilizados para medir temperatura en la entrada, en la superficie y en la salida del ducto respectivamente.

TERMOANEMOMETRO ERASMUS EA-200

Utilizado para medir la velocidad del aire, con un rango de medición entre 1-35m/s.

1.2 PUESTA EN MARCHA

El equipo está diseñado para que sea instalado en una superficie plana, permitiendo que pueda ser accesible y observable cualquier componente o accesorio. Los cables de las PT100 tienen una longitud máxima de 2m, distancia máxima entre el equipo y el PC de adquisición de datos.

El Banco debe colocarse en una superficie sólida y lisa, asimismo, es necesario comprobar que el sitio de instalación sea cómodo para poder quitar y poner los elementos sin algún problema. Igualmente, se debe comprobar que sea un espacio donde no se obstruya la entrada y la salida del aire, para no tener resultados inexplicables.

Para la instalación del equipo se deben seguir los siguientes pasos:

- ✓ El Banco debe conservar únicamente como punto de apoyo la parte baja de la base.
- ✓ La entrada y salida de aire no pueden ser obstruidas para no afectar el flujo de aire.



- ✓ El ventilador y los elementos calefactores se debe conectar a una alimentación de corriente alterna de 120V a 60Hz, la conexión se debe hacer por medio de un enchufe, no conectar puntas de cable directamente a la alimentación de corriente.



2. NORMAS DE SEGURIDAD

Para interactuar con el **BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN PROMEDIO**, se deben tener en cuenta algunos aspectos de seguridad que se enuncian a continuación:

2.1 Peligro de lesiones

- ✓ Precaución al retirar o instalar los elementos calefactores. Peligro de descarga eléctrica por mala manipulación.
- ✓ No destapar las tapas de la alimentación de los elementos calefactores, evite una posible descarga eléctrica.
- ✓ PELIGRO, no tocar las piezas calefactores luego de realizar las pruebas, tampoco colocarlas cerca o sobre algún elemento termosensible, inflamable o combustible.
- ✓ Utilizar guantes como elemento de protección para el desmontaje de las piezas calientes, tenga en cuenta que el ducto también se puede calentar y es mejor no acercar la manos a él mientras se estén haciendo las experiencias.
- ✓ No meter los dedos a la salida del canal de aire, podrían presentarse cortes con las aspas del ventilador.

2.2 Peligro de daño del equipo o alguno de sus componentes

- ✓ Evitar conectar los componentes eléctricos a una alimentación distinta a la aconsejada por el fabricante, 120V a 60Hz.
- ✓ Las PT100 son sensibles a los golpes bruscos, evitar golpear el equipo o producir una caída del mismo.
- ✓ Tener en cuenta que en el sitio de laboratorio solo hay un enchufe habilitado para el funcionamiento del equipo, usar uno distinto podría no producir la potencia esperada para las pruebas.
- ✓ El termoanemómetro debe ser tratado con cuidado y evitar golpes, tampoco se debe tocar el termopar ya que tiene una sensibilidad alta.



3. MARCO TEORICO

3.1 Flujo local de calor

Se tiene un fluido a una temperatura T_{∞} , se obliga a que este fluido pase sobre una superficie de área A_s y temperatura uniforme T_s , si se cumple que $T_s \neq T_{\infty}$, ocurrirá transferencia de calor por convección. El flujo de calor en un área definida se delimita por la siguiente ecuación:

$$q'' = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

Como es un proceso cambiante con el tiempo, se necesitan conocer algunas propiedades del fluido, estas propiedades varían a la par con la temperatura a través de la capa límite, esta variación se denomina temperatura media de capa límite T_f o también llamada temperatura de película.

$$T_f = \frac{T_s + T_{\infty}}{2}$$

En el banco de tubos a medida que el fluido avanza se mueve por éste, hay un cambio grande de temperatura, al calcular la transferencia de calor, estaría sobredimensionada al utilizar la relación $\Delta T = T_s - T_{\infty}$. En la misma proporción que el fluido se mueve por el banco de tubos, su temperatura se aproxima a T_s y ΔT disminuye, para éste caso es necesario utilizar la diferencia de temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_{m_L} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_o)}{\ln \frac{(T_s - T_i)}{(T_s - T_o)}}$$

A esta temperatura es que deben evaluarse las propiedades del fluido que se muestran en la siguiente tabla 1 contenida en el anexo.

3.2 La cifra Reynolds

La transmisión de calor no solo depende del diferencial de temperatura o del material del intercambiador de calor, hay un factor muy importante que es la velocidad del fluido de inundación, esta velocidad se caracteriza por presentar dos formas de inundación:

- ✓ Inundación Laminar
- ✓ Inundación turbulenta



Existe inundación laminar cuando la velocidad es reducida, desafortunadamente para la transferencia de calor, el aire presenta propiedades aislantes, cuando la inundación es turbulenta las partículas se separan de las paredes debido a la alta velocidad, formando torbellinos que acercan partículas de la superficie del intercambiador mas alejadas y aún mas frías, y al mismo tiempo alejan las partículas ya calientes. Para conocer si existe inundación laminar o turbulenta se debe determinar la cifra de Reynolds, que se define por la siguiente relación:

$$Re = \frac{vD}{\nu}, \text{ para haces de tubos.}$$

$$Re = \frac{vL}{\nu}, \text{ para placa plana.}$$

3.3 El número de Nusselt

Este número proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie, es diferente para cada geometría y se define respectivamente así:

$$Nu = 0.664 Re_D^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}, \text{ para placa plana.}$$

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 Re_D^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}}{\left[1 + \left(\frac{0.4}{Pr}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}}, \text{ para cilindro o tubo.}$$

$$Nu_D|_{(N_L < 20)} = C_2 Nu_D|_{(N_L \geq 20)}, \quad Nu_D|_{(N_L \geq 20)} = C Re_{D_{max}}^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{\frac{1}{4}}, \text{ para banco de tubos.}$$

Sabiendo el número de Nusselt, se puede encontrar el coeficiente de de convección local h y entonces se calcula el flujo de calor local a partir de la ecuación de flujo de calor. Seguidamente se muestran las ecuaciones para hallar el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio.

$$h = \frac{Nu k}{d}, \text{ para tubos.}$$

$$h = \frac{Nu k}{l}, \text{ para placa plana.}$$



4. EXPERIMENTOS

La experiencia se puede hacer de dos maneras distintas, la primera es con cada termoresistencia a temperatura ambiente, ponerla dentro del ducto de ventilación e iniciar el proceso, y la segunda es precalentar las resistencias antes de introducirla dentro del ducto de ventilación e iniciar de la misma manera el proceso de monitoreo.

Con cualquiera de los dos métodos que se prefiera, se deben seguir los mismos pasos que se enumeran a continuación:

1. Con el variador definir la velocidad del fluido en el proceso, para no introducir factores de error se aconseja escoger solo valores de velocidad que contenga la tabla 2 que está en el anexo, para cada velocidad tomada con el EA-200, es necesario restarle el delta de comparación con el AM-4206 calibrado.
2. Iniciar el programa de adquisición de datos.
3. Definir el tipo de elemento calefactor que se quiere experimentar, conectarlo a la fuente de alimentación y fijar la potencia con que se quiere hacer la prueba, recuerde que los tres elementos calefactores no pueden exceder una potencia de 100W.
4. Introducir propiedades termofísicas del aire necesarias para el monitoreo del proceso.
5. Iniciar el monitoreo del proceso.
6. Recuerde que cada configuración de elementos calefactores tiene un tiempo mínimo de estabilización de 20 minutos.
7. Interpretación de datos.
8. Conclusiones.

Nota: El banco de tubos está en capacidad de disipar 1600W, se aconseja trabajar con la mitad de la potencia máxima para poder observar el proceso sin cambios bruscos.



5. FICHA TÉCNICA

5.1 Ducto

Geometría del Elemento del Ducto			
Nombre	Valor	Símbolo	Unid.
Alto	1	H	m
Lado	0,16	L _r	m
Sección Transversal de Inundación	0,0256	A	m ²

5.2 Elementos calefactores

Geometría del Elemento Calefactor Banco de Tubos			
Nombre	Valor	Símbolo	Unid.
Longitud de la superficie de referencia	0,15	L	m
Diámetro	0,012700025	d	m
Área superficial	0,00598476	A _s	m ²
Separación transversal	0,027700025	S _T	m
Separación longitudinal (entre los centros de los tubos)	0,022700025	S _L	m
Separación diagonal	0,03096957	S _D	m
Numero total de tubos	16	N	NA
Número de tubos en el plano transversal	4	N _T	NA
Numero de líneas	4	N _L	NA



Geometría del Elemento Calefactor Tubo			
Nombre	Valor	Símbolo	Unid.
Longitud de la superficie de referencia	0,15	l	m
Diámetro	0,025400051	d	m
Área superficial	0,01196952	As	m ²

Geometría del Elemento Calefactor Placa Plana			
Nombre	Valor	Símbolo	Unid.
Longitud de la superficie de referencia	0,18	l	m
Ancho	0,15	b	m
Área superficial	0,054	As	m ²



BIBLIOGRAFIA

INCROPERA, Frank P. Fundamentos de transferencia de calor.
Naucalpan de Juárez Edo. De México 1999, 912p.

KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor.
México 1999. 981p.

HOLMAN, J.P. Transferencia de calor.
México 1999. 667p.



ANEXOS

Tabla 1. Propiedades termofísicas del aire.

Temperatura T [K]	Densidad ρ [Kg/m ³]	Calor Específico C_p [kJ/Kg.K]	Viscosidad Dinámica μ $\times 10^{-7}$ [N.s/m ²]	Viscosidad Cinemática ν $\times 10^{-6}$ [m ² /s]	Conductividad térmica k [W/m.K]	Número de Prandtl Pr
100	3,5562	1,032	71,1	2,000	9,340	0,786
150	2,3364	1,012	103,4	4,426	13,800	0,758
200	1,7458	1,007	132,5	7,590	18,100	0,737
250	1,3947	1,006	159,6	11,440	22,300	0,720
300	1,1614	1,007	184,6	15,890	26,300	0,707
350	0,995	1,009	208,2	20,920	30,000	0,700
400	0,8711	1,014	230,1	26,410	33,800	0,690
450	0,744	1,021	250,7	32,390	37,300	0,686
500	0,6964	1,030	270,1	38,790	40,700	0,684



Tabla 2. Comparación entre anemómetro calibrado y el EA-200

ERASMUS EA-200		DIGITAL INSTRUMENTS LUTRON AM-4206	DELTA DE VELOCIDAD ENTRE EL EA-200 Y EL AM- 4206
MEDICIÓN	VELOCIDAD	VELOCIDAD	VELOCIDAD
1	1,15	1,29	-0,051
2	1,8	1,73	0,021
3	2,35	2,22	0,093
4	2,5	2,46	0,165
5	2,8	2,68	0,237
6	3,3	3,2	0,309
7	4	3,36	0,381
8	4,5	4,02	0,453
9	5,5	4,92	0,525
10	6,2	5,24	0,597
11	6,4	5,52	0,669
12	7	6,37	0,741
13	7,2	6,62	0,813
14	7,8	6,93	0,885
15	8,2	7,38	0,957