Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mar del Plata

Tecnología del Producto Pesquero I

Clase n°7

Contenido calorífico, balance de calor y mecanismos de transferencia de calor

BALANCE DE ENERGÍA

1er principio de la termodinámica. :Ley de conservación de la energía.

- $\Delta E = Q - W$

2do principio de la termodinámica: La cantidad de entropía del universo tiende a incrementarse en el tiempo.Este principio establece la irreversibilidad de los fenómenos físicos, especialmente durante el intercambio de calor.

- $\Delta H = Q - \int V.dP$

Si el proceso se realiza a presión constante $\mathrm{d}P = 0$

- $\Delta H = H_2 - H_1 = Q$
- A partir de esta ecuación, el cambio entálpico se denomina simplemente Contenido Calorífico.

Propiedades Térmicas de los Alimentos

- *Calor específico:* $c_p = \frac{Q}{m.\Delta T} \left[\frac{kJ}{kg.ºC}\right]$

Es la cantidad de calor ganada o perdida por la unidad de masa del producto, para cambiar un grado centígrado la temperatura sin realizar cambios de estado.

- Conductividad térmica: $k = \frac{J}{seg.m.ºC} = \frac{W}{m.ºC}$

Esta propiedad es una medida de la cantidad de calor que se conduce por unidad de tiempo a través de una unidad de espesor del material si existe un gradiente de temperatura a través de ese espesor.

En los balances de energía se pueden presentar dos casos:

1. *Calentamiento o enfriamiento sin cambio de fase a presión constante*

2. *Calentamiento o enfriamiento con cambio de fase a presión constante*

Diagrama de cambio de fases

1. Sin cambio de fase

$$\Delta H = H_2 - H_1 = Q = m.c_p.\int_1^2 dT$$

$$\boxed{\Delta H = m.c_p\,(T_2 - T_1)}$$

2. Con cambio de fase

- *Si se suministra o elimina calor latente asociado a un cambio de fase, la temperatura permanece constante. Por ejemplo, cuando el hielo se funde, se requiere suministrar calor latente de fusión.*

$$\Delta H_{total} = Q = m.\lambda_{cambio\ de\ fase}$$

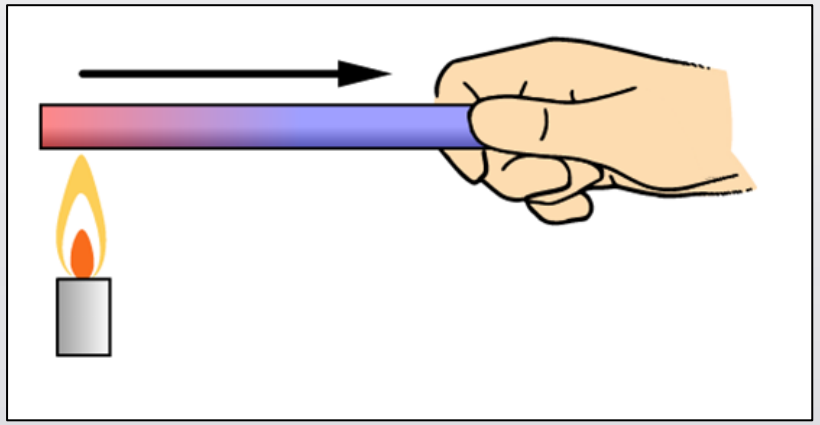
Mecanismos de Transmisión de Calor

- Aunque el cálculo del contenido calorífico resulta importante desde el punto de vista práctico, todavía lo es más conocer cómo se transmite el calor de un objeto a otro.

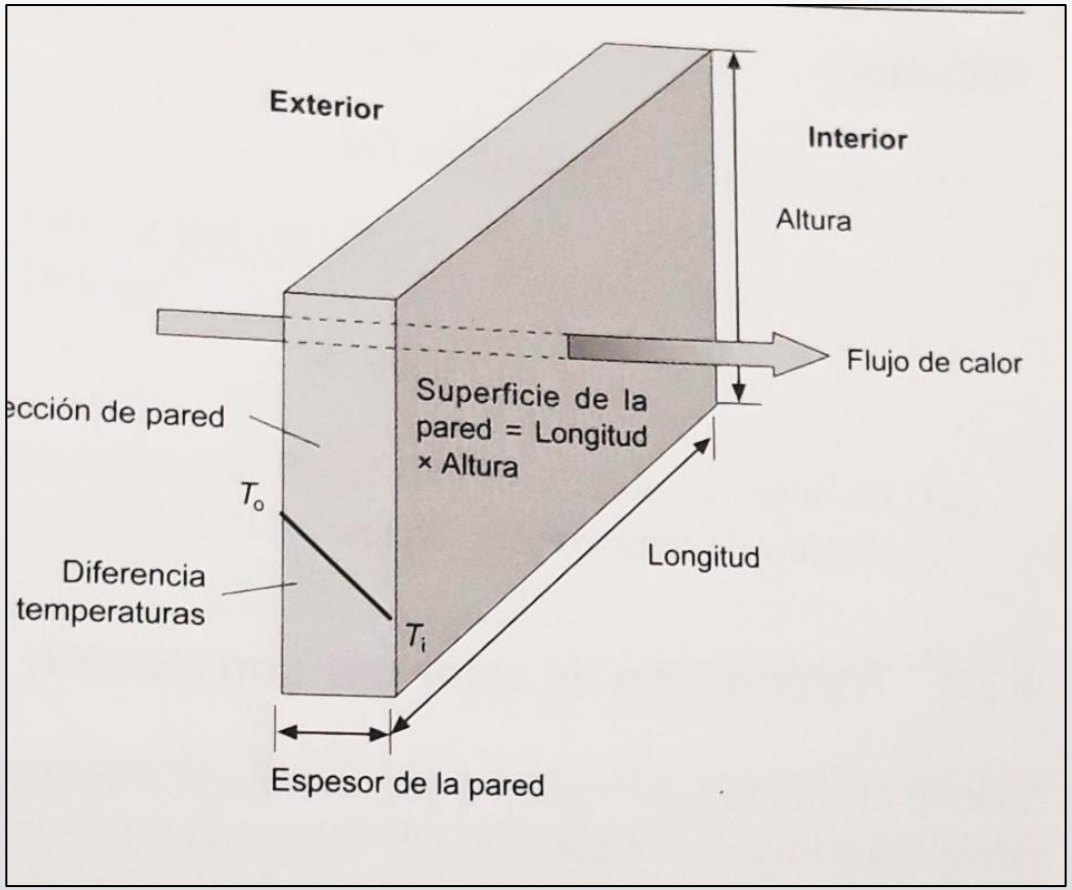
- Por lo tanto el objetivo de los cálculos de calentamiento/enfriamiento es doble: por un lado calcular la cantidad de calor transmitido expresado en julios **(J)** y por otro calcular la velocidad de transmisión de calor expresada en julios/seg **(J/s)** ó watios **(W).**

I) Transmisión de Calor por Conducción

- *Es el mecanismo de transmisión de calor en el cual la transmisión de energía tiene lugar a nivel molecular.*
- *En este tipo de transmisión de calor no existe movimiento físico del mismo.*
- *Se trata del mecanismo habitual en el calentamiento y enfriamiento de sólidos opacos.*



Transmisión de calor por conducción



Transmisión de Calor por Conducción

La velocidad de transmisión de calor a través de una superficie puede expresarse como:

$$q \propto \frac{(superficie)(diferencia\ de\ temperatura)}{(espesor\ de\ la\ pared)}$$

$$q_x \propto \frac{A\,.\,dT}{dx}$$

Introduciendo la constante de proporcionalidad

$$q_x = -k.A.\frac{dT}{dx}$$

La ecuación anterior se denomina ecuación de FOURIER, y en ella:

qx = flujo de calor en la dirección de la transmisión

(W).

k = conductividad térmica (W/m . °C).

A = área normal a la dirección de la transmisión

(m^2).

T = temperaturas (°C).

x = longitud (m).

Resolución de la ecuación de Fourier para el caso de una lámina rectangular en estado estacionario

- *Integrando la ecuación de Fourier con las condiciones de contorno:*

$$en \quad x = x_1 \quad T = T_1$$

$$en \quad x = x_2 \quad T = T_2$$

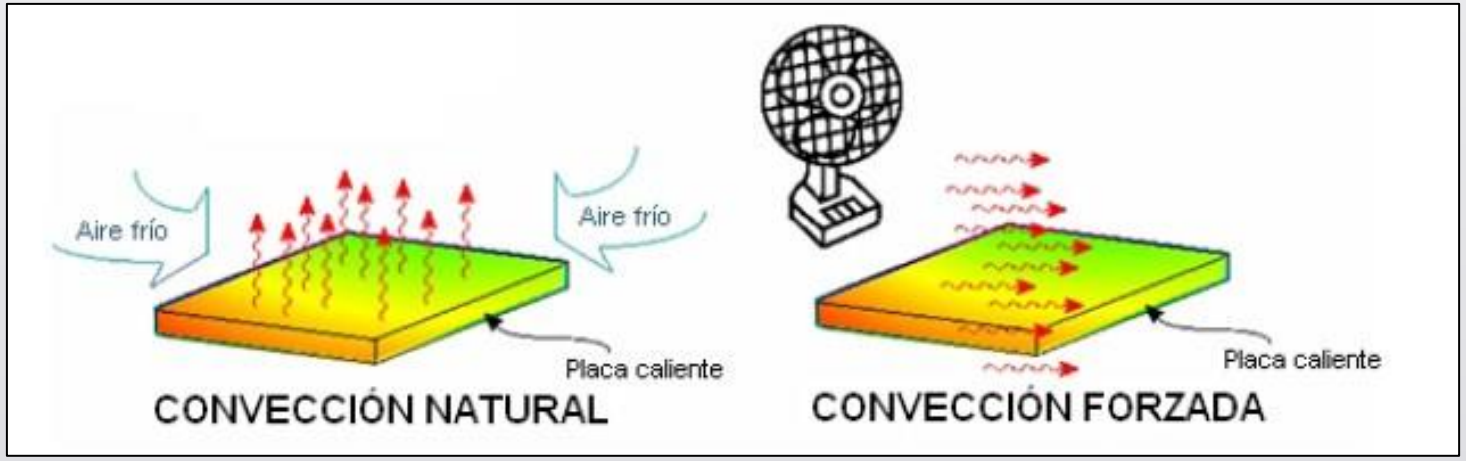
Resolviendo $$\boldsymbol{q_x = -k.A.\frac{(T_2 - T_1)}{(x_2 - x_1)}}$$

Y reordenando $T_2 = T_1 - \frac{q_x}{k.A}(x_2 - x_1)$ *es decir:*

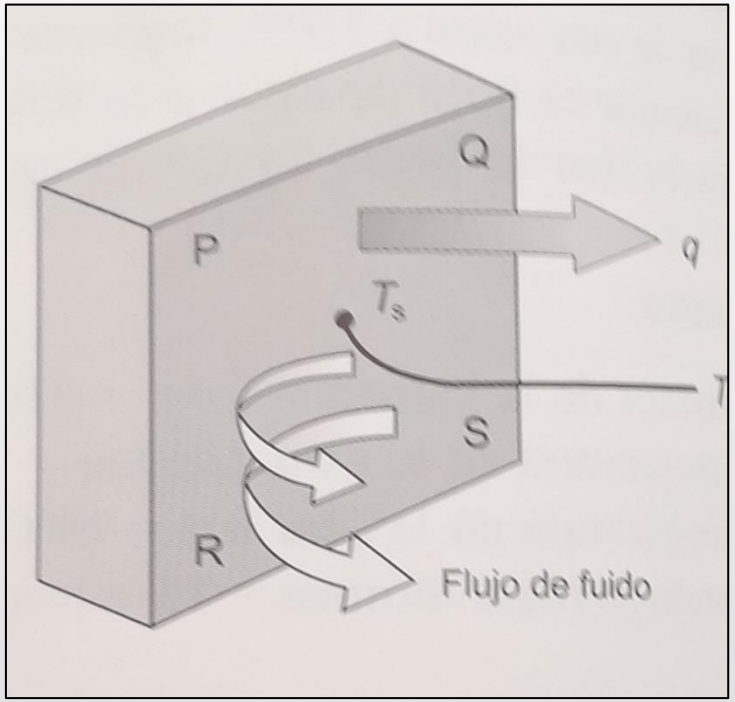
- *De acuerdo a los datos puedo calcular el flujo de calor "q" o la temperatura en un lado de la pared.*

Transmisión de calor por convección

- *Cuando un fluido, sea un líquido o un gas, entra en contacto con un sólido tal como cualquier superficie, tiene lugar un intercambio de calor entre el sólido y el fluido, siempre que exista una diferencia de temperaturas entre ambos.*
- *El intercambio de calor entre un sólido y un líquido o un gas, debido a las corrientes de fluido, se denomina intercambio de calor por convección.*



I) Transmisión de calor por convección



Transmisión de Calor por Convección

$$q \propto A\,(T_s - T_\infty)$$

$$q = h.A.(T_s - T_\infty)$$

h = coeficiente de transferencia de calor por convección (coeficiente superficial $(W/m^2.\,º\,C)$.

A = área de transferencia (m^2).

T_s y T_∞ son las temperaturas en la superficie del sólido y en el seno del fluido respectivamente.

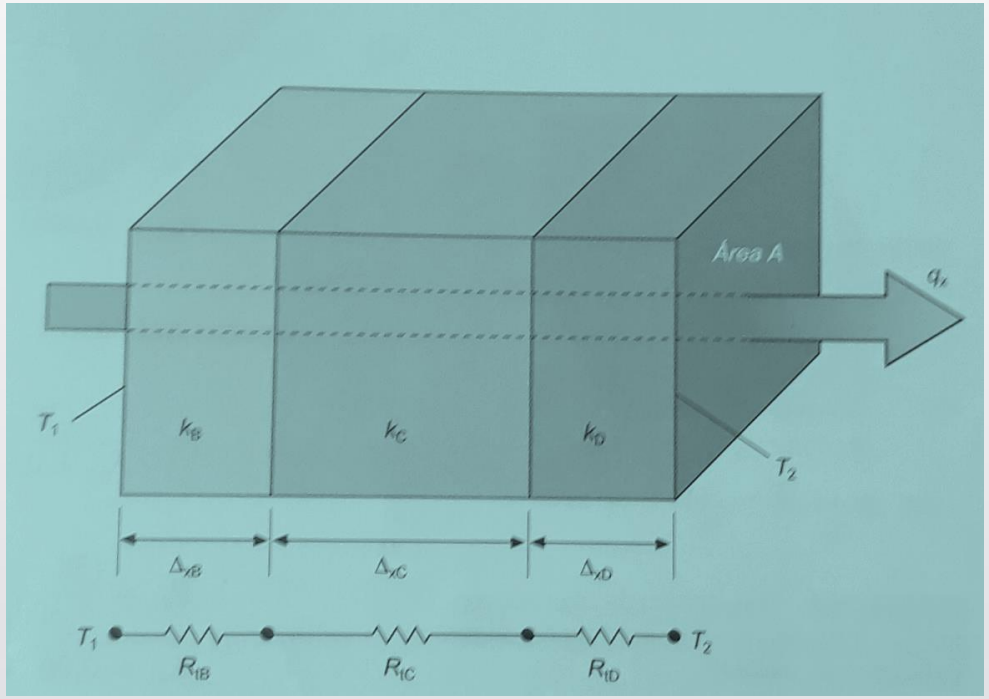
Nótese que "h" no es una propiedad del material sólido, sino que por el contrario depende de las propiedades del fluido.

Concepto de RESISTENCIA TÉRMICA

Equivalente al concepto de resistencia eléctrica

- *En electricidad:* $I(intensidad\ de\ corriente\ ) = \frac{E\ (diferencia\ de\ potencial)}{R\ (resistencia\ eléctrica)}$
- *En conducción de calor:* $q_x = -k.\ A.\frac{\Delta T}{\Delta X} = A.\frac{(T_1 - T_2)(diferencia\ de\ temperatura)}{\frac{\Delta x}{k}\ (resistencia\ térmica)}$
- *En convección de calor:* $q = h.A.\Delta T = A.\frac{\Delta T\ (diferencia\ de\ temperatuda)}{\frac{1}{h}(resistencia\ térmica)}$
- *Generalizando :* $q = U.A.\Delta T = A.\frac{\Delta T\ (diferencia\ de\ temperatura)}{\frac{1}{U}(resistencia\ térmica)}$
- *U = Coeficiente global de transferencia de calor. Unidades* $\left(\frac{W}{m^2.ºC}\right)$

Conducción en sistemas multicapa



Transmisión de calor por conducción en sistemas multicapa

Pared rectangular compuesta por tres capas (en serie)

- *Integrando la ecuación de Fourier para cada una de las capas, resolviendo y reescribiendo en términos de la resistencia térmica:*

$$q = \frac{A\,(T_2 - T_1)}{\frac{\Delta x_b}{k_b} + \frac{\Delta x_c}{k_c} + \frac{\Delta x_d}{k_d}}$$

- *Donde:* ΔT_i *es la diferencia de temperatura a uno y otro lado de la pared compuesta y* Δx_i *y* k_i *son el espesor y la conductividad térmica de cada una de las capas respectivamente.*

Resistencias en serie combinadas de convección y conducción

$$q_x = U * A * \Delta T = A * \frac{\Delta T}{\frac{1}{U}}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_i}$$

Cantidad de hielo necesaria

La cantidad de hielo necesaria para aprovisionar un buque o prever el funcionamiento de una cámara de fresco depende de dos factores:

1. *La cantidad de hielo necesaria para llevar el pescado de la temperatura de captura a 0ºC.*
2. *La cantidad de hielo para compensar las pérdidas por convección y conducción desde la salida del buque hasta su llegada.*

Cálculo de la cantidad de hielo necesaria para enfriar y mantener el pescado a 0ºC

- *Cantidad de hielo necesaria para enfriar el pescado.*

$$Mh = Mp.Cpe / \lambda\ (Tp - Tf)$$

- *Cantidad de hielo para reponer pérdidas*

$$Mo - Mt = K\ .\ t$$

$$K(kg/día) = 0.22\ Te\ (ºC)$$

1 – Cantidad de hielo necesaria para llevar el pescado a 0ºC

- *En una mezcla hielo pescado, el calor cedido por el pescado al enfriarse es igual al calor absorbido por el hielo para fundirse:*

$$|Q_p| = |Q_h|$$

- *Suponiendo que tenemos hielo a la temperatura de fusión queda:*

$$|Q_p| = m_p . c_{pp} . (T_i - T_f)$$

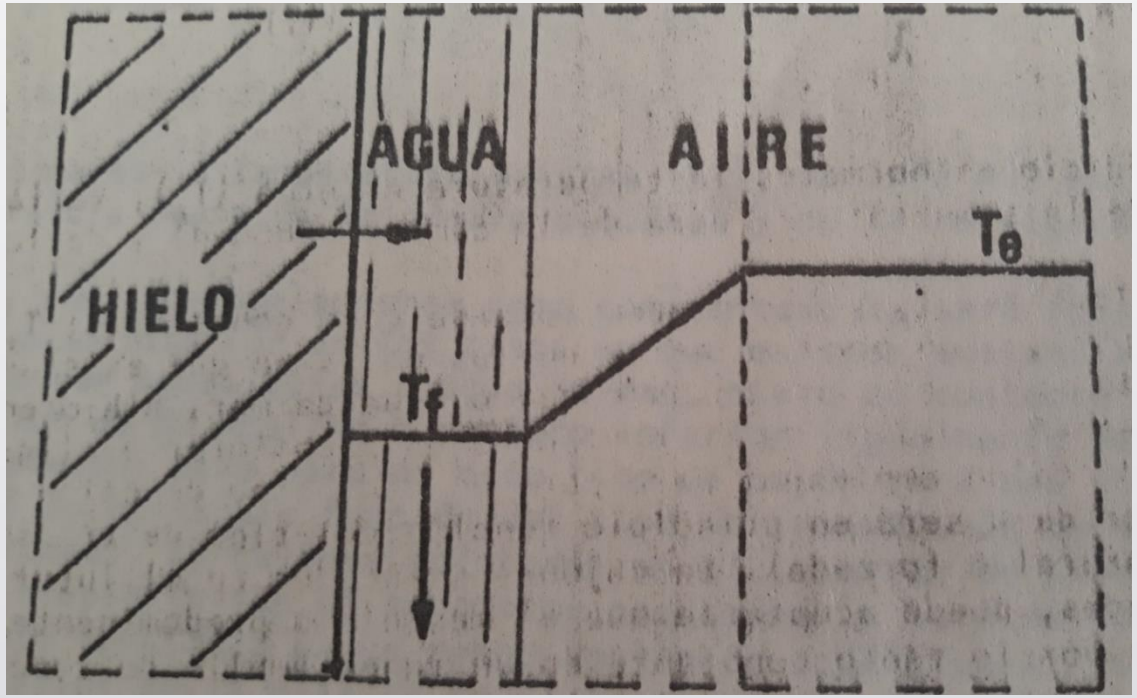
$$|Q_h| = m_h . \lambda_{fusión}$$

- *Igualando las dos ecuaciones, despejando m_h y considerando que T_f es igual a 0ºC tenemos:*

$$\boldsymbol{m_h = \frac{m_p . c_{pp} . T_i}{\lambda_{fusión}}}$$

Cálculo de la cantidad de hielo necesaria para compensar pérdidas en cámaras y bodegas

Modelo Físico



Flujo de calor en la interfase aire hielo

- *En función de lo visto en transferencia de calor por convección:*

$$q_t = h.A.(T_f - T_e)$$

- *Donde:*

q_t *es la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo desde el medioambiente al hielo.*

A *es el área de transferencia*

h *coeficiente de transferencia de calor por convección*

T_f *temperatura del agua de fusión*

T_e *temperatura del aire circundante*

Balance de calor para el hielo

Ese calor transmitido, dará lugar a una velocidad de fusión del hielo que podrá expresarse como:

$$q_{fusión} = \frac{dM_h}{dt} * \lambda_{fusión}$$

Donde:

- $M_h = masa\ de\ hielo\ total$
- $t = tiempo$
- $\lambda_{fusión} = calor\ latente\ de\ fusión$
- $q_f = calor\ de\ fusión\ por\ unidad\ de\ tiempo$

Teniendo en cuenta que $q_t = q_f$ *queda :*

$$\frac{dM_h}{dt} * \lambda_{fusión} = h.A.(T_f - T_e)$$

Integrando $\int_{M_0}^{M_h} dM_h = \frac{h.A.(T_f - T_e)}{\lambda_{fusión}} \int_0^t dt$

Donde M_0 *es la masa inicial de hielo. Resolviendo la ecuación queda:*

Solución de la ecuación

$$M_h - M_0 = \frac{h.A.(T_f - T_e)}{\lambda_{fusión}} * t$$

$$M_h = M_0 - \frac{h.A.(T_e - T_f)}{\lambda_{fusión}} * t$$

$$\frac{h.A.(T_e - T_f)}{\lambda_{fusión}} = K \qquad \text{ó} \qquad M_h = M_0 - K.t$$

Cálculo de la cantidad de hielo necesaria para compensar pérdidas en cámaras y bodegas

Si $T_f = 0ºc$ *entonces* $K = \frac{h.A}{\lambda_{fusión}} T_e$ *con K =* $\left[\frac{kg\ de\ hielo}{día.cajón}\right]$

Graficando K vs. T_e *obtendremos una recta de pendiente* $\frac{h.A}{\lambda_{fusión}}$

De donde se obtiene

$$K = 0{,}22.\ T_e$$