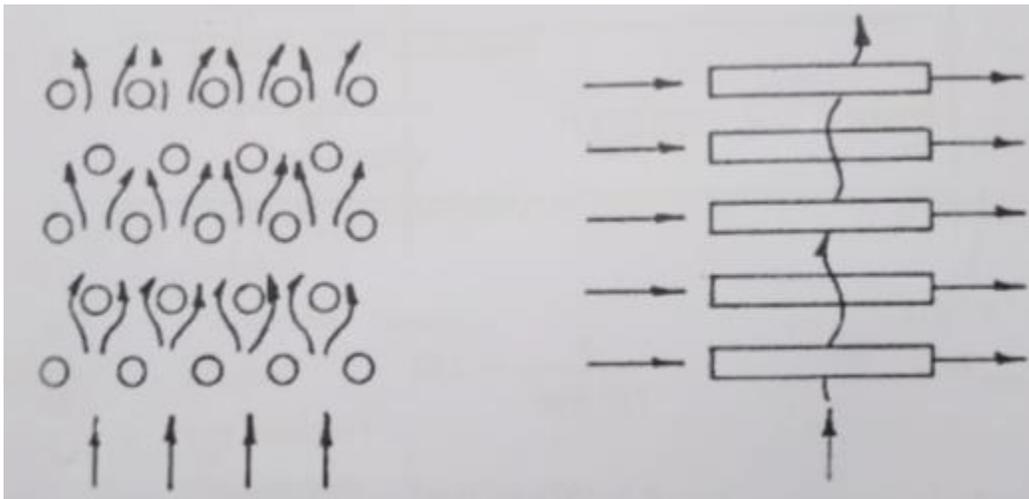


# GUIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y AFECTACIÓN POR EL FLUJO DE AIRE Y AGUA EN EL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO CRUZADO H352

**Resumen:** en esta guía de laboratorio se encuentra el proceso para realizar la práctica 2 de la guía del intercambiador de calor de flujo cruzado H352G.

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de transferir calor entre dos fluidos, se han diseñado muchas formas de intercambio de calor. En una de las disposiciones más comunes, el calor se transfiere entre un fluido que fluye a través de un haz de tubos y otro fluido que fluye transversalmente por el exterior de los tubos. De aquí el nombre de intercambiador de calor de flujo cruzado, para comprender de manera más fácil el funcionamiento del dispositivo, a continuación, se mostrará un esquema.



*Figura 1. Esquema de flujo.*

Dependiendo de la distribución de los tubos, la eficiencia se verá afectada, así que es importante fomentar la turbulencia para lograr una mayor transferencia de calor; la distribución de los tubos pertenecientes al intercambiador de calor de flujo cruzado y expuesta en el esquema de la figura 1, es dispuesta en función de generar dicha turbulencia.

Esto se debe al hecho de que el coeficiente global de transferencia de calor para un intercambiador de calor de flujo transversal está formado por tres componentes. En primer lugar, el coeficiente de transferencia de calor de superficie del fluido pasando a través de los tubos, en segundo lugar, la conductividad térmica y el espesor del material del tubo, y

en tercer lugar el coeficiente de transferencia de calor de superficie para el fluido pasando sobre la superficie externa de los tubos.

Se puede mejorar el coeficiente de transferencia del fluido que pasa a través de los tubos y la conductividad térmica aumentando la velocidad de flujo en los tubos y la reducción de espesor de la pared de estos, o utilizando un material con mayor conductividad térmica; el coeficiente de transferencia del fluido que pasa sobre la superficie externa de los tubos se verá afectado positivamente aumentando la velocidad de la corriente, esto aumenta el número de Reynolds externo de cada tubo individual.

El efecto de la turbulencia sirve para mejorar el coeficiente de transferencia de calor de superficie más allá del nivel alcanzado por el aumento del número de Reynolds.

Los intercambiadores de calor de flujo cruzado se encuentran de variadas formas en la industria, por lo cual, los ingenieros y técnicos, deben estar conscientes del funcionamiento de dichas unidades.

Ahora bien, el intercambiador de calor de flujo cruzado Hilton H352G, está compuesto por tres principales elementos.



*Figura 2. Intercambiador de calor.*

La fuente de poder, que a su vez recopila los datos captados por las termocuplas ubicadas en secciones específicas de los conductos de agua y aire para mostrarlos bien sea en la propia pantalla del dispositivo, o también, en el software asociado a la máquina.

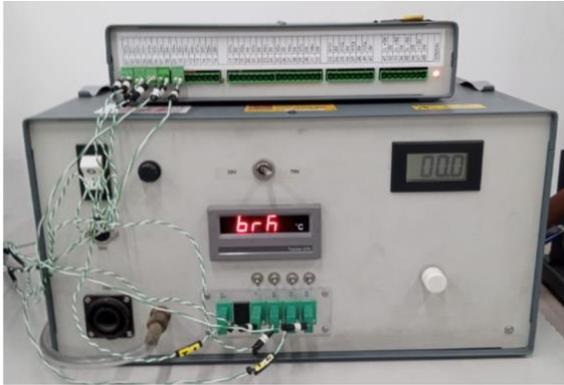


Figura 3. Fuente (data logger).

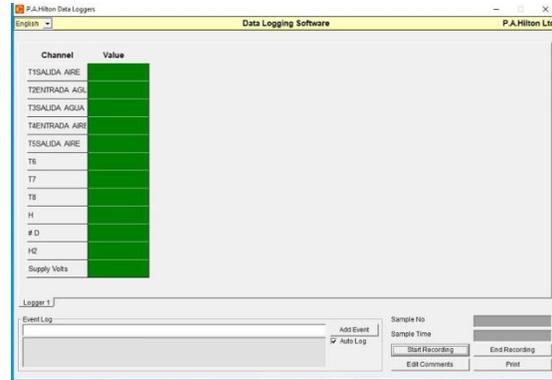


Figura 4. Software Hilton.

La bomba de agua, la cual cuenta con una resistencia eléctrica que puede variar su temperatura aumentando o disminuyendo el paso de corriente al hacer uso de una perilla y también puede variar el caudal (g/seg) girando la válvula, el agua pasará a través de dos mangueras que llegan a la placa que distribuirá el fluido a través de todos los tubos que la componen y la cual está acoplada al conducto de aire.



Figura 5. Bomba de agua.

Por último, está el conducto del aire que tiene acoplado un ventilador centrífugo en su parte inferior, este ventilador puede variar su frecuencia y por ende su velocidad con una perilla acoplada en el tablero de mando, esto controlará la presión de aire que pasa a través del conducto y se podrá medir haciendo uso del manómetro (mmH<sub>2</sub>O).



Figura 6. Manómetro y controlador del ventilador.

## 2. OBJETIVO

Determinar del coeficiente global de transferencia de calor y cómo éste es afectado por el flujo de aire y agua en el intercambiador de calor de flujo cruzado H352G.

## 3. PROCEDIMIENTO

1. Para comenzar, encienda la fuente de poder oprimiendo el interruptor superior izquierdo.

Interruptor de encendido



Figura 7. Encendido de fuente.

2. A continuación, abra el software de Hilton en el computador e inicie la interfaz para toma de datos.

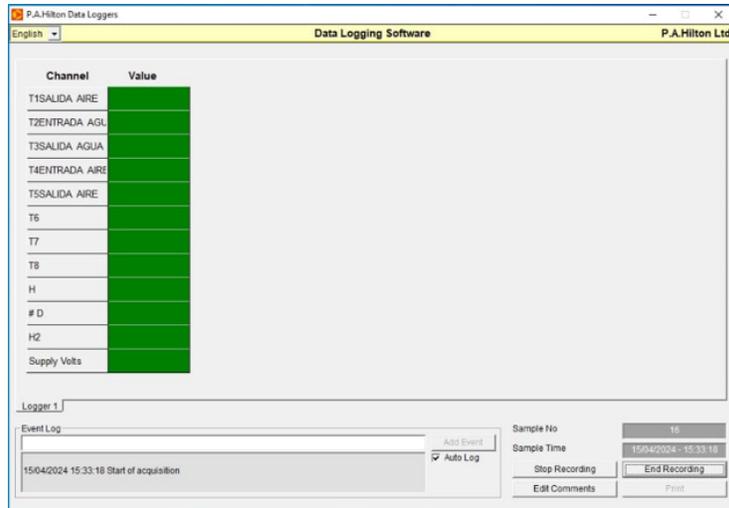


Figura 8. Interfaz de toma de datos.

3. Energice el motor del ventilador girando el interruptor rojo en sentido horario.



Figura 9. Energización de ventilador.

4. Active el ventilador usando el interruptor negro de la parte superior izquierda girándolo en sentido horario.



Figura 10. Encendido del ventilador.

5. Girando la perilla superior derecha con cautela en sentido horario, varíe la presión de aire que pasa por el conducto fijándose en el manómetro y asegurándose de fijar el valor de la tabla anexa.

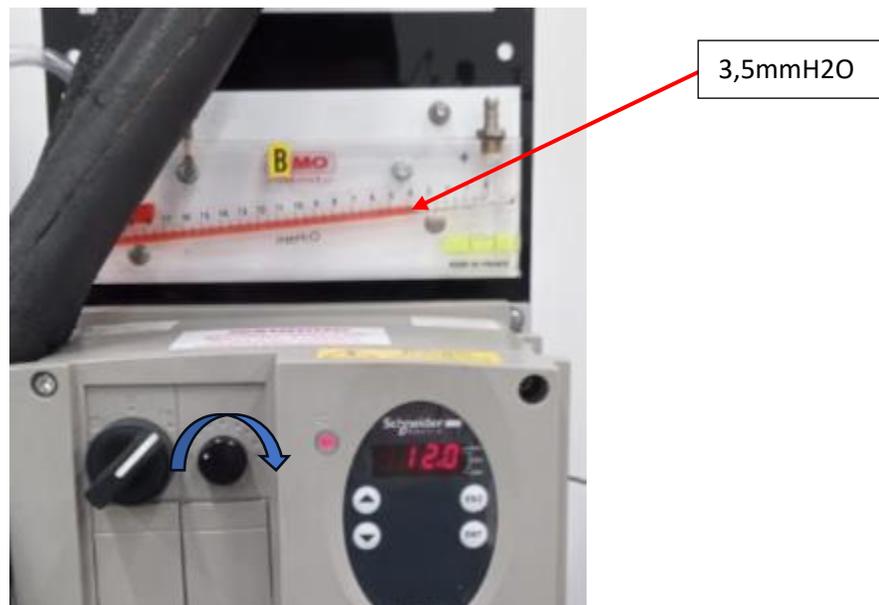


Figura 11. Graduación de presión de aire.

- Una vez este correctamente graduada la presión, proceda a encender la bomba de agua haciendo uso del interruptor.



Figura 12. Encendido de bomba.

- Girando la válvula en sentido antihorario se da más paso de agua, en sentido horario, se disminuye, graduar el caudal acorde a la tabla anexa, la superficie plana de la masa al interior del caudalímetro denota el caudal.

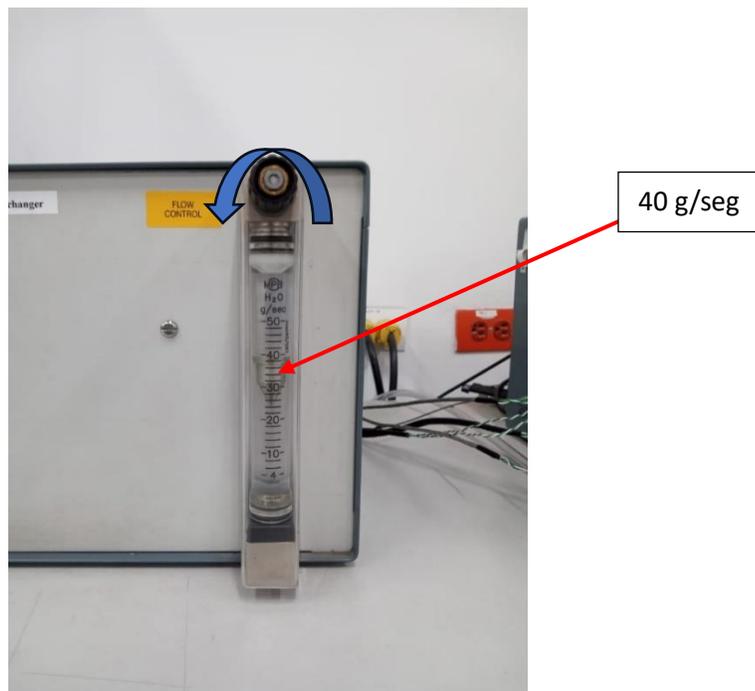


Figura 13. Graduación de caudal.

- Una vez el caudal esté graduado, proceda a encender la resistencia eléctrica haciendo uso de la perilla superior izquierda, al girarla en sentido horario, sentirá un clic, en ese instante la resistencia estará encendida, también, se podrá apreciar que el bombillo rojo enciende.



Figura 14. Encendido de resistencia eléctrica.

Es importante tener en cuenta que la intensidad de corriente debe quedar en su mínimo nivel, esto se debe a que la maquina cuenta con un breaker que se salta una vez la temperatura alcanza los 55°C, al usar la intensidad mínima, la bomba permanecerá encendida aproximadamente 40 min, lo cual es suficiente para realizar la práctica satisfactoriamente, en caso de aumentar la intensidad de corriente, el tiempo disminuirá drásticamente.

- Una vez esté encendida la bomba, con un cronometro, deberá iniciar a contar cinco minutos, esto se debe a que cada cinco minutos la temperatura tanto del aire como del agua se estabilizan, de la misma manera, se debe hacer clic en el botón **Start Recording**, lo cual dará inicio a la toma de datos por parte del software, cada 20 segundos, los datos que aparecen en pantalla se actualizarán, deberá tener en cuenta los recuadros de **T2** a **T5**, los cuales mostrarán los datos necesarios para hacer la parte teórica.

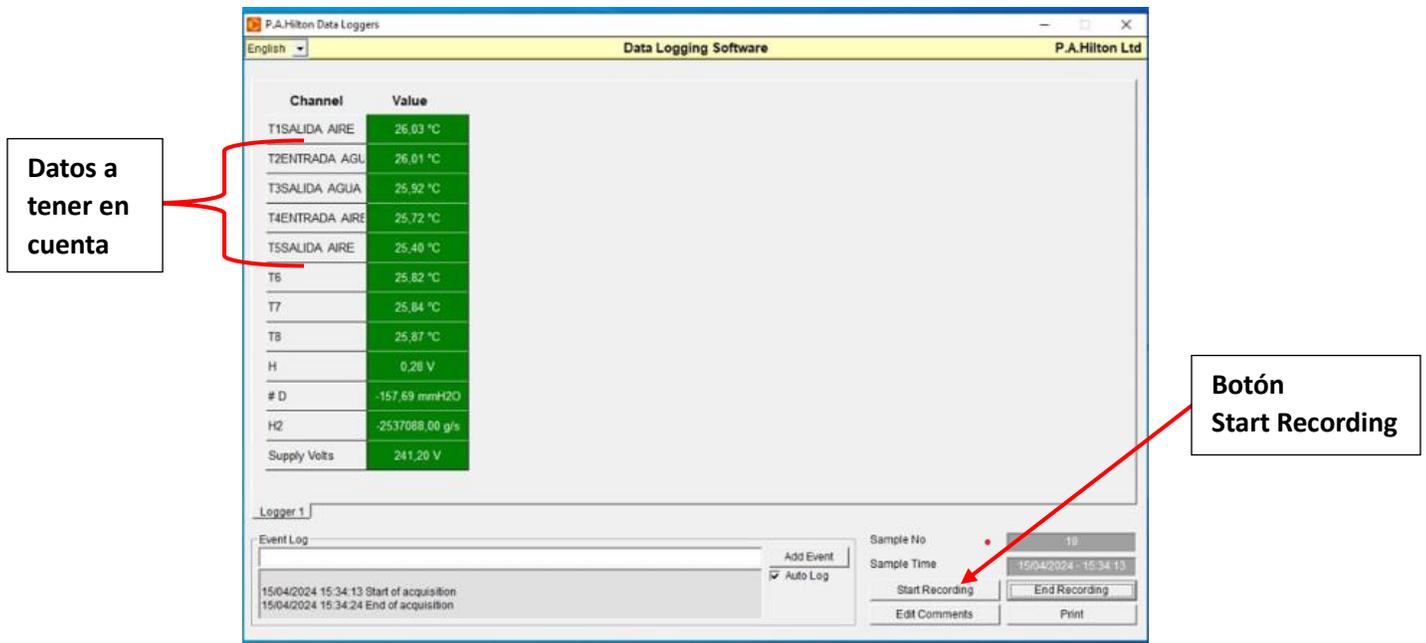


Figura 15. Inicio de toma de datos.

Donde:

T2= Temperatura de entrada de agua a la placa.

T3= Temperatura de salida de agua de la placa.

T4= Temperatura de entrada del aire al conducto.

T5= Temperatura de salida del aire del conducto.

- Al transcurso de los cinco minutos, se debe hacer la impresión del archivo PDF que contendrá los datos, para esto, habrá observado que el botón **Start Recording** ahora dice **Stop Recording**, así que debe seleccionar el botón **Stop Recording**.

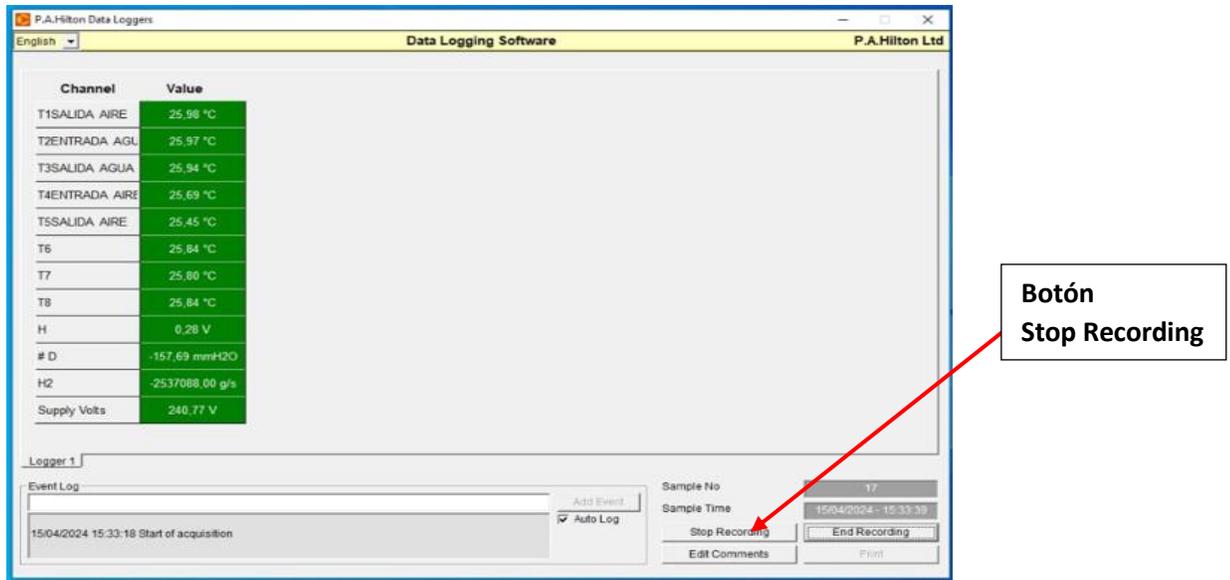


Figura 16. Detención de toma de datos.

11. Una vez detenga la toma de datos, proceda a variar la presión del aire a través del conducto según la tabla anexa y siguiendo el procedimiento explicado en el paso

Cuando la presión esté regulada de nuevo, proceda a contar los cinco minutos nuevamente y vuelva al computador, notará que se habrá habilitado en la parte inferior derecha otro botón con la denominación **Print**, haga clic en él.

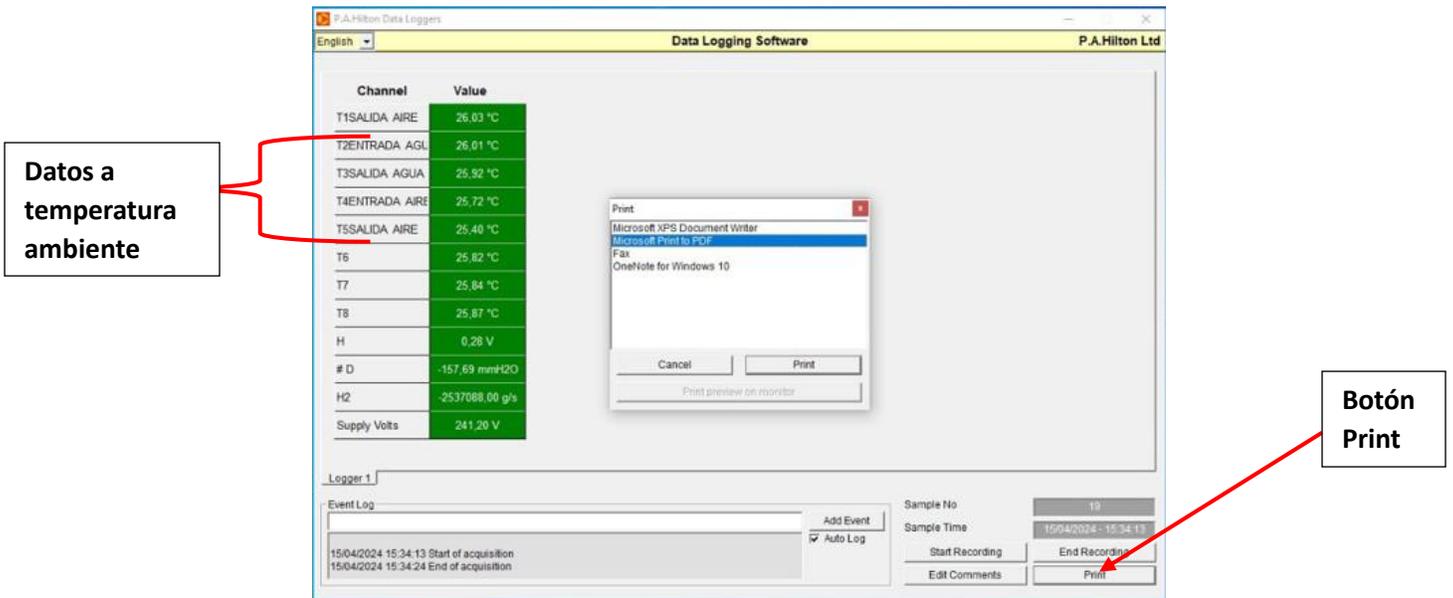


Figura 17. Impresión de datos.

12. Se abrirá una ventana que da a elegir varios formatos para generar el archivo, por cuestiones de comodidad, seleccione PDF y seguido a esto oprima Print.

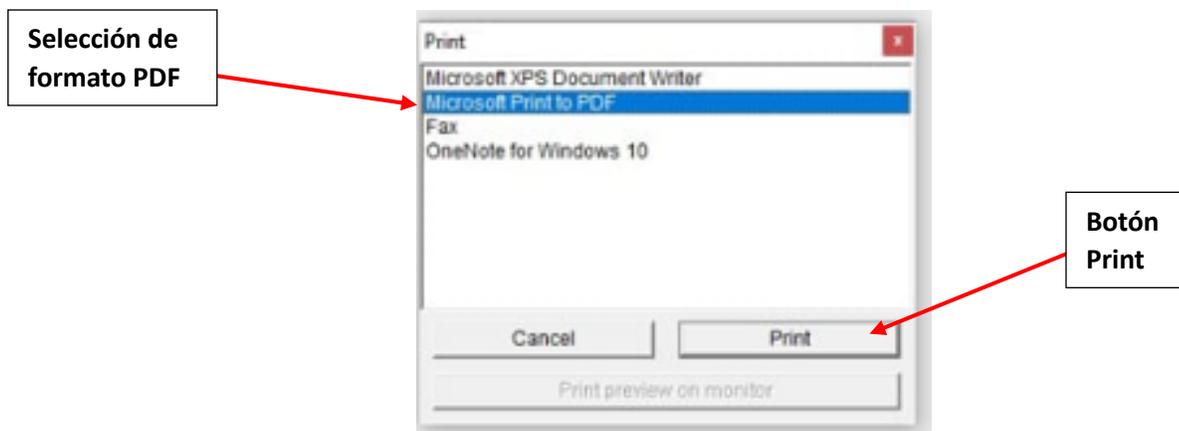


Figura 18. Selección de formato.

13. Se abrirá una ventana que solicitará el lugar donde se guardará el archivo, seleccione el escritorio, dele un nombre a la prueba que va a imprimir y seleccione guardar.

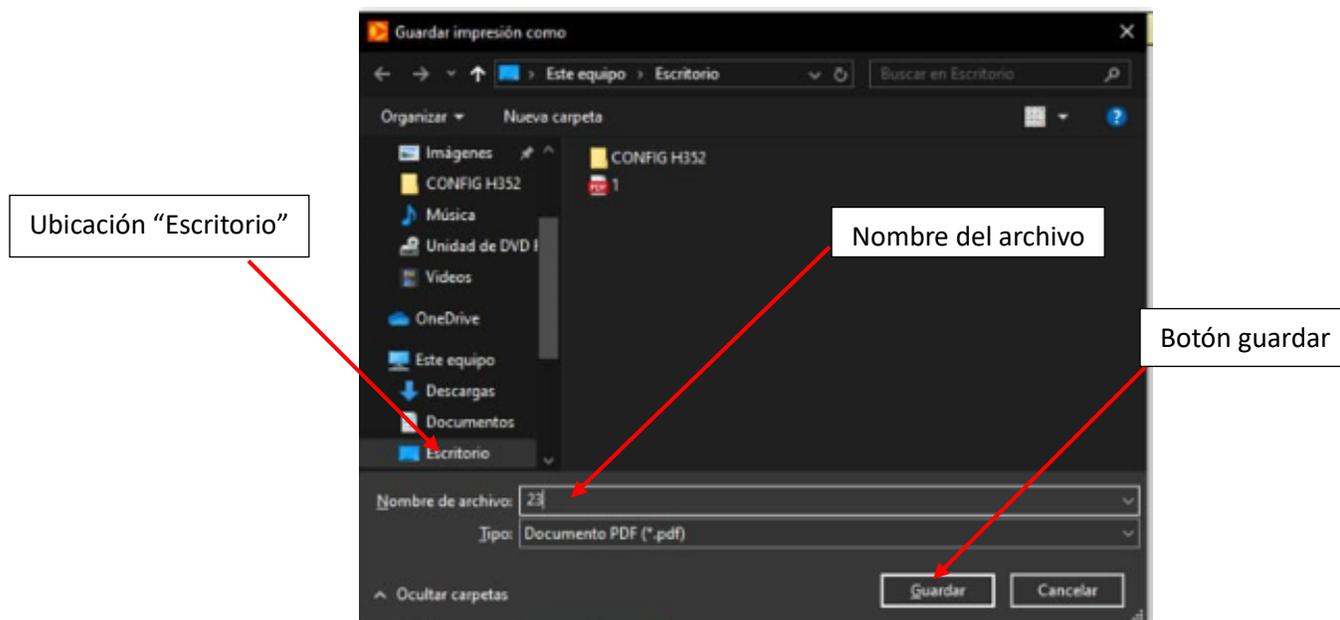


Figura 19. Interfaz de guardado de archivos.

14. Una vez guardado el archivo, podrá apreciar que en el escritorio aparece el archivo.



Figura 20. Archivo guardado.

Repita el proceso cada cinco minutos cuando la temperatura se haya estabilizado y hasta que llegue a la última medida de la tabla anexa.

Entrada Agua T2	Salida Agua T3	Entrada Aire T4	Salida Aire T5	h Presión de aire de entrada	$\dot{m}_w$ caudal másico de agua
84,2	81,3	18,9	20,7	13,5	40
84,7	81,7	19,1	20,9	11,5	40
86,4	83,8	19,3	21,5	10,7	40
81,3	78,8	19,9	21,8	9,5	40
77,9	75,8	20,1	22,4	8	40
76,5	74,3	20,6	21,9	6,2	40
76,5	74,6	20,5	22,6	3,5	40

Tabla 1. Resultados de ensayo.

## CÁLCULOS

La tasa de transferencia de calor se puede determinar a partir de la caída de temperatura a través del intercambiador de calor, y la tasa de flujo de agua como sigue. Tomando el resultado de la prueba por primera vez como un ejemplo.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{he} &= \dot{m}_w C p_w (\Delta T) \\ &= \dot{m}_w C p_w (T2 - T3) \\ &= \frac{40}{1000} \times 4.18 \times 10^3 \times (84.2 - 81.3) \\ &484.8 \text{ Watts}\end{aligned}$$

Esta es la cantidad de energía que se disipa en la corriente de aire. El hecho de que el calor está siendo añadido a la corriente de aire es evidente por el aumento de la temperatura del aire (T5) después del intercambio de calor.

Como la diferencia de temperatura entre los fluidos caliente y frío varía a lo largo y a través de la longitud del intercambiador de calor, es necesario obtener una diferencia media de temperatura adecuada que puede ser utilizado en cálculos de transferencia de calor. Estos cálculos no solo son relevantes en los procedimientos experimentales, sino también son importantes en el diseño de los intercambiadores de calor para realizar la tarea particular.

La derivación de la diferencia de la temperatura media logarítmica (LMTD) se pueden encontrar en la mayoría de libros de texto de termodinámica y de transferencia de calor.

La LMTD se define como

$$LMTD = \frac{dT_{max} - dT_{min}}{\ln\left(\frac{dT_{max}}{dT_{min}}\right)}$$

**La mayor diferencia de temperatura es entre el agua entrante caliente T2 y el aire frío entrante T4. La menor diferencia de temperatura estará entre el agua saliente caliente T3 y el aire después del intercambiador de calor T5.**

Por tanto, con base a lo anterior, la LMTD para el intercambiador de calor será

$$LMTD = \frac{(T2 - T4) - (T3 - T5)}{\ln\left(\frac{(T2 - T4)}{(T3 - T5)}\right)}$$

Por tanto, para el primer conjunto de resultados de la muestra en la tabla

$$\begin{aligned}
 LMTD &= \frac{(T_2 - T_4) - (T_3 - T_5)}{\ln\left(\frac{(T_2 - T_4)}{(T_3 - T_5)}\right)} \\
 &= \frac{(84.2 - 18.9) - (81.3 - 20.7)}{\ln\left(\frac{(84.2 - 18.9)}{(81.3 - 20.7)}\right)} \\
 &= 62.92K
 \end{aligned}$$

El coeficiente global de transferencia de calor para el intercambiador de calor es:

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{\dot{Q}_{he}}{A_{he} \times LMTD} \\
 &= \frac{484.8}{2.769 \times 10^{-5} \times 62.92} \\
 &= 278252 \frac{W}{m^2 K} \\
 &\quad \text{ó} \\
 &= 278.25 \frac{kW}{m^2 K}
 \end{aligned}$$

La velocidad del aire en el conducto puede ser determinada por referencia a los datos de interés:

$$\text{Superficie activa del intercambiador de calor } A_{he} = 2.769 \times 10^{-3} m^2$$

$$\text{Área en conducto transversal despejada } La_d = 9.75 \times 10^{-3} m^2$$

$$\text{Velocidad en el conducto de aire libre } U = 74.294 \sqrt{\frac{H \times T_a}{Pa}} m/s$$

Donde

H=Altura manómetro en mmH<sub>2</sub>O

T<sub>a</sub>=Temperatura del aire ambiente en K

Pa=Presión del aire ambiente N/m<sup>2</sup>

Velocidad local en el intercambiador de calor debido al efecto de bloqueo del tubo

$$U' = U \times 1.693$$

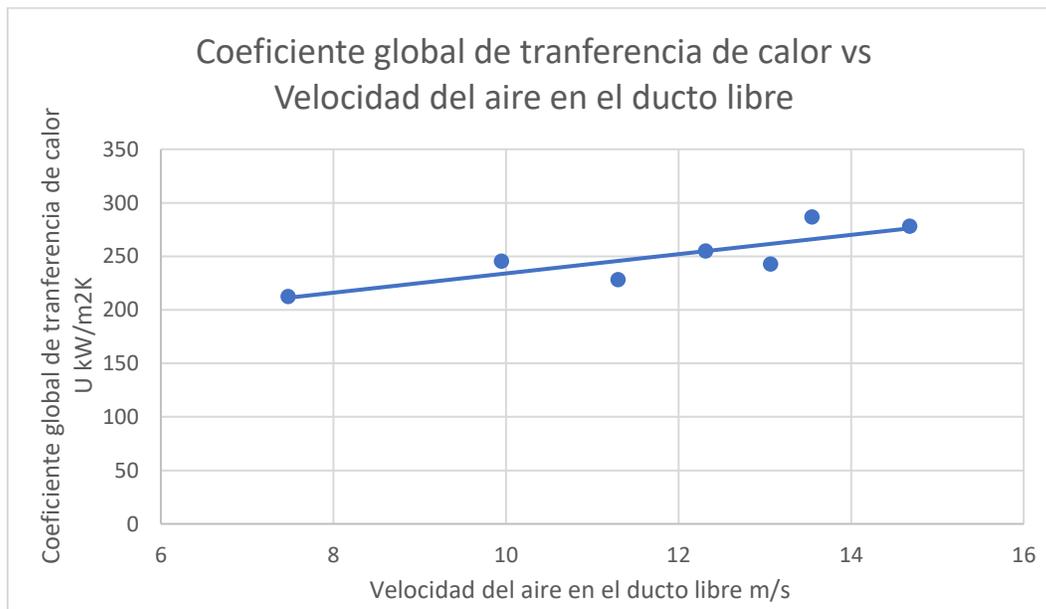
Sustituyendo los valores conocidos de la tabla:

$$\begin{aligned}
 U &= 74.294 \sqrt{\frac{HxTa}{Pa}} \text{ m/s} \\
 &= 74.294 \sqrt{\frac{13.5x(19.8 + 273.15)}{101300}} \\
 &= 14.68 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Esta es la velocidad de flujo libre en el conducto. Debido al efecto de bloqueo de los tubos en el conducto, la velocidad local alrededor de los tubos se incrementa por un cierto factor debido a la relación de área libre/bloqueado. A partir de los datos útiles brindados anteriormente se obtiene el factor:

$$\begin{aligned}
 U' &= 14.65 \times 1.693 \\
 &= 24.8 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Repitiendo los cálculos, el coeficiente de transferencia de calor total puede representarse en una grafica en velocidad en el conducto de flujo libre. Como puede verse a partir de la presentación gráfica en la pagina 19, a medida que la velocidad del aire en el conducto incrementa. El coeficiente de transferencia de calor para la misma velocidad del aire también se puede aumentar, incrementando el área superficial de los tubos o mediante la adición de aletas a los tubos.



*Grafica 1. Coficiente global de transferencia de calor vs Velocidad del aire en el ducto libre.*