

TRABAJO PRÁCTICO N° 7:

**TEMA: TRANSFERENCIA DE CALOR CONVECTIVA CON CAMBIO DE FASE-
CONDENSADORES**

CUESTIONARIO

- 1- ¿Qué mecanismos de condensación conoce?
- 2- ¿Qué describe la teoría de Nusselt y qué consideraciones iniciales toma en cuenta?
- 3- Dibuje el perfil de temperaturas para la condensación de un vapor simple saturado.
- 4- Dibuje el perfil de temperaturas para la condensación de un vapor simple saturado en presencia de incondensables.
- 5- Dibuje el perfil de temperaturas para la condensación de un vapor simple saturado con subenfriamiento.
- 6- Resuma las ecuaciones que permiten estimar los coeficientes peliculares de condensación disponibles en la bibliografía, citando las condiciones de operación, características geométricas, posición, variables que participan, y cualquier otra información que resulte de interés.
- 7-¿Por qué se condensan los vahos en el último efecto de una instalación de evaporación, y cómo se hace esta operación en la práctica?

PROBLEMAS DE APLICACION

1- Se requiere diseñar un intercambiador vertical para condensar 5000 Kg/h de vapor de benceno saturado a la presión de 1 atmósfera. El benceno condensado se extraerá del condensador a su temperatura de burbuja. Para la condensación se dispone de agua a 16 °C que se calentará hasta 40 °C. Se deberá hacer un dimensionamiento preliminar usando tubos de ¾" BWG 16 y 12 pies de longitud, consistente con este problema térmico especificando la carcasa, el arreglo de tubos, verificando el coeficiente global de transferencia de calor, la pérdida de carga correspondiente al fluido en tubos y la validez de aplicación del modelo de Nusselt al fluido condensante.

Otros datos:

Se ubicará el agua en el interior de tubos.

Se estimará inicialmente un coeficiente global de transferencia de calor de 400 W/m² K.

2- Se debe calentar una corriente de 10000 Kg/h de una solución de cloruro de calcio al 25% desde 18 °C hasta 93 °C, usando vapor de agua saturado disponible a 5 Kg_f/cm². Se cuenta con tubos 1" BWG 16 de 10 pies de longitud. Hacer un diseño preliminar de un condensador de tubos horizontales consistente con este problema térmico especificando la carcasa, el arreglo de tubos, verificando las pérdidas de carga correspondientes a ambos fluidos, y la validez de aplicación del modelo de Nusselt al fluido condensante.

Otros datos:

Las propiedades de la solución de cloruro de calcio al 25% a temperatura media pueden tomarse como: calor específico 3307 KJ/Kg °C, viscosidad 8.2 E-4 Kg/s m, conductividad térmica 0.579 W/ m °C, y densidad 1200 Kg/m³.

La solución de cloruro de calcio se ubicará en tubos, mientras que el vapor condensará externamente a tubos en un condensador horizontal.

Se estimará inicialmente un coeficiente global de transferencia de calor de 1200 W/ m² °K.

3- Una planta química produce piridina (C₅H₅N) por condensación de aldehídos. Luego de la etapa de reacción y purificación, el producto principal es una corriente de 8500 Kg de piridina en fase vapor por hora, virtualmente pura, a presión de 1 Kg/cm² y temperatura de saturación de 114 °C, que se debe condensar. Especifique un equipo para esta necesidad térmica que tenga tubos ¾" BWG 14 y 4.00 m de longitud, utilizando como fluido de servicio agua disponible a 14 °C que no podrá calentarse a más de 44 °C.

En la tabla del **Anexo I** se presentan datos de propiedades térmicas e hidráulicas de ambos fluidos.

Para realizar los cálculos previos y hacer una primera especificación del equipo que cumplirá tal necesidad térmica, estime el coeficiente global de diseño en 450 W/m² K. Como resistencia de ensuciamiento tome el valor 4 x 10⁻⁴ m² K/ W para el agua y 2 x 10⁻⁴ m² K/ W para la piridina.

Cálculos, decisiones y verificación

- a) Selección del tipo de condensador especificando servicio, orientación del equipo y ubicación de fluidos.
- b) Flujo de calor intercambiado y caudal de agua requerido.
- c) Área de intercambio necesaria y número total de tubos.
- d) Selección y especificación de la carcasa y los tubos, número de pasos y arreglos de tubos. Su selección debe cumplir con que la velocidad del fluido en tubos esté comprendida entre 1.0 y 1.6 m/s y verifique régimen turbulento.
- e) Exceso porcentual que representa el área de intercambio que Ud. especifica respecto del:
 - i. área de diseño calculada,
 - ii. área para el intercambiador limpio.
- f) Verifique el coeficiente global de diseño propuesto y la pérdida de carga para el fluido en tubos.
- g) Verifique la validez de aplicación del modelo de Nusselt al fluido condensante
- h) ¿Cómo haría para que el condensador por Ud. especificado produzca subenfriamiento del condensado? Realice un esquema sencillo.

ANEXO I

Fluido: Agua. Presión 1 atm

Temp °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
10	999.26	4198	12.99 x 10 ⁻⁴	0.5869

15	998.61	4188	11.36×10^{-4}	0.5953
20	997.72	4183	10.02×10^{-4}	0.6034
25	996.60	4178	8.90×10^{-4}	0.6110
30	995.23	4178	7.97×10^{-4}	0.6182
35	993.66	4174	7.18×10^{-4}	0.6251
40	991.90	4174	6.51×10^{-4}	0.6315
45	989.92	4171	5.94×10^{-4}	0.6376
50	987.81	4169	5.44×10^{-4}	0.6432

Fluido: Piridina líquida. Presión 1 Kgf/cm². Calor latente de vaporización: 440.4 KJ/Kg

TEMP °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
40	965.2	1553	7.18×10^{-4}	0.1442
45	960.3	1572	6.71×10^{-4}	0.1429
50	955.4	1590	6.29×10^{-4}	0.1416
55	950.4	1608	5.91×10^{-4}	0.1404
60	945.6	1627	5.55×10^{-4}	0.1391
65	940.4	1646	5.23×10^{-4}	0.1378
70	935.4	1664	4.93×10^{-4}	0.1365
75	930.3	1683	4.66×10^{-4}	0.1352
80	925.2	1702	4.41×10^{-4}	0.1338
85	920.0	1721	4.17×10^{-4}	0.1325
90	914.9	1740	3.95×10^{-4}	0.1312

4- En una planta industrial se debe calentar una corriente de 50000 Kg/h de isopropilbenzeno (IPB, cumeno, C₉H₁₂) desde 12 °C hasta 80 °C antes de ingresar a una etapa de reacción. Especifique un equipo de intercambio de calor adecuado a esta necesidad térmica que cuente con tubos ¾" BWG 16 y 4.00 m de longitud, si se dispone como medio de calefacción vapor de agua saturado a 101.33 KPa.

En la tabla del **Anexo I** se presentan datos de propiedades térmicas e hidráulicas de ambos fluidos.

Para realizar los cálculos previos y hacer una primera especificación del equipo estime el coeficiente global de diseño en 800 W/m² K. Como resistencia de ensuciamiento tome el valor 2×10^{-4} m² K/ W para el vapor de agua y 2×10^{-4} m² K/ W para el isopropilbenzeno.

Cálculos, decisiones y verificación

- Selección del tipo de equipo especificando servicio, orientación del equipo y ubicación de fluidos.
- Flujo de calor intercambiado y consumo de vapor de agua.
- Área de intercambio necesaria y número total de tubos.

- d) Selección y especificación de la carcasa y los tubos, número de pasos y arreglos de tubos. Su selección debe cumplir con que la velocidad del fluido en tubos esté comprendida entre 1.0 y 2.0 m/s y verifique régimen turbulento.
- e) Exceso porcentual que representa el área de intercambio que Ud. especifica respecto del:
 - i. área de diseño calculada,
 - ii. área para el intercambiador limpio.
- f) Verifique el coeficiente global de diseño propuesto y la pérdida de carga para el fluido en tubos.
- g) Verifique la validez de aplicación del modelo de Nusselt al fluido condensante.
- h) Realice un esquema del perfil de temperatura para el equipo especificado.

ANEXO I

Fluido: Isopropilbenceno (IPB, cumeno) líquido. Presión 101.33 KPa.

Temp °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
10	870.58	1686.1	9.17 x 10 ⁻⁴	0.1416
20	862.29	1727.6	7.93 x 10 ⁻⁴	0.1392
30	853.92	1768.8	6.93 x 10 ⁻⁴	0.1369
40	845.47	1809.7	6.11 x 10 ⁻⁴	0.1345
50	836.95	1850.3	5.42 x 10 ⁻⁴	0.1322
60	828.33	1890.6	4.84 x 10 ⁻⁴	0.1299
70	819.61	1930.7	4.35 x 10 ⁻⁴	0.1276
80	810.79	1970.6	3.93 x 10 ⁻⁴	0.1253
90	801.86	2010.4	3.56 x 10 ⁻⁴	0.1230
100	792.81	2050.0	3.24 x 10 ⁻⁴	0.1207

Fluido: Agua (vapor de agua condensado). Presión 101.33 KPa. Calor latente de vaporización: 2256.5 KJ/Kg

TEMP °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
100	947.89	4199.8	2.79 x 10 ⁻⁴	0.6807
99	948.73	4196.1	2.82 x 10 ⁻⁴	0.6803
98	949.57	4195.6	2.85 x 10 ⁻⁴	0.6798
97	950.40	4195.0	2.88 x 10 ⁻⁴	0.6794
96	951.24	4194.4	2.91 x 10 ⁻⁴	0.6789
95	952.08	4193.9	2.94 x 10 ⁻⁴	0.6785
94	952.91	4193.4	2.97 x 10 ⁻⁴	0.6779
93	953.74	4193.0	3.01 x 10 ⁻⁴	0.6775
92	954.57	4192.7	3.04 x 10 ⁻⁴	0.6769
91	955.40	4192.4	3.08 x 10 ⁻⁴	0.6764
90	956.23	4192.2	3.11 x 10 ⁻⁴	0.6759
89	957.05	4192.0	3.15 x 10 ⁻⁴	0.6753

5- A partir de bagazo de caña de azúcar una planta de procesos químicos produce 54000 Kg/h de furfural en fase vapor, virtualmente puro y en condiciones de saturación (50 KPa y 138.3 °C), que por razones de proceso debe disponerse en fase líquida. Como servicio se cuenta con agua a 15 °C que no podrá calentarse a más de 65 °C. Diseñe preliminarmente y especifique un equipo para esta necesidad térmica que disponga tubos de ¾ “BWG 14 y 4.0 m de longitud.

En la tabla del **Anexo I** se presentan datos de propiedades termo-hidráulicas de ambos fluidos.

Para realizar los cálculos previos y hacer una primera especificación del equipo estime el coeficiente global de diseño en 400 W/m² K.

Como resistencia de ensuciamiento se tomará el valor 2×10^{-4} m² K/ W para el agua y 2×10^{-4} m² K/W para el furfural.

Cálculos, decisiones y verificación

- a) Selección del tipo de condensador especificando servicio, orientación del equipo y ubicación de fluidos.
- b) Flujo de calor intercambiado y caudal de agua requerido.
- c) Área de intercambio necesaria y número total de tubos.
- d) Selección y especificación de la carcasa y los tubos, número de pasos y arreglos de tubos. Su selección debe cumplir con que la velocidad del fluido en tubos esté por encima de 1.0 m/s y verifique régimen turbulento.
- e) Exceso porcentual que representa el área de intercambio que Ud. especifica respecto del:
 - i. área de diseño calculada,
 - ii. área para el intercambiador limpio.
- f) Verifique el coeficiente global de diseño propuesto y la pérdida de carga para el fluido en tubos.
- g) Verifique la validez de aplicación del modelo de Nusselt al fluido condensante.
- h) ¿Cómo haría para que el condensador por Ud. especificado produzca subenfriamiento del condensado? Realice un esquema sencillo.
- i) Realice un esquema sencillo de los cabezales de acuerdo con la especificación.

ANEXO I

Fluido: Agua a Presión 100.0 KPa

Temp °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
10	999.26	4148	12.99×10^{-4}	0.5869
15	998.61	4188	11.36×10^{-4}	0.5953
20	997.72	4204	10.02×10^{-4}	0.6034
25	996.60	4202	8.90×10^{-4}	0.6110
30	995.23	4224	7.97×10^{-4}	0.6182
35	993.66	4227	7.18×10^{-4}	0.6251
40	991.90	4227	6.51×10^{-4}	0.6315

45	989.92	4225	5.94×10^{-4}	0.6376
50	987.78	4221	5.44×10^{-4}	0.6432
55	985.45	4216	5.01×10^{-4}	0.6486
60	982.97	4210	4.63×10^{-4}	0.6535
65	980.32	4205	4.30×10^{-4}	0.6581
70	977.53	4200	4.00×10^{-4}	0.6623
75	974.59	4196	3.74×10^{-4}	0.6662

Fluido: Furfural líquido a Presión 50.0 KPa. Calor latente de vaporización: 468.96 KJ/Kg

TEMP °C	DENSIDAD Kg/m ³	C.ESPECIFICO J/Kg K	VISCOSIDAD N.s/m ²	COND.TÉRMICA W/ m K
60	1088.2	1710	11.25×10^{-4}	0.1374
65	1082.7	1723	10.80×10^{-4}	0.1362
70	1077.3	1736	10.37×10^{-4}	0.1351
75	1072.2	1749	9.96×10^{-4}	0.1339
80	1066.1	1763	9.59×10^{-4}	0.1328
85	1060.8	1776	9.23×10^{-4}	0.1316
90	1055.3	1790	8.90×10^{-4}	0.1304
95	1049.7	1803	8.58×10^{-4}	0.1292
100	1044.1	1817	8.28×10^{-4}	0.1281
105	1038.2	1831	7.99×10^{-4}	0.1269
110	1033.4	1845	7.73×10^{-4}	0.1257
115	1027.3	1860	7.48×10^{-4}	0.1245
120	1021.1	1874	7.24×10^{-4}	0.1232

6- Por razones de proceso se debe calentar desde 20 °C hasta 80 °C una corriente de 50 Kg/s de aceite SAE 40. Como medio de calefacción se dispone de vapor de agua a 2 bar. Diseñe preliminarmente y especifique un equipo para esta necesidad térmica que disponga tubos de ¾" BWG 16 y 5.50 m de longitud.

Las propiedades del Aceite SAE 40 dadas a la temperatura promedio correspondiente son: densidad 875.75 Kg/m³, calor específico 1846 J/Kg K, conductividad térmica 0.118 W/ m K, y viscosidad 74.312 cp.