

# Transferencia de calor en flujos laminares

Acosta, Jimena; Arguello, Melissa; De Baca, Juan Carlos; Fleitas, Jazmin; Rojas, Mariana; Romero, Rosa; Strubing Yazmin; Vera, Gastón

**Abstract**—Se determinan las variables relacionadas con las operaciones de transferencia de calor en flujos laminares de forma experimental para un sistema agua/aceite en régimen estacionario. Estas variables son la tasa de transferencia de calor, diferencia logarítmica de temperatura media, el coeficiente global de transferencia de calor, los coeficientes de película dentro y fuera de los tubos, viendo el efecto de la velocidad del fluido en estas variables. Además se compara el perfil de temperatura de la disposición en contra-corriente, con la disposición en co-corriente. Al final se busca establecer la relación entre los números de Nusselt y Graetz en tuberías de sección circular.

## I. INTRODUCCIÓN

Para calcular la cantidad de energía perdida debido a la fricción en un sistema de fluido, es necesario caracterizar la naturaleza del flujo. Un flujo lento y uniforme se conoce como flujo laminar, mientras que un flujo rápido y caótico se conoce como flujo turbulento. Los métodos que se utilizan para calcular la pérdida de energía es diferente para cada tipo de flujo [1].

En el flujo laminar, sólo hay transferencia de calor por conducción, puesto que no existen remolinos que lleven calor a la superficie isotérmica. Cuando el fluido se acerca a la superficie de calentamiento, es posible que tenga ya una capa límite hidrodinámica total o parcialmente desarrollada. O quizá se acerque a la superficie de calentamiento a una velocidad uniforme y las dos capas comiencen a formarse al mismo tiempo. La velocidad del fluido a través del tubo y en todos los puntos de una sección transversal cualquiera de la corriente es constante, la temperatura de la pared es constante, y las propiedades del fluido son independientes de la temperatura [2].

Existen dos tipos de arreglos para un intercambiador de calor en cuanto a su flujo, que corresponden a un arreglo en co-corriente y contracorriente. De la misma forma, se puede trabajar con flujo paralelo o cruzado, esto corresponde al ángulo de ataque del fluido al tubo. Se obtiene un mejor rendimiento en cuanto a la transferencia de calor para un flujo en contracorriente, mientras que la virtud de un sistema en co-corriente reside en la mantención de una temperatura relativamente constante entre los fluidos.

## II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

El equipo utilizado para la práctica es el intercambiador de calor de flujo laminar agua/aceite, es básicamente un intercambiador de calor de tubos concéntricos con aceite caliente fluyendo por el tubo central y el agua de enfriamiento que fluye por el anular. Un termopar digital tipo selector muestra la temperatura de aceite caliente, agua fría y de la pared de metal registrada por los distintos termopares. Los circuitos de aceite y de agua fría son como sigue:

Circuito de aceite caliente.

El aceite caliente de un tanque de calentamiento equipado con un calentador de tipo resistencia eléctrica es bombeado por una bomba centrífuga a través de una tubería al extremo superior del intercambiador en el tubo central. El aceite es enfriado conforme fluye hacia abajo a través del intercambiador, al salir pasa a través de una válvula de control a un tanque de vidrio que posee una escala que permite la medición del contenido y está equipado con una válvula de acción rápida que permite al aceite volver al tanque de calentamiento.

Circuito de agua fría.

La tubería de agua fría pasa a través de una válvula de control de flujo y un flujómetro, luego va a una unión de aflojamiento rápido. Una unión similar de aflojamiento rápido conecta los extremos con el punto de drenaje. Las conexiones son totalmente reversibles de manera que el agua de enfriamiento puede fluir en dirección co-corriente evitando que las mangueras se crucen o en contra-corriente haciendo cruzar las mangueras.

El control de la temperatura del aceite se hace mediante una perilla de control del calentador que se encuentra en el centro del panel. Una luz piloto de neón encima de la perilla destellará en proporción al ingreso de calor, cuando la temperatura de aceite a la entrada supera los 89°C el termostato apagará el suministro eléctrico automáticamente [3].

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la determinación de la tasa de transferencia de calor tanto para el agua como para el aceite, se observa un aumento lineal con el aumento del flujo del aceite, con un ajuste de  $r = 0.91$ , lo mismo ocurre con el coeficiente general de calor, con un ajuste  $r = 0.99$ . En la tabla 1, se observa el aumento del coeficiente de transferencia de calor de superficie dentro y fuera del tubo al aumentar las temperaturas. Al comparar la transferencia de calor en con flujo en contra corriente, se observa una eficaz transferencia de calor a medida que el flujo de agua avanza hacia la salida. En cuanto al flujo en co-corriente, la transferencia de calor no es la esperada, esto pudo deberse a la elevada temperatura a la cual estaba operando el equipo, lo que dificultó la lectura correcta de los termopares. La relación entre el número de Nusselt y Graetz posee un comportamiento similar a la formula correlativa, aunque los valores no son aproximados, como se observa en la figura 1.

Qagua (kW)	Qaceite (kW)	v (m/s)	U (W/m <sup>2</sup> )	ΔTml aceite (°C)	ΔTml agua (°C)
0.0627	0.0630	0.0263	48.2050	33.0151	3.2844
0.0878	0.0748	0.0581	50.9077	37.6230	3.7574
0.1128	0.0872	0.1013	57.2363	39.2339	3.9959
0.1881	0.1403	0.3399	91.2507	39.2775	4.5896
0.2006	0.1944	0.6022	128.2213	37.3970	4.8775
0.1881	0.1929	0.6754	129.9099	36.2468	4.8775
0.1881	0.1948	0.6847	134.3197	35.2439	4.8775
0.1254	0.1293	0.2687	92.2011	34.5505	4.2843

Tabla I

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE TRANSFERENCIA DE CALOR, DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARITMICA Y COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Tml aceite (°C)	ΔTml agua (°C)	haceite (W/m <sup>2</sup> °C)	hagua (W/m <sup>2</sup> °C)
33,0151	3,2843	53,0252	530,2941
37,6230	3,7574	55,2413	648,9396
39,2339	3,9959	61,7406	784,5448
39,2775	4,5896	99,2022	1138,4388
37,3970	4,8775	144,4280	1142,6534
36,2468	4,8775	147,8384	1071,2375
35,2439	4,8775	153,5762	1071,2375
34,5505	4,2843	103,9943	813,0387

Tabla II

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE SUPERFICIE DENTRO Y FUERA DEL TUBO Y EL EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL FLUIDO EN ESTOS

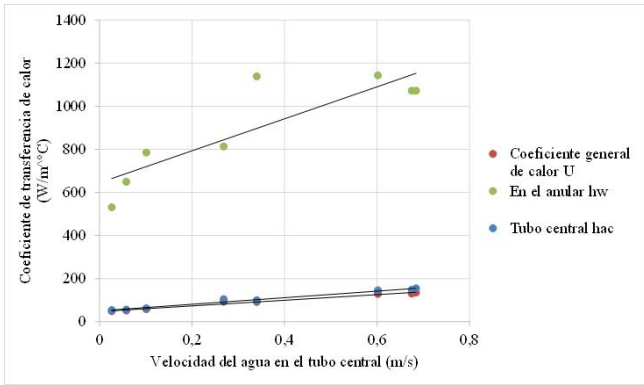


Figura 1. Efecto de la velocidad de flujo en el tubo interno con el coeficiente global de transferencia de calor y los coeficientes de película

Temperaturas (°C)	
Contracorriente	Co-corriente
70,6	72,4
57,1	70,8
26,1	29,7
33,4	33,4
25,3	24,6
24,8	26,9

Tabla III

COMPARACIÓN DEL FLUJO CONCURRENTE Y CONTRA-CORRIENTE

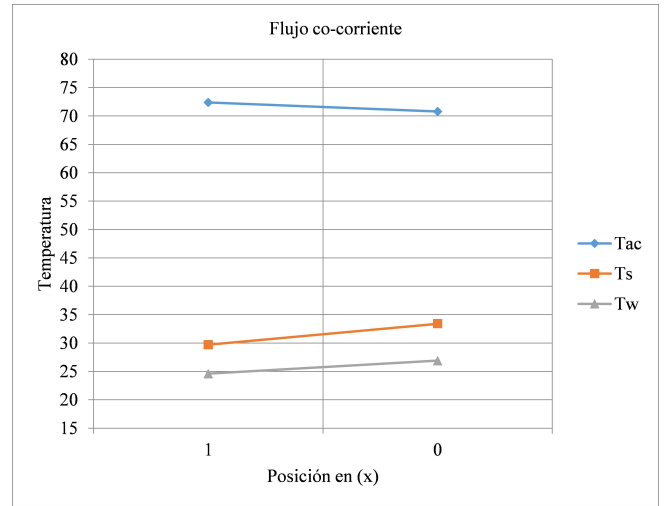


Figura 3. Distribución de temperatura en co-corriente

Nu	Gz	Nu promedio
0,00431068	$3,6907 \cdot 10^{-5}$	0,0582494
0,004490838	$8,2154 \cdot 10^{-5}$	0,07607614
0,005019197	0,00014363	0,09164678
0,008064641	0,00048215	0,13722484
0,011741274	0,00085401	0,16603214
0,012018522	0,0009532	0,17222627
0,012484972	0,0009628	0,17280231
0,008454216	0,00037874	0,12661551

Tabla IV

ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE NÚMEROS DE NUSSEL Y GRAETZ PARA FLUJO LAMINAR

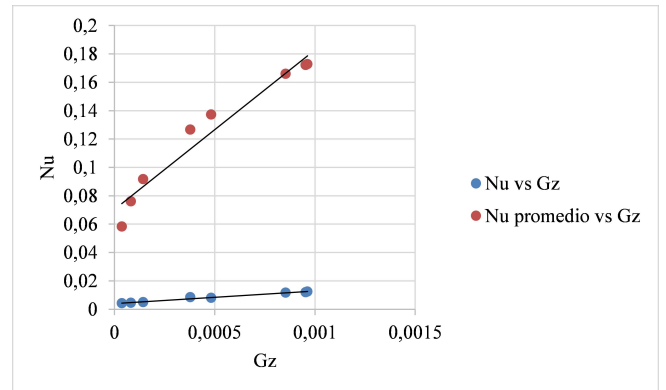


Figura 4. Comparación del número de Nussel promedio y número de Nussel calculado mediante correlación con relación al número de Graetz

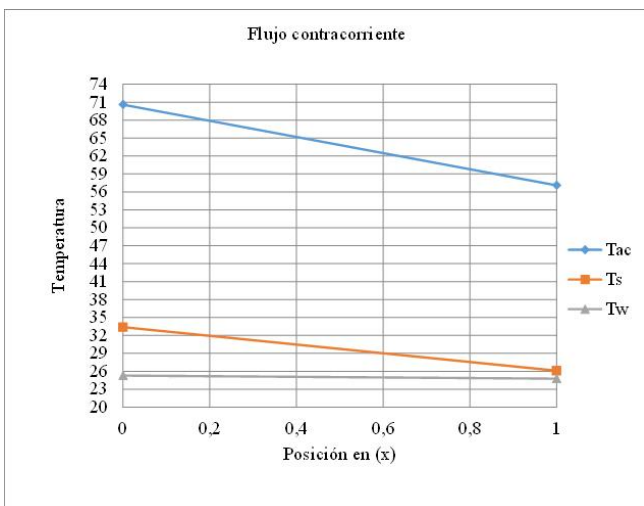


Figura 2. Distribución de temperatura en contracorriente

IV. CONCLUSIÓN

El aumento de temperatura del fluido frío obtenido para los distintos caudales de fluido caliente ingresados, no fueron significativos, lo que comprueba que la transferencia de calor de un flujo laminar es ineficiente.

La tasa de transferencia de calor del fluido caliente y del fluido frío aumentan linealmente con el incremento de la tasa de flujo másico del aceite haciendo más efectivo el intercambio de calor debido al aumento de la velocidad de entrada del fluido caliente.

El coeficiente de película correspondiente al flujo caliente es el que tiene mayor incidencia en el coeficiente global de transferencia de calor, el aumento de flujo del fluido caliente aumenta el valor del coeficiente global de transferencia de calor.

La transferencia de calor es más efectiva cuando la configuración de flujo es en contra-corriente en lugar de co-corriente.

## REFERENCIAS

- [1] Mott R.L., Mecánica de Fluidos Aplicada. Prentise Hall Hispanoamericana, México, 4ta ed. 1996.
- [2] W. McCabe, J.Smith, P. Harriot Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill Interamericana, México, 7ma ed. 2007.
- [3] Edibon. Manual experimental de operación y mantenimiento. Espaa, 1998.