



Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor (H_c) en la evaluación del equipo de convección forzada

Determination of the convective heat transfer coefficient (H_c) in the evaluation of forced convection equipment

Determinação do coeficiente de transferência de calor por convecção (H_c) na avaliação de equipamentos de convecção forçada

Luis Alberto Supo-Quispe ^I
ingluisalberto83@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7892-3460>

Jorge Aruhuanca-Cartagena ^{II}
jorge_ac20@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2733-8752>

Sandra Beatriz Butrón-Pinazo ^{III}
sandrarp3@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6653-8266>

Correspondencia: ingluisalberto83@gmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de enero de 2021 ***Aceptado:** 15 de febrero de 2021 * **Publicado:** 01 de marzo de 2021

- I. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- II. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- III. Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

Resumen

La determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h_c) se tuvo que encontrar los parámetros óptimos para las variables independientes como son la temperatura de pared o superficie y el flujo másico, donde se encontró que el sistema alcanza el estado estacionario a los 40 minutos aproximadamente y se hizo las evaluaciones en el estado estacionario a lo largo de 120 minutos para cada prueba experimental.

Después se realizaron los cálculos para determinar el coeficiente convectivo de transferencia de calor ($h_c = 21.38 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) en un tubo horizontal, así como la velocidad del fluido en la descarga del medidor de orificio ($V = 11.11 \text{ m/s}$) y también como el flujo másico ($m = 0.0198 \text{ kg/s}$) y el número de Reynolds, los cuales nos interesa para determinar el coeficiente convectivo de transferencia de calor (h_c) en el equipo.

El procedimiento a utilizar para el medidor de orificio, la relación a la temperatura de salida y para evaluar el tipo de régimen, es haciendo corridas en el mismo equipo, luego de haber sido diseñado, armado y listo para el funcionamiento, acción que nos permitió hacer corridas exitosas y lograr por ende resultados satisfactorios con el equipo.

Palabras claves: Coeficiente convectivo; temperatura; caída de presión.

Abstract

The convective heat transfer coefficient (h_c) determination had to find the optimal parameters for the independent variables such as the wall or surface temperature and the mass flow, where it was found that the system reaches the steady state after 40 minutes approximately and the evaluations were made in the steady state throughout 120 minutes for each experimental test.

Afterwards, the calculations were performed to determine the convective heat transfer coefficient (h_c) in a horizontal tube, as well as the fluid velocity at the discharge of the orifice meter (V) and also as the mass flow (m) and the Reynolds number, which we are interested in determining the convective heat transfer coefficient (h_c) in the equipment.

The procedure to be used for the orifice meter, the relationship to the outlet temperature and to evaluate the type of regime, is by running runs on the same equipment, after having been designed, assembled and ready for operation, an action that allowed us make successful runs and therefore achieve satisfactory results with the team.

Keywords: Convective coefficient; temperature; pressure drop.

Resumo

A determinação do coeficiente de transferência de calor convectivo (h_c) teve que encontrar os parâmetros ótimos para as variáveis independentes como a temperatura da parede ou da superfície e o fluxo de massa, onde se constatou que o sistema atinge o estado estacionário após 40 minutos. Aproximadamente e as avaliações foram feitas em estado estacionário ao longo de 120 minutos para cada teste experimental.

Em seguida, foram realizados os cálculos para determinar o coeficiente convectivo de transferência de calor (h_c) em um tubo horizontal, bem como a velocidade do fluido na descarga do orifício medidor (v) e também como a vazão mássica (\dot{m}) e o número de Reynolds, que interessamos determinar o coeficiente de transferência de calor convectivo (h_c) no equipamento.

O procedimento a ser utilizado para o medidor de orifício, a relação com a temperatura de saída e para avaliar o tipo de regime, é fazendo rodar corridas no mesmo equipamento, após ter sido projetado, montado e pronto para operação, ação que nos permitiu realizar corre bem e, portanto, consegue resultados satisfatórios com a equipe.

Palavras-chave: Coeficiente convectivo; temperatura; queda de pressão.

Introducción

El problema que complica el estudio de la operación de transferencia de calor es la determinación del coeficiente de convección, teniendo en cuenta que en la transferencia de calor por convección, se tiene dos tipos de transferencia, que son: convección natural y convección forzada, los mismos que surgen de la observación y el comportamiento que exhibe dicho proceso. Los procesos de transferencia de calor son de conducción, convección y radiación se estudian convenientemente en forma independiente; sin embargo, en todo proceso de transformación se requiere de calor.

En el proceso de transferencia de calor por convección es muy importante determinar el coeficiente convectivo de transferencia de calor, ya que a partir de este dato se puede realizar el diseño de los equipos de transferencia de calor, así como también realizar las modificaciones de un proceso en la industria química.

Para la determinación del coeficiente de convección de transferencia calor (h_c), se requiere de un equipo de transferencia de calor de flujo turbulento el cual nos permitirá conocer a nivel de laboratorio las variables que se requiere para el cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor, así como las ecuaciones empíricas que existen en la bibliografía para comparar cada una de ellas a partir de los resultados obtenidos luego de las pruebas experimentales.

En primer lugar, se ha construido un equipo de transferencia de calor, específicamente para determinar el coeficiente convectivo (h_c) de transferencia de calor, para relacionar los problemas con la aplicación de la ecuación de enfriamiento o calentamiento de Newton.

Métodología

Generalidades del experimento de flujo de calor de pared especificada

El equipo experimental permitió realizar ensayos de convección forzada sea en flujo turbulento en forma rápida y exacta observando caídas de presión a través de un medidor de orificio y de tubo en prueba y la temperatura de entrada del fluido (aire), lo que facilitara estudiar y determinar:

- La validez de la analogía de Reynolds para aire ($St = f/8$) (Welty 2002)
- El valor de número de Nusselt, Nu y su comparación con fórmulas empíricas
- El coeficiente global de transferencia de calor
- El número de Stanton, St .
- Perfil de temperatura media del fluido en la dirección axial
- Perfil de temperatura superficial del tubo en la dirección axial.
- Factor de fricción f y su comparación con el valor experimental.
- Por tanto, las variables a medir son:

Del proceso:

- Caudal de aire
- Caída de presión en el tubo de ensayo
- Voltaje
- Corriente (amperaje)
- Temperatura de entrada y salida del fluido
- Temperatura de la superficie del tubo

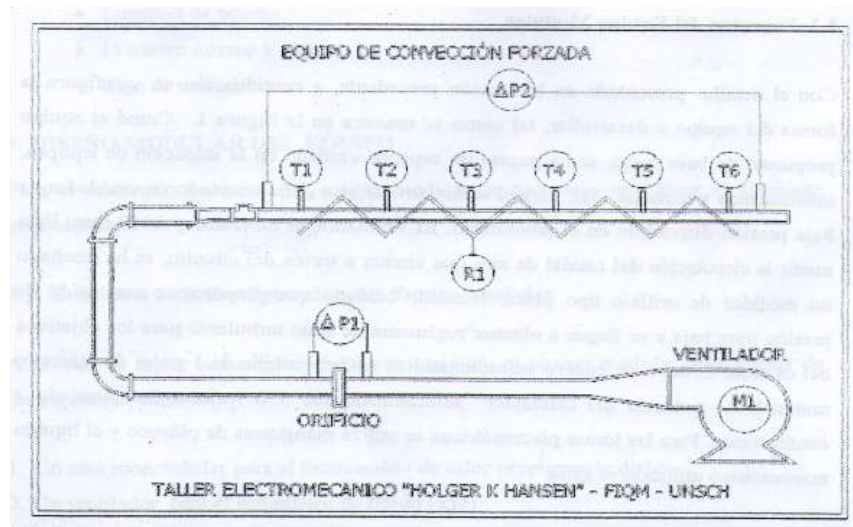
Del tubo de ensayo:

- Longitud de prueba
- Diámetro interno y externo
- Tipo de material

Prueba experimental y su descripción

Diagrama de operación

Figura 1: Elaboración Propia



Para cumplir el objetivo propuesto se requiere poner en marcha el equipo experimental para desarrollar diferentes ensayos utilizando como fluido de trabajo el aire proveniente de un ventilador que presenta rpm constante. Para la primera parte de evaluación preliminar se ensayó con un caudal máximo de aire y para mejorar la confiabilidad de los datos adquiridos se repitió el experimento tres veces. Las lecturas de caudal, caída de presión, voltaje, amperaje y temperaturas fueron efectuadas manualmente.

Tabla 1: Descripción del equipo

EQUIPO DE CONVECCION FORZADA	
	DESCRIPCION
T1	T1 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 1
T2	T2 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 2
T3	T3 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 3

T4	T4 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 4
T5	T5 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 5
T6	T6 significa la toma de dato del valor de temperatura en el punto 6
M1	M1 está simbología significa el ventilador por donde se el ingreso de aire y es impulsado por un motor
$\Delta P1$	Es la diferencia de presiones que se toma la lectura en las tomas piezometricas de un equipo de orificio.
$\Delta P2$	Es la diferencia de presiones que se toma la lectura en las tomas piezometricas a la entrada del tubo y al final del tubo donde se calcula el coeficiente de transferencia de calor.

Resultados y discusión

En la siguiente tabla 2 se muestra todos los datos registrados del ensayo del experimento para las condiciones de caudal máximo de aire.

Tabla 2: Datos de temperatura, presión y tiempo en el equipo

Tiempo min	Temperatura superficie del tubo de ensayo (°C)						Temperatura de aire (°C)		Caída de Presión (mm de columna de agua)	
	Tw ₁ °C	Tw ₂ °C	Tw ₃ °C	Tw ₄ °C	Tw ₅ °C	Tw ₆ °C	T(0) °C	T(L) °C	Orificio (Δh) mm	Tubo (Δh) mm
0	21.2	21	21	21	21	21.4	14	15	0	0
4	50	50	56	51	49	32.8	22.2	46.3	17	22
8	72	73	79	75	72	50.2	22.5	57.2	17	22
12	83	85	90	86	83	62.2	22.8	60	17	22
16	89	90	95	92	87	69	23.2	62.7	17	22
20	91	93	97	94	89	72.7	23.4	63.4	17	22
24	92	94	98	95	90	74.7	23.8	64.4	17	22
28	93	94	99	96	91	75.7	24.1	64.3	17	22
32	93	95	99	96	91	76.8	24.1	66	17	22
36	94	95	99	96	91	76.8	24.4	65.3	17	22
40	94	95	100	96	92	76.7	24.5	67.0	17	22
44	94	96	100	97	92	77.7	24.6	66.5	17	22
PROMEDIO	80,51	81,75	86,08	82,91	79	63,80	24.5	66.26		

Fuente: Elaboración propia

De los resultados se observa que el estado estacionario alcanza en un promedio de una hora. Además, se ha tratado de distribuir uniformemente la resistencia.

Cálculos

1. Análisis Caída de Presión en el orificio

Datos:

$$\Delta h = 17 \text{ mmH}_2\text{O} = 0.017\text{m (leído en manómetro U)}$$

$$T_{\text{amb}} = 14^\circ\text{C}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho = 999.22 \text{ (Temperatura ambiente } 14^\circ\text{C)}$$

$$\Delta(P_1 - P_2) = \rho \cdot H_2O \cdot g \cdot \Delta h = 999.22 \cdot 9.81 \cdot 0.017 = 166.63 \text{ N/m}^2 \quad (1)$$

2. Análisis de Caudal y Velocidad de Aire en orificio:

Datos: Experimentales:

$$T_{\text{amb}} = 14^\circ\text{C} = 287.15 \text{ K}$$

Teóricos:

$$P_1 = 79 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_2 = 62 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$C_o = 0.62 \text{ (Valiente 1990)}$$

$$D = 42.8 \text{ mm} = 0.0428 \text{ m (diámetro interno tubería)}$$

$$d = 31.20 \text{ mm} = 0.0312 \text{ m (diámetro orificio)}$$

$$g_c = 1 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2} \text{ (Factor de conversión de dimensiones)} \quad (2)$$

$$\rho_{\text{Aire}}^{T_{\text{amb}}} = 1.2386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ Densidad del aire a temperatura ambiente (anexo3)}$$

$$\beta = \frac{d_o}{D} = 0.734 \quad (3)$$

k = Relación de capacidades caloríficas

$$k = 1.4031$$

Ecuaciones

$$P_1 = \rho_{\text{Aire}}^{T_{\text{amb}}} \cdot g \cdot \Delta h \text{ (Ecuación para calcular la presión puntual } P_1)$$

$$Y = 1 - \frac{0.41 + 0.35(\beta)^4}{k} \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) \quad (\text{Factor empírico de comportamiento ideal en gases}) \quad (4)$$

$$\bar{V}_1 = C_o Y \sqrt{\frac{2 \cdot g_c \left(\frac{\Delta P}{\rho_{\text{aire}}} \right)}{1 - \beta^4}} \quad (\text{Ecuación de cálculo de velocidad en el orificio}) \quad (5)$$

Calculos

$$P_1 = 999.22 * 9.81 * 0.079 = 774.38 \frac{N}{m^2} \quad (6)$$

$$Y = 1 - \frac{0.41 + 0.35(0.734)^4}{1.4031} \left(\frac{166.63}{774.48} \right) = 0.921$$

Remplazando en la ecuación de velocidad en el orificio

$$\bar{V}_1 = (0.62) \cdot (0.921) \sqrt{\frac{2(1) \left(\frac{166.63}{1.2386} \right)}{1 - (0.734)^4}}$$

$$\bar{V}_1 = 11.11 \frac{m}{s}$$

3. Análisis flujo másico aire:

Datos: Teóricos

$$\rho_{\text{Aire}}^{T_{\text{amb}}} = 1.2386 \frac{kg}{m^3}$$

$$\bar{V}_1 = 11.11 \frac{m}{s}$$

$$D = 42.8 \text{mm} = 0.0428 \text{m}$$

Ecuaciones

$$\mathbf{m} = \rho_{\text{aire}} \cdot \bar{V}_1 \cdot \mathbf{A}$$

Calculos

$$m = (1.2386) * (11.11) * (0.00144) = 0.0198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4. Análisis del número adimensional de Reynolds:

Reynolds en orificio: (donde la T del aire es la misma que la del medio ambiente)

Datos:

$$m = 0.0198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$d_o = 31.20 \text{ mm} = 0.0312 \text{ (diámetro de orificio)}$$

μ = Viscosidad del aire a temperatura ambiente (14°C=287.15 K)

$$\mu = 1.8543 \text{ E-}5 \text{ kg/m*s}$$

Ecuacion:

Donald Q. Kern.1999

$$Re_o = \frac{4m}{\pi \cdot d_o \cdot \mu}$$

Calculos

$$Re_o = \frac{4(0.0198)}{\pi(0.0312)(0.00018543)} = 43575.33$$

El número de Reynolds > 20000; confirma las aseveraciones iniciales de Co=0.62, que se tiene en la teoría y los cálculos son validos

4.1. Reynolds en tubería de ensayo:

Datos:

$$T_a: 24.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_b: 66.26 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ab}: 57.63 \text{ }^\circ\text{C} = 330.78 \text{ K}$$

$$m = 0.0198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$d_{\text{tubo}} = 28.4 \text{ mm} = 0.0284 \text{ m (diámetro de tubería de ensayo)}$$

$\mu_{\text{aire}}: 2.0077\text{E-}5 \text{ kg/m.s}$

Ecuaciones

$$\text{Re} = \frac{4.m}{\pi.d_o.\mu} \quad (7)$$

$$\text{Re}_{\text{tubo}} = 44212.77$$

5. Análisis de la velocidad del aire en el tubo de ensayo ():

Datos: $T_{ab}: 57.63 \text{ C} = 330.78 \text{ K}$

$$\dot{m} = 0.0198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$d_{\text{Tubo}} = 28.4\text{mm} = 0.0284\text{m}$ (diámetro interno de tubería de ensayo)

$$A_{\text{flujo}} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{tubo}})^2 = \frac{\pi}{4} (0.0284)^2 = 0.00063\text{m}^2$$

$\rho_{\text{tubo}} =$ Densidad del aire a la Temp promedio de la entrada y la salida (

$$\rho_{\text{tubo}} = 1.0066 \text{ kg/m}^3$$

Ecuaciones: $\bar{V}_2 = \frac{m}{\rho_{\text{tubo}} \cdot A_{\text{flujo}}} \quad (8)$

Cálculos: $\bar{V}_2 = \frac{m}{\rho_{\text{tubo}} \cdot A_{\text{flujo}}}$

$$\bar{V}_2 = 31.22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6. Análisis del balance de energía:

Determinación $[Q_1] =$ flujo de calor

Datos:

$T_a: 24.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_b: 66.26 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_{ab}: 57.63 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\dot{m} = 0.0198 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Cp_{aire} = Capacidad Calorífica del aire dentro del tubo de ensayo a la \bar{T}_{ab} , Interpolando:

T (K)	Cp (J/Kg.K)
300	1005.7
313.45	Cp
350	1009.0

$$C_p = 1007.7 \text{ KJ/kg.K}$$

$$Q_1 = \dot{m}(C_p)(\bar{T}_b - \bar{T}_a) \quad (9)$$

En ecuaciones compuestas se tiene (1°C= 1K)

Calor ganado por el aire

Cálculos:

$$Q_1 = (0.0198)(1007.7)(66.26-24.5)$$

$$Q_1 = 883.21 \text{ J/s} = 883 \text{ W}$$

7. Análisis flujo de energía

Datos

$$d_{\text{Tubo}} = 28.4 \text{ mm} = 0.0284 \text{ m} \text{ (Diámetro interno tubo de ensayo)}$$

$$L = 1.1 \text{ m} \text{ (Longitud del tubo de ensayo)}$$

$$A_{TC} = \pi d_{\text{Tubo}} L = \pi (0.028)(1.1) = 0.098 \text{ m}^2; \text{ (Área de transferencia de calor)}$$

$$Q_1 = 883.21 \text{ J/s} = 883 \text{ W}$$

Ecuaciones: $q = \frac{Q_1}{A}$

Cálculos: $q = \frac{883}{0.098} = 9010.20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

8. Verificación analogía Reynolds

La analogía de Reynolds se cumple cuando el numero Pr = 1

8.1.- Analizando Prantl:

Datos: Cp = 1.0077 (KJ/Kg.K)

$$\mu = 2.077E-5 \text{ (Kg/m.s)}$$

k = Conductividad térmica del aire (ANEXO 03)

$$k = 2.85 E-5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Ecuaciones:

$$\text{Pr} = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (10)$$

$$\text{Pr} = \frac{1.0066 \cdot 0.00002077}{0.00002726} = 0.766$$

$$\text{Pr} = 0.734$$

El valor de Pr se acerca mucho a 1; por lo tanto, se valida la suposición de la Analogía.

9. Análisis del factor de fricción

El factor de Fricción (f), está en función del Re y la rugosidad relativa (ε/d); pero es de suponer que en un tubo estirado como el del ensayo la rugosidad relativa se considera cero (0); se observa por lo tanto el factor de fricción lo evaluamos con la correlación de CHEN. (Para un análisis más detallado se recomienda utilizar un valor de $\varepsilon/d = 0$ extraído de TABLAS (ANEXO 05), tomando como base un acero comercial de 1 pulg de diámetro)

$$\text{Re}_{\text{Tubo}} = \frac{4m}{\pi \cdot d_o \cdot \mu}$$

$$\text{Re}_{\text{Tubo}} = \frac{4(0.0198)}{\pi(0.0284)(2.0077E-5)} = 44212.77$$

Datos: $\text{Re}_{\text{Tubo}} = 44212.77$

Ecuaciones:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left\{ \frac{1}{3.7065} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right) - \frac{5.0452}{\text{Re}_{\text{Tubo}}} \log \left[\frac{1}{2.8057} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{(\text{Re}_{\text{Tubo}})^{0.9}} \right] \right\} \quad (11)$$

(Para un análisis mas detallado se recomienda utilizar un valor de (ε/d) extraido tomando como base un acero comercial de 1 pulg de diámetro)

Como (ε/d), la ecuación quedaría:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -4 \log \left\{ -\frac{5.0452}{\text{Re}_{\text{Tubo}}} \log \left[\frac{5.8506}{(\text{Re}_{\text{Tubo}})^{0.9}} \right] \right\}$$

Cálculos:

$$f = \left[\frac{1}{-4 \log \left\{ -\frac{5.0452}{44212.77} \log \left[\frac{5.8506}{(44212.77)^{0.9}} \right] \right\}} \right]^2 = 0.0054$$

10. Análisis del número a dimensional de Stanton (St):

Datos: $f = 0.0054$

Ecuaciones:

$$S_t = \frac{f}{8} = \frac{0.0054}{8} = 0,000675$$

11. Determinación del coeficiente convectivo de transferencia de calor:

Datos: $St = 0.000675$

$$\bar{V}_2 = 31.22 \text{ m/s}$$

$$Cp = 1.0077 \text{ KJ/Kg.K} = 1007.7 \text{ J/Kg.K}$$

$$\rho = 1.0066 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Ecuaciones: } h_c = S_t (\rho) (Cp) (\bar{V}_2) \quad (12)$$

$$h_c = (0,000675)(1.0066)(1007.7)(31.22)$$

$$h_c = 21.38 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Perfil axial de temperatura del fluido y de la pared del tubo al 100% (Compuerta de aire completamente abierto)

El perfil axial de temperatura tanto para el fluido como para la pared del tubo se calcula a partir de las siguientes ecuaciones

$$T(z) = T(o) + \left[\frac{(\pi D)}{(m C_p)} \right] q(Z) \quad (i)$$

$$T_w(z) = T(z) + q_{conv} / h \quad (ii)$$

De la ecuación (i) tenemos

Calculando $T_{(z)}$ con la siguiente ecuación:

$$T_{(z)} = T_{(0)} + \left[\left(\frac{\pi D}{m C_p} \right) \right] q(Z) \quad (13)$$

$$T_{(z)} = T_{(0)} + \left[\left(\frac{(3.1415)(0.0284)}{(0.0198)(1007.7)} \right) \right] (9010)(0)$$

Donde:

$$Z = 0.00$$

Se tiene:

$$T_{(0.00)} = 14$$

De la ecuación (ii) tenemos:

Calculando con la siguiente ecuación:

$$T_{w(z)} = T_{(z)} + \frac{q_{conv}}{h} \quad T_{w(z)} = 14^{\circ}C + \frac{9010.20}{21.38}$$

$$T_{w(z)} = 14^{\circ}C + 421^{\circ}K \quad \dots\dots\dots(*)$$

De la ecuación (*) se tiene que uno de los datos esta en grados kelvin por las unidades entonces hacemos la conversión de ahí tenemos

$$T(^{\circ}C) = 421 - 273.15$$

$$T(^{\circ}C) = 147.85$$

Entonces reemplazando en la ecuación (*) se tiene:

$$T_{w(z)} = 14^{\circ}C + 147.85^{\circ}C$$

$$T_{w(z)} = 161.85^{\circ}C$$

Resultados de cálculo tabulados en la siguiente tabla se muestra gráficamente.

Tabla 3: Datos tabulados de temperatura del fluido y la pared del tubo

distancia axial	T° Fluido	T° pared teorico	T° pared Exper
L_z (m)	T_z (°C)	T_{W_z} (°C)	T_{W_z} (°C)
0	14	162,2812442	94
0,22	22,86	171,1412442	96
0,44	31,73	180,0112442	100
0,66	40,59	188,8712442	97
0,88	49,46	197,7412442	92
1,1	58,32	206,6012442	77,7

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

El valor obtenido del coeficiente convectivo de transferencia de calor es $21.38 \text{ W/m}^2\text{K}$. que corresponde a la transferencia de calor por convección forzada en un tubo horizontal para el flujo turbulento y se encuentra dentro del rango para el aire que tiene un valor que varía de $11.3 - 55 \text{ W/m}^2\text{K}$.

El valor obtenido del flujo másico del aire con relación a la temperatura de salida $m = 0.0198 \text{ kg/s}$ que corresponde el equipo de convección forzada con el cual se trabajó.

Para elevar el valor del coeficiente convectivo de transferencia de calor (h_c) de $21.38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. se tiene que incrementar la velocidad de fluido y la cantidad del flujo másico en el sistema, esto se lograra incrementando la potencia del ventilador en el equipo, por ende, se cumple con el objetivo trabajado, pero no al 100% de su eficiencia.

Se determinó el número de Reynolds y se obtuvo el valor de ($Re=44212.77$), este dato corresponde según bibliografía a un flujo turbulento con el cual se trabajó.

Se determinó los perfiles de temperatura en los seis puntos donde se obtuvo un ajuste polinomial en donde el valor de $R=0.981$, con eso decimos que es eficiente el equipo.

Referencias

1. Mills, A. (1994) Transferencia de Calor. Editorial McGraw-Hill.
2. Bird, r.b. / Stewart, w. E. / Lightfoot, e. N. (1992) "Fenómenos de Transporte". Editorial REVERTE, S.A.

3. Donald Q. K, (1987) *Procesos de Transferencia de Calor*, Cia. Editorial Continental S. A. (CECSA), México; Vigésima Impresión.
4. Incropera, Frank. (1999) *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Editorial Prentice Hall, Cuarta Edición.
5. Geankoplis, C. J. (1998) “Procesos de transporte y operaciones unitarias”. Tercera edición. Editorial CESCA.
6. Holman, J.P. (1998) *TRANSFERENCIA DE CALOR*, Octava Edición, McGraw-Hill/Interamericana, España.
7. James R. W, (1997) *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE MOMENTO, CALOR Y MASA*, Editorial Limusa S. A., México, Octava Reimpresión.
8. Kreith, Bohn M, S. (2001) *PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*. Editorial Thomson – learning. sexta edición
9. Necati O., (1979) *TRANSFERENCIA DE CALOR*, Editorial Mc Graw Hill Latinoamericana S. A. Bogotá, Colombia.
10. Perry J. H. “Manual del Ingeniero Químico”. Sexta edición. Editorial McGRAW HILL.
11. Perry R. H. – Chilton H. (1986) “Biblioteca del Ingeniero Químico” Edit. Mc GRAW HILL MÉXICO.
12. Valiente A, – NORIEGA J. (1993) “Manual de Ingeniero Químico” Edit. LIMUSA MÉXICO.
13. Valiente A., (1994). “Transferencia de Calor” Edit. LIMUSA – MÉXICO. 2002.
14. Yunus A. C. (2005) *TRANSFERENCIA DE CALOR*. Editorial McGrawHill. Segunda edición – 2005.
15. Franco de R. Gloria (1991) “Cálculos de Intercambiadores de Calor por Elementos Finitos” , Integral Industrial.
16. Kreit. F. (1985) “ Fluid Mechanics” Mechanical Engineering Handbook
17. Tello E.,(2007) “Estudio y simulación del proceso de secado de quinua (*chenopodium quinoa willd*) en un secador de lecho fluidizado continuo.