





Design of a Test Bench by Transfer of Pipe Heat for Engineering Education Electrical Mechanics

Carlos Alexis Alvarado Silva, Msc¹, Carlos Alfredo Miñope Montes, Eng²,
Victor Orlando Gamarra Rosado, Phd³, Geraldo Cesar Rosario de Oliveira, Msc⁴

¹Universidad Cesar Vallejo, Perú, calvarados@ucv.edu.pe

²Universidad Señor de Sipán (USS), Perú, mmontescarlosal@crece.uss.edu.pe





³⁴Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil, victor.rosado@unesp.br, geraldo.arquivos@gmail.com

Abstract – This work presents a bank of heat transfer tests by pipelines from which experimental experiments are conducted by conduction and convection, and in this way, to analyze the results of this phenomenon of theoretical and experimental manner. Specifically, to evaluate the efficiency in the pipes, among which are a simple one, with fins and another with thermal insulation. Using different thermal insulators, one at a time and separate. In this set of tests the experimental results are recorded and verified by a thermographic chamber, instrumentation commonly used in the academic field of engineering branches that teaches topics related to the science of heat transfer, which illustrates in a didactic way difficult problems to visualize, solve It is always impossible to discover these physical phenomena exactly.

Keywords: Test bench by pipes, Heat transfer, Conduction and convection.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Diseño de un Banco de Ensayos por Transferencia de Calor por Tuberías para la Enseñanza en Ingeniería Mecánica Eléctrica

Carlos Alexis Alvarado Silva, Msc¹ , Carlos Alfredo Miñope Montes, Eng² ,
Victor Orlando Gamarra Rosado, Phd³ , Geraldo Cesar Rosario de Oliveira, Msc⁴ 

¹Universidad Cesar Vallejo, Perú, calvarados@ucv.edu.pe

²Universidad Señor de Sipán (USS), Perú, mmontescarlosal@crece.uss.edu.pe

³⁴Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil, victor.rosado@unesp.br, geraldo.arquivos@gmail.com

Resumen– Este trabajo presenta un banco de ensayos de transferencia de calor por tuberías donde se realizan pruebas experimentales por conducción y convección, y de este modo, analizar los resultados de este fenómeno de manera teórica y experimental. Específicamente, evaluar la eficiencia en las tuberías, entre las cuales hay una simple, una con aletas y otra con aislante térmico. Se utilizan dos aislantes térmicos diferentes, uno de cada vez y separados. En este banco de ensayos los resultados experimentales son registrados y verificados por una cámara termográfica, instrumentación comúnmente utilizada en el medio académico de las ramas de la ingeniería que ministran temas relacionados con la ciencia de transferencia de calor, ya que ilustran de forma didáctica problemas difíciles de visualizar, resolver y casi siempre imposible de descubrir estos fenómenos físicos de forma exacta.

Palabras-claves: Banco de ensayos por tuberías, Transferencia de calor, Conducción y convección.

Abstract – This work presents a bank of heat transfer tests by pipelines from which experimental experiments are conducted by conduction and convection, and in this way, to analyze the results of this phenomenon of theoretical and experimental manner. Specifically, to evaluate the efficiency in the pipes, among which are a simple one, with fins and another with thermal insulation. Using different thermal insulators, one at a time and separate. In this set of tests the experimental results are recorded and verified by a thermographic chamber, instrumentation commonly used in the academic field of engineering branches that teaches topics related to the science of heat transfer, which illustrates in a didactic way difficult problems to visualize, solve It is always impossible to discover these physical phenomena exactly.

Keywords: Test bench by pipes, Heat transfer, Conduction and convection.

I. INTRODUCCIÓN

El calor es definido como un tipo de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de una diferencia de temperatura. Energía requerida para el calentamiento en algunos procesos industriales, y para su utilización es transportado desde una caldera mediante medios como el agua o vapor, empleando los principios de transferencia de calor, así como de la termodinámica. Es

común encontrar la transferencia de calor en los sistemas de ingeniería como en otros aspectos de la vida y no es necesario ir muy lejos para ver algunas de sus áreas de aplicación [1-2], como, por ejemplo:

- El cuerpo humano que siempre está emitiendo calor en forma constante hacia sus alrededores, y el control de la razón de transferencia de calor al ajustar nuestra ropa a las condiciones ambientales;
- El sistema de aire acondicionado donde es muy utilizado, y consiste de un módulo con mayor calor que transfiere a otro de menos calor hasta alcanzar su equilibrio térmico;
- En sistemas de calor donde especializan en el diseño, montaje y mantenimiento de instalaciones térmicas (climatización, calefacción, ventilación), de frío industrial, de energía solar térmica y de instalaciones de combustibles líquidos y gaseosos;
- En la electrónica cuando se calculan los disipadores de calor en un transistor o los ventiladores de procesadores o fuentes de los equipos electrónicos;
- En la electromecánica, cuando se estudian condensadores de vapor o evaporadores, o cuando se calculan radiadores para enfriar el *block* de un motor a explosión, o las aletas de disipación en un cilindro de una motocicleta;
- En la ingeniería en los procesos que emplean transporte de calor donde aparecen frecuentemente en la construcción, cuando se pretende aislar térmicamente una cubierta o un muro; y
- En los fenómenos de transferencia de calor donde tienen un papel muy importante en procesos industriales y ambientales donde se usa, por ejemplo, en la combustión de combustibles fósiles, en el uso de energía geotérmica, y en procesos que involucran los fenómenos de conducción, convección y radiación.

Entre las aplicaciones de transferencia de calor más importantes en la industria de la ingeniería están los hornos rotativos e los intercambiadores de calor. El horno rotatorio es un equipo que usualmente se usa en la construcción de

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

materiales, metalurgia, industria química, protección del medio ambiente y muchas otras industrias; su uso extensivo en la metalurgia es para una gran variedad de trabajos de fundería, incluyendo por un lado las fundiciones grises, de alta calidad o maleables y los aceros, y por otro cobre, bronce, aluminio y plomo, así mismo como una gran precisión en la composición a la hora de hacer aleaciones. Y, el intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, encontrándose éstos en contacto o separados por una barrera sólida. Se trata de componentes esenciales en los sistemas de climatización o refrigeración, acondicionamiento de aire, producción energética y procesamiento químico. Para entender fácilmente el funcionamiento del intercambiador de calor, podemos tomar como referencia el radiador de cualquier vehículo. El motor calienta el fluido refrigerante. Este último se refresca por el contacto con las corrientes de aire, logrando así reducir la temperatura del primero tras circular por su interior [3].

Por ello, este estudio presenta un banco de ensayos con el objetivo de utilizar datos y verificar las medidas y resultados experimentales relacionados con transferencia de calor y con la eficiencia del aislante en tuberías. El banco de ensayos está formado por un sistema de tuberías, entre las cuales hay una simple, una con aletas y otra con un aislante térmico. Se utilizan dos aislantes térmicos diferentes, uno de cada vez y separados. Los dos aislantes son materiales diferentes, uno es el Sulfato de calcio semihidratado, conocido como Yeso, y el otro es el Poliestireno expandido EPS, conocido como Tecnopor, ambos materiales usados en la construcción y en la industria, y caracterizados por su alta resistencia térmica. Por tanto, para cada caso se realizan las pruebas para los cálculos pertinentes, como variar los caudales, y como resultado se muestran las diferentes temperaturas en los diferentes puntos de los tubos concéntricos, también el valor del calor transferido y parámetros que verifican la eficiencia. Un tema de suma importancia para la solución de problemas que tienen que ver con un mantenimiento adecuado, una posibilidad de un diseño más de un sistema térmico o la ejecución de un nuevo proyecto para ampliación o mejora de la planta.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La termodinámica como ciencia estudia en la primera ley, la naturaleza y transformación de la energía en sus diferentes formas: energía interna, entalpía, trabajo y calor. En la segunda ley explica porque el calor no puede ser transformado totalmente en trabajo. Sin embargo, ninguna de las dos explica cómo se transfiere el calor de un cuerpo a otro. Según Donald Kern (1965), la ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. La transferencia de calor, al ser un fenómeno de transporte, se rige principalmente por tres factores, una fuerza motriz, un área de

superficie y un coeficiente, el cual depende del mecanismo por el cual se lleva a cabo la transferencia [4].

Formas de transferencia de calor

Transferencia de calor por conducción es un proceso mediante el cual fluye el calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo [5].

Se ha mencionado que la conducción es principalmente un fenómeno molecular que requiere de un gradiente de temperatura como fuerza motriz. Se atribuye a la Ley de Fourier, que nos indica que la razón de la conducción de calor a través de una *capa plana* es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y el área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa. Las ecuaciones son obtenidas conforme a seguir. Da la ley de Fourier [2], y sabiendo que matemáticamente todo gradiente siempre tiene un signo, por lo tanto, si X (espesor) en el sentido del calor aumenta, entonces la temperatura disminuye. Se utilizan las ecuaciones (1) y (2) que son el flujo y el caudal del calor, respectivamente.

$$\dot{q}_X = -k(dT/dx) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_X = \dot{q}_X A \quad (2)$$

Simplificando las expresiones:

$(dT/dx) \approx (\Delta T/\Delta x)$; $\Delta = final - inicial$, y $T_1 > T_2$, se obtiene:

$$\dot{Q}_X = -Ak[(T_2 - T_1)/\Delta x] = Ak \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x} = \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta x/Ak} = \frac{Fuerza.Motriz}{Resistencia.Térmica} \quad (3)$$

Donde, \dot{q}_x es el flujo de calor; \dot{Q}_x es el caudal de calor; k es la conductividad térmica, propiedad del material que indica la cantidad de calor que fluirá a través de un área unitaria si el gradiente de temperatura es la unidad; Δx es el espesor; T es la temperatura; A es el área. Y la Resistencia térmica es la capacidad de un material de oponerse al flujo del calor. Para condiciones de estado estacionario, sin generación interna de calor, la *Ley de Fourier en coordenadas cilíndricas*, se expresa conforme la ecuación (4).

$$\dot{Q} = -Ak(dT/dr) \quad (4)$$

Donde, A es el área radial en la dirección de conducción de calor: $A = 2\pi rL$. Reemplazando e integrando, se obtiene la ecuación (5):

$$\dot{Q} = 2\pi Lk \frac{(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)} \quad (5)$$

En la práctica, las puntas de *las Aletas* están expuestas a los alrededores; por lo tanto, la condición de frontera

apropiada para la punta de la aleta es de la convección, que también puede incluir los efectos de la radiación [1]. Se considera el caso de la convección sólo en la punta. La condición en la punta de la aleta se puede obtener a partir de un equilibrio de energía en este local, o sea, $\dot{Q}_{conduc} = \dot{Q}_{convecc}$. Por tanto, la ecuación (6) caracteriza la condición de frontera en la punta de la aleta.

$$-Ak \frac{dT}{dx} \Big|_{x=L} = Ah(T_{L,base} - T_{\infty}) \quad (6)$$

La transferencia de calor debida a la convección se relaciona con el intercambio de energía entre un fluido y una superficie o interfase. Hay dos clases de procesos convectivos, que son la convección forzada en que se fuerza el movimiento de un fluido por una superficie debido al efecto de un agente externo tal como un ventilador o bomba, y la convección natural o libre en que los cambios de densidad en el fluido a consecuencia del intercambio de energía provocan un movimiento natural del fluido. Fue Newton quien expresó por primera vez la ecuación correspondiente a la rapidez de transferencia de calor convectivo, por lo que se denomina ley de Newton del enfriamiento [6], conforme la ecuación (7).

$$\dot{q}_X = h(T_S - T_{\infty}) \quad (7)$$

donde, h es el coeficiente de transferencia de calor por convección. Y como el caudal del calor es dado por la ecuación (2), reemplazando se obtiene la ecuación (8).

$$\dot{Q}_X = Ah(T_S - T_{\infty}) = \frac{(T_S - T_{\infty})}{1/Ah} = \frac{\text{Fuerza.Motriz}}{\text{Resistencia.Térmica}} \quad (8)$$

III. METODOLOGÍA

En esta sección, se presenta el estudio experimental de este trabajo y se detalla la relación de los materiales e instrumentos utilizados conforme a seguir:

Manómetro: Los manómetros son los instrumentos utilizados para medir la presión de fluidos (líquidos y gases). Lo cual se manifiesta en pantalla calibrada directamente en las unidades de presión (bar o psi), conforme la Figura 1(a).

Termocuplas: La termocupla es el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (Figura 1(b)).

Cámara termográfica: Una cámara termográfica es un dispositivo para medir la temperatura sin necesidad de contacto. Las cámaras termográficas detectan la energía infrarroja emitida, transmitida o reflejada por todos los materiales a temperaturas superiores al cero absoluto (0°C) y convierten el factor de energía en una lectura de temperatura o

termograma. Un termograma es la imagen térmica del objeto que está emitiendo, transmitiendo o reflejando la energía infrarroja, mostrada por la cámara, como en la Figura 1(c).

Autoclave: Este equipo es muy importante para la prueba experimental, ya que es un recipiente de presión metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite trabajar a alta presión, una cocción o una esterilización con vapor de agua. En el contexto industrial la palabra autoclave se utiliza para referirse a una olla a presión de gran talla (Olla hermética), utilizada para cocimiento en procesos industriales.

A seguir, algunos usos de las autoclaves industriales:

- En la industria alimentaria: para la esterilización de conservas y alimentos enlatados cuyas características requieren un tratamiento por encima de los 100 °C (método Nicolás Appert).
- En la industria maderera: para tratar la madera para construcciones en exterior (pérgolas, porches, etc.) y así protegerla de parásitos.
- En la industria textil: utilizadas para el teñido de telas.
- En la industria de neumáticos: para realizar el vulcanizado.
- En el tratamiento de residuos hospitalarios: para eliminar los microorganismos patógenos existentes.

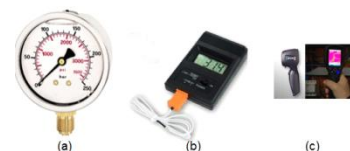


Fig. 1 Instrumentación: (a) Manómetro, (b) Termocupla e (c) Cámara termográfica

Procedimiento experimental

El procedimiento experimental de este estudio se desarrollará conforme se explica a continuación:

- a) En la olla hermética (autoclave) se abre la válvula para el paso de agua destilada de un galón.
- b) Después se calienta en la autoclave el agua destilada hasta que llegue una presión de 15 psi (Figura 2).

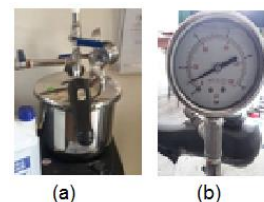


Fig. 2 (a) Autoclave e (b) Indicación de la presión

- c) Enseguida, se abren las válvulas (pase del fluido) donde se acoplan las tres diferentes tuberías Figura 3(a), con lo cual se pretendió que se calentaran el trayecto de las tuberías en un tiempo de 10 min.

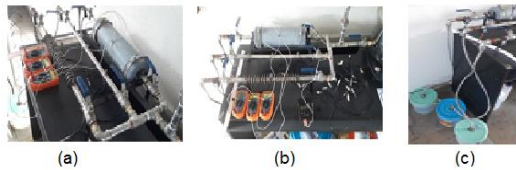


Fig.3 Banco de ensayos: (a) Tuberías, (b) Termocuplas, e (c) Caudal para cada tubería.

- d) Se utilizan termocuplas para tomar las medidas correspondientes, Figura 3(b), de las temperaturas de las tuberías Sin aletas, Con aletas y de los Aislantes.
- e) A seguir, se toman medidas de los caudales en las tres tuberías, Figura 3(c).
- f) Y finalmente, se toman fotos con una Cámara termográfica al sistema para así detectar emisiones de transferencia de calor en el Autoclave (Figura 4) y en las tuberías conforme las Figuras 5(a), 5(b) y 5(c), respectivamente.

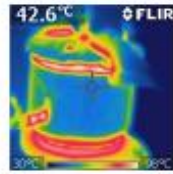


Fig. 4 Imagen termográfica del Autoclave.

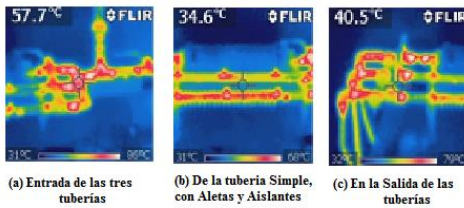


Fig.5 Imágenes termográficas de las tuberías.

IV. RESULTADOS

Se presentan a seguir los datos experimentales y los cálculos analíticos realizados en el banco de ensayos relacionados con transferencia de calor en tuberías [1].

A. CÁLCULO EN LA TUBERÍA

Los datos en el banco de ensayo en la tubería simple son dados conforme la Tabla I.

TABLA I
TEMPERATURA EN LA TUBERÍA SIMPLE.

Temperaturas	°C	°K
entrada	75°	348°
salida	69°	342°

Por otro lado, se calcula la conducción del calor en la tubería sin aletas por medio del calor específico del agua (C_p), conforme a seguir. En primer lugar, se obtiene el caudal del agua, el cual está depositado en baldes, conforme la Tabla II,

donde, $D_{interior}$ es el diámetro interior del balde, a es la Altura del agua depositada en el balde, t es el Tiempo, k es la Conductividad térmica, r_2 es el radio mayor de la tubería, y r_1 es el Radio interior de la tubería.

TABLA II
DATOS DEL BANCO DE ENSAYOS.

$D_{interior}$ [cm]	a [cm]	t [seg]	k [W/m°K]	r_2 [m]	r_1 [m]
19.5	3.5	4.83	15	0.01035	0.00815

Se utiliza la ecuación (9) para el caudal.

$$q_{caudal} = \pi(D_{int})^2 a / 4t \quad (9)$$

Reemplazando se obtiene:

$$q_{caudal} = 0.00021641 m^3/s.$$

Después, se calcula el flujo másico con la ecuación (10) que es dada por la termodinámica.

$$m_{agua} = \rho_{agua} q_{caudal} \quad (10)$$

$$\rho_{agua} = 1000 kg/m^3$$

se obtiene:

$$m_{agua} = 0.21641 kg/s$$

Y finalmente, de la tabla de Propiedades de líquidos, se obtiene el Calor específico del Agua dado por, $C_p = 4.22 kJ/(kg.K)$. A seguir, se calcula con la ecuación (11) la transferencia de calor.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{agua} C_{p,agua} (T_e - T_s) \quad (11)$$

$$\dot{Q} = 5.4795 kW$$

B. CÁLCULO EN LA TUBERÍA CON ALETAS

Los datos en el banco de ensayo para tubería con aletas son dados conforme la Tabla III y IV, respectivamente, donde, e es el Espesor de la aleta, r_2 es el Radio de la aleta, r_1 es el Radio de la tubería, L es la Longitud de la aleta, h es el Coeficiente de convección de aire, y k es el Conductividad térmica del acero inoxidable.

TABLA III
TEMPERATURAS EN LA TUBERÍA CON ALETAS.

Ubicación	Temperaturas	°C	°K
De la Tubería	entrada	75°	348°
	salida	69°	342°
De la Aleta	en la base (T_b)	59.6°	332.6°
	parte superior (T_a)	54.5°	327.5°

TABLA IV
DATOS DEL BANCO DE ENSAYOS.

e [m]	r_2 [m]	r_1 [m]	L [m]	h [W/m ² °K]	k [W/m°K]
0.002	0.0222	0.01035	0.01185	10	15

Primero se calcula la eficiencia de una aleta y después el cálculo del calor, junto con el área, conforme las ecuaciones (12) y (13).

$$\dot{Q}_{aleta} = \eta h A_{aleta} (T_b - T_a) \quad (12)$$

Así, se calcula la eficiencia con la ecuación (13) y la Tabla de Eficiencia de Aletas [1], conforme a seguir:

$$\xi = L_C^{3/2} (h/kA_p)^{1/2} \quad (13)$$

Reemplazando los datos se obtiene,

$$r_{2C} = r_2 + e/2 = 0,0232m$$

$$L_C = L + e/2 = 0.01285m$$

$$A_p = 0.0000257m^2$$

$$(r_{2C}/r_1) = 2.24 .$$

$$\xi = 0.235m^2$$

Finalmente, con la Tabla de Eficiencia de Aletas, la cual relaciona los parámetros ξ con la curva dada por la relación (r_{2C}/r_1) , se obtiene la eficiencia de la aleta: $\eta=0.95$.

Luego, se calcula el área de la aleta con la ecuación (14).

$$A_{aleta} = 2\pi(r_{2C}^2 - r_1^2) \quad (14)$$

Reemplazando las variables se tiene:

$$A_{aleta} = 0.0027087 m^2$$

Por tanto, el calor de una aleta es:

$$\dot{Q}_{aleta} = 0.131236W$$

Para hallar el calor total, sin incluir el calor que ocurre entre el espacio de las aletas, se multiplica el n° de aletas por la cantidad de calor de una aleta. Como el número de aletas es: n°=20 se tiene:

$$\dot{Q}_{aleta.TOTAL} = n°.de.aletas(\dot{Q}_{aleta})$$

Por tanto,

$$\dot{Q}_{aleta.TOTAL} = 2.6247W$$

C. CÁLCULO EXPERIMENTAL EN LA TUBERÍA CON AISLANTE

En este estudio se utilizan dos aislantes con materiales diferentes, que son el Yeso y el Tecnopor. El yeso, sulfato de calcio semihidratado, y el Tecnopor, poliestireno expandido EPS, ambos productos industriales caracterizados por la alta resistencia térmica y utilizado como aislante térmico en la construcción y en la industria. Así, se presentan las ecuaciones teóricas (15) y (16) relacionadas con el uso de aislantes en las tuberías. Teóricamente son tratados como una red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de un cilindro compuesto de tres capas, (sujeto a convección en ambos lados [1], donde, R_{total} es la resistencia térmica total.

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{conv.1}} = \frac{T_{\infty 1} - T_2}{R_{conv.1} + R_1} = \frac{T_1 - T_3}{R_1 + R_2} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \dots = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (15)$$

Los datos en el banco de ensayo son dados conforme las Tablas IV y V. Y se presentan las medidas del banco de ensayos para poder calcular el calor solo en el aislante, en este

$$R_{total} = R_{conv.1} + R_{cil.1} + R_{cil.2} + R_{cil.3} + R_{conv.2} \quad (16)$$

$$= \frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_1} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi L k_3} + \frac{1}{h_2 A_4}$$

caso de Yeso, conforme la Tabla VI, donde, k_2 es la Conductividad térmica del yeso, r_2 es el Radio de la tubería, r_3 es el Radio del aislante, y L es la Longitud del aislante.

TABLA V
TEMPERATURAS EN LA TUBERÍA CON AISLANTE DE YESO.

Ubicación	Temperaturas	°C
De la Tubería	entrada	66.1°
	salida	62°
De la Aleta	parte superior (T_3)	30°
	en la base (T_2)	64°

TABLA 6.
DATOS DEL BANCO DE ENSAYOS.

k_2 [W/m°C]	r_2 [m]	r_3 [m]	L [m]
0.81	0.01035	0.03915	0.34

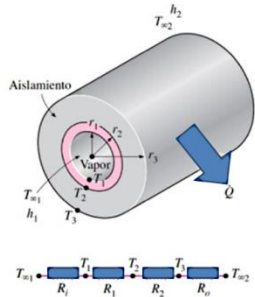


Fig. 14 Tubería con aislante

La ecuación (17) se utiliza para el cálculo del calor transferido en el aislante.

$$\dot{Q} = (T_2 - T_3) / R_2 \quad (17)$$

Como,

$$R_2 = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_2}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$R_2 = 0.76885 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Así, el calor calculado es:

$$\dot{Q} = 44.22 \text{ W}$$

Cálculo experimental de la tubería con aislante (Tecnopor)

Los datos y medidas del banco de ensayo son dados conforme las Tabla VII y VIII, respectivamente. En este caso se utiliza Tecnopor, donde, k_2 es la Conductividad térmica del tecnopor, r_2 es el Radio de la tubería, r_3 es el Radio del aislante, y L es la Longitud del aislante. Y es así que se tomaron las medidas para hallar el calor en el aislante.

TABLA VII
TEMPERATURAS EN LA TUBERÍA CON TECNOPOR.

Ubicación	Temperaturas	°C
De la Tubería	entrada	53.4°
	salida	32.9°
Del Aislante	parte superior (T_3)	30°
	en la base (T_2)	44.7°

TABLA VIII
DATOS DEL BANCO DE ENSAYOS.

k_2 [W/m°C]	r_2 [m]	r_3 [m]	L [m]
0.040	0.01035	0.04911	0.29

El calor transferido en el Aislante también se representa por la ecuación (18), y de igual manera se reemplazan los

valores para obtener R_2 y también el calor transferido, dados por:

$$R_2 = 21.36 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Así, el calor es:

$$\dot{Q} = 0.688 \text{ W}$$

V. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los resultados obtenidos de un banco de ensayos de transferencia de calor por tuberías, por conducción y convección, donde se realizan estudios teóricos y experimentales con instrumentación de bajo costo que permite evidenciar el proceso físico, y comúnmente utilizado en el medio académico y en las metodologías de las carreras de ingeniería, así como, en el desarrollo de sistemas en el área térmica. Recordar que, el aislamiento térmico reduce la transferencia de calor y los intercambios térmicos. De esta forma, en este estudio, se obtienen resultados relacionados con la reducción de transferencia de calor en tuberías de un banco de ensayos, donde hay una tubería simple, una con aletas y otra con aislante térmico. En la tubería con aislante térmico, se obtienen resultados de dos aislantes térmicos diferentes, uno de cada vez y por separado. Los dos aislantes son materiales diferentes, uno es el Yeso, y el otro es tecnopor, ambos materiales son usados en la construcción y en la industria, y caracterizados por su alta resistencia térmica, respectivamente. De esta manera, con los resultados obtenidos se justifica y se puede concluir la eficiencia del mejor aislante térmico, que es el tecnopor, material de espuma de poliestireno, aislante derivado del petróleo y del gas natural, de los que se obtiene el poliestireno en forma de gránulos.

También se tiene que destacar, que con una bancada experimental de bajo costo es posible ilustrar, modelar matemáticamente y en conjunto con la teoría, verificar estos fenómenos físicos, así como, poder ejecutar estos estudios en el diseño, montaje y mantenimiento de instalaciones térmicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Señor de Sipán (USS) por permitir utilizar los Laboratorios de Ciencias Térmicas de la Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo para desarrollar este trabajo.

REFERENCES

- [1] Bejan, A. (1987). The thermodynamic design of heat and mass transfer processes and devices. International Journal of Heat and Fluid Flow, 8(4), 258-276.
- [2] Y.A. Çengel and A.J. Ghajar. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications. McGraw-Hill, New York, 924, 2011.
- [3] Kryukov, P., Levashov, V. Y., Zhakhovskii, V. V., & Anisimov, S. I. (2021). Heat and mass transfer at condensate-vapor interfaces. Physics-Uspekhi, 64(2), 109.

- [4] Samuelsen DA, Graven OH. Remote laboratories in engineering education-an overview of implementation and feasibility. In LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology 2016 Jul 20.
- [5] Yakovlev, G., Drochytka, R., Pervushin, G., Grahov, V., Kalabina, D., Gordina, A., & Ginchitskaya, J. (2019, September). Structural and thermal insulation materials based on high-strength anhydrite binder. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 603, No. 3, p. 032071). IOP Publishing.
- [6] Sayadi, A. A., Tapia, J. V., Neitzert, T. R., & Clifton, G. C. (2016). Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. *Construction and building materials*, 112, 716-724.
- [8] A. Sakly, F. Ben Nejma. Heat and mass transfer of combined forced convection and thermal radiation within a channel: Entropy generation analysis, *Applied Thermal Engineering*, Volume 171, 2020, 114903, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.114903>.
- [9] Krishna, Y., Faizal, M., Saidur, R., Ng, K. C., & Aslfattahi, N. (2020). State-of-the-art heat transfer fluids for parabolic trough collector. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 152, 119541.
- [10] Goresline, Harry E. Historical aspects of the radiation preservation of food. In: *preservation of food by ionizing radiation*. CRC Press, 2018. p. 1-46.
- [11] Vivian, Magnos Alan et al. Quality of autoclave preservative treatment of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus cloeziana* wood. *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 96, p. 445-453, 2012.