

### Introducción

En el diseño de un intercambiador de calor el coeficiente U de transferencia de calor (unidad de energía/[unidad de tiempo x unidad de área]) indica la habilidad del intercambiador, para transferir el calor de un lado al otro. Un diseño muy utilizado de intercambiador es el de tubos en una carcaza. Por el interior de los tubos circula un fluido destinado a calentar(o enfriar) y por el exterior el otro fluido que se desea calentar(o enfriar). Los tubos pueden ser rectos o doblados en U y el fluido en su interior puede pasar una o múltiples veces de lado a lado. El fluido puede ser líquido o gaseoso(vapor).

El valor inverso del coeficiente (1/U) se interpreta como la resistencia total a la transferencia del calor. Este tiene cinco componentes:

- \* **resistencia del fluido interior**
- \* **resistencia de incrustaciones de pared interna**
- \* **resistencia del metal del tubo**
- \* **resistencia de incrustaciones de pared externa**
- \* **resistencia del fluido exterior**

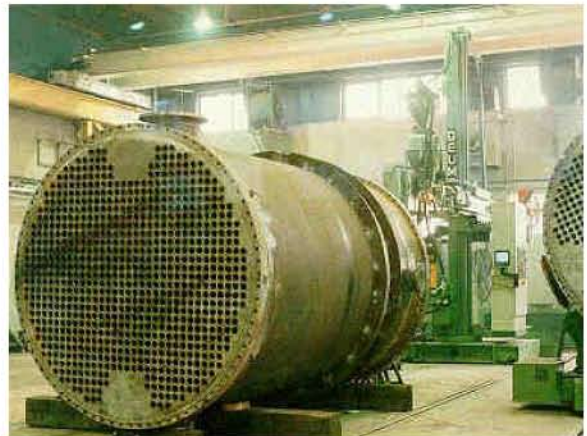
Una vez determinado el espesor de pared mínimo necesario para la presión de trabajo del tubo, el material y las dimensiones se elijen para minimizar las cinco componentes de la resistencia total a la transferencia del calor. Un tubo ideal no produce incrustaciones, permite usar altas velocidades de fluidos y es de un espesor mínimo y de alta conductividad térmica.

En los procesos industriales es también importante en la selección del material, su resistencia a la corrosión causada por la naturaleza de los fluidos en contacto con el tubo, tanto en su interior como exterior.

El material de fabricación del tubo como sus normas de fabricación, son determinantes en el diseño del intercambiador de calor. La composición y tratamiento térmico de los tubos, en su fabricación, determinan su resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas(límite elástico, dureza, % de elongación) y físicas(densidad, conductividad térmica) propiedades necesarias tanto durante su operación como en las etapas de construcción del intercambiador.

Los tubos para intercambiadores de calor deben soportar los cambios y gradientes de temperatura a los que serán expuestos durante su operación, sin fracturarse, deformarse ni corroerse.

El material seleccionado puede ir desde aceros al carbono, aceros inoxidables, aceros especiales y alloys hasta titanio y sus aleaciones, según lo requiera la aplicación.



### ACEROS INOXIDABLES - ACEROS AL CARBONO - VÁLVULAS

Santa Isabel 850, Parque Industrial Valle Grande, Lampa, Santiago  
Fono: +56 2 499 4000 / Fax: +56 2 499 4040

ventas@fastpack.cl    [www.fastpack.cl](http://www.fastpack.cl)    proyectos@fastpack.cl



## NORMAS ASTM

### Metales ferrosos

#### A179

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores, de acero de bajo carbono, sin costura, estirados en frío.

#### A214

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores, de acero carbono, con costura por resistencia eléctrica.

#### A199

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores, de acero aleado intermedio, sin costura, estirados en frío. (discontinuada en 1995, reemplazada por A200)

#### A213

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor, supercalentadores y calderas, de aceros ferríticos y austeníticos, sin costura.

#### A249

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor, condensadores, supercalentadores y calderas, de aceros auteníticos, con costura.

#### A498

Especificaciones estándar para tubos con aletas integradas, para intercambiadores de calor, de aceros cabono, aceros ferríticos y aceros austeníticos, con y sin costura.

### Metales No-ferrosos

#### B163

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores de níquel y aleaciones de níquel, sin costura.

#### B338

Especificaciones estándar para tubos para intercambiadores de calor y condensadores, de titanio y aleaciones de titanio, con y sin costura.

#### B891

Especificaciones estándar para tubos con aletas integradas para intercambiadores de calor y condensadores, de titanio y aleaciones de titanio, con y sin costura.

#### B626

Especificaciones estándar para tubos de níquel y aleaciones de níquel-cobalto, con costura. (para intercambiadores de calor, condensadores, uso corrosivo general y aplicaciones de alta temperatura).



American Society for  
Testing and Materials

### Metales varios

#### B676

Especificaciones estándar para tubos de UNS N08367 (AL6XN), con costura (para uso corrosivo general).

#### A268

Especificaciones estándar para tubos de aceros inoxidables ferríticos y martensíticos, con y sin costura para uso general. (Aplicable a E-Brite = TP-XM27 = UNS S44627)

### Diámetro

La relación área/volumen en un tubo cilíndrico sube al disminuir el diámetro del tubo, lo que aumenta la eficiencia del intercambio de calor. Esto sugiere el uso de tubos del menor diámetro posible. Sin embargo a menor diámetro mayor resistencia al paso de los fluidos y mayor inversión en material. Los tubos para intercambiadores de calor son más bien de diámetro pequeño, que oscila habitualmente, entre 1/8" de diámetro interno y 5" de diámetro externo.

### Espesor de pared

Los espesores utilizados son los menores posibles que permita la presión de trabajo y se expresan habitualmente por su valor BWG(Birmingham wire gauge), que oscila entre 10 y 25.

Conocida la presión interna neta en el tubo, el espesor se calcula de la fórmula de Barlow:

$$S = PD/2t$$

en que S = tensión de ruptura del material en psi(Mpa), P = presión interna en psi(MPa), D = diámetro externo en pulgadas(mm), t = espesor de pared en pulgadas(mm). Se debe considerar un margen de seguridad de 4(el cálculo se realiza para una presión 4 veces superior a la real).

BWG	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
pulg.	0.134	0.120	0.109	0.095	0.083	0.072	0.065	0.058	0.049	0.042	0.035	0.032	0.028	0.025	0.022	0.020
mm	3.40	3.05	2.77	2.41	2.11	1.83	1.65	1.47	1.24	1.07	0.89	0.81	0.71	0.64	0.56	0.51

### Largo

A diferencia de los tubos para otras aplicaciones, los tubos para intercambiadores de calor se ofrecen en largos mayores (un largo estándar puede ser 12.6 o 18 m) y pueden ser ordenados al fabricante de un largo específico. El diseño de intercambiadores con tubos doblados en U exige largos mayores que el diseño con tubos rectos.





## COMPARACION COMPARACION

### Conductividad

Los diferentes metales presentan diferentes conductividades térmicas **K** (BTU/hr pie<sup>2</sup>/ °F/pulgada) que junto a las dimensiones del tubo determinan la resistencia a la transferencia de calor  $r_m$ . Esta resistencia se puede calcular de las relaciones:

$$r_m = w \times d_o / K \times d_m \quad d_m = d_o - d_i / \ln(d_o/d_i) \quad \text{en que}$$

w = espesor de pared (pulgadas)

$d_o$  = diámetro exterior(pulgadas)

$d_i$  = diámetro interior(pulgadas)

K = conductividad térmica(BTU/hr pie<sup>2</sup> / °F/pulgada)

ln = logaritmo natural

A menor valor de  $r_m$  , mayor es la transferencia de calor en el intercambiador.

Metal	Temperatura °C	K (BTU pulg / h °K pie <sup>2</sup> )
304	100	112.8
316	20 - 100	100.8
AL6XN	20 - 100	94.8
2205	20 - 100	132
2507	20	103.2
C-276	93	76.8
Ti Gr2	---	150

**E-Brite** es un acero ferrítico con excelente resistencia al cracking y a la corrosión por picadura, muy popular para tubos intercambiadores de calor, en la industria de refinación de petróleo y química.

**AL6XN** es un alloy austenítico en base a níquel muy resistente a todo tipo de corrosión en ambiente de cloruros(agua de mar) también usado en tubos intercambiadores de calor.

**Carpenter 7-Mo PLUS** es un acero dúplex de alta resistencia a ambientes oxidantes, ambientes cáusticos y medios con cloruros. Es de fácil fabricabilidad.

Es sabido que la conductividad térmica de los aceros inoxidable austeníticos, es inferior a la del acero carbono.

Las aleaciones en base a níquel tienen una conductividad térmica inferior a la de los aceros inoxidable austeníticos. Sin embargo por tener propiedades mecánicas(tensión de ruptura) a veces superiores, se puede utilizar espesores de pared menor, lo que tiende a compensar su menor conductividad térmica.

Cabe destacar la gran ventaja del **titanio** y sus aleaciones. Tiene una conductividad térmica muy superior a la de los aceros inoxidable. Tiene una alta resistencia mecánica y una baja densidad. También posee una bajísima tendencia a las incrustaciones, manteniendo una superficie siempre limpia. Todo esto, junto a su gran resistencia a la corrosión, lo hacen un excelente material para la construcción de intercambiadores de calor en ambientes corrosivos.