



## GUÍA DE LABORATORIO

### LABORATORIO DE LA ASIGNATURA FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Código 2017262

### RADIACIÓN

#### 1 OBJETIVOS

- Estudiar los procesos de transferencia de calor por radiación.
- Mostrar que la radiación medida por un radiómetro está directamente relacionada con la distancia entre éste y la fuente de radiación.
- Determinar el valor de emisividad de varias superficies radiantes.
- Comparar las emisividades de diferentes superficies con respecto a una superficie negra.

#### 2 PRINCIPIOS TEÓRICOS

##### 2.1. Radiación térmica

Todo cuerpo que se encuentre a una temperatura por encima del cero absoluto emite radiación en forma de ondas electromagnéticas. Esta radiación se denomina Radiación Térmica y su intensidad de la radiación térmica es dependiente de la temperatura y de las condiciones de su superficie. El rango de longitudes de onda donde se encuentra la radiación térmica va desde  $10^{-1} \mu\text{m}$  a  $10^2 \mu\text{m}$ , incluyendo parte de la radiación ultravioleta y toda la radiación visible e infrarroja como se puede observar en la Figura 1 [1].

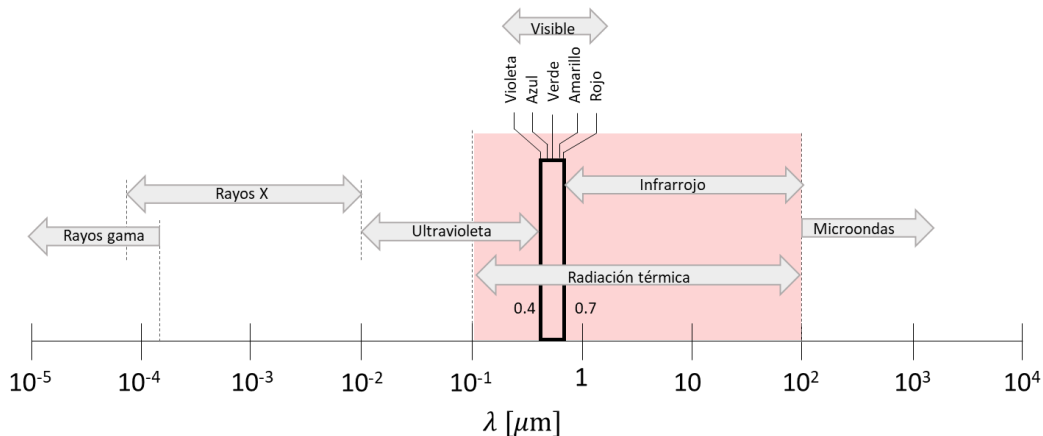


Figura 1. Espectro de ondas electromagnéticas [1].

## 2.2. Cuerpo negro

El *cuerpo negro* es un cuerpo ideal que por definición es un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. Es decir, que a cualquier temperatura y con cualquier longitud de onda, ningún cuerpo puede emitir o absorber más energía que un cuerpo negro. La energía de radiación emitida por un cuerpo negro se expresa a partir de la Ley de Stefan-Boltzmann presentada en la Ecuación 1. Esta ecuación fue propuesta por primera vez a partir de análisis experimentales por Joseph Stefan en 1879 y fue derivada teóricamente en 1884 por su estudiante de doctorado Ludwig Boltzmann. En esta ecuación es la temperatura absoluta de la superficie expresada en K y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-4}$  y  $T$ .  $E_b$  se denomina Poder de Emisión de un Cuerpo Negro y sus unidades son  $\text{W/m}^2$  [1].

$$E_b = \sigma T^4 \quad (1)$$

## 2.3. Emisividad

Las superficies reales emiten una menor cantidad de radiación térmica que la emitida por un cuerpo negro [2]. La relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura se define

como emisividad y se denota con la letra  $\varepsilon$ . La radiación emitida por una superficie real se expresa entonces de acuerdo con la Ecuación 2.

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

La emisividad varía entre 0 y 1, siendo 1, el valor de emisividad de un cuerpo negro. La emisividad depende de la superficie del material y su acabado y varía dependiendo de la temperatura de la superficie. Así mismo, depende de longitud de onda y la intensidad de la radiación emitida.

#### 2.4. Transferencia de calor por radiación entre una superficie pequeña y otra que la rodea completamente

En el caso en que una superficie pequeña a temperatura  $T_s$  se encuentra rodeada de una superficie grande a temperatura  $T_a$  diferente a  $T_s$  las dos superficies intercambian calor por radiación (ver Figura 2). La radiación emitida por la superficie grande puede aproximarse a la de un cuerpo negro (Ecuación 1) y la transferencia de calor por radiación entre las dos superficies se puede expresar de acuerdo con la Ecuación 3.

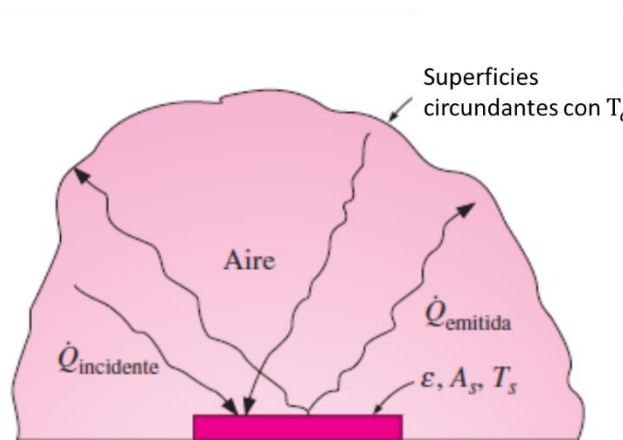


Figura 2. Transferencia de calor por radiación entre una superficie pequeña y una superficie grande que la rodea completamente [1].

$$\dot{q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_a^4) \quad (3)$$

Si la superficie de estudio se comporta como un cuerpo negro el valor de  $\varepsilon$  en la ecuación anterior es 1.

## 2.5. Medición de la radiación

En la presente práctica de laboratorio se emplea un instrumento denominado radiómetro. Este dispositivo mide la radiación térmica emitida por un cuerpo (en este caso la radiación emitida por los discos del montaje). Esta radiación térmica se ubica en el rango del espectro de longitud de onda en el que las superficies emiten dependiendo de su temperatura. La señal captada por el radiómetro es dependiente de la distancia entre la superficie y el dispositivo.

Para lograr cuantificar esta interacción se emplea el factor de visión ( $Z$ ), el cual indica la fracción de radiación que sale de una superficie y choca con la otra.

El factor  $Z$  está relacionado con el ángulo de visión  $\theta$ , como se ilustra la Figura 3. El ángulo de visión se puede determinar mediante la ecuación 4 y el factor de visión se puede calcular a partir de la ecuación 5.

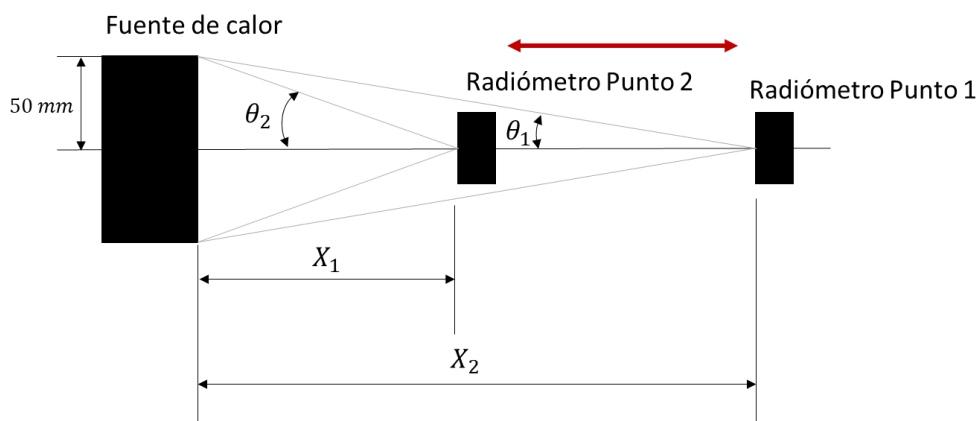


Figura 3. Cambio en el ángulo de visión en función de la posición del radiómetro [3]

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{50}{x} \right) \quad (4)$$

$$Z = \sin^2 \theta \quad (5)$$

## 3 EQUIPO

Para el desarrollo de la práctica, se cuenta con el módulo de intercambio de calor por radiación H112C, marca P.A. Hilton Ltd. La instalación completa se puede observar en la Figura 4.

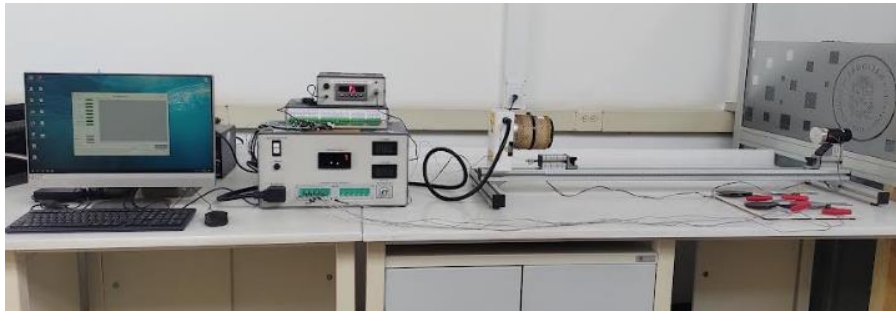


Figura 4. Montaje del módulo H112C.

El módulo cuenta con 2 partes principales:

- Módulo H112C.
- Unidad H112 de servicio y adquisición de datos.

A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de ellos.

### 3.1 Módulo H112C

En la Figura 5 se presenta una foto ilustrativa del módulo H112C se presenta el montaje inicial que dispondrán los estudiantes para realizar la práctica. Los elementos que componen el módulo son:

- **Fuente de calor:** Resistencia cerámica que emite energía debido a su calentamiento. Está ubicada en la parte izquierda de la estructura y se conecta a la Unidad de Servicio H112.

**NOTA:** La fuente de calor se encuentra aislada, a pesar de esto, se debe tener cuidado y evitar el contacto directo con este equipo para evitar accidentes.

- **Radiómetro:** Elemento que permite la medición de la energía emitida por la fuente de calor y los discos intercambiables y que es transferida por radiación. Está dispuesto sobre el perfil principal de la estructura del módulo y puede ser ubicado en diferentes posiciones de acuerdo a la necesidad.
- **Lector del radiómetro:** Equipo conectado al radiómetro que permite observar el valor de energía percibida por el sensor. La medida que arroja se encuentra en  $W/m^2$ . Se puede observar en la Figura 6.

- **Escala de graduación:** Permite ver y controlar las diferentes posiciones del radiómetro cuando se debe ubicar a diferentes distancias de la fuente y de los discos intercambiables.
- **Discos intercambiables:** Se ubican entre la fuente de calor y el radiómetro para obtener diferentes medidas de emisividad. Existen tres diferentes tipos de disco: gris brillante, gris opaco y negro.
- **Soporte de discos:** Elemento que permite la fijación de los discos intercambiables. Puede moverse en la dirección longitudinal del perfil principal de módulo para ser posicionado de acuerdo con el requerimiento de la práctica.

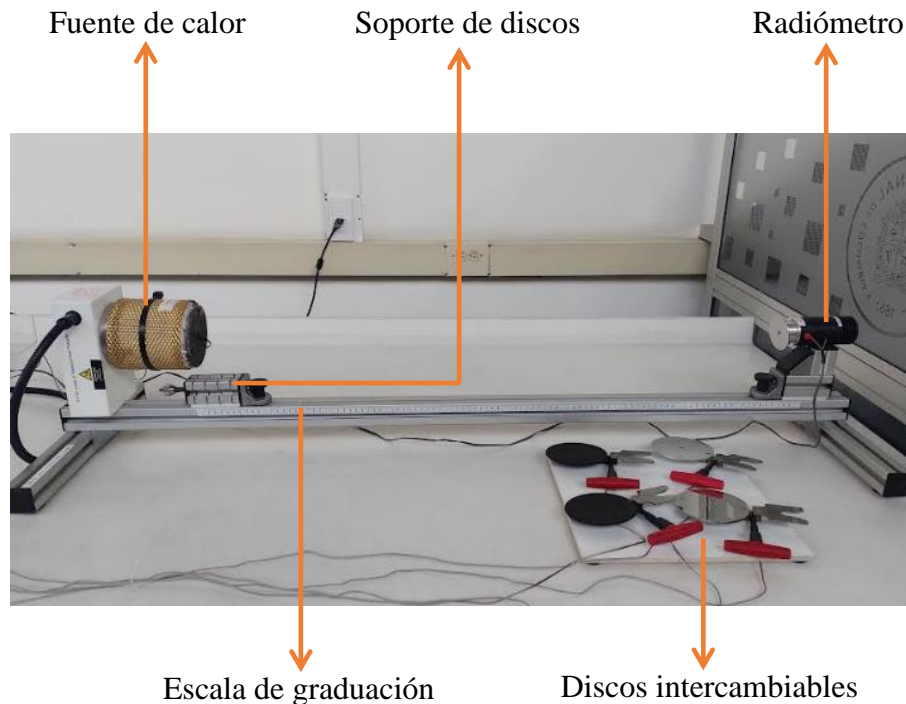


Figura 5. Módulo de intercambio de calor por radiación H112C.

### 3.2 Unidad H112 de servicio y adquisición de datos

Este módulo, como se puede observar en la Figura 6 permite monitorear y registrar los datos de temperatura y potencia del módulo H112C. El sistema cuenta con 5 termopares ubicado en cada uno de los discos que se observan en la Figura 6:

- T1: Disco negro

- T2: Disco negro
- T3: Disco gris opaco
- T4: Disco gris brillante
- T5: Disco calentado (junto a la fuente de calor)



Figura 6. Unidad H112C de servicio y adquisición de datos

#### 4 INSTRUMENTACIÓN

Para el desarrollo de la práctica no se requiere de instrumentación adicional, el equipo cuenta con todos los elementos necesarios para el desarrollo de la práctica ya integrados en el montaje.

#### 5 SOFTWARE E IMPORTACIÓN DEL ARCHIVO DE DATOS GENERADO

El H112C es un software de adquisición de datos que está diseñado para funcionar con la Unidad de Servicio de Transferencia de Calor Hilton Ltd. El archivo que genera el software tiene una extensión .DAT. En la Figura 7, se presenta la información que contiene el mencionado archivo. En la primera columna se consigna la información básica (marca del sistema de adquisición de datos y versión, ruta para encontrar el archivo fuente, fecha y hora de inicio de la prueba). Posteriormente, se encuentran el número de datos tomados en la prueba de laboratorio (Sample). En la segunda y tercera columnas, se presenta la información de la fecha y hora de cada

ensayo. Las demás columnas, muestran los valores de temperaturas, potencia y radiación térmica, registradas durante la prueba.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10	Column11
P.A.Hilton Logger Data File										
C:\Users\Admin\Desktop\Equipos_PAHilton\Nuevas Practicas\Radiación\H112C-3.pah										
27/08/2024 12:45:41 p. m.										
			0001	0011	0021	0031	0041	0051	0113	0123
Graph Display			-10   100	-10   100	0   70	0   70	0   350	-10   360	0   250	0   21
Lower limit   Upper Limit			-   -	-   -	-   -	-   -	-   -	-   -	-   -	-   -
			T1	T2	T3	T4	T5	Radiometer	Input Voltage	Input Current
Sample	Date	Time	°C	°C	°C	°C	°C	W/m2	V	A
0	27/08/2024	12:46:42	24.26085	22.19287	22.2771	20.50146	242.4766	22.02403	172.4825	0.7713466
1	27/08/2024	12:46:52	24.31553	22.17725	22.27881	20.53663	243.0781	19.31231	172.4156	0.7674106
2	27/08/2024	12:47:02	24.26085	22.19287	22.28444	20.47803	244.0888	18.2271	171.6915	0.7692586
3	27/08/2024	12:47:12	24.31553	22.15381	22.27881	20.50929	244.711	17.52257	171.5891	0.7689686
4	27/08/2024	12:47:22	24.2921	22.15381	22.30225	20.48585	245.7344	17.14168	172.152	0.7683337
5	27/08/2024	12:47:32	24.2921	22.30069	22.30225	20.41163	246.1016	16.77987	172.098	0.7678964
6	27/08/2024	12:47:42	24.23741	22.16944	22.31176	20.47803	246.5625	17.52257	171.8215	0.766471
7	27/08/2024	12:47:52	24.26866	22.13037	22.27881	20.48585	247.5469	16.59896	172.2188	0.7687388
8	27/08/2024	12:48:02	24.29991	22.17725	22.27881	20.47803	248.5391	14.97034	172.4746	0.7679774
9	27/08/2024	12:48:14	24.24085	22.16944	22.22022	20.53663	249.6485	14.7894	171.9749	0.76639
10	27/08/2024	12:48:24	24.32725	22.2124	22.26319	20.521	250.6719	15.69424	171.1801	0.7626172
11	27/08/2024	12:48:34	24.29991	22.2124	22.36085	20.49366	251.2031	14.7894	171.0066	0.7614517
12	27/08/2024	12:48:44	24.32725	22.16162	22.31006	20.49366	251.7969	15.51329	170.8454	0.7612836
13	27/08/2024	12:48:54	24.37022	22.17725	22.35303	20.47803	252.5547	14.7894	170.8867	0.7611936
14	27/08/2024	12:49:04	24.33506	22.16944	22.271	20.47803	252.4844	14.60839	170.7038	0.7602699
15	27/08/2024	12:49:14	24.30381	22.11475	22.28662	20.49756	253.3964	15.51329	170.7628	0.7597682

Figura 7. Hoja de cálculo arrojada por el software de adquisición de datos en base a la práctica realizada en el módulo H112C.

Es relevante mencionar que el archivo .DAT, no presenta de forma organizada los datos, por lo tanto, se debe importar a cualquier software que permita realizar edición de datos y manipulación de archivos numéricos, el más común es Excel de Microsoft Corp.

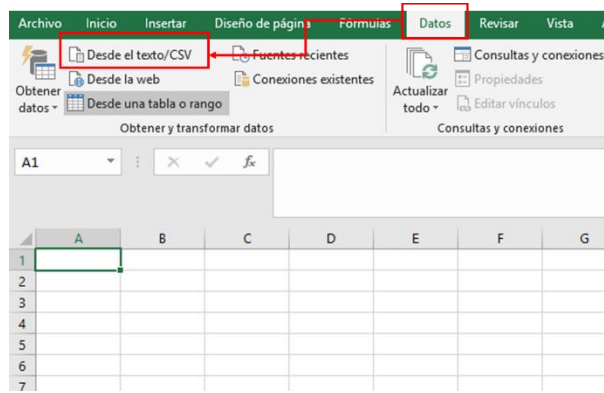
A continuación, se presenta la secuencia de pasos para importar los datos a Excel versión 2016:

- El archivo .DAT, inicialmente, se puede observar al abrirlo en WordPad o en block de notas, así:

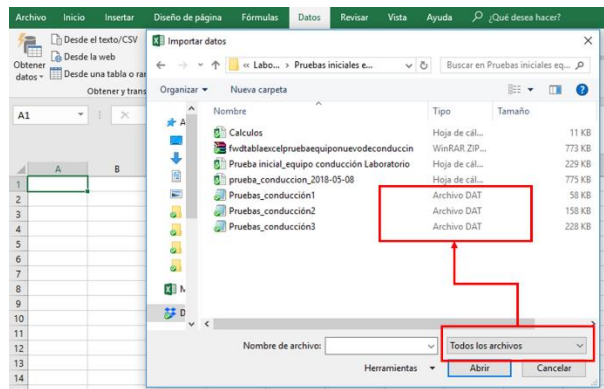
```
P.A.Hilton Logger Data File
C:\Users\Transmisión de calor\Desktop\Nuevas Practicas\Conveccion\forzada\H112-3.pah
24/08/2018 02:34:00 p. m.
;;:0001;0011;0113;0123;0202;
Graph Display;;-100 | 500;0 | 500;0 | 240;0 | 2;0 | 300;
Lower limit | Upper Limit;;- | - | - | - | - | - | - | -;
;;:T1;T2;INPUT VOLTS;INPUT AMPS;Supply Voltage;
Sample;Date;Time;°C;°C;V;A;V;
0;24/08/2018;14:37:30;27.30997;38.33418;50.14006;7.088413E-02;240.4102;
1;24/08/2018;14:37:40;27.35293;39.90451;50.52505;7.124876E-02;240.4922;
```



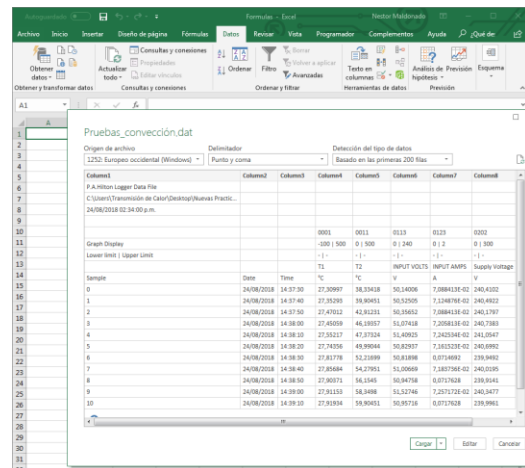
- Se abre Excel y se busca la pestaña de datos/desde el texto/CSV y se oprime clic.



- Se abre otra ventana de búsqueda. Se selecciona “todos los archivos” y se busca el archivo .DAT que se desea importar. Posteriormente, se da clic en la opción de importar.



- Una vez importado el archivo .DAT, se despliega otra ventana, donde ilustra una imagen previa de cómo quedará el archivo en Excel. Dependiendo del delimitador (se debe buscar la más apropiada, según se vaya viendo en la vista previa, generalmente, el que viene configurado para esta región es el punto y coma). El objetivo es que se vea el archivo con sus diferentes columnas. Finalmente se oprime la opción “cargar”.



- Una vez cargado, la hoja de cálculo se verá de esta manera. Se debe revisar que los números tengan el formato número y no texto. Como se presenta en este ejemplo, los números se ubican al costado izquierdo de las casillas, lo cual indica que el software no los está tomando como números, sino como texto.

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8
28/08/2018 13:07:44	40,28419	38,23106	36,42012	30,82544	28,98732	23,33496	
28/08/2018 13:07:56	40,28419	38,2545	36,39668	30,84889	28,98732	23,38575	
28/08/2018 13:08:08	40,29199	38,23888	36,42793	30,88795	29,0458	23,36621	
28/08/2018 13:08:22	40,58888	38,36387	36,4748	30,88795	29,01855	23,39356	
28/08/2018 13:08:34	41,19204	38,68419	36,62325	30,91118	29,0408	23,39356	
28/08/2018 13:08:47	41,99512	39,21544	37,06855	31,08324	29,12012	23,36621	
28/08/2018 13:09:03	43,02637	39,58106	37,56857	31,2395	29,25293	23,40137	
28/08/2018 13:09:15	43,80763	40,61388	38,07637	31,51294	29,44824	23,49903	
28/08/2018 13:09:27	44,542	41,34824	38,64668	31,77856	29,64356	23,54981	
28/08/2018 13:09:39	45,3545	42,23106	39,48263	32,1848	30,0498	23,70606	
28/08/2018 13:09:51	46,08105	42,79357	39,87326	32,48168	30,22168	23,78029	

- Para corregir esto, se seleccionan por columnas y se oprime en la barra de menú “datos” /” texto en columnas”. Posteriormente, se configura la que más se acomode a lo que se busca, se da clic en siguiente hasta finalizar y se obtiene la columna con valores ubicados a la derecha, lo que indica que son valores numéricos.

Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9	Column10	Column11	Column12
28/08/2018 13:07:44	40,28419	38,23106	36,42012	30,82544	28,98732	23,33496	21,842	20,24824	69,07761	
28/08/2018 13:07:56	40,28419	38,2545	36,39668	30,84889	28,98732	23,38575	21,86544	20,29902	71,33989	
28/08/2018 13:08:08	40,29199	38,23888	36,42793	30,88795	29,0458	23,36621	21,90059	20,2834	119,5142	
28/08/2018 13:08:22	40,58888	38,36387	36,4748	30,88795	29,01855	23,39356	21,84982	20,2834	120,219	
28/08/2018 13:08:34	41,19204	38,68419	36,62325	30,91118	29,0408	23,39356	21,90059	20,33027	120,0818	
28/08/2018 13:08:47	41,99512	39,21544	37,06855	31,08324	29,12012	23,36621	21,87326	20,33027	120,4146	
28/08/2018 13:09:03	43,02637	39,58106	37,56857	31,2395	29,25293	23,40137	21,90842	20,31465	119,7961	
28/08/2018 13:09:15	43,80763	40,61388	38,07637	31,51294	29,44824	23,49903	21,93184	20,33809	120,1903	
28/08/2018 13:09:27	44,542	41,34824	38,64668	31,77856	29,64356	23,54981	22,01889	20,39668	120,3675	
28/08/2018 13:09:39	45,3545	42,23106	39,48263	32,1848	30,0498	23,70606	22,11543	20,42012	120,3675	
28/08/2018 13:09:51	46,08105	42,79357	39,87326	32,48168	30,22168	23,78029	22,13887	20,44746	120,3084	

## 6 PROCEDIMIENTO

### 6.1 Alistamiento del montaje

El laboratorista o el docente encargado debe realizar la preparación del equipo, proceso que consta de los siguientes pasos:

- Encender el módulo e iniciar el software de adquisición de datos, crear el archivo en el que se van a guardar los datos de la práctica y ajustar el tiempo del intervalo de muestreo.
- Realizar la calibración de los termopares, el radiómetro, el voltímetro y el amperímetro usando la opción de “Channels configuration”.

- Activar la opción “Collect data” y configurar la visualización gráfica de todas las variables a analizar en el experimento.
- Dejar el software listo para que los estudiantes opriman la opción “start recording” en el momento en el que inicien el experimento.
- Ajustar el voltaje de alimentación en 170 V y esperar a que el sistema se estabilice. Al finalizar la estabilización, la temperatura T5, que corresponde al disco negro calentado ubicado al frente de la fuente de calor, debe estabilizarse en un valor entre 250 °C y 300 °C.

## **6.2 Desarrollo de la práctica**

Antes de iniciar la práctica se debe verificar que los cinco termopares a usar estén conectados a la unidad H112, así como también que el lector del radiómetro esté encendido.

El desarrollo de la práctica consta de dos partes, el procedimiento detallado de cada una se presenta a continuación:

### **6.2.1 Determinación del efecto de la ubicación del radiómetro en la radiación que recibe**

En la Figura 8, se ilustra el esquema del montaje de esta parte de la práctica. En esta parte de la práctica se toman los valores de radiación ubicando el radiómetro a diferentes distancias de la fuente de calor.

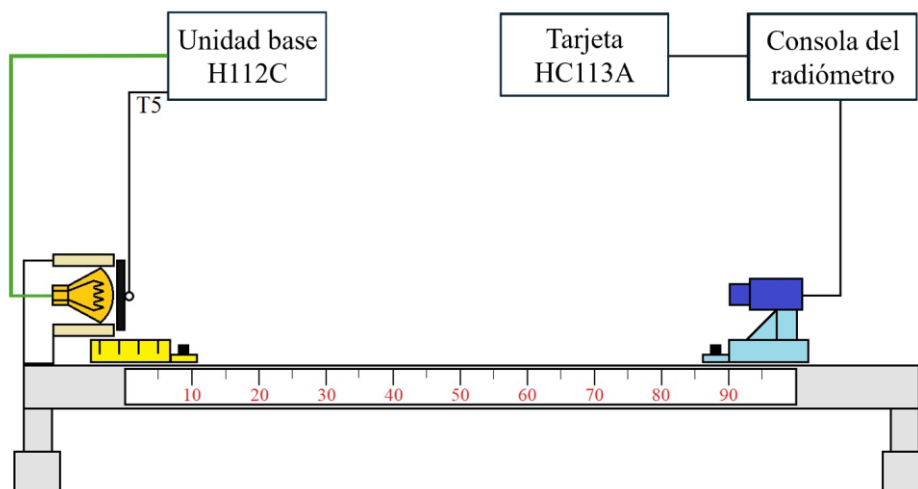


Figura 8. Esquema del montaje a implementar en la primera parte del desarrollo de la práctica.

A continuación, se procede a describir el paso a paso de esta parte de la práctica:

1. Antes de iniciar la prueba, verificar que el radiómetro tenga la tapa protectora puesta, para que, al momento de registrar los datos, estos no se encuentren alterados por la energía emitida por la fuente y cualquier otra fuente de calor adicional del entorno.
2. Ubicar el radiómetro a 900 mm del disco negro, el cual actúa como fuente de calor, dejando la tapa protectora puesta.
3. Oprimir la opción “Start recording” en el software del equipo.
4. Verificar por un periodo de 10 a 20 minutos que el valor de temperatura T5 se encuentre estable, lo cual se puede comprobar a través del software con la gráfica de temperatura de T5. Además, también se debe verificar que el valor del voltaje en la unidad H112 se mantenga en 170 voltios. En caso de variación se deben hacer los ajustes necesarios para mantener dicho valor.
5. Una vez la temperatura se encuentre estable remueva cuidadosamente la tapa del radiómetro, evitando tocar directamente el cuerpo de este. Inmediatamente, el valor de radiación detectada por el lector debe comenzar a aumentar (monitorear la pantalla digital).

6. Monitorear en el software la gráfica correspondiente al registro de la radiación, y una vez se estabilice, registre los siguientes valores: radiación, temperatura ambiente y temperatura del disco negro (T5).
7. Colocar cuidadosamente la tapa del radiómetro y ubicarlo a 800 mm de la fuente de calor.
- NOTA:** Recuerde que el radiómetro debe moverse con extrema precaución tomando la base sobre la que está montado y evitando tocarlo directamente, ya que es un instrumento extremadamente sensible.
8. Retirar cuidadosamente la tapa del radiómetro.
9. Monitorear en el software la gráfica correspondiente al registro de la radiación, y una vez se estabilice, registre los siguientes valores: radiación, temperatura ambiente y temperatura del disco negro (T5).
10. Repita los pasos 7, 8 y 9 ubicando el radiómetro en las siguientes distancias: 700 mm, 600 mm, 500 mm, 400 mm, 300 mm y 200 mm del disco negro.

### 6.2.2 Determinación de la emisividad de discos con diferentes acabados

En la Figura 9, se ilustra el esquema del montaje de la segunda parte de la práctica.

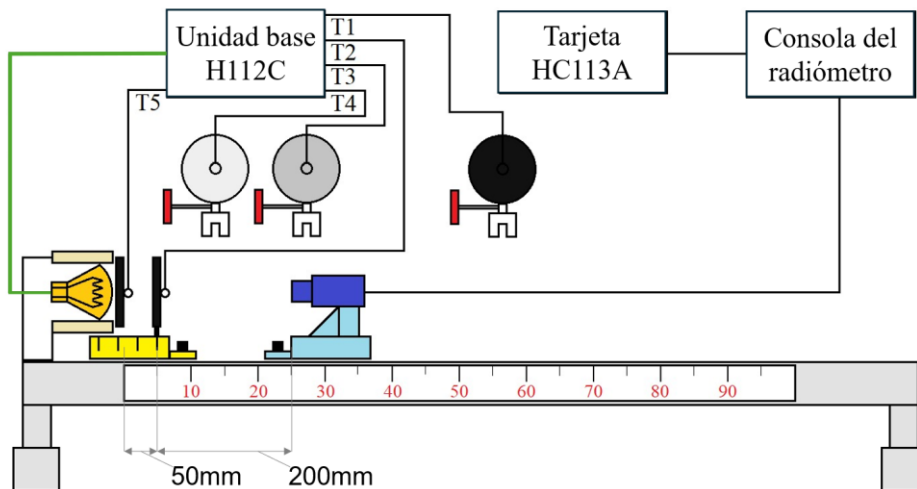


Figura 9. Esquema del montaje a implementar en la segunda parte del desarrollo de la práctica.

A continuación, se procede a describir el paso a paso de esta:

1. Ubicar el radiómetro a 900 mm del disco negro, dejando la tapa protectora puesta.
2. Verificar en la gráfica del software que la temperatura ambiente, correspondiente al termopar T1 del disco intercambiable negro, se esté registrando, dicho disco debe ubicarse en un punto que esté lo más alejado posible de cualquier fuente de calor.
3. Posicionar el soporte para los discos, de tal forma que la ranura del extremo derecho quede ubicada a 50 mm del disco negro (como se observa en la Figura 9). Ajustar en esta posición con el tornillo de fijación.
4. Insertar en la ranura del lado derecho del soporte el disco intercambiable negro que se encuentra conectado al termopar T2.

**NOTA:** recuerde siempre manipular los discos tomándolos del mango plástico para evitar tener contacto directo ellos, ya que estos pueden encontrarse calientes.

5. Esperar a que la temperatura del termopar T2 se estabilice verificando que en la gráfica del software dicho valor se encuentre estable por un periodo de entre 3 a 5 minutos. Cuando se alcance esta condición, proceder a retirar cuidadosamente la tapa del radiómetro y desplazarlo con mucho cuidado a una distancia de 200 mm del disco negro que se encuentra en el soporte, tal como lo ilustra la Figura 9.
6. Cuando se ubique el radiómetro a 200 mm del disco negro, el valor de radiación debe inmediatamente comenzar a aumentar. Cuando la radiación se mantenga estable por un periodo de entre 3 a 5 minutos, se procede a registrar los siguientes valores: radiación medida, temperatura del disco negro T2 y temperatura ambiental.
7. Posteriormente se vuelve ubicar el radiómetro a 900 mm de la fuente de calor y se procede a instalar la tapa protectora nuevamente.

8. Repetir los pasos 4, 5, 6, 7 y 8, pero esta vez con el termopar T3 y el disco gris mate (aluminio) y luego repetir nuevamente dichos pasos, pero con el termopar T4 y el disco gris (pulido).
9. Una vez finalizada la práctica se debe oprimir “End recording”.

## **7 ANALISIS DE LA INFORMACION EXPERIMENTAL**

### **7.1 Comportamiento térmico del sistema durante la prueba**

- Inicialmente se deben graficar las distintas propiedades medidas en el experimento en función del tiempo. Para esto se debe convertir la columna de tiempo reportada por el software que se encuentra en formato h:min:s a min iniciando en el minuto 0 para el inicio de la prueba.
- Realizar un proceso de revisión de los datos a partir de las gráficas obtenidas con el fin de eliminar aquellos que estén generando valores incongruentes (por lo general valores cercanos a cero de la temperatura, potencia o radiación).
- Identificar y diferenciar los datos correspondientes a cada una de las partes de la práctica (Secciones 6.2.1 y 6.2.2) analizando la curva de radiación contra el tiempo.
  - Para la primera parte de la práctica se debe construir la gráfica de la temperatura de la fuente (T5) y radiación medida por el radiómetro en función del tiempo. Sobre la misma gráfica se deben posicionar ambas propiedades mediante el uso de un eje secundario, con el fin de identificar el comportamiento de la fuente. El tiempo debe ser representado en minutos.
  - Para la segunda parte de la práctica se deberá realizar una gráfica donde al igual que el literal anterior se grafiquen de forma simultánea la temperatura del disco en función del tiempo y mediante un eje secundario la radiación emitida por dicho disco en función del tiempo. El tiempo debe ser representado en minutos.

### **7.2 Demostración de la intensidad de la radiación en función de la distancia**

- En primer lugar, es necesario analizar las distintas zonas que presenta la gráfica de evolución temporal elaborada anteriormente. De esta manera se pueden conocer los tiempos en los cuales el sistema se encuentra estabilizado para cada una de las posiciones del radiómetro.
- En función de dichas zonas estables, realizar un promedio de las siguientes propiedades para cada distancia:
  - Temperatura ambiente (T1)
  - Temperatura de la fuente (T5)
  - Medida de radiación registrada por el radiómetro
  - Distancia entre el radiómetro y la fuente
- Empleando las ecuaciones 4 y 5 calcular el ángulo de visión  $\theta$  y el factor de visión Z para cada una de las distancias a las que se colocó el radiómetro. La geometría del módulo con los datos que permiten la determinación del ángulo de visión  $\theta$  se observa de forma detallada en la Figura 3.
- Calcular la transferencia de calor por radiación entre el disco y el ambiente ( $q_b$ ) usando la ley de Stephan - Boltzmann de acuerdo a la ecuación 3. Las temperaturas corresponden a los datos promedios obtenidos durante la práctica expresados en Kelvin.
- Calcular la radiación teórica captada por el radiómetro utilizando el factor Z.
- Graficar los valores de radiación experimental y teórica medida por el radiómetro en función de la distancia y comparar los valores obtenidos.
- Analizar los resultados obtenidos.

### **7.3 Determinar la emisividad de diferentes superficies radiantes**

- En primer lugar, es necesario analizar las distintas zonas que presenta la gráfica de evolución temporal de cada disco elaborada anteriormente. De esta manera se pueden conocer los tiempos en los cuales la temperatura de cada uno de los discos permanece estable.



- En función de dichas zonas estables, realizar un promedio de las siguientes propiedades para cada distancia:
  - Temperatura ambiente (T1)
  - Temperatura de cada disco (T2, T3 o T4)
  - Medida de radiación registrada por el radiómetro para cada disco
  - Distancia entre el radiómetro y cada disco (recordar que es constante en 200 mm)
- Calcule la radiación teórica emitida por un cuerpo negro para la configuración establecida.
- A partir de los valores de la radiación experimental y teórica se debe obtener la emisividad de cada disco intercambiable empleando la ecuación 6.

$$\varepsilon = \frac{q_{teórico}}{q_{corregido}} \quad (5)$$

## **8 BIBLIOGRAFIA**

- [1] Y. A. Çengel y A. J. Ghajar, Transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones, México DC: McGraw-Hill, 2011.
- [2] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman y A. S. Lavine, Fundamentals of heat and mass transfer, United States: John Wiley & Sons, 2011.
- [3] P. A. Hilton, "Manual de operación y mantenimiento, leyes de transferencia de calor radiante e intercambio de calor radiante H112C", Stockbridge, 2012.