

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Mecánica de fluidos	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Densidad		Laboratorio		hidráulica

Objetivos

Objetivo general

Comparar la precisión de los métodos del picnómetro y el principio de Arquímedes para determinar la densidad de diferentes fluidos y analizar cómo varía la densidad con la temperatura.

Objetivos específicos

- Realizar mediciones de la masa y el volumen de muestras de diferentes fluidos utilizando el método del picnómetro y el principio de Arquímedes.
- Calcular la densidad de cada fluido utilizando los dos métodos mencionados.
- Identificar el fluido que presenta la mayor densidad y el que presenta la menor densidad entre los estudiados.
- Realizar un análisis de como la temperatura afecta la densidad del fluido, de acuerdo a los resultados obtenidos.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Picnómetro de 20 o 25 ml	1
Balanza	1
Placa de Petri	1
Termómetro	1
Plancha de calentamiento con agitación	1

Vaso de precipitado de 100 ml	4
Pinzas	1
Pie de rey	1
Barra de aluminio de diámetro 19 mm x 60 mm (Se deja de libre elección el material y las dimensiones del objeto usado para el método de principio de Arquímedes)	1
Fluidos a estudiar, mínimo 4 (Estos quedan a libre elección del docente)	150 ml de cada uno

Procedimiento

Método de Picnómetro

1. Inicialmente, se coloca el picnómetro vacío junto con su tapa en la balanza para su pesaje.
2. Luego, se llena el picnómetro con el fluido a estudiar y se coloca la tapa. Es importante asegurarse de que el fluido alcance el borde o sobresalga ligeramente por el agujero presente en la tapa del picnómetro.

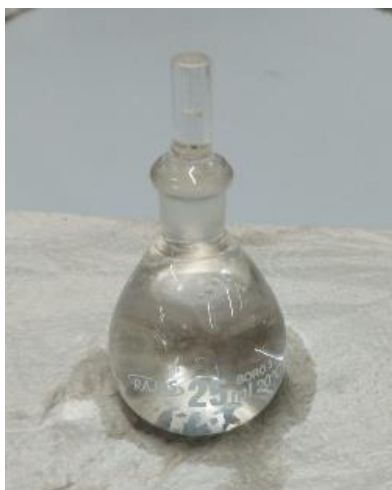


Figura 1. Picnómetro con el fluido.

3. Se procede a pesar nuevamente el picnómetro con el fluido y la tapa. Es esencial que la

balanza se encuentre calibrada en cero para obtener una medición precisa.



Figura 2. Balanza.

- Después, se vierte el fluido contenido en el picnómetro en un vaso de precipitado, se lava y seca cuidadosamente el picnómetro para repetir el proceso con otro fluido. Se repiten todos los pasos anteriores con cada uno de los fluidos, registrando los datos en una tabla adjunta.

Tabla 1. Datos experimentales o medidos con los equipos.

Método del picnómetro		
Masa del picnómetro vacío [g]		
Tipo de fluido	Volumen picnómetro	Masa picnómetro + fluido [g]

Método del Principio de Arquímedes

- Inicialmente, se selecciona el objeto sólido que se utilizará en la práctica. Luego, se miden las dimensiones del objeto utilizando un pie de rey y se determina su masa con la ayuda de una balanza.
- Se procede a pesar la placa de Petri en la balanza para establecer su masa inicial.

Tabla 2. Datos objeto sólido y placa de Petri.

Dimensiones objeto sólido		
Material	Diámetro [mm]	Longitud [mm]
Masa placa de Petri [g]		

- Coloque el vaso de precipitado con el fluido dentro de la placa de Petri después de completar el paso anterior.
- A continuación, introduzca el objeto sólido en el vaso de precipitado y permita que todo el fluido desbordado se recoja en la placa de Petri.



Figura 3. Objeto sólido cubierto por el fluido.

- Retire el vaso de precipitado de la placa de Petri y pese la placa nuevamente con el fluido.
- Remueva el objeto sólido de la placa.
- Vierta el fluido recogido en la placa de Petri en el vaso de precipitado correspondiente.
- Lave minuciosamente el objeto sólido y la placa de Petri, asegurándose de secarlos completamente.
- Repita este procedimiento con cada fluido utilizado en el experimento, es importante revisar antes de cada medición que la balanza esté en ceros.

Tabla 3. Datos tomados de los equipos.

Método Principio de Arquímedes	
Tipo de fluido	Masa placa de Petri + fluido desbordado [g]

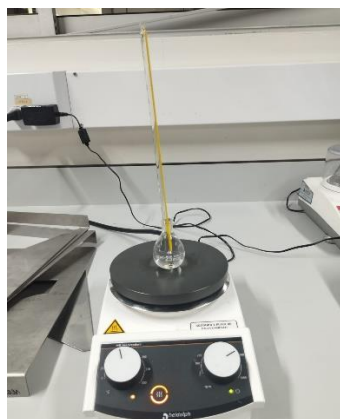
Densidad a diferentes temperaturas

1. Para comenzar, se debe medir la masa del picnómetro sin la tapa utilizando la balanza.
2. Luego, se llena el picnómetro con agua y se introduce el termómetro hasta que el fluido desborde, lo que determinará la cantidad de fluido a utilizar. Posteriormente, retire el termómetro.
3. Mida la masa del picnómetro con el agua en la balanza, asegurándose de que esta esté calibrada en cero.
4. Encienda la plancha de calentamiento, utilizando la siguiente configuración sugerida para acelerar el procedimiento, el calentamiento debe ser constante.



Figura 4. Configuración plancha de calentamiento.

5. Coloque el picnómetro en la plancha de calentamiento y asegúrese de que el termómetro esté posicionado de manera recta en el picnómetro.



a)



b)

Figura 5. A) Posicionamiento del picnómetro en la plancha de calentamiento, b) Posicionamiento del termómetro en el picnómetro.

6. Cada vez que la temperatura del fluido aumente en 5 °C, retire el picnómetro y mida la masa del fluido sin el termómetro.
7. Se recomienda realizar al menos 5 mediciones para obtener resultados confiables.

Tabla 4. Datos tomados de los equipos.

Densidad a diferentes temperaturas		
Ítem	Temperatura	Masa del fluido [g]
0		
1		
2		
3		
4		
5		
Picnómetro sin tapón [g]		

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos teóricos obtenidos en todos los métodos realizados, se sugiere utilizar la siguiente tabla.

Tabla 5. Datos calculados a partir de la densidad o teóricos.

Fluido	Masa del fluido	Densidad experimental	Densidad teórica	% Error

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (4a ed.). McGraw-Hill.

Cengel, Y., Boles, M., & Kanoglu, M. (2019). Termodinámica (9a ed.). McGraw-Hill.

Anexos

Tabla 6. Propiedades de líquidos comunes.

	Gravedad específica sg	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
Acetona	0.787	7.72	787	3.16×10^{-4}	4.02×10^{-7}
Alcohol, etilo	0.787	7.72	787	1.00×10^{-3}	1.27×10^{-6}
Alcohol, metilo	0.789	7.74	789	5.60×10^{-4}	7.10×10^{-7}
Alcohol, propilo	0.802	7.87	802	1.92×10^{-3}	2.39×10^{-6}
Aguamarina amoniacal (25%)	0.910	8.93	910	—	—
Benceno	0.876	8.59	876	6.03×10^{-4}	6.88×10^{-7}
Tetracloruro de carbono	1.590	15.60	1 590	9.10×10^{-4}	5.72×10^{-7}
Aceite de ricino	0.960	9.42	960	6.51×10^{-1}	6.78×10^{-4}
Etilenglicol	1.100	10.79	1 100	1.62×10^{-2}	1.47×10^{-5}
Gasolina	0.68	6.67	680	2.87×10^{-4}	4.22×10^{-7}
Glicerina	1.258	12.34	1 258	9.60×10^{-1}	7.63×10^{-4}
Queroseno	0.823	8.07	823	1.64×10^{-3}	1.99×10^{-6}
Aceite de linaza	0.930	9.12	930	3.31×10^{-2}	3.56×10^{-5}
Mercurio	13.54	132.8	13 540	1.53×10^{-3}	1.13×10^{-7}
Propano	0.495	4.86	495	1.10×10^{-4}	2.22×10^{-7}
Agua de mar	1.030	10.10	1 030	1.03×10^{-3}	1.00×10^{-6}
Trementina	0.870	8.53	870	1.37×10^{-3}	1.57×10^{-6}
Aceite combustible, medio	0.852	8.36	852	2.99×10^{-3}	3.51×10^{-6}
Aceite combustible, pesado	0.906	8.89	906	1.07×10^{-1}	1.18×10^{-4}
Datos aproximados de los fluidos naturales y biológicos seleccionados. Los valores varían significativamente con su composición.					
Aceite de oliva a 68 °F (20 °C)	0.92	9.03	920	0.085	9.24×10^{-5}
Miel a 70 °F (21 °C)	1.42	13.93	1420	10.0	7.04×10^{-3}
Salsa Catsup a 70 °F (21 °C)	1.48	14.52	1480	50.0	3.38×10^{-2}
Mantequilla de maní a 70 °F (21 °C)	1.30	12.75	1300	250	1.92×10^{-1}
Sangre a 50 °F (10 °C)	1.06	10.20	1060	0.01	9.43×10^{-6}
Sangre a 98.6 °F (37 °C)	1.06	10.20	1060	3.5×10^{-3}	3.30×10^{-6}

Tabla 7. Densidad del agua [kg/m³] según temperatura [°C].

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Líqu. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Líqu. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Líqu. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Líqu. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Mecánica de fluidos	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Viscosidad		Laboratorio		hidráulica

Objetivos

Objetivo general

Determinar la viscosidad de cuatro fluidos utilizando el método de Stokes

Objetivos específicos

- Calcular la viscosidad experimental de cada uno de los cuatro fluidos mediante el método de Stokes,
- Comparar los valores de viscosidad experimental obtenidos con los valores teóricos conocidos para cada fluido, calculando el error porcentual.
- Calcular la fuerza de arrastre experimentada por las esferas al caer en cada fluido,

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Probeta de 50 ml	1
Balanza	1
Bola metálica	1
Fluidos a estudiar, mínimo 4 (Estos quedan a libre elección del docente)	80 ml
Cronometro	1
Pie de rey	4
Pinzas	1

Herramienta de recogida de imanes

1

Procedimiento

Método de Stokes

1. En primer lugar, se procede a medir el diámetro de la bola metálica utilizando un pie de rey.
2. Luego, se sitúa la bola metálica sobre la balanza para determinar su masa. Este paso puede presentar dificultades debido a que la bola puede moverse en la balanza. Una sugerencia es colocar una toalla de papel en la balanza, luego colocar la bola encima de la toalla y restar las masas para obtener la masa de la bola metálica.

Tabla 1. Datos bola de metal y probeta.

Bola de metal y probeta			
Diámetro esfera [mm]	Masa esfera [g]	Diámetro probeta [mm]	Altura de lanzamiento [mm]

3. A continuación, se llena la probeta con el fluido que se va a estudiar.



Figura 1. Probeta con el fluido.

4. Se prepara el cronómetro para registrar los tiempos de caída de la bola en el fluido.
5. Se utiliza una pinza para sostener la bola metálica y se introduce está en la probeta, asegurándose de que la bola toque la superficie del fluido, la bola debe estar lo más centrada posible.



Figura 2. Esfera dentro de la probeta tocando el fluido.

6. Una vez completado el paso anterior de manera adecuada, es importante sincronizar la persona que sostiene la bola metálica con las pinzas y la persona que opera el cronómetro. Tan pronto como se libere la bola, se debe iniciar el cronómetro, y cuando la bola toque el fondo de la probeta, se debe detener el cronómetro.



Figura 3. Esfera lanzada.



7. Es recomendable repetir los pasos 5 y 6 al menos tres veces para obtener un tiempo de descenso más preciso de la bola.
8. Utilizando una herramienta de recogida de imanes, se retira la bola del fluido y se vierte el contenido de la probeta en otro recipiente para permitir una limpieza y secado exhaustivos. Este procedimiento se repite para los otros fluidos a estudiar.

Tabla 2. *Tiempo de descenso de la esfera en el fluido 1.*

Tiempo de descenso de la esfera		
Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo 3 [s]

Tabla 3. *Tiempo de descenso de la esfera en el fluido 2.*

Tiempo de descenso de la esfera		
Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo 3 [s]

Tabla 4. *Tiempo de descenso de la esfera en el fluido 3.*

Tiempo de descenso de la esfera		
Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo 3 [s]

Tabla 5. *Tiempo de descenso de la esfera en el fluido 4.*

Tiempo de descenso de la esfera		
Tiempo 1 [s]	Tiempo 2 [s]	Tiempo 3 [s]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos teóricos obtenidos en todos los métodos realizados, se sugiere utilizar la siguiente tabla.

Tabla 5. *Datos calculados.*

Fluido	Viscosidad experimental	Viscosidad teórica	% error	Fuerza de arrastre

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (4a ed.). McGraw-Hill.

Anexos

Tabla 6. Viscosidades dinámicas de algunos fluidos.

Viscosidades dinámicas de algunos fluidos a 1 atm y 20 °C (a menos que se indique otra cosa)

Fluido	Viscosidad dinámica μ , kg/m · s
Glicerina:	
–20 °C	134.0
0 °C	10.5
20 °C	1.52
40 °C	0.31
Aceite para motor:	
SAE 10W	0.10
SAE 10W30	0.17
SAE 30	0.29
SAE 50	0.86
Mercurio	0.0015
Alcohol etílico	0.0012
Agua:	
0 °C	0.0018
20 °C	0.0010
100 °C (líquido)	0.00028
100 °C (vapor)	0.000012
Sangre, 37 °C	0.00040
Gasolina	0.00029
Amoniaco	0.00015
Aire	0.000018
Hidrógeno, 0 °C	0.0000088



Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Mecánica de fluidos	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Medición de caudal		Laboratorio		hidráulica

Objetivos

Objetivo general

Explorar y comprender los métodos volumétricos e inferencial y dispositivos utilizados en la medición del caudal y su coeficiente de descarga en sistemas hidráulicos.

Objetivos específicos

- Describir el concepto de caudal y el coeficiente de descarga, destacando su importancia en la medición precisa del flujo de líquidos.
- Evaluar el funcionamiento del banco hidráulico como instrumento para medir el caudal, identificando sus componentes y procesos clave.
- Analizar el tubo Venturi, la placa de orificio y el rotámetro como dispositivos de restricción para la medición del flujo volumétrico.
- Realizar las curvas $\dot{Q}_{real} vs \dot{Q}_{teórico}$; $\dot{Q}_{real} vs C_d$ para cada uno de los medidores de caudal.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Medidor de flujo TQ Tecquipment	1

Partes del equipo

El equipo presente en el laboratorio esta equipado con un banco hidráulico, un tubo Venturi, una placa de orificio, un rotámetro, así como un dispositivo de medición de caudal y válvulas para el control preciso del flujo.

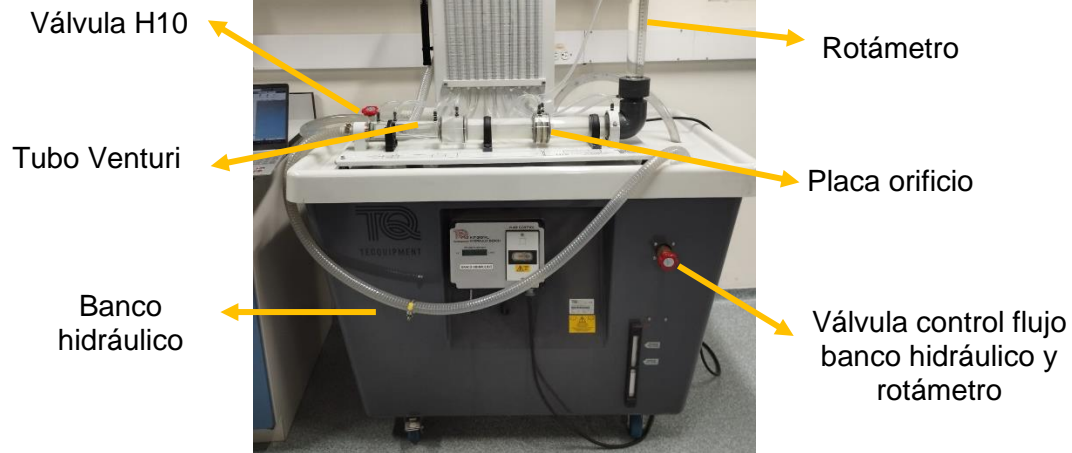


Figura 1. Equipo de medición de caudal.

Procedimiento

1. Primero, se conecta la alimentación eléctrica al banco hidráulico. A continuación, se verifica que las válvulas H10 y del propio banco hidráulico estén cerradas. Luego, se enciende el banco hidráulico.



Figura 2. Tablero de control banco hidráulico.

2. Después, se abre la válvula H10 aproximadamente un tercio y se permite un ligero flujo de agua a través del banco hidráulico para llenar el tubo Venturi, el rotámetro y el medidor de

flujo. Una vez que estos componentes estén llenos de agua, se cierran nuevamente las válvulas.

- Para calibrar los manómetros, se requiere conectar la bomba manual a la válvula de purga de aire y bombear hasta que todos los manómetros registren aproximadamente 130 mm.



Figura 3. Nivelación de manómetros.

- Una vez completada la acción anterior, se procede a abrir completamente la válvula H10. Simultáneamente, se abre gradualmente la válvula del banco hidráulico hasta que el rotámetro indique las lecturas deseadas. En este punto, se recopilan los datos relevantes y se registran en la tabla 1.

Tabla 1. Datos experimentales o medidos con los equipos.

Rotámetro	Banco hidráulico	Tubo Venturi		Placa orificio		
		H [mm]	\dot{Q}_{real} [l/s]	H _a [mm]	H _b [mm]	H _e [mm]
0						
10						
30						
50						
70						
90						

110					
130					
150					
170					

5. Además, en la tabla 2 se deben tomar los diámetros de la entrada (D_a) y de la garganta del tubo Venturi (D_b), así como el diámetro de entrada (D_e) y de orificio (D_f) de la placa de orificio.

Tabla 2. Diámetros de tubo Venturi y placa de orificio.

Diámetro de entrada del tubo Venturi D_a [mm]	Diámetro de la garganta de tubo Venturi D_b [mm]	Diámetro de entrada de la placa orificio D_e [mm]	Diámetro del orificio de la placa D_f [mm]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

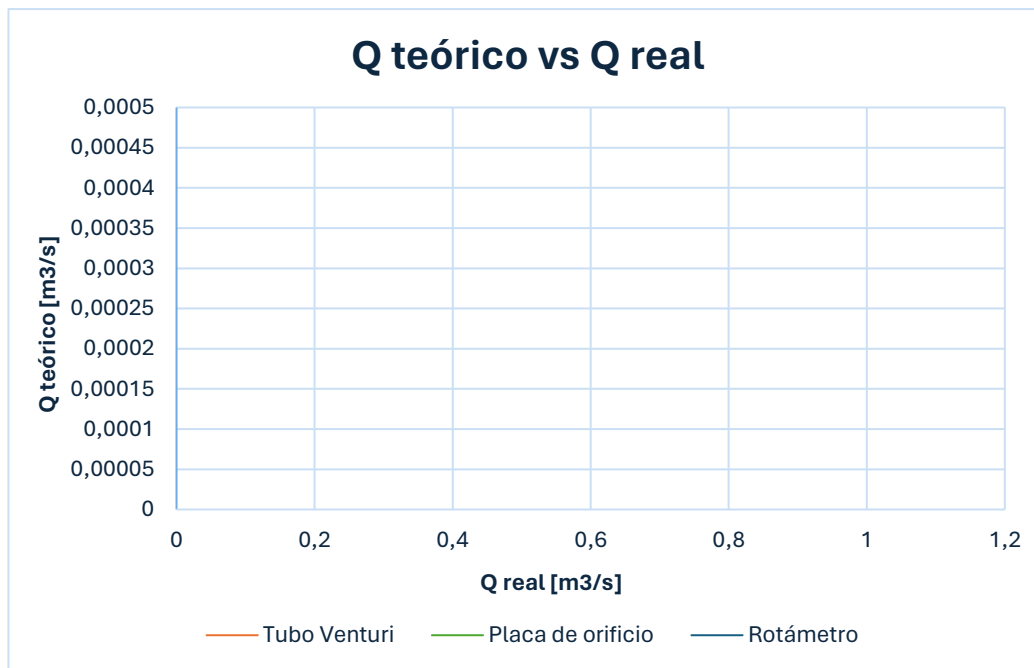
Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos teóricos obtenidos en todos los métodos realizados, se sugiere utilizar la siguiente tabla.

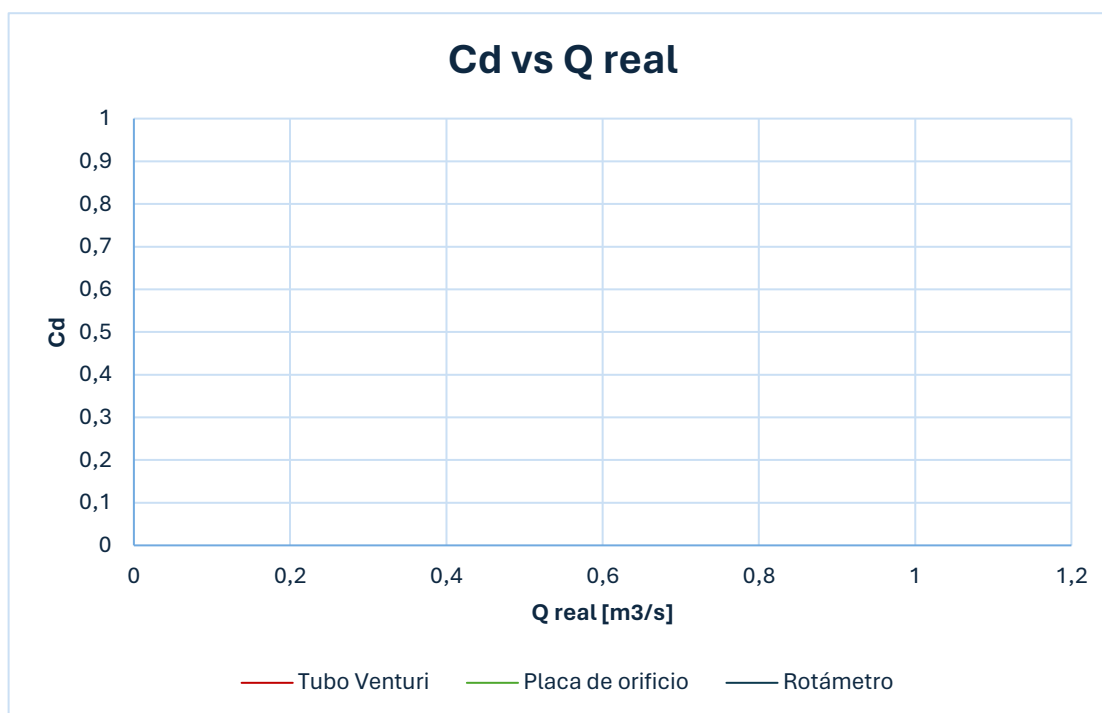
Tabla 3. Datos calculados.



Banco hidráulico		Tubo Venturi		Placa orificio		Rotámetro	
\dot{Q}_{real} [m^3/s]	$\dot{Q}_{venturi}$ [m^3/s]	C_D	\dot{Q}_{placa} [m^3/s]	C_D	$\dot{Q}_{rotámetro}$ [m^3/s]	C_D	



Gráfica 1. Caudal real vs Caudal teórico para cada dispositivo.



Gráfica 2. Caudal real vs Coeficiente de descarga para cada dispositivo.

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (4a ed.). McGraw-Hill.



Anexos

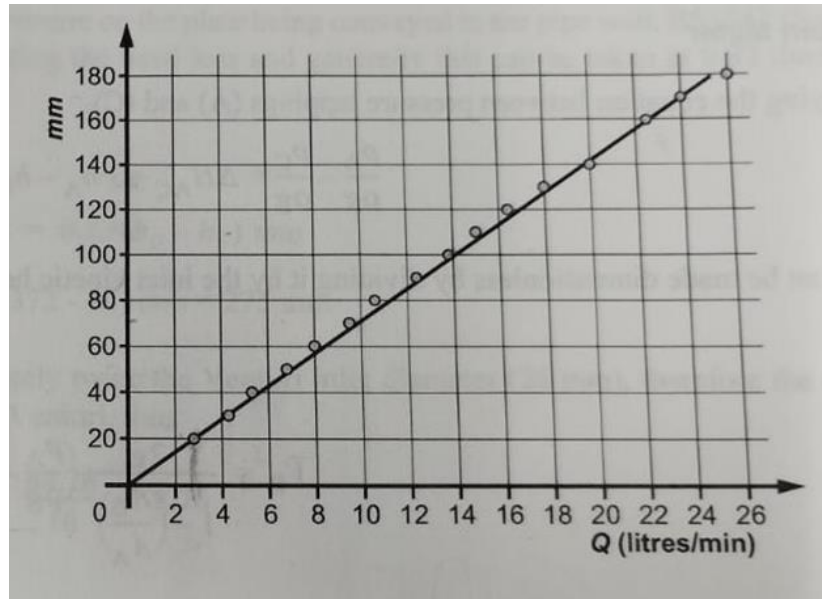


Figura 4. Curva de calibración de rotámetro.

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Mecánica de fluidos / transporte de fluidos	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Pérdidas en tuberías		Laboratorio		hidráulica

Objetivos

Objetivo general

Analizar y cuantificar las pérdidas de energía en sistemas de tuberías, determinando la relación entre estas pérdidas y factores como la fricción del fluido, la velocidad del flujo y el número de Reynolds, tanto en tuberías lisas como en tuberías con interiores rugosos, así como en accesorios estándar.

Objetivos específicos

- Determinar la pérdida de energía por fricción del fluido y accesorios mediante la ecuación general de energía.
- Calcular la pérdida de energía presente en el sistema de manera teórica.
- Hallar el error de las pérdidas de energías experimentales y teóricas.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Banco hidráulico	1
Aparato de Fricción de Fluido Armfield C6-MKII-10	1
Medidor de diferencial de presión	1

Componente del equipo

El Aparato de Fricción de Fluido Armfield C6-MKII-10 está diseñado para permitir el estudio detallado de las pérdidas de cabezal por fricción de fluido las cuales ocurren cuando un fluido

incompresible fluye en tuberías, codos, válvulas y dispositivos medidores de flujo. Los componentes y accesorios son:

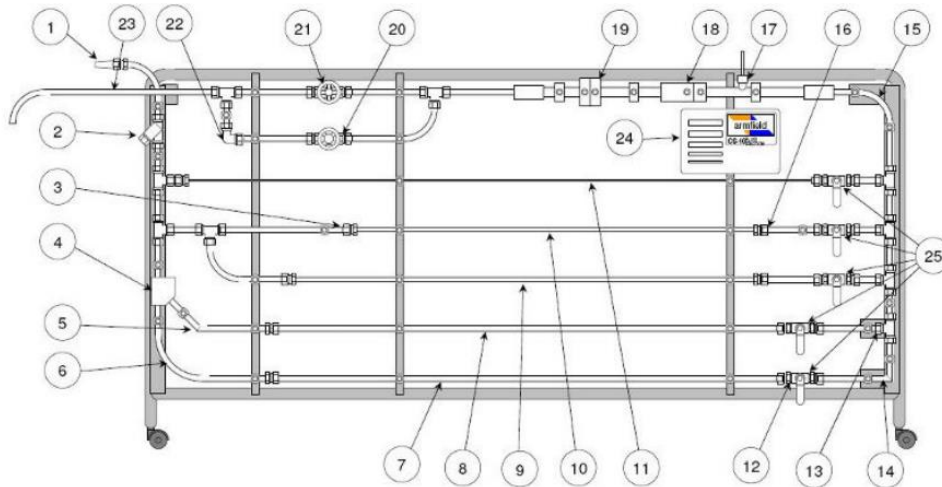


Figura 1. Aparato de Fricción de Fluido.

1	Lengüeta	13	"T" de 90°
2	Filtro de malla en línea	14	Unión de 90°
3	Contracción súbita	15	Curva de 90° de radio pequeño
4	"Y" de 45°	16	Expansión súbita
5	Unión de 45°	17	Sección de tubería hecha de acrílico transparente con un tubo de Pitot estático
6	Curva de 90° de radio grande	18	Venturi de acrílico transparente
7	Tubería con rugosidad artificial	19	Placa orificio de acrílico transparente
8	Tuberías con interior liso de 4 diferentes diámetros	20	Válvula de globo
9	Tuberías con interior liso de 4 diferentes diámetros	21	Válvula de compuerta
10	Tuberías con interior liso de 4 diferentes diámetros	22	Codo de 90°

11

Tuberías con interior liso de 4 diferentes diámetros

23

Tubo de salida

12

Válvula de bola

Procedimiento

Antes de realizar cualquier actividad el sistema debe encontrarse purgado, es decir sin burbujas en las tuberías o manómetros.

1. Cerrar todas las válvulas del sistema exceptuando la #20 y la #25 ubicada en la tubería inferior #7 (rugosa).
2. Encender el banco y abrir la válvula de este para permitir el paso de agua a través del tubo rugoso. Verificar que la tubería esté purgada observando que en la zona del Tubo Venturi (#18) no haya burbujas.
3. Abrir la válvula #25 de la tubería #8. Esperar hasta que no haya burbujas en el sistema.
4. Repetir el paso 3 con las tuberías #9, #10 y #11 5. Abrir la válvula #21.

Al finalizar la purga del sistema se debe cerrar la válvula del banco hidráulico y apagar el equipo, esta cierra en sentido manecillas del reloj.

Inicialmente se debe hallar el caudal generado por el banco hidráulico. Para esto se debe sellar la salida de agua del banco hidráulico utilizando el accesorio disponible.

1. Abrir la válvula según lo requerido antes de encender el banco hidráulico y asegurarse de que las válvulas #20 y #25, ubicadas en la tubería inferior #7 (rugosa), estén abiertas
2. Encienda el banco hidráulico y permita que el sistema funcione hasta alcanzar el volumen deseado, el cual puede observarse en el indicador ubicado en el costado inferior izquierdo del banco hidráulico. Normalmente, el indicador se encuentra por debajo de 0. Para que suba a 0, el depósito superior debe llenarse con 2 litros de agua. Por lo tanto, si el indicador marca 7 litros, el volumen real sería de 9 litros.
3. Una vez que el agua comience a salir, cronometre el tiempo que tarda en alcanzar el nivel de agua deseado.

4. Al llegar al nivel deseado, apague el banco hidráulico sin mover la válvula.

Este procedimiento asegura una medición del caudal generado por el banco hidráulico, fundamental para las prácticas y análisis posteriores.



Figura 2. Llenado de almacenamiento superior para medición de caudal.

Tabla 1. Datos para hallar el caudal.

Volumen [L]	Tiempo [s]

Para determinar las pérdidas en una tubería rugosa:

1. Mantener abiertas las válvulas previamente mencionadas para medir el caudal.
2. Encienda el banco hidráulico y situé el medidor de presión en los puntos de interés. Antes de medir el diferencial de presión, asegúrese de que el instrumento de medición esté en 0, lo cual requiere que el medidor esté nivelado.

Tabla 2. Datos experimentales o medidos en tubería 1 con rugosidad.

Puntos de medición	Diferencial de presión [kPa]
Curva de 90° de radio grande	
Tubería rugosa	
Curva de 90° de radio pequeño	
Tubo Venturi	
Placa Orificio	
Tamaño tubería	19.1mm OD x 15.2mm ID



Figura 3. Conexión del instrumento de medición en las tuberías y accesorios.

Para las tuberías lisas repetir los mismos pasos, pero abriendo la válvula correspondiente a estas.

Tabla 3. Datos experimentales o medidos en tubería 2 lisa.

Puntos de medición	Diferencial de presión [kPa]
"Y" de 45°	
Unión de 45°	
Tubería lisa	
Válvula de aislamiento	
T de 90°	
Tamaño tubería	19.1mm OD x 17.2mm ID

Tabla 4. Datos experimentales o medidos en tubería 3 lisa.

Puntos de medición	Diferencial de presión [kPa]
Contracción	
Tubería lisa	
Expansión súbita	
Tamaño tubería	9.5mm OD x 7.7mm ID

Tabla 5. Datos experimentales o medidos en tubería 4 lisa.

Puntos de medición	Diferencial de presión [kPa]
T de 90°	
Tubería lisa	
Válvula de aislamiento	
Tamaño tubería	6.4mm OD x 4.5mm ID

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos teóricos obtenidos en todos los métodos realizados, se sugiere utilizar la siguiente tabla.

Tabla 7. Datos calculados según trayecto tubería.

Accesorio	Caudal promedio \dot{Q} [m ³ /s]	Diámetro de tubería D [m]	Velocidad u [m/s]	Numero de Reynolds Re	Perdida de energía del sistema [m H ₂ O]

Tabla 8. Datos calculados de accesorio

Perdida de energía del sistema [m H ₂ O]	%Error
0,2	12,5

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

- Armfield. (2020). Fluid Friction Measurements – C6-MKII-10. https://armfield.co.uk/wp-content/uploads/2020/03/C6MKII_DataSheet-V3b-Web-1.pdf
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (4a ed.). McGraw-Hill.
- Mott, R., & Untener, J. (2015). Mecánica de fluidos. Pearson. <https://doi.org/978-607-32-3289-0>



Anexos

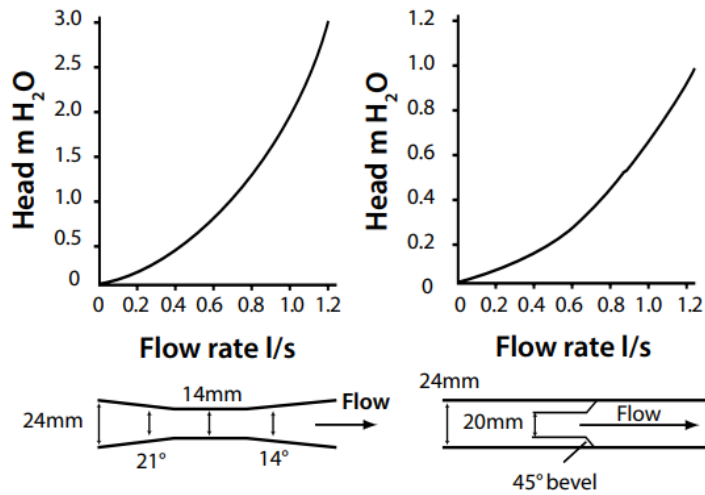


Figura 4. Pérdida en tubo Venturi y placa de orificio.

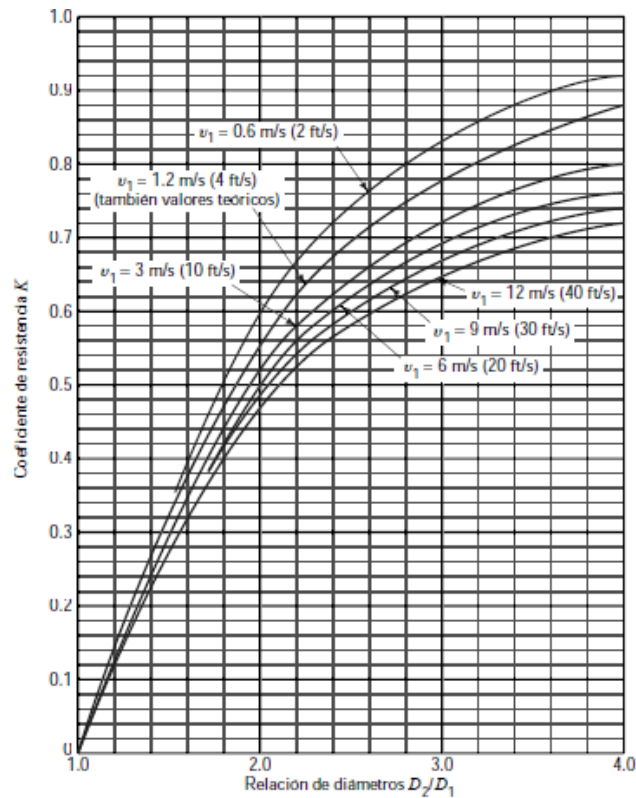




Figura 5. Coeficiente de resistencia ampliación súbita.

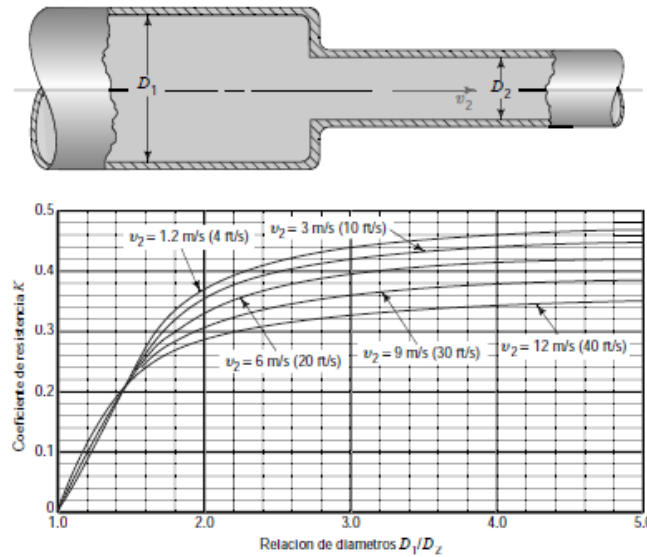


Figura 6. Coeficiente de resistencia reducción súbita.

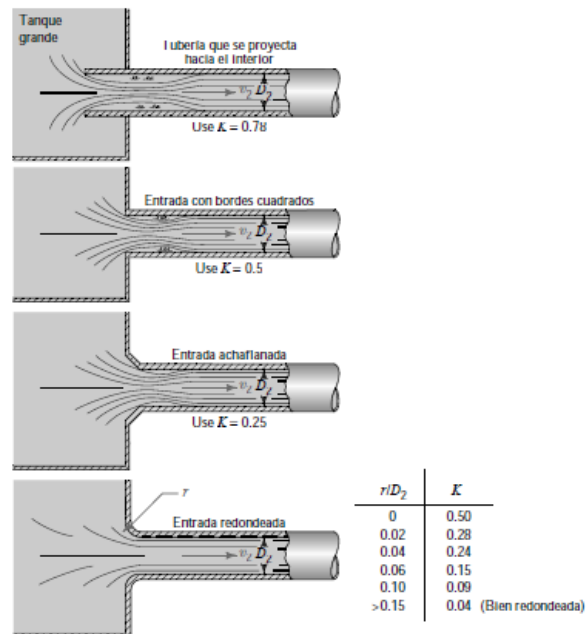


Figura 7. Coeficientes de resistencia de entrada.

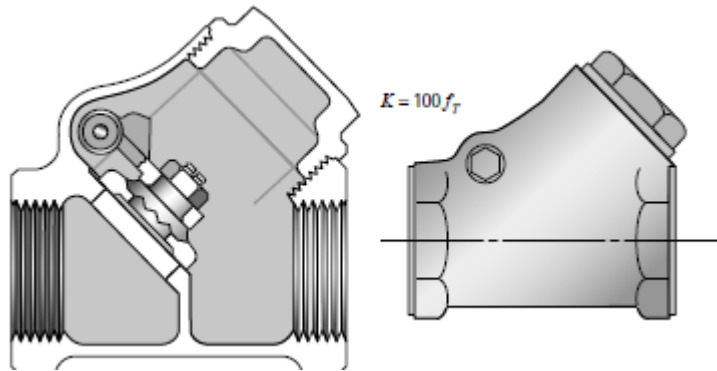


Figura 8. Coeficientes de resistencia de entrada.

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Termodinámica	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Equilibrio térmico y Ley cero		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Demostrar la Ley Cero de la Termodinámica a través de un experimento que involucra el intercambio térmico entre un sistema de agua y dos objetos metálicos (aluminio y cobre) a diferentes temperaturas.

Objetivos específicos

- Observar y registrar el intercambio térmico entre el agua a temperatura de ebullición y los objetos de aluminio y cobre, una vez alcanzado el equilibrio térmico.
- Determinar las temperaturas finales de los objetos metálicos al colocarlos en calorímetros separados con agua a la misma temperatura.
- Analizar y graficar la evolución de la temperatura del agua en función del tiempo transcurrido, evidenciando el establecimiento del equilibrio térmico y la corroboración de la Ley Cero de la Termodinámica.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Termómetro	2
Plancha de calentamiento	2
Calorímetro	2
Vaso de precipitado de 600 ml	2
Pinzas para termómetro con base	2

Objeto de aluminio	1
Objeto de cobre	1
Pinza	1
Cronometro	1

Procedimiento

1. Primeramente, se llenan los vasos de precipitado con agua hasta alcanzar una capacidad de hasta 400 ml. En uno de los vasos se deposita el objeto de aluminio, mientras que en el otro se ubica el objeto de cobre (los elementos deben ser pesados previamente).

Tabla 1. Masa de elementos de diferente material.

Masa de los elementos	
Aluminio [g]	Cobre [g]

2. Posteriormente, se posiciona cada vaso de precipitado sobre una plancha de calentamiento, y se monitorea la temperatura hasta que alcance los 100 °C, que corresponde a la temperatura de ebullición del fluido.



Figura 1. Vasos de precipitados en las planchas de calentamiento.

3. Una vez alcanzada la temperatura mencionada previamente, se extraen los objetos utilizando pinzas y se disponen cada uno en un calorímetro.



Figura 2. Extracción de los objetos con las pinzas.

4. Luego, se transfiere el agua caliente a cada calorímetro.
5. A continuación, se posicionan rápidamente los termómetros según se muestra en la figura 3, y se registra la temperatura inicial del sistema.
6. Se sugiere registrar los datos de temperatura de cada sistema cada 3 o 5 minutos, según sea necesario. Estas mediciones se llevan a cabo hasta que la temperatura se estabilice.



Figura 3. Medición de las temperaturas de los sistemas en los calorímetros.

Los datos recopilados se disponen en la siguiente tabla.

Tabla 2. Datos experimentales o medidos.

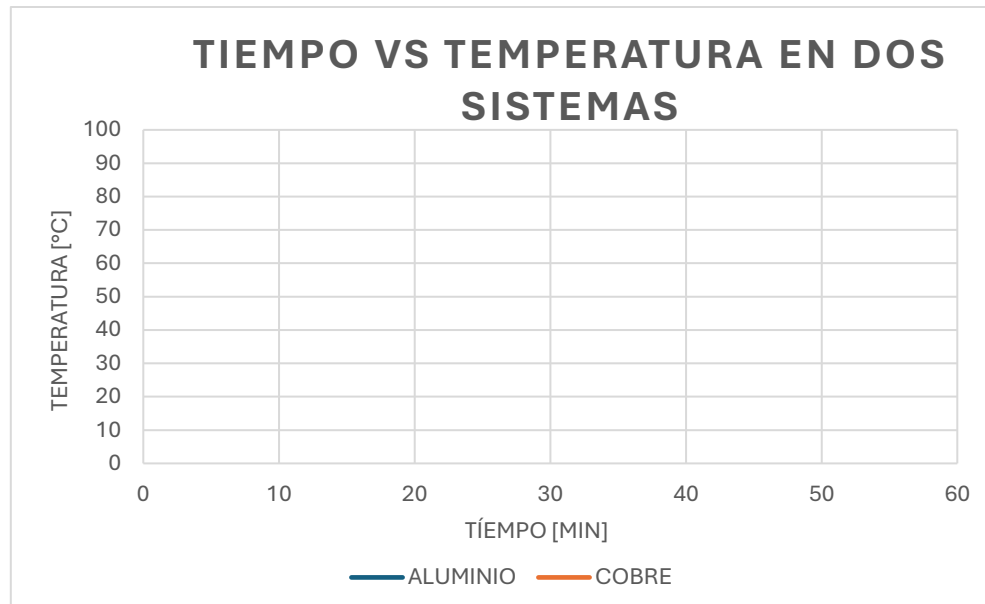
Temperatura en los sistemas		
Tiempo [min]	Aluminio [°C]	Cobre [°C]



Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere este grafica para reflejar los resultados.



Grafica 1. Tiempo vs temperatura en los sistemas.

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Cengel, Y., Boles, M., & Kanoglu, M. (2019). Termodinámica (9a ed.). McGraw-Hill.

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Termodinámica / transformación de energía	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Bomba de calor		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el rendimiento del compresor, construir el diagrama de Mollier, calcular el coeficiente de potencia teórico y determinar la corriente masiva del fluido de trabajo en una bomba de calor, utilizando datos experimentales de presión y temperatura obtenidos durante la práctica.

Objetivos específicos

- Calcular la eficiencia del compresor de la bomba de calor utilizando los valores de presión y temperatura medidos en distintos puntos del ciclo termodinámico.
- Utilizar los datos experimentales para trazar el ciclo de funcionamiento de la bomba de calor en el diagrama de Mollier, identificando y analizando las diferentes fases del ciclo termodinámico.
- Estimar el coeficiente de potencia teórico (COP) basándose en los datos experimentales y las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo.
- Determinar la corriente masiva del fluido de trabajo que circula a través del sistema por unidad de tiempo, analizando su impacto en el rendimiento y eficiencia del ciclo de la bomba de calor.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Bomba de calor	1

Sensor de temperatura Pt100 con pinza de medida

1

Componentes y procesos cíclicos de la bomba de calor

Para utilizar la bomba de calor y describir el proceso de la práctica, es fundamental conocer las partes del equipo. A continuación, se presenta una señalización detallada de los componentes del sistema:

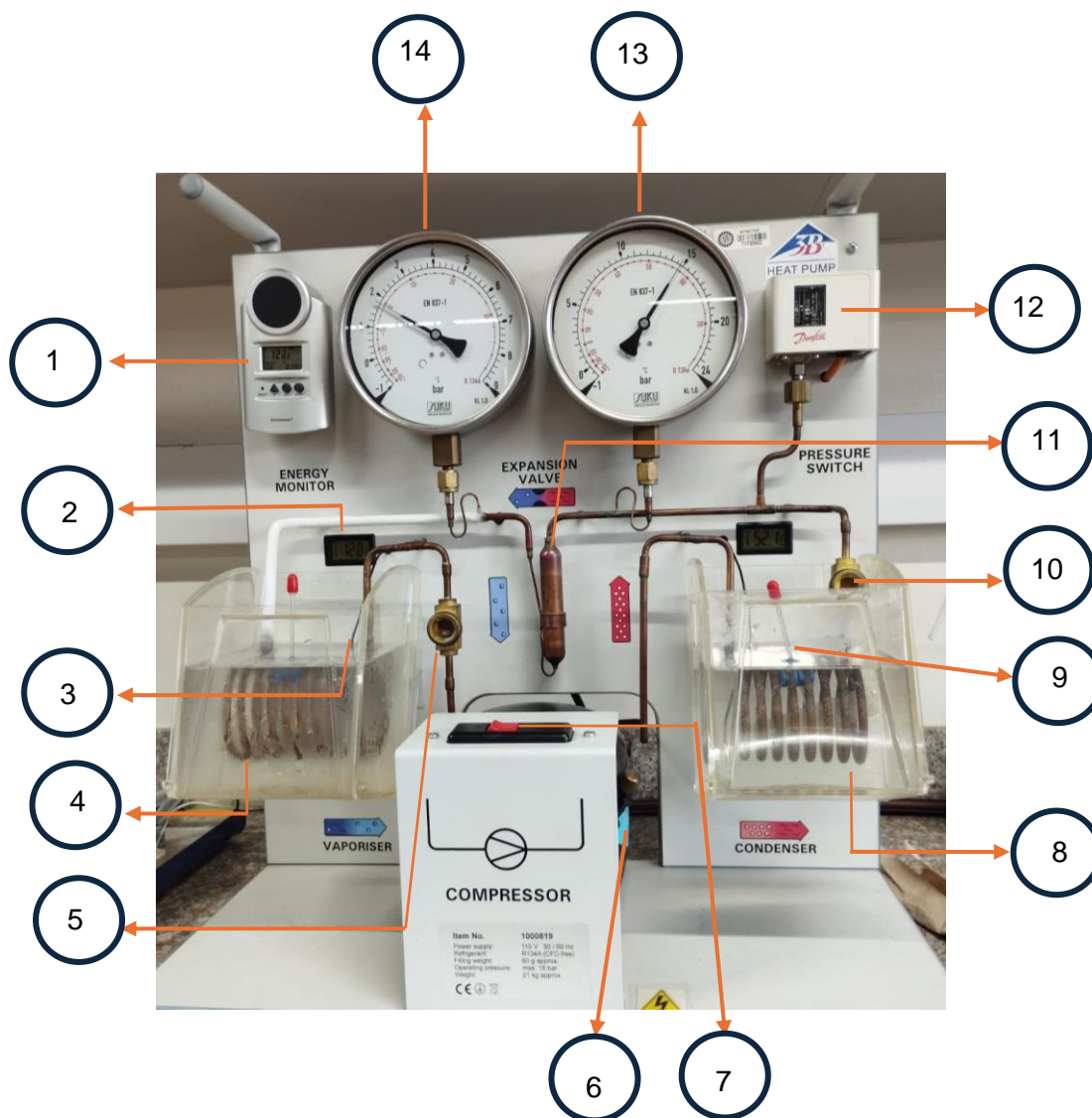


Figura 1. Bomba de calor con sus componentes.

1	Monitor de energía	8	Espiral del condensador
2	Termómetro digital	9	Agitador
3	Sensor de temperatura	10	Mirilla del lado del condensador
4	Espiral del evaporador	11	Válvula de expansión
5	Mirilla del lado del evaporador	12	Interruptor de protección contra sobrepresión
6	Compresor	13	Compresor
7	Interruptor para el compresor	14	Interruptor para el compresor

Asimismo, los procesos cíclicos presentes en la bomba de calor se representan en el siguiente esquema. Este esquema ilustra las distintas fases del ciclo termodinámico, proporcionando una visión clara de cómo se transfiere el calor y se mantiene la eficiencia del sistema.

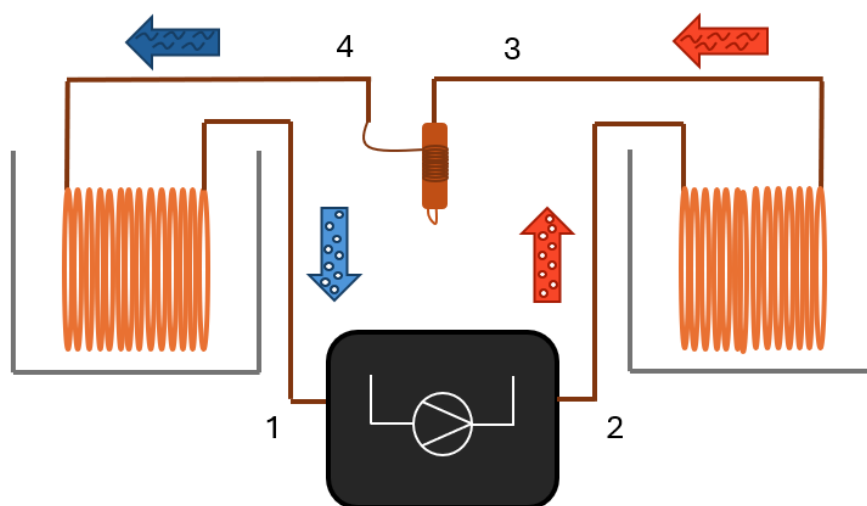


Figura 2. Representación esquemática de la bomba de calor con compresor (1→2), Licuefactor (2→3), Válvula de expansión (3→4) y evaporador (4→1).

Procedimiento

1. Inicialmente, se deben llenar los recipientes con 1600 ml de agua, o según se considere

necesario. El fluido debe cubrir completamente la espiral del evaporador y del condensador.

2. Conecte el equipo a la toma de corriente y presione el interruptor del compresor para encenderlo. Inmediatamente este empezará a funcionar.
3. Se debe tomar la temperatura inicial del fluido en cada recipiente, esta se puede ver en los termómetros digitales, y la temperatura a la entrada del compresor con el sensor de temperatura.
4. Durante el experimento se debe agitar el agua de cada compartimiento con los agitadores presentes en el equipo.
5. En intervalos de tiempo fijos, se leen y anotan los datos del tiempo transcurrido, potencia absorbida actual y la temperatura en ambos depósitos de agua. Para observar la potencia se debe oprimir la tecla FUNC ubicada en el monitor de energía.

Tabla 1. Datos experimentales o medidos con los equipos.

Ítem	Tiempo [min]	Área caliente		Área fría		Potencia absorbida actual [W]
		Temperatura [°C]	Presión [bar]	Temperatura [°C]	Presión [bar]	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Nota

Es importante registrar la temperatura antes del compresor, la cual se realiza con el sensor de temperatura Pt100 con pinza de medida, actualmente este equipo no está funcionando, por lo tanto, dificulta la solución de esta.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos teóricos obtenidos en todos los métodos realizados, se sugiere utilizar la siguiente tabla.

Tabla 2. Datos calculados.

Capacidad calorífica específica del agua	Masa del agua [kg]	Rendimiento del compresor	Entalpia			Coeficiente de potencia teórico	Corriente masiva del fluido de trabajo
			1	2	3		

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier

discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Cengel, Y., Boles, M., & Kanoglu, M. (2019). Termodinámica (9a ed.). McGraw-Hill.

Anexos

Figura 3. Diagrama de Mollier.

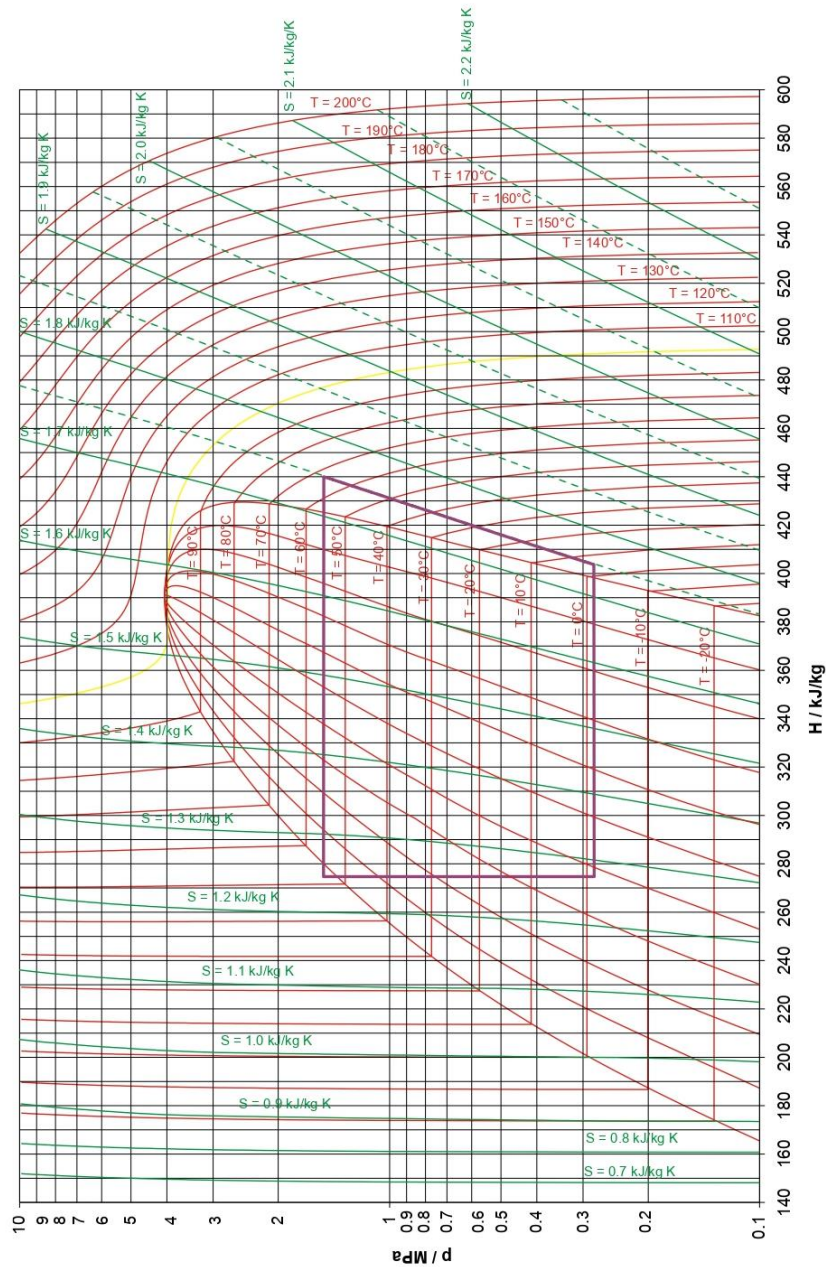


Tabla 3. Refrigerante R-134^a saturado. Tabla de temperaturas.

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor. sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
-40	51.25	0.0007053	0.36064	-0.036	207.42	207.38	0.00	225.86	225.86	0.00000	0.96869	0.96869
-38	56.86	0.0007082	0.32718	2.472	206.06	208.53	2.512	224.62	227.13	0.01071	0.95516	0.96588
-36	62.95	0.0007111	0.29740	4.987	204.69	209.68	5.032	223.37	228.40	0.02137	0.94182	0.96319
-34	69.56	0.0007141	0.27082	7.509	203.32	210.83	7.559	222.10	229.66	0.03196	0.92867	0.96063
-32	76.71	0.0007171	0.24706	10.04	201.94	211.97	10.09	220.83	230.93	0.04249	0.91569	0.95819
-30	84.43	0.0007201	0.22577	12.58	200.55	213.12	12.64	219.55	232.19	0.05297	0.90289	0.95586
-28	92.76	0.0007232	0.20666	15.12	199.15	214.27	15.19	218.25	233.44	0.06339	0.89024	0.95364
-26	101.73	0.0007264	0.18947	17.67	197.75	215.42	17.75	216.95	234.70	0.07376	0.87776	0.95152
-24	111.37	0.0007296	0.17398	20.23	196.34	216.57	20.31	215.63	235.94	0.08408	0.86542	0.94950
-22	121.72	0.0007328	0.15999	22.80	194.92	217.71	22.89	214.30	237.19	0.09435	0.85323	0.94758
-20	132.82	0.0007361	0.14735	25.37	193.49	218.86	25.47	212.96	238.43	0.10456	0.84119	0.94575
-18	144.69	0.0007394	0.13589	27.96	192.05	220.00	28.07	211.60	239.67	0.11473	0.82927	0.94401
-16	157.38	0.0007428	0.12550	30.55	190.60	221.15	30.67	210.23	240.90	0.12486	0.81749	0.94234
-14	170.93	0.0007463	0.11605	33.15	189.14	222.29	33.28	208.84	242.12	0.13493	0.80583	0.94076
-12	185.37	0.0007498	0.10744	35.76	187.66	223.42	35.90	207.44	243.34	0.14497	0.79429	0.93925
-10	200.74	0.0007533	0.099600	38.38	186.18	224.56	38.53	206.02	244.55	0.15496	0.78286	0.93782
-8	217.08	0.0007570	0.092438	41.01	184.69	225.69	41.17	204.59	245.76	0.16491	0.77154	0.93645
-6	234.44	0.0007607	0.085888	43.64	183.18	226.82	43.82	203.14	246.95	0.17482	0.76033	0.93514
-4	252.85	0.0007644	0.079889	46.29	181.66	227.94	46.48	201.66	248.14	0.18469	0.74921	0.93390
-2	272.36	0.0007683	0.074388	48.94	180.12	229.07	49.15	200.17	249.33	0.19452	0.73819	0.93271
0	293.01	0.0007722	0.069335	51.61	178.58	230.18	51.83	198.67	250.50	0.20432	0.72726	0.93158
2	314.84	0.0007761	0.064690	54.28	177.01	231.30	54.53	197.14	251.66	0.21408	0.71641	0.93050
4	337.90	0.0007802	0.060412	56.97	175.44	232.40	57.23	195.58	252.82	0.22381	0.70565	0.92946
6	362.23	0.0007843	0.056469	59.66	173.84	233.51	59.95	194.01	253.96	0.23351	0.69496	0.92847
8	387.88	0.0007886	0.052829	62.37	172.23	234.60	62.68	192.42	255.09	0.24318	0.68435	0.92752
10	414.89	0.0007929	0.049466	65.09	170.61	235.69	65.42	190.80	256.22	0.25282	0.67380	0.92661
12	443.31	0.0007973	0.046354	67.82	168.96	236.78	68.17	189.16	257.33	0.26243	0.66331	0.92574
14	473.19	0.0008018	0.043471	70.56	167.30	237.86	70.94	187.49	258.43	0.27201	0.65289	0.92490
16	504.58	0.0008064	0.040798	73.31	165.62	238.93	73.72	185.80	259.51	0.28157	0.64252	0.92409
18	537.52	0.0008112	0.038317	76.07	163.92	239.99	76.51	184.08	260.59	0.29111	0.63219	0.92330
20	572.07	0.0008160	0.036012	78.85	162.19	241.04	79.32	182.33	261.64	0.30062	0.62192	0.92254
22	608.27	0.0008209	0.033867	81.64	160.45	242.09	82.14	180.55	262.69	0.31012	0.61168	0.92180
24	646.18	0.0008260	0.031869	84.44	158.68	243.13	84.98	178.74	263.72	0.31959	0.60148	0.92107
26	685.84	0.0008312	0.030008	87.26	156.89	244.15	87.83	176.90	264.73	0.32905	0.59131	0.92036
28	727.31	0.0008366	0.028271	90.09	155.08	245.17	90.70	175.03	265.73	0.33849	0.58117	0.91967
30	770.64	0.0008421	0.026648	92.93	153.24	246.17	93.58	173.13	266.71	0.34792	0.57105	0.91897
32	815.89	0.0008477	0.025131	95.79	151.37	247.17	96.49	171.19	267.67	0.35734	0.56095	0.91829
34	863.11	0.0008535	0.023712	98.67	149.48	248.15	99.41	169.21	268.61	0.36675	0.55086	0.91760
36	912.35	0.0008595	0.022383	101.56	147.55	249.11	102.34	167.19	269.53	0.37615	0.54077	0.91692
38	963.68	0.0008657	0.021137	104.47	145.60	250.07	105.30	165.13	270.44	0.38554	0.53068	0.91622
40	1017.1	0.0008720	0.019968	107.39	143.61	251.00	108.28	163.03	271.31	0.39493	0.52059	0.91552
42	1072.8	0.0008786	0.018870	110.34	141.59	251.92	111.28	160.89	272.17	0.40432	0.51048	0.91480
44	1130.7	0.0008854	0.017837	113.30	139.53	252.83	114.30	158.70	273.00	0.41371	0.50036	0.91407
46	1191.0	0.0008924	0.016866	116.28	137.43	253.71	117.34	156.46	273.80	0.42311	0.49020	0.91331
48	1253.6	0.0008997	0.015951	119.28	135.30	254.58	120.41	154.17	274.57	0.43251	0.48001	0.91252
52	1386.2	0.0009151	0.014276	125.35	130.89	256.24	126.62	149.41	276.03	0.45136	0.45948	0.91084
56	1529.1	0.0009317	0.012782	131.52	126.29	257.81	132.94	144.41	277.35	0.47028	0.43870	0.90898
60	1682.8	0.0009498	0.011434	137.79	121.45	259.23	139.38	139.09	278.47	0.48930	0.41746	0.90676
65	1891.0	0.0009751	0.009959	145.80	115.06	260.86	147.64	132.05	279.69	0.51330	0.39048	0.90379
70	2118.2	0.0010037	0.008650	154.03	108.17	262.20	156.15	124.37	280.52	0.53763	0.36239	0.90002
75	2365.8	0.0010373	0.007486	162.55	100.62	263.17	165.01	115.87	280.88	0.56252	0.33279	0.89531
80	2635.3	0.0010774	0.006439	171.43	92.22	263.66	174.27	106.35	280.63	0.58812	0.30113	0.88925
85	2928.2	0.0011273	0.005484	180.81	82.64	263.45	184.11	95.39	279.51	0.61487	0.26632	0.88120
90	3246.9	0.0011938	0.004591	190.94	71.19	262.13	194.82	82.22	277.04	0.64354	0.22638	0.86991
95	3594.1	0.0012945	0.003713	202.49	56.25	258.73	207.14	64.94	272.08	0.67605	0.17638	0.85243
100	3975.1	0.0015269	0.002657	218.73	29.72	248.46	224.80	34.22	259.02	0.72224	0.09169	0.81393

Tabla 4. Refrigerante R-134^a saturado. Tabla de presión.

Pres., <i>P</i> kPa	Temp. sat., <i>T_{sat}</i> °C	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., <i>v_f</i>	Vapor sat., <i>v_g</i>	Liq. sat., <i>u_f</i>	Evap., <i>u_{fg}</i>	Vapor sat., <i>u_g</i>	Liq. sat., <i>h_f</i>	Evap., <i>h_{fg}</i>	Vapor. sat., <i>h_g</i>	Liq. sat., <i>s_f</i>	Evap., <i>s_{fg}</i>	Vapor sat., <i>s_g</i>
60	-36.95	0.0007097	0.31108	3.795	205.34	209.13	3.837	223.96	227.80	0.01633	0.94812	0.96445
70	-33.87	0.0007143	0.26921	7.672	203.23	210.90	7.722	222.02	229.74	0.03264	0.92783	0.96047
80	-31.13	0.0007184	0.23749	11.14	201.33	212.48	11.20	220.27	231.47	0.04707	0.91009	0.95716
90	-28.65	0.0007222	0.21261	14.30	199.60	213.90	14.36	218.67	233.04	0.06003	0.89431	0.95434
100	-26.37	0.0007258	0.19255	17.19	198.01	215.21	17.27	217.19	234.46	0.07182	0.88008	0.95191
120	-22.32	0.0007323	0.16216	22.38	195.15	217.53	22.47	214.52	236.99	0.09269	0.85520	0.94789
140	-18.77	0.0007381	0.14020	26.96	192.60	219.56	27.06	212.13	239.19	0.11080	0.83387	0.94467
160	-15.60	0.0007435	0.12355	31.06	190.31	221.37	31.18	209.96	241.14	0.12686	0.81517	0.94202
180	-12.73	0.0007485	0.11049	34.81	188.20	223.01	34.94	207.95	242.90	0.14131	0.79848	0.93979
200	-10.09	0.0007532	0.099951	38.26	186.25	224.51	38.41	206.09	244.50	0.15449	0.78339	0.93788
240	-5.38	0.0007618	0.083983	44.46	182.71	227.17	44.64	202.68	247.32	0.17786	0.75689	0.93475
280	-1.25	0.0007697	0.072434	49.95	179.54	229.49	50.16	199.61	249.77	0.19822	0.73406	0.93228
320	2.46	0.0007771	0.063681	54.90	176.65	231.55	55.14	196.78	251.93	0.21631	0.71395	0.93026
360	5.82	0.0007840	0.056809	59.42	173.99	233.41	59.70	194.15	253.86	0.23265	0.69591	0.92856
400	8.91	0.0007905	0.051266	63.61	171.49	235.10	63.92	191.68	255.61	0.24757	0.67954	0.92711
450	12.46	0.0007983	0.045677	68.44	168.58	237.03	68.80	188.78	257.58	0.26462	0.66093	0.92555
500	15.71	0.0008058	0.041168	72.92	165.86	238.77	73.32	186.04	259.36	0.28021	0.64399	0.92420
550	18.73	0.0008129	0.037452	77.09	163.29	240.38	77.54	183.44	260.98	0.29460	0.62842	0.92302
600	21.55	0.0008198	0.034335	81.01	160.84	241.86	81.50	180.95	262.46	0.30799	0.61398	0.92196
650	24.20	0.0008265	0.031680	84.72	158.51	243.23	85.26	178.56	263.82	0.32052	0.60048	0.92100
700	26.69	0.0008331	0.029392	88.24	156.27	244.51	88.82	176.26	265.08	0.33232	0.58780	0.92012
750	29.06	0.0008395	0.027398	91.59	154.11	245.70	92.22	174.03	266.25	0.34348	0.57582	0.91930
800	31.31	0.0008457	0.025645	94.80	152.02	246.82	95.48	171.86	267.34	0.35408	0.56445	0.91853
850	33.45	0.0008519	0.024091	97.88	150.00	247.88	98.61	169.75	268.36	0.36417	0.55362	0.91779
900	35.51	0.0008580	0.022703	100.84	148.03	248.88	101.62	167.69	269.31	0.37383	0.54326	0.91709
950	37.48	0.0008640	0.021456	103.70	146.11	249.82	104.52	165.68	270.20	0.38307	0.53333	0.91641
1000	39.37	0.0008700	0.020329	106.47	144.24	250.71	107.34	163.70	271.04	0.39196	0.52378	0.91574
1200	46.29	0.0008935	0.016728	116.72	137.12	253.84	117.79	156.12	273.92	0.42449	0.48870	0.91320
1400	52.40	0.0009167	0.014119	125.96	130.44	256.40	127.25	148.92	276.17	0.45325	0.45742	0.91067
1600	57.88	0.0009400	0.012134	134.45	124.05	258.50	135.96	141.96	277.92	0.47921	0.42881	0.90802
1800	62.87	0.0009639	0.010568	142.36	117.85	260.21	144.09	135.14	279.23	0.50304	0.40213	0.90517
2000	67.45	0.0009887	0.009297	149.81	111.75	261.56	151.78	128.36	280.15	0.52519	0.37684	0.90204
2500	77.54	0.0010567	0.006941	167.02	96.47	263.49	169.66	111.18	280.84	0.57542	0.31701	0.89243
3000	86.16	0.0011410	0.005272	183.09	80.17	263.26	186.51	92.57	279.08	0.62133	0.25759	0.87893

Tabla 5. Refrigerante R-134^a sobrecalentado

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{sat} = -36.95 \text{ °C})$				$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{sat} = -26.37 \text{ °C})$				$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{sat} = -18.77 \text{ °C})$				
Sat.	0.31108	209.13	227.80	0.9645	0.19255	215.21	234.46	0.9519	0.14020	219.56	239.19	0.9447
-20	0.33608	220.62	240.78	1.0175	0.19841	219.68	239.52	0.9721				
-10	0.35048	227.57	248.60	1.0478	0.20743	226.77	247.51	1.0031	0.14605	225.93	246.37	0.9724
0	0.36476	234.67	256.56	1.0775	0.21630	233.97	255.60	1.0333	0.15263	233.25	254.61	1.0032
10	0.37893	241.94	264.68	1.1067	0.22506	241.32	263.82	1.0628	0.15908	240.68	262.95	1.0331
20	0.39302	249.37	272.95	1.1354	0.23373	248.81	272.18	1.0919	0.16544	248.24	271.40	1.0625
30	0.40705	256.97	281.39	1.1637	0.24233	256.46	280.69	1.1204	0.17172	255.95	279.99	1.0913
40	0.42102	264.73	289.99	1.1916	0.25088	264.27	289.36	1.1485	0.17794	263.80	288.72	1.1196
50	0.43495	272.66	298.75	1.2192	0.25937	272.24	298.17	1.1762	0.18412	271.81	297.59	1.1475
60	0.44883	280.75	307.68	1.2464	0.26783	280.36	307.15	1.2036	0.19025	279.97	306.61	1.1750
70	0.46269	289.01	316.77	1.2732	0.27626	288.65	316.28	1.2306	0.19635	288.29	315.78	1.2021
80	0.47651	297.43	326.02	1.2998	0.28465	297.10	325.57	1.2573	0.20242	296.77	325.11	1.2289
90	0.49032	306.02	335.43	1.3261	0.29303	305.71	335.01	1.2836	0.20847	305.40	334.59	1.2554
100	0.50410	314.76	345.01	1.3521	0.30138	314.48	344.61	1.3097	0.21449	314.19	344.22	1.2815
$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{sat} = -12.73 \text{ °C})$				$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{sat} = -10.09 \text{ °C})$				$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{sat} = -5.38 \text{ °C})$				
Sat.	0.11049	223.01	242.90	0.9398	0.09995	224.51	244.50	0.9379	0.08398	227.17	247.32	0.9348
-10	0.11189	225.04	245.18	0.9485	0.09991	224.57	244.56	0.9381				
0	0.11722	232.49	253.59	0.9799	0.10481	232.11	253.07	0.9699	0.08617	231.30	251.98	0.9520
10	0.12240	240.02	262.05	1.0103	0.10955	239.69	261.60	1.0005	0.09026	239.00	260.66	0.9832
20	0.12748	247.66	270.60	1.0400	0.11418	247.36	270.20	1.0304	0.09423	246.76	269.38	1.0134
30	0.13248	255.43	279.27	1.0691	0.11874	255.16	278.91	1.0596	0.09812	254.63	278.17	1.0429
40	0.13741	263.33	288.07	1.0976	0.12322	263.09	287.74	1.0882	0.10193	262.61	287.07	1.0718
50	0.14230	271.38	297.00	1.1257	0.12766	271.16	296.70	1.1164	0.10570	270.73	296.09	1.1002
60	0.14715	279.58	306.07	1.1533	0.13206	279.38	305.79	1.1441	0.10942	278.98	305.24	1.1281
70	0.15196	287.93	315.28	1.1806	0.13641	287.75	315.03	1.1714	0.11310	287.38	314.53	1.1555
80	0.15673	296.43	324.65	1.2075	0.14074	296.27	324.41	1.1984	0.11675	295.93	323.95	1.1826
90	0.16149	305.09	334.16	1.2340	0.14504	304.93	333.94	1.2250	0.12038	304.62	333.51	1.2093
100	0.16622	313.90	343.82	1.2603	0.14933	313.75	343.62	1.2513	0.12398	313.46	343.22	1.2356
$P = 0.28 \text{ MPa } (T_{sat} = -1.25 \text{ °C})$				$P = 0.32 \text{ MPa } (T_{sat} = 2.46 \text{ °C})$				$P = 0.40 \text{ MPa } (T_{sat} = 8.91 \text{ °C})$				
Sat.	0.07243	229.49	249.77	0.9323	0.06368	231.55	251.93	0.9303	0.051266	235.10	255.61	0.9271
0	0.07282	230.46	250.85	0.9362								
10	0.07646	238.29	259.70	0.9681	0.06609	237.56	258.70	0.9545	0.051506	235.99	256.59	0.9306
20	0.07997	246.15	268.54	0.9987	0.06925	245.51	267.67	0.9856	0.054213	244.19	265.88	0.9628
30	0.08338	254.08	277.42	1.0285	0.07231	253.52	276.66	1.0158	0.056796	252.37	275.09	0.9937
40	0.08672	262.12	286.40	1.0577	0.07530	261.62	285.72	1.0452	0.059292	260.60	284.32	1.0237
50	0.09000	270.28	295.48	1.0862	0.07823	269.83	294.87	1.0739	0.061724	268.92	293.61	1.0529
60	0.09324	278.58	304.69	1.1143	0.08111	278.17	304.12	1.1022	0.064104	277.34	302.98	1.0814
70	0.09644	287.01	314.01	1.1419	0.08395	286.64	313.50	1.1299	0.066443	285.88	312.45	1.1095
80	0.09961	295.59	323.48	1.1690	0.08675	295.24	323.00	1.1572	0.068747	294.54	322.04	1.1370
90	0.10275	304.30	333.07	1.1958	0.08953	303.99	332.64	1.1841	0.071023	303.34	331.75	1.1641
100	0.10587	313.17	342.81	1.2223	0.09229	312.87	342.41	1.2106	0.073274	312.28	341.59	1.1908
110	0.10897	322.18	352.69	1.2484	0.09503	321.91	352.31	1.2368	0.075504	321.35	351.55	1.2172
120	0.11205	331.34	362.72	1.2742	0.09775	331.08	362.36	1.2627	0.077717	330.56	361.65	1.2432
130	0.11512	340.65	372.88	1.2998	0.10045	340.41	372.55	1.2883	0.079913	339.92	371.89	1.2689
140	0.11818	350.11	383.20	1.3251	0.10314	349.88	382.89	1.3136	0.082096	349.42	382.26	1.2943

Tabla 6. Refrigerante R-134^a sobrecalentado (conclusión)

<i>T</i> °C	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K	<i>v</i> m ³ /kg	<i>u</i> kJ/kg	<i>h</i> kJ/kg	<i>s</i> kJ/kg · K
<i>P</i> = 0.50 MPa (<i>T</i> _{sat} = 15.71 °C)				<i>P</i> = 0.60 MPa (<i>T</i> _{sat} = 21.55 °C)				<i>P</i> = 0.70 MPa (<i>T</i> _{sat} = 26.69 °C)				
Sat	0.041168	238.77	259.36	0.9242	0.034335	241.86	262.46	0.9220	0.029392	244.51	265.08	0.9201
20	0.042115	242.42	263.48	0.9384								
30	0.044338	250.86	273.03	0.9704	0.035984	249.24	270.83	0.9500	0.029966	247.49	268.47	0.9314
40	0.046456	259.27	282.50	1.0011	0.037865	257.88	280.60	0.9817	0.031696	256.41	278.59	0.9642
50	0.048499	267.73	291.98	1.0309	0.039659	266.50	290.30	1.0122	0.033322	265.22	288.54	0.9955
60	0.050485	276.27	301.51	1.0600	0.041389	275.17	300.00	1.0417	0.034875	274.03	298.44	1.0257
70	0.052427	284.91	311.12	1.0884	0.043069	283.91	309.75	1.0706	0.036373	282.88	308.34	1.0550
80	0.054331	293.65	320.82	1.1163	0.044710	292.74	319.57	1.0988	0.037829	291.81	318.29	1.0835
90	0.056205	302.52	330.63	1.1436	0.046318	301.69	329.48	1.1265	0.039250	300.84	328.31	1.1115
100	0.058053	311.52	340.55	1.1706	0.047900	310.75	339.49	1.1536	0.040642	309.96	338.41	1.1389
110	0.059880	320.65	350.59	1.1971	0.049458	319.93	349.61	1.1804	0.042010	319.21	348.61	1.1659
120	0.061687	329.91	360.75	1.2233	0.050997	329.24	359.84	1.2068	0.043358	328.57	358.92	1.1925
130	0.063479	339.31	371.05	1.2492	0.052519	338.69	370.20	1.2328	0.044688	338.06	369.34	1.2186
140	0.065256	348.85	381.47	1.2747	0.054027	348.26	380.68	1.2585	0.046004	347.67	379.88	1.2445
150	0.067021	358.52	392.04	1.3000	0.055522	357.98	391.29	1.2838	0.047306	357.42	390.54	1.2700
160	0.068775	368.34	402.73	1.3250	0.057006	367.83	402.03	1.3089	0.048597	367.31	401.32	1.2952
<i>P</i> = 0.80 MPa (<i>T</i> _{sat} = 31.31 °C)				<i>P</i> = 0.90 MPa (<i>T</i> _{sat} = 35.51 °C)				<i>P</i> = 1.00 MPa (<i>T</i> _{sat} = 39.37 °C)				
Sat	0.025645	246.82	267.34	0.9185	0.022686	248.82	269.25	0.9169	0.020319	250.71	271.04	0.9157
40	0.027035	254.84	276.46	0.9481	0.023375	253.15	274.19	0.9328	0.020406	251.32	271.73	0.9180
50	0.028547	263.87	286.71	0.9803	0.024809	262.46	284.79	0.9661	0.021796	260.96	282.76	0.9526
60	0.029973	272.85	296.82	1.0111	0.026146	271.62	295.15	0.9977	0.023068	270.33	293.40	0.9851
70	0.031340	281.83	306.90	1.0409	0.027413	280.74	305.41	1.0280	0.024261	279.61	303.87	1.0160
80	0.032659	290.86	316.99	1.0699	0.028630	289.88	315.65	1.0574	0.025398	288.87	314.27	1.0459
90	0.033941	299.97	327.12	1.0982	0.029806	299.08	325.90	1.0861	0.026492	298.17	324.66	1.0749
100	0.035193	309.17	337.32	1.1259	0.030951	308.35	336.21	1.1141	0.027552	307.52	335.08	1.1032
110	0.036420	318.47	347.61	1.1531	0.032068	317.72	346.58	1.1415	0.028584	316.96	345.54	1.1309
120	0.037625	327.89	357.99	1.1798	0.033164	327.19	357.04	1.1684	0.029592	326.49	356.08	1.1580
130	0.038813	337.42	368.47	1.2062	0.034241	336.78	367.59	1.1949	0.030581	336.12	366.70	1.1847
140	0.039985	347.08	379.07	1.2321	0.035302	346.48	378.25	1.2211	0.031554	345.87	377.42	1.2110
150	0.041143	356.86	389.78	1.2577	0.036349	356.30	389.01	1.2468	0.032512	355.73	388.24	1.2369
160	0.042290	366.78	400.61	1.2830	0.037384	366.25	399.89	1.2722	0.033457	365.71	399.17	1.2624
170	0.043427	376.83	411.57	1.3081	0.038408	376.33	410.89	1.2973	0.034392	375.82	410.22	1.2876
180	0.044554	387.01	422.65	1.3328	0.039423	386.54	422.02	1.3221	0.035317	386.06	421.38	1.3125
<i>P</i> = 1.20 MPa (<i>T</i> _{sat} = 46.29 °C)				<i>P</i> = 1.40 MPa (<i>T</i> _{sat} = 52.40 °C)				<i>P</i> = 1.60 MPa (<i>T</i> _{sat} = 57.88 °C)				
Sat	0.016728	253.84	273.92	0.9132	0.014119	256.40	276.17	0.9107	0.012134	258.50	277.92	0.9080
50	0.017201	257.64	278.28	0.9268								
60	0.018404	267.57	289.66	0.9615	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.91	280.71	0.9164
70	0.019502	277.23	300.63	0.9939	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.78	293.27	0.9536
80	0.020529	286.77	311.40	1.0249	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.11	305.09	0.9875
90	0.021506	296.28	322.09	1.0547	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.19	316.53	1.0195
100	0.022442	305.81	332.74	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.16	327.78	1.0501
110	0.023348	315.40	343.41	1.1119	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.09	338.93	1.0795
120	0.024228	325.05	354.12	1.1395	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.03	350.03	1.1081
130	0.025086	334.79	364.90	1.1665	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.02	361.14	1.1360
140	0.025927	344.63	375.74	1.1931	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.06	372.27	1.1633
150	0.026753	354.57	386.68	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.19	383.46	1.1901
160	0.027566	364.63	397.71	1.2450	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.40	394.71	1.2164
170	0.028367	374.80	408.84	1.2704	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.71	406.04	1.2422
180	0.029158	385.10	420.09	1.2955	0.024757	384.12	418.78	1.2808	0.021456	383.13	417.46	1.2677

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor/ transformación de energía	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Reconocimiento planta térmica		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Promover el aprendizaje interactivo y práctico de los estudiantes al explorar una planta térmica, permitiéndoles familiarizarse con sus componentes, trayecto de vapor y agua, módulos operativos y sistema de refrigeración.

Objetivos específicos

- Identificar y describir los principales componentes de una planta térmica, incluyendo caldera, turbina, condensador, intercambiadores de calor y sistema de control.
- Analizar el trayecto del vapor y el agua a lo largo de la planta térmica, desde la generación hasta la condensación, destacando los procesos de transformación de energía involucrados.
- Comprender el funcionamiento del sistema de refrigeración de la planta térmica, incluyendo la identificación de los equipos principales.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Componentes Planta térmica

1. Para comenzar, el docente debe explicar y señalar a los estudiantes los componentes presentes en la planta térmica, tal como se ilustra en la siguiente figura y se detalla en la tabla correspondiente.

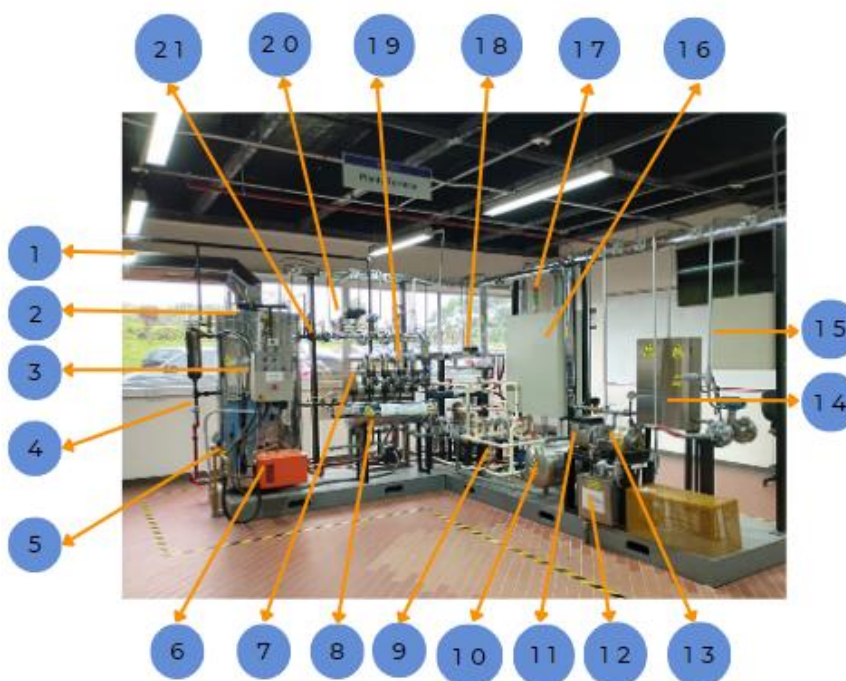


Figura 1. Planta térmica con sus componentes.

Tabla 1. Componentes según numeración.

1	Chimenea	9	Bombas serie/paralelo	17	Indicador planta on/off, proceso de generación on /off
2	Calderín	10	Intercambiador serpentín		
3	Tablero eléctrico calderín	11	Generador de energía		
4	Suavizador	12	Tanque cargas turbina	18	Intercambiadores de calor
5	Regulador gas	13	Turbina	19	Válvulas distribuidoras
6	Quemador gas	14	Sobrecalentador	20	Electroválvula de control
7	Tanque de condensado	15	Banco de bombillas	21	Válvula principal
8	Distribuidor de vapor	16	Tablero eléctrico general		

Trayecto de los fluidos en las tuberías

- Después de completar la etapa anterior, el docente guiará a los estudiantes para que comprendan el significado de los diferentes colores de las tuberías en la planta térmica. La tubería marcada en rojo corresponde a la purga de componentes, sobre la cual se explicará el recorrido del fluido. La tubería amarilla indica el suministro de gas, y se detallará su trayecto. La tubería verde está destinada a la alimentación, y se explicará su recorrido. Por último, las tuberías grises son para el vapor; sin necesidad de activar la planta, se mostrará a los estudiantes las posibles rutas que puede seguir el vapor según el módulo utilizado. Durante este proceso, se realizarán preguntas para que los estudiantes se familiaricen más con el equipo y pongan en práctica los conceptos aprendidos previamente.



Figura 2. Ruta seguida por el vapor.

Sistema de refrigeración

- En esta sección, se instruye a los estudiantes sobre la importancia de mantener el sistema de refrigeración correctamente configurado y en funcionamiento durante los procesos realizados en la planta térmica. El sistema de refrigeración se distingue por sus tuberías de PVC, que se conectan a las bombas centrífugas. Por lo tanto, cada módulo cuenta con una configuración

específica de válvulas, ajustada según los requisitos particulares de cada proceso.

- En cuanto al módulo de generación, se requiere que las únicas válvulas abiertas sean: (se enfatiza la importancia de completar y verificar la lista de verificación adjunta)

Tabla 2. Check list configuración válvulas en el módulo de generación.

VM-01 cerrada	
VM-02 abierta	
VM-03 cerrada	
VM-04 cerrada	
VM-05 abierta	
VM-06 cerrada	

VM-10 cerrada	
VM-12 cerrada	
VM-15 cerrada	
VM-17 cerrada	
VM-18 abierta	
VM-19 abierta	

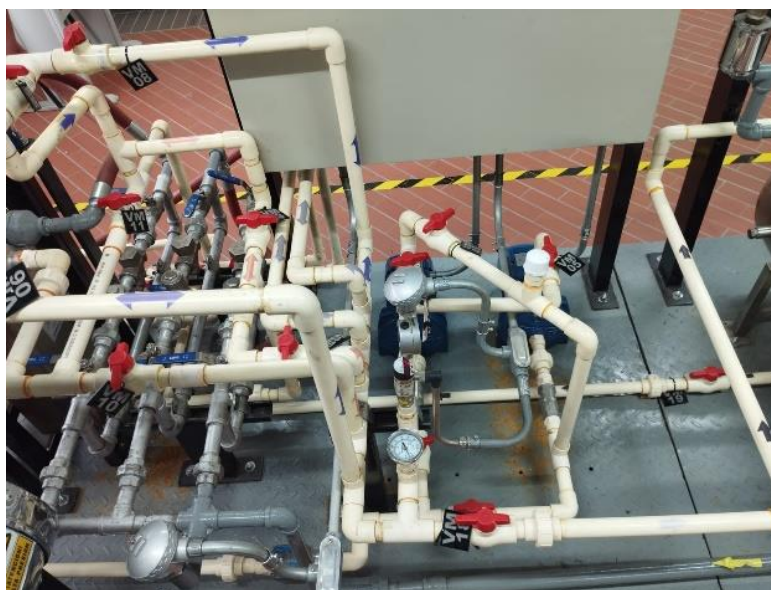


Figura 3. Sistema de refrigeración para módulo de generación.

- Una vez confirmado el correcto ajuste de las válvulas, se procede a encender la bomba 1, conforme a las instrucciones detalladas en el manual de operaciones (dejar 2400 rpm). Al

activar la bomba, es fundamental verificar el flujo de agua a lo largo de todas las tuberías hasta su punto de descarga. En caso de que no se sienta flujo en la tubería de descarga se deberá apagar rápidamente la bomba.

6. Posteriormente, se procede a apagar la bomba, siguiendo este mismo procedimiento para cada módulo mencionado.
7. Para el módulo de intercambiadores de placas paralelas, donde se emplea el flujo directo, se requiere la siguiente configuración de las válvulas.

Tabla 3. Check list configuración válvulas en el módulo de intercambiador de placas paralelas.

VM-01 cerrada		VM-11 cerrada	
VM-02 abierta		VM-12 cerrada	
VM-03 cerrada		VM-13 abierta	
VM-04 cerrada		VM-15 cerrada	
VM-05 abierta		VM-17 cerrada	
MV-06 cerrada		VM-18 cerrada	
VM-10 abierta		VM-19 cerrada	

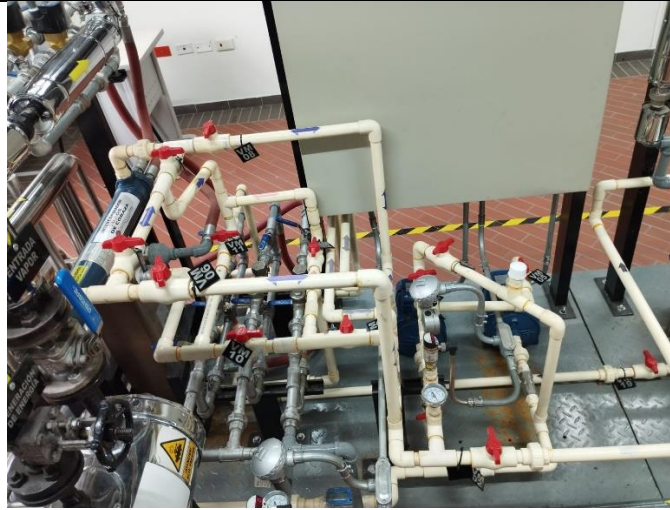


Figura 4. Sistema de refrigeración para módulo de placas paralelas.

8. Para el intercambiador de tubos concéntricos se debe tener la siguiente configuración.

Tabla 4. Check list configuración válvulas en el módulo de intercambiador de tubos concéntricos.

VM-01 cerrada	
VM-02 abierta	
VM-03 cerrada	
VM-04 cerrada	
VM-05 abierta	
VM-06 cerrada	
VM-07 cerrada	
VM-09 cerrada	

VM-10 cerrada	
VM-11 cerrada	
VM-12 cerrada	
VM-14 abierta	
VM-15 cerrada	
VM-16 cerrada	
VM-17 abierta	

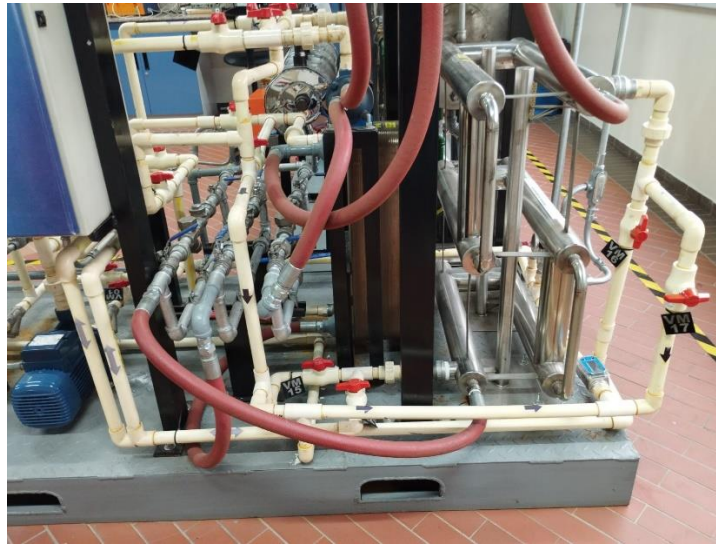


Figura 5. Sistema de refrigeración para módulo de tubos concéntricos.

9. Finalmente, para el intercambiador de coraza en flujo directo se tiene la siguiente configuración de válvulas.

Tabla 5. Check list configuración válvulas en el módulo de intercambiador de coraza.

VM-01 cerrada	
VM-02 abierta	
VM-03 cerrada	
VM-04 cerrada	
VM-05 abierta	
VM-06 abierta	
VM-07 cerrado	
VM-08 cerrado	

VM-09 abierta	
VM-10 cerrada	
VM-11 cerrada	
VM-12 cerrada	
VM-15 cerrado	
VM-17 cerrado	
VM-18 cerrado	

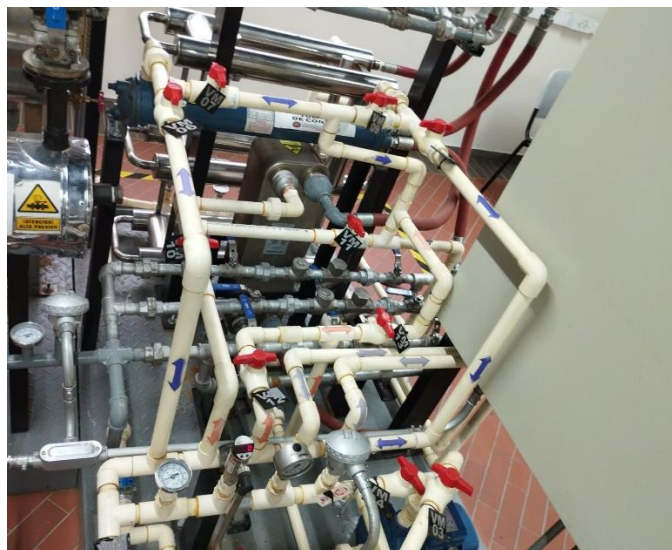


Figura 6. Sistema de refrigeración para módulo de coraza.

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido.

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transformación de energía	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Generación de energía		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Facilitar a los estudiantes de ingeniería mecánica la oportunidad de aplicar sus conocimientos teóricos en la generación de energía utilizando la planta térmica existente en la universidad como recurso didáctico.

Objetivos específicos y

- Observar y comprender el funcionamiento de la planta térmica, identificando sus componentes principales y los procesos involucrados en la generación de energía.
- Analizar y evaluar el rendimiento de la planta térmica, utilizando herramientas y técnicas pertinentes para medir la eficiencia energética y la calidad del proceso.
- Evaluar la cantidad de energía producida por la planta térmica mediante la medición de la cantidad de bombillas que pueden ser encendidas simultáneamente, proporcionando así una medida práctica del rendimiento de la planta.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.

CHECK LIST OPERACIONAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo de generación, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-18 y VM-19 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-06, VM-10, VM-12 y VM-14, VM-15 y VM-17 estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al	



	menos 3 minutos.		
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las válvulas de bypass del distribuidor de vapor.		
9	En la interfaz HMI-PLC, debe activarse el Sobrecalentador seleccionando su correspondiente icono.		
10	Se debe verificar que las válvulas manuales del serpentín estén abiertas.		
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.		
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de generación de energía de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.		
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador de serpentín. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.		
14	Todos los bombillos ubicados en el banco de bombillas deben ser activados. Este proceso se logra mediante el funcionamiento de la turbina, que aprovecha el vapor para generar energía.		
15	Tomar los datos presentes en el HMI-PLC.		

Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Tabla 2. Datos mostrados de la entrada del proceso.

Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal volumétrico [L/s]

Tabla 3. Datos mostrados antes de la turbina.

Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal volumétrico [L/s]

Tabla 4. Datos mostrados a la salida de la turbina.

Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Tabla 5. Datos vatímetro.

Potencial eléctrico [V]	Potencia eléctrica [W]	Intensidad de corriente eléctrica [A]	Energía eléctrica [KWh]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido.

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de coraza a flujo directo		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos y caldera.
- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores, como en la fabricación de productos químicos, plantas de energía y refinerías de petróleo

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.

CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR A FLUJO DIRECTO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de coraza a flujo directo, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-06 y VM-09 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-07, VM-08, VM-10, VM-12 y VM-14, VM-15, VM-17 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las	



	válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	
9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador coraza	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas. Ver figura 1.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de coraza de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Válvula de
intercambiador
de coraza.

Válvula de
bypass
intercambiador
de coraza.



Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal del flujo [L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y

desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere esta grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]	Entalpia de vaporización [kJ/kg]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Razón de la transferencia de calor caldera [kJ/s]	Razón de la transferencia de calor vapor [W]	Razón de la transferencia de calor agua [W]

Tabla 5. Datos calculados.

Área superficial [m ²]	LMTD [°C]	Coficiente global de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 \cdot C}$]	Perdidas de carga [kPa]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos

durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Cengel , Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Tabla 6. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de coraza a contraflujo	Laboratorio	Conversión de energía		

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos y caldera.
- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor en contraflujo.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores, como en la fabricación de productos químicos, plantas de energía y refinerías de petróleo

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.

CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR DE CORAZA A CONTRAFLUJO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de coraza, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-07 y VM-08 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-06, VM-09, VM-10, VM-12 y VM-14, VM-15, VM-17 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	



9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador coraza	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas. Ver figura 1.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de coraza de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Válvula de
intercambiador
de coraza.

Válvula de
bypass
intercambiador
de coraza.



Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal del flujo [L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y

desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere esta grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]	Entalpia de vaporización [kJ/kg]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Razón de la transferencia de calor caldera [kJ/s]	Razón de la transferencia de calor vapor [W]	Razón de la transferencia de calor agua [W]

Tabla 5. Datos calculados.

Área superficial [m ²]	LMTD,CF [°C]	Factor de corrección	Coefficiente global de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 \cdot C}$]	Perdidas de carga [kPa]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos

durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Figura 2. Factor de corrección de dos pasos por la coraza y 4, 8, 12, etc. (cualquier múltiplo de 4) pasos por los tubos.

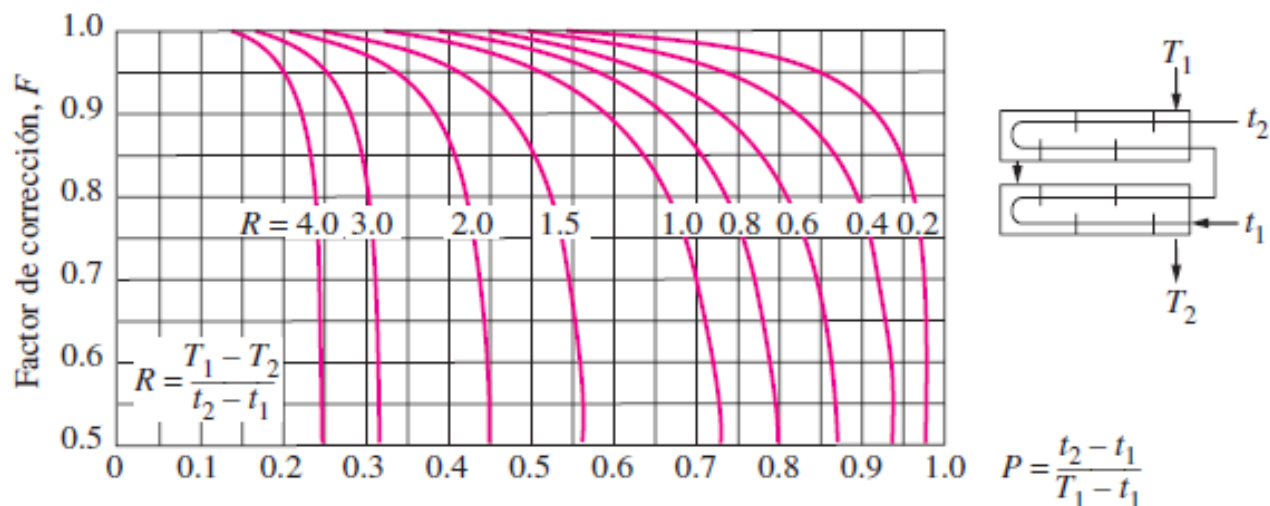


Tabla 6. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de placas paralelas a flujo directo		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos.
- Hallar la eficiencia de la transferencia de calor.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores, como en la fabricación de productos químicos, plantas de energía y refinerías de petróleo.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.

CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR A FLUJO DIRECTO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de placas paralelas a flujo directo, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-10 y VM-13 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-07, VM-08, VM-12, VM-11, VM-14, VM-15, VM-17 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las	

	válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	
9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador placas paralelas	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de placas paralelas de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal del flujo [L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere este grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Eficiencia transferencia de	Razón de la transferencia de	Razón de la transferencia de	Perdidas de carga [kPa]
-----------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------

calor

calor vapor [W]

calor agua [W]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Nota

Debido a que no se conoce la cantidad de placas existentes en el intercambiador y las dimensiones de estas, se dificulta hallar el Coeficiente de transferencia de calor.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>
Cengel , Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Tabla 5. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de placas paralelas a contraflujo	Laboratorio	Conversión de energía		

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos.
- Hallar la eficiencia de la transferencia de calor.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores, como en la fabricación de productos químicos, plantas de energía y refinerías de petróleo.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.



CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR A CONTRAFLUJO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de placas paralelas, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-11 y VM-12 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-07, VM-08, VM-10, VM-13, VM-14, VM-15, VM-17 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las	

	válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	
9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador placas paralelas	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas. Ver figura 1.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de placas paralelas de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura	Presión	Temperatura	Presión	Caudal del flujo
[°C]	[Psi]	[°C]	[Psi]	[L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere este grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Eficiencia transferencia de	Razón de la transferencia de	Razón de la transferencia de	Perdidas de carga [kPa]

calor

calor vapor [W]

calor agua [W]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Nota

Debido a que no se conoce la cantidad de placas existentes en el intercambiador y las dimensiones de estas, se dificulta hallar el Coeficiente de transferencia de calor.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>
Cengel , Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Tabla 5. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de tubos concéntricos a flujo directo		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos y caldera.
- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores de tubos concéntricos.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.



CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR A FLUJO DIRECTO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de tubos concéntricos, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-014 y VM-17 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-06, VM-07, VM-08, VM-10, VM-12, VM-15, VM-16 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	



9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador correspondiente.	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de tubos concéntricos de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal del flujo [L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere este grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]	Entalpia de vaporización [kJ/kg]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Razón de la transferencia de calor caldera [kJ/s]	Razón de la transferencia de calor vapor [W]	Razón de la transferencia de calor agua [W]

Tabla 5. Datos calculados.

Área superficial [m ²]	LMTD [°C]	Coefficiente global de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 \cdot C}$]	Perdidas de carga [kPa]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Tabla 6. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h _g , kJ/kg	Calor específico, c _p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁵	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁵	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁵	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁵	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁵	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁵	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁵	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁵	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁵	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁵	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁵	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁵	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁵	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁵	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁵	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁵	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁵	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁵	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁵	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁵	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁵	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁵	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁵	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁵	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁵	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁵	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁵	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁵	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁵	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁵	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁵	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁵	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁵	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁵	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁵	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁵	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁵	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁵	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁵	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁵	—	—	—

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transferencia de calor	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Intercambiador de tubos concéntricos a contraflujo		Laboratorio	Conversión de energía	

Objetivos

Objetivo general

Estudiar cómo se produce la transferencia de calor entre los fluidos y cómo se optimiza el diseño para maximizar la eficiencia.

Objetivos específicos y

- Determinar la razón de transferencia de calor en los fluidos y caldera.
- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor en contraflujo.
- Analizar las pérdidas de carga en el intercambiador.
- Explorar las aplicaciones industriales donde se utilizan estos intercambiadores de tubos concéntricos.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Planta térmica	1
Manual de encendido y apagado	1

Procedimiento

Este Check list debe completarse para llevar a cabo la práctica de manera adecuada. No se procederá al siguiente ítem hasta que el anterior se haya completado satisfactoriamente. Además, por razones de seguridad, se requiere revisar este Check list al menos dos veces.



CHECK LIST OPERACIONAL DE INTERCAMBIADOR A CONTRAFLUJO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Realizar el Check list preoperacional conforme al manual de encendido y apagado, ubicado en la página 7 del manual correspondiente.	
2	Encender la planta térmica siguiendo el procedimiento detallado en el manual de encendido y apagado, el cual se encuentra disponible en la página 15 del manual respectivo.	
3	Es necesario configurar el sistema de refrigeración del módulo intercambiador de tubos concéntricos, lo cual implica que las bombas deben operar en paralelo.	
4	Verificar que las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-015 y VM-16 estén totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
5	Verificar que las válvulas VM-03, VM-06, VM-07, VM-08, VM-10, VM-12, VM-14, VM-17 y demás, estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
6	Una vez que la presión alcance entre 90 y 100 psi, se procede a abrir completamente la válvula principal para permitir que el vapor fluya hacia el distribuidor de vapor.	
7	Posteriormente, se realiza el bypass del área situada debajo del distribuidor de vapor. Las dos válvulas deben abrirse gradualmente hasta la mitad y mantenerse así durante al menos 3 minutos.	
8	Al pasar el tiempo mencionado anteriormente se cierran las válvulas de bypass del distribuidor de vapor.	



9	En la interfaz HMI-PLC, debe dirigirse al módulo de intercambiador correspondiente.	
10	Se debe verificar que las válvulas manuales de la salida correspondientes al intercambiador estén abiertas.	
11	Posteriormente, una vez completado lo anterior, se procede a seleccionar el botón 'Iniciar Prueba' en el HMI-PLC. En este momento, las bombas de refrigeración comenzarán a operar de inmediato. Si el medidor de caudal ubicado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 30 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando "Iniciar prueba" y verificar las válvulas.	
12	Acto seguido, se procede a abrir la válvula de compuerta asociada al módulo de intercambiador de tubos concéntricos de manera gradual y cuidadosa, hasta lograr su total apertura.	
13	A continuación, se requiere realizar el bypass correspondiente al intercambiador. Para ello, abrir gradual y cuidadosamente la válvula hasta la mitad o menos, según se considere y mantenerla así durante al menos 2 minutos.	
14	Después, se debe cerrar la válvula y se procede a tomar los datos presentes en el HMI-PLC.	

Tabla 1. Datos mostrados de entrada.

Datos entrada		Entrada proceso		
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Caudal del flujo [L/s]

Tabla 2. Datos mostrados en PLC.

Salida bombas		Salida condensados		Entrada torre de enfriamiento	
Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]	Temperatura [°C]	Presión [Psi]

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar y purgar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser regresados al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

El estudiante debe entregar el informe de la práctica siguiendo el formato establecido por el docente, e incluyendo el análisis sugerido. Se deben incluir las tablas proporcionadas para los resultados; no obstante, el estudiante puede optar por modificarlas, aunque se recomienda seguir las planteadas inicialmente. Para los datos obtenidos se sugiere este grafica para reflejar los resultados.

Tabla 3. Variables de interés.

Flujo masico del vapor [kg/s]	Flujo masico del agua [kg/s]	Calor especifico vapor [J kg/ K]	Calor especifico agua [J kg/ K]	Entalpia de vaporización [kJ/kg]

Tabla 4. Razón de transferencia de calor.

Razón de la transferencia de calor caldera [kJ/s]	Razón de la transferencia de calor vapor [W]	Razón de la transferencia de calor agua [W]

Tabla 5. Datos calculados.

Área superficial [m ²]	LMTD,CF [°C]	Factor de corrección	Coefficiente global de transferencia de calor [$\frac{W}{m^2 \cdot C}$]	Perdidas de carga [kPa]

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Bibliografía

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>

Cengel, Y., & Ghajar, A. (2020). Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill. sexta edición

Anexos

Figura 1. Factor de corrección de dos pasos por la coraza y 4, 8, 12, etc. (cualquier múltiplo de 4) pasos por los tubos.

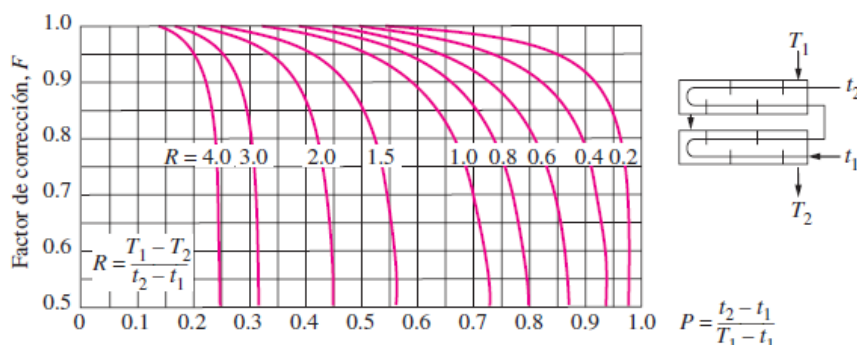


Tabla 6. Propiedades del agua saturada.

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpia de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
— VILLAVICENCIO —
VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 9943

FORMATO GUÍA PRÁCTICAS-DOCENTES

Código: DO-VI-F-623

Versión: 02

Emisión: 22/04/2024

Página 7 de 9

Universidad Santo Tomás seccional Villavicencio

Facultad de Ingeniería Mecánica

Práctica de Laboratorio

Espacio académico	Transporte de fluidos	Fecha	Día	Mes	Año
Práctica	Bombas en serie y paralelo	Laboratorio	Conversión de energía		

Objetivos

Objetivo general

Evaluar y analizar el rendimiento y comportamiento de bombas centrífugas cuando se operan en configuraciones de serie y paralelo, para entender sus aplicaciones prácticas en sistemas de bombeo.

Objetivos específicos

- Analizar la relación entre la presión y el caudal en el sistema de bombeo, investigando cómo varían al operar las bombas en serie y en paralelo, para comprender su impacto en la capacidad del sistema para satisfacer demandas de flujo y presión.
- Estudiar las aplicaciones de las bombas en serie y paralelo.

Materiales y equipos

Materiales o equipos	Cantidad por grupo
Bombas centrífugas	2

Procedimiento

Antes de realizar las prácticas de bomba en serie y paralelo se debe identificar las especificaciones técnicas de las bombas.

Tabla 1. Datos técnicos de las bombas.



Referencias bombas	Marca	Rango H [m]	Potencia [kW]	Rango caudal [l/min]

Bombas en paralelo

CHECK LIST OPERACIONAL BOMBAS EN PARALELO

ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Para la correcta configuración en paralelo de las bombas, las válvulas VM-01, VM-02, VM-04, VM-05, VM-18 y VM-19 debe estar totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
2	Mientras que las válvulas VM-03, VM-06, VM-10, VM-12, VM-14, VM-15 y VM-17 estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
3	Para energizar las bombas, primero debe activarse el totalizador principal ubicado dentro del tablero general de energía eléctrica. Para hacerlo, abra la puerta protectora del tablero y ubique el breaker en el lado derecho. Para encenderlo, desplace el interruptor hacia la izquierda. Una vez hecho esto, se iluminará un indicador verde en la parte superior del tablero, confirmando que las bombas están energizadas.	
4	Luego de esto, cierre la puerta protectora del tablero. A continuación, oprima y gire el botón de paro de emergencia hacia la derecha.	
5	En este momento, el PLC integrado en la pantalla HMI se activará, mostrando la interfaz correspondiente. Al principio, esta interfaz presentará tres módulos de trabajo diferentes: intercambiadores, generación y bombas en serie y paralelo.	

	En esta situación, seleccione la opción de bombas en serie y paralelo.	
6	Al optar por esta opción, se mostrará la interfaz con los iconos de las bombas 1 y 2. Antes de iniciar el funcionamiento de ambas bombas, se debe configurar su velocidad en rpm. Para ello, se selecciona la opción "SET RPM" y se introduce el valor deseado.	
7	Inicialmente se introducen 2400 rpm.	
8	A continuación, se procede a activar las bombas. Para ello, es necesario seleccionarlas en sus respectivos íconos. Al hacerlo, el ícono de cada bomba cambiará de color rojo a verde.	
9	Si el medidor de caudal situado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 60 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando nuevamente los íconos correspondientes y verificar el estado de las válvulas.	
10	Si el paso anterior se ha realizado correctamente, se debe esperar al menos 5 minutos para permitir que el caudal registrado en el medidor de flujo se estabilice. Luego, se procede a tomar los datos necesarios, los cuales se registran en la Tabla 2.	
11	Se procede a apagar las bombas seleccionando los íconos correspondientes.	
12	Se ajustan las RPM de las bombas conforme a lo indicado en la tabla 2, y se repiten los pasos descritos previamente.	

Tabla 2. Datos experimentales bombas en paralelo tomados del equipo.

RPM	Entrada		Salida	
	Caudal [l/min]	Presión [Psi]	Caudal [l/min]	Presión [Psi]

2400				
2800				
3200				
3600				

Bombas en serie

CHECK LIST OPERACIONAL BOMBAS EN SERIE		
ITEM	ACTIVIDAD	MARCACIÓN
1	Para la correcta configuración en paralelo de las bombas, las válvulas VM-01, VM-03, VM-05, VM-18 y VM-19 debe estar totalmente abiertas . En caso contrario, proceder a abrir las que estén cerradas.	
2	Mientras que las válvulas VM-02, VM-04, VM-06, VM-10, VM-12, VM-14, VM-15 y VM-17 estén totalmente cerradas . En caso contrario, proceder a cerrar las que están abiertas.	
3	Antes de iniciar el funcionamiento de ambas bombas, se debe configurar su velocidad en rpm. Para ello, se selecciona la opción "SET RPM" y se introduce el valor deseado.	
4	Inicialmente se introducen 2400 rpm.	
5	A continuación, se procede a activar las bombas. Para ello, es necesario seleccionarlas en sus respectivos íconos. Al hacerlo, el ícono de cada bomba cambiará de color rojo a verde.	
6	Si el medidor de caudal situado cerca de la válvula VM-17 no registra flujo de agua después de al menos 90 segundos, se deben apagar las bombas seleccionando nuevamente los íconos correspondientes y verificar el estado de las válvulas.	
7	Si el paso anterior se ha realizado correctamente, se debe esperar al menos 5 minutos para permitir que el caudal registrado en el medidor de flujo se estabilice. Luego, se	

	procede a tomar los datos necesarios, los cuales se registran en la Tabla 3.	
8	Se procede a apagar las bombas seleccionando los íconos correspondientes.	
9	Se ajustan las RPM de las bombas conforme a lo indicado en la tabla 3, y se repiten los pasos descritos previamente.	

Tabla 3. Datos experimentales bombas en serie tomados del equipo.

RPM	Entrada		Salida	
	Caudal [l/min]	Presión [Psi]	Caudal [l/min]	Presión [Psi]
2400				
2800				
3200				
3600				

Una vez concluidas las prácticas, es necesario limpiar todos los elementos utilizados y desconectar los equipos que lo requieran. Además, todos los elementos deben ser devueltos al personal de coordinación de laboratorios.

Resultados esperados

Análisis de resultados

En este apartado, se espera que los estudiantes describan detalladamente los datos obtenidos durante la práctica, centrándose en los patrones observados en las gráficas y tablas generadas. Deberán comentar sobre el comportamiento de las variables medidas, identificando tendencias, puntos de inflexión y posibles correlaciones. Se les anima a interpretar y explicar cualquier discrepancia o anomalía observada, así como a relacionar los resultados con los conceptos teóricos estudiados en clase.

Referencias

Acuña Poveda, L. N. (2024). Manual de encendido y apagado de la planta térmica. Universidad Santo Tomás de Aquino. <https://heyzine.com/flip-book/264d7f7187.html>



Cengel, Y., & Cimbala, J. (2019). Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones (4a ed.). McGraw-Hill.

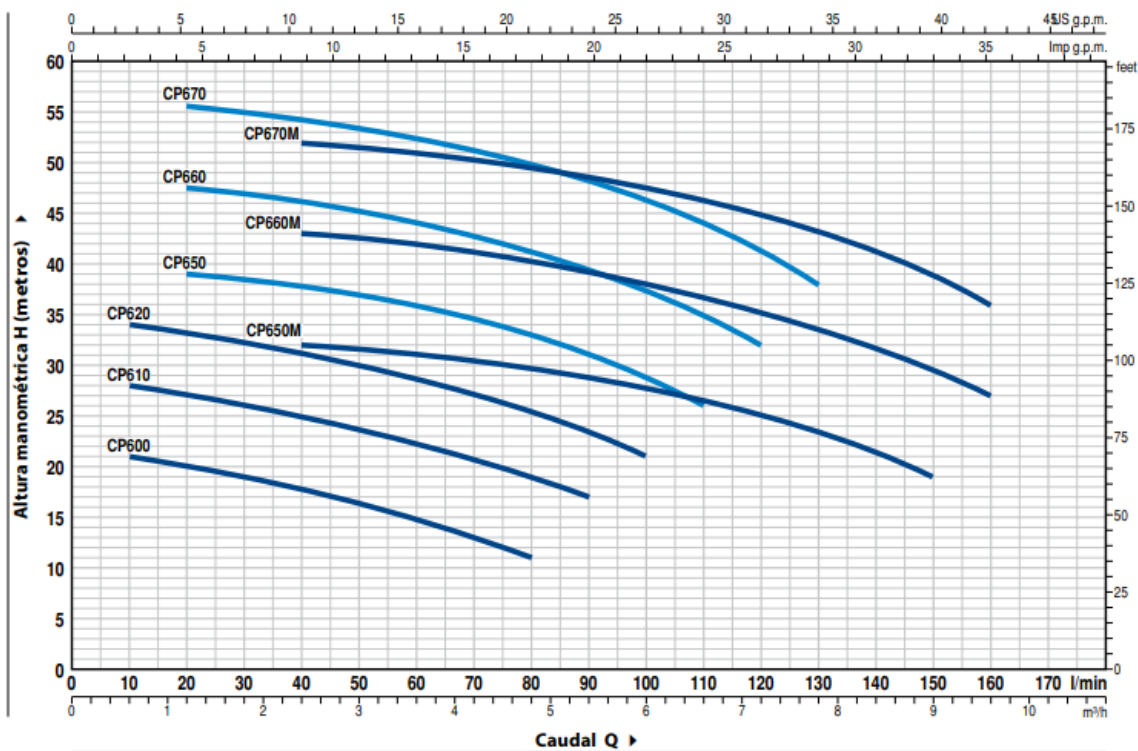
Pedrollo. Electrobombas centrifugas. https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/CP%200.37-2.2%20kW_ES_60Hz.pdf

Anexos

Figura 1. Curva característica de la bomba dada por le fabricante.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz $n = 3450 \text{ min}^{-1}$ $H_S = 0 \text{ m}$





MODELO		POTENCIA (P ₂)		▲	Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP			IE2	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0	9.6		
					l/min	0	10	20	40	60	80	90	100	110	120	130	150	160			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		H metros	22	21	20	18	15	11										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85			28.5	28	27	25	22	19	17									
CPm 620	CP 620	0.75	1			35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5			40	-	39	38	36	33.1	31.2	28.8	26							
CPm 660	CP 660	1.5	2			48	-	47.5	46	44	41	39.5	37.5	35	32						
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3		56	-	55.5	54.5	52.5	50	48.5	46.5	44	41.5	38					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5			33	-	-	32	31	30	29	28	26.5	25	23	19				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2			44	-	-	43	42	40	39	38	37	35.5	34	29.5	27			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3			53	-	-	52	51	49.5	48.5	47.5	46.5	45	43.5	39	36			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)