

Curso Online

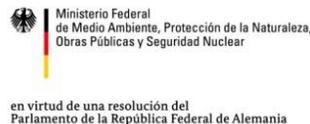
Eficiencia Energética en el Sector Agroalimentario

Módulo 4: Energía Térmica -
Conceptos y Aplicaciones

Dictado por: Erwin Plett
Ingeniero Civil Químico
Doctor en Ingeniería Proc. de Alimentos
Director de Alfa Lux Ingeniería SpA



Con el apoyo de:



Deutsch-Chilenische
Industrie- und Handelskammer
Cámara Chileno-Alemana
de Comercio e Industria-CAMCHAL



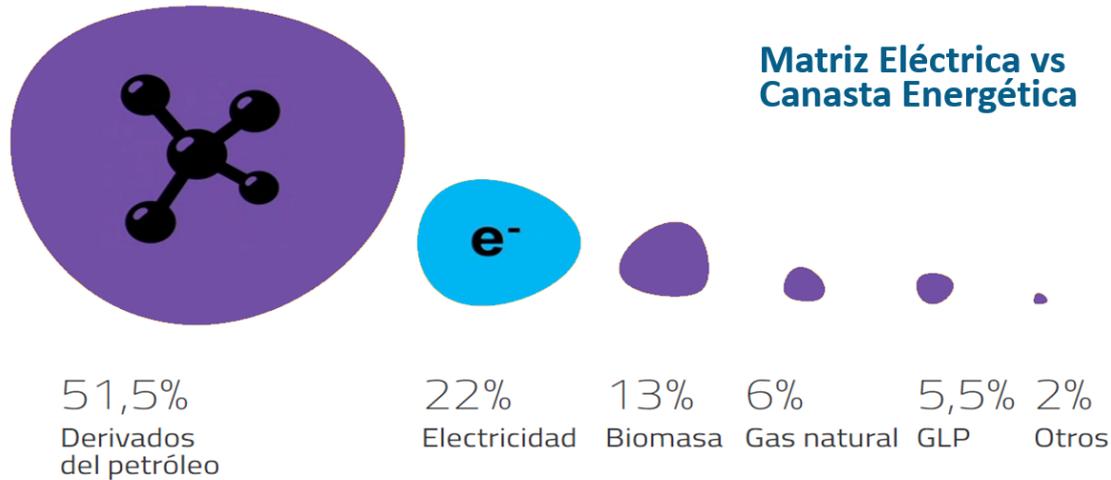
Contenido

Módulo 4: La Energía Térmica – Conceptos y Aplicaciones

- 1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria
- 2) Transformación de Energía Química en Calórica:
Combustibles - Combustión
- 3) Calor Latente y Sensible
- 4) Mecanismos de Transferencia de Calor
- 5) Materiales Conductores y Aislantes

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

¿Cuánta electricidad usamos en Chile?



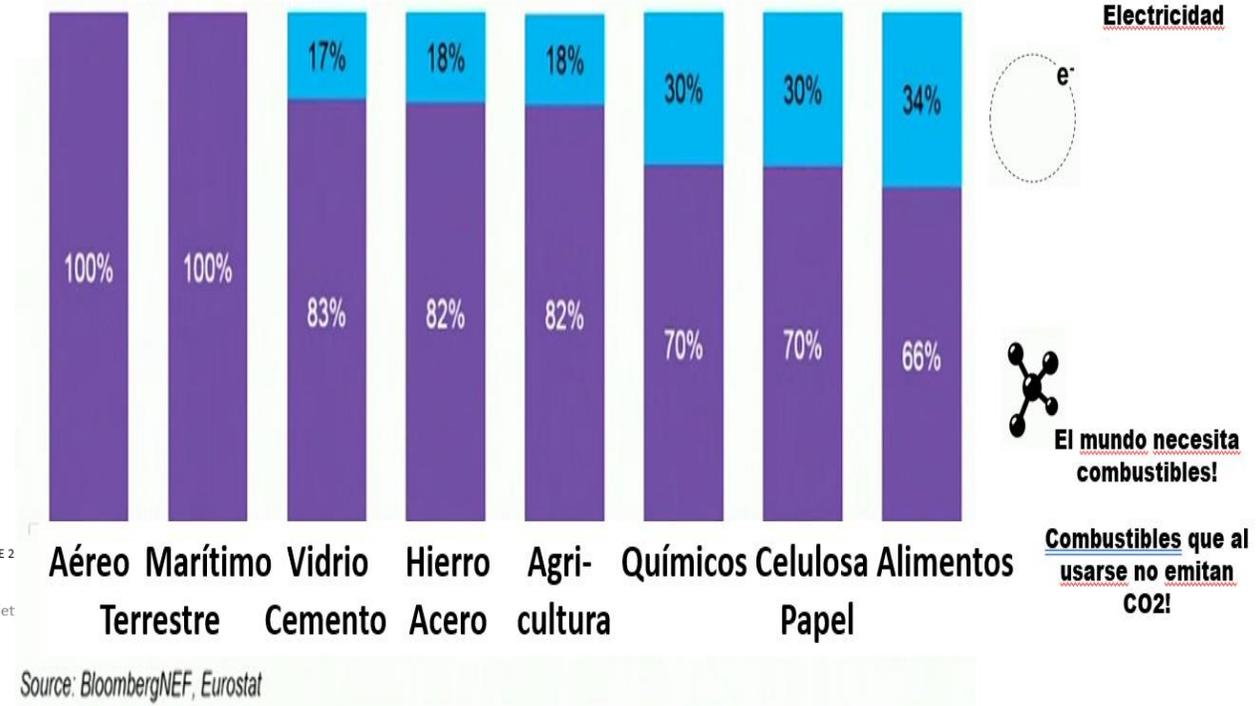
01-09-2021

Consumo Final de Energía en Chile Global (2017)

Fuente: BNE 2

Dr.-Ing. Erwin Plet

Consumo Final de Energía en Europa por Sector (2015)



1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

Los procesos que intervienen en la industria agroalimentaria se pueden organizar bajo el concepto de

- OPERACIONES UNITARIAS como por ejemplo
 - Secado, congelación, cocción, fermentación, evaporación, mezclado, filtración, lavado, homogeneización, pasteurización, envasado, etc.
- En ellas hay procesos mecánicos, químicos (bioquímicos) y térmicos
- La temperatura a la que ocurren estos procesos determina la cinética, es decir la velocidad, y con ello el tiempo que demoran los procesos
- Se utilizan una serie de aparatos para generar y transferir energía térmica a los insumos, productos y a los recintos agroindustriales

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

- Algunas operaciones unitarias térmicas frecuentes
 - Cocción/escaldado con uso directo de vapor/agua:
 - Ej.: Jamón cocido
 - Calentamiento con uso indirecto de vapor/agua:
 - Ej.: Pasteurización de leche
 - Procesos de refrigeración a media temperatura
 - Ej.-: Cámaras conservación y salas de trabajo
 - Procesos de refrigeración a baja temperatura
 - Ej.-: Cámaras congelados
 - Procesos de refrigeración rápida
 - Ej.-: Túneles de refrigeración
 - Secado y deshidratación
 - Ej.: Deshidratación de frutas
 - Limpieza y lavado
 - Ej.: Botellas, recipientes, zonas de trabajo
 - Evaporación, destilación
 - Termocontracción de envases

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

1.1 Pasteurización

– Objetivo

- Proceso de calentamiento para eliminar cualquier agente patógeno peligroso en la leche, las bebidas de frutas, productos cárnicos y otros alimentos. La pasteurización inactiva ciertos microorganismos, bacterias y enzimas presentes en los alimentos.

– Campo de aplicación

- Principalmente industrias del sector lácteo, cervecero, zumos de frutas, verduras y carnes

– Descripción

- Normalmente se produce mediante cambiador de calor (ej. placas). El rango de temperaturas de la pasteurización comúnmente va desde los 62°C hasta 90°C, y los tiempos de pasteurización son de algunos minutos.

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

1.2 Cocción, maceración y escaldado

– Objetivo

- La cocción permite el desarrollo de las características sensoriales (color, sabor, estructura, textura, etc.), la estabilización microbiológica del producto y limitar los efectos de una cocción excesiva (mermas, degradación de las características organolépticas).
- El escaldado permite reblandecer la epidermis para facilitar la extracción del pelo o bien para la limpieza de la propia piel (en caso de que no se extraiga)

– Campo de aplicación

- Principalmente industrias del sector cárnico

– Descripción

- Los hornos de vapor realizan un calentamiento uniforme, por ejemplo mediante inyección de vapor saturado
- El escaldado se realiza mediante inmersión en agua muy caliente (80°C), por aspersión o mediante vapor

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

1.3 Cámaras de conservación y salas de trabajo

– Objetivo

- El uso de refrigeración permite la conservación de alimentos y su principal ventaja reside en que permite ralentizar la actividad de microorganismos patógenos en alimentos y alargar su vida útil.

– Campo de aplicación

- Industrias de carne, pescados, huevos o frutas

– Descripción

- La temperatura de frío se mantiene entre 15°C y -5°C. Si se desea evitar que los microorganismos comiencen a multiplicarse, se mantiene por debajo de los 8°C.
- El alimento deberá conservarse durante el tiempo preciso y no alargarlo ya que la humedad favorece la proliferación de hongos y bacterias

1) Aplicaciones de Energía Térmica en la Agroindustria

1.4 Limpieza, lavado y desinfección

– Objetivo

- Procesos de eliminación de sustancias indeseables de los productos o de superficies involucradas en los procesos de producción. Se puede dividir en tres subsectores: 1) Limpieza de recipientes y botellas, 2) lavado de productos y 3) limpieza de los equipos y naves de producción

– Campo de aplicación

- Lácteos, cárnicos, bebidas, bodegas, frutas y verduras, etc.

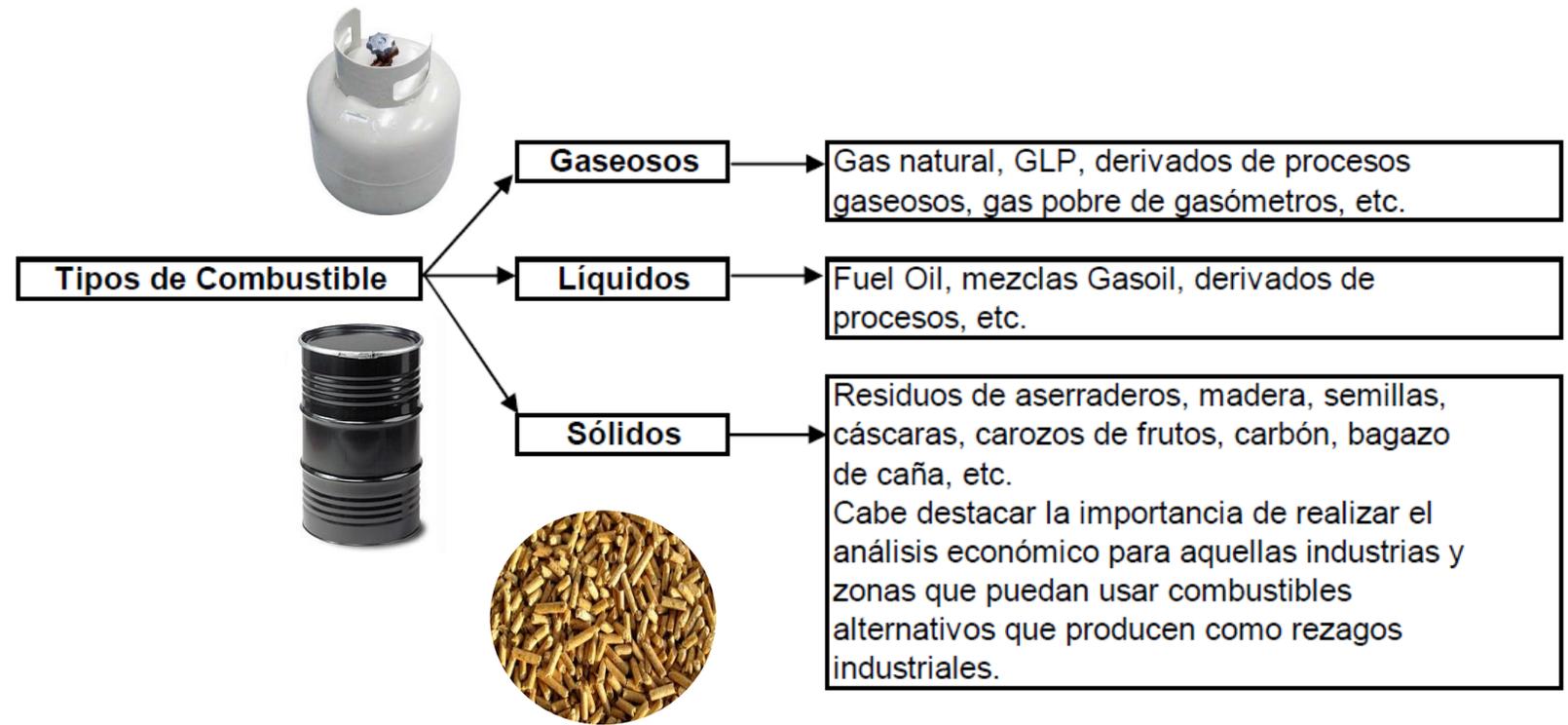
– Descripción

- Eliminación y separación de componentes no deseados de los alimentos de forma que la superficie de éstos esté en condiciones adecuadas para su posterior procesamiento. También se usa para minimizar la carga microbiológica de los envases reutilizables, equipos y naves de producción de acuerdo con las normas de seguridad, higiene y salud. Normalmente se realiza a temperaturas inferiores a 90°C, pero es posible que se utilicen generadores de vapor.

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

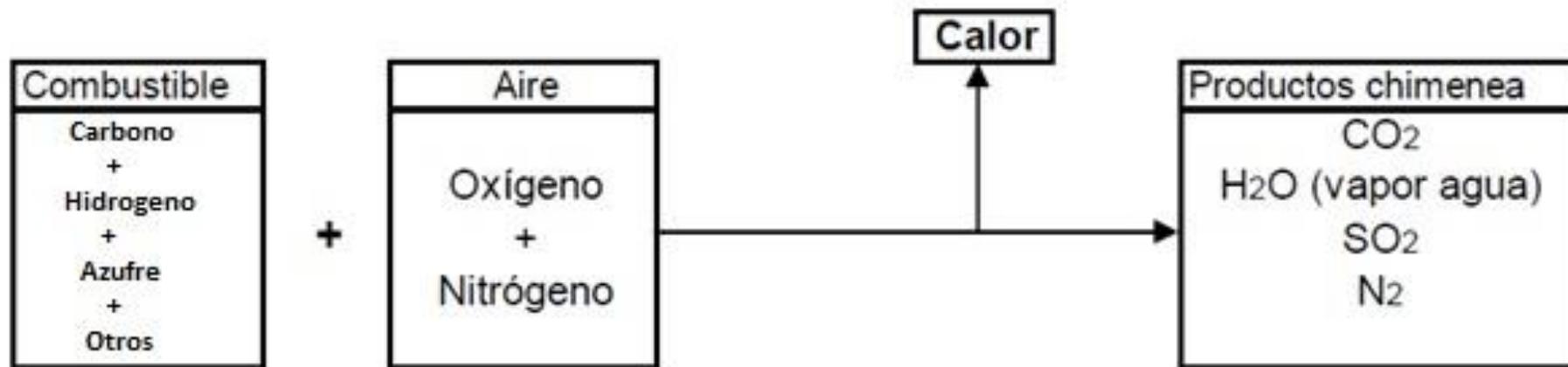
Los **combustibles** son productos orgánicos de origen natural. Sus componentes principales son el carbono y el hidrógeno.

Fundamentos conceptuales en combustión



2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

Para que ocurra **combustión** deben presentarse 3 componentes básicos: combustible, comburente y calor.



La reacción de estos componentes genera calor (energía térmica) y productos de desecho (pérdidas térmicas y emisiones)

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

LIBERACIÓN DE ENERGÍA EN LA COMBUSTIÓN

- En general los combustibles están compuestos principalmente por hidrógeno (H), carbono (C) y azufre (S).
- Cada uno de estos compuestos reacciona con oxígeno (O):



$2\text{H} + 1/2\text{O}_2$	→	$\text{H}_2\text{O} + \text{CALOR}$
Hidrógeno + Oxígeno	→	Vapor de Agua
$\text{C} + \text{O}_2$	→	$\text{CO}_2 + \text{CALOR}$
Carbono + Oxígeno	→	Dióxido de Carbono
$\text{S} + \text{O}_2$	→	$\text{SO}_2 + \text{CALOR}$
Azufre + Oxígeno	→	Dióxido de Azufre

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

PODER CALORÍFICO DE LOS COMBUSTIBLES

Poder Calorífico es la energía térmica liberada (calor) por el combustible cuando ocurre la combustión.

Se expresa de diversas maneras según la unidad de referencia, como por ejemplo:

- kilo Joule / kilogramo de combustible [kJ/kg]
- kilo Joule / litro de combustible
- kilo Joule / m³ de combustible

Poder Calorífico Inferior (PCI) : no contabiliza el calor del agua formada en la combustión, la cual está en fase gaseosa y se disipa con los gases de escape.

Poder Calorífico Superior (PCS) : se obtiene en ensayos de laboratorio, cuando toda el agua formada en la combustión se condensa recuperando su calor latente.

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

El **poder calorífico** característico de los distintos combustibles utilizados en la industria están expresados en la siguiente tabla:

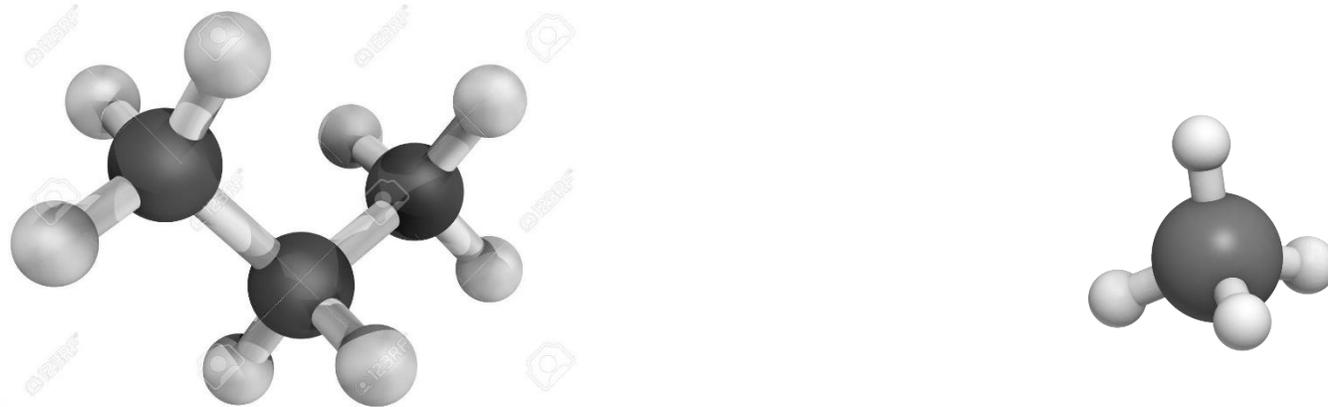
Poderes Caloríficos	
Combustible	Poder Calorífico Inferior
	[kcal/kg]
Petróleo Combustible 6	9.550
Gas Licuado	11.400
Gasolina Automóviles	11.200
Kerosene	11.100
Diésel	10.170
Gas Natural	11.125
Leña Pino	4.160
Carbón Bituminoso	5.871

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

Pregunta 4.1

En una caldera que quema actualmente 100 [kg/h] de **gas licuado, GLP**, mayoritariamente **propano, C_3H_8** , con un poder calorífico de 11.400 [kcal/kg] se quiere cambiar a **gas natural GN**, mayoritariamente **metano, CH_4** , con un poder calorífico de 11.125 [kcal/kg]

¿Cómo cambia el flujo másico y el flujo volumétrico?



2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión

**CALDERAS INDUSTRIALES PARA GENERACIÓN TÉRMICA
A COMBUSTIBLE LÍQUIDO / GASEOSO**



**Caldera Industrial de
vapor/fluido térmico**

Babcock Wanson 3000 kW



Caldera Industrial para generación de vapor

HURST Boilers & Welding Company

400 BHP (34,5 lb/h @ 212 °F ~ 300 kW)

2) Transformación de Energía Química en Calórica: Combustibles - Combustión



Calderas a Biomasa



Deshidratador

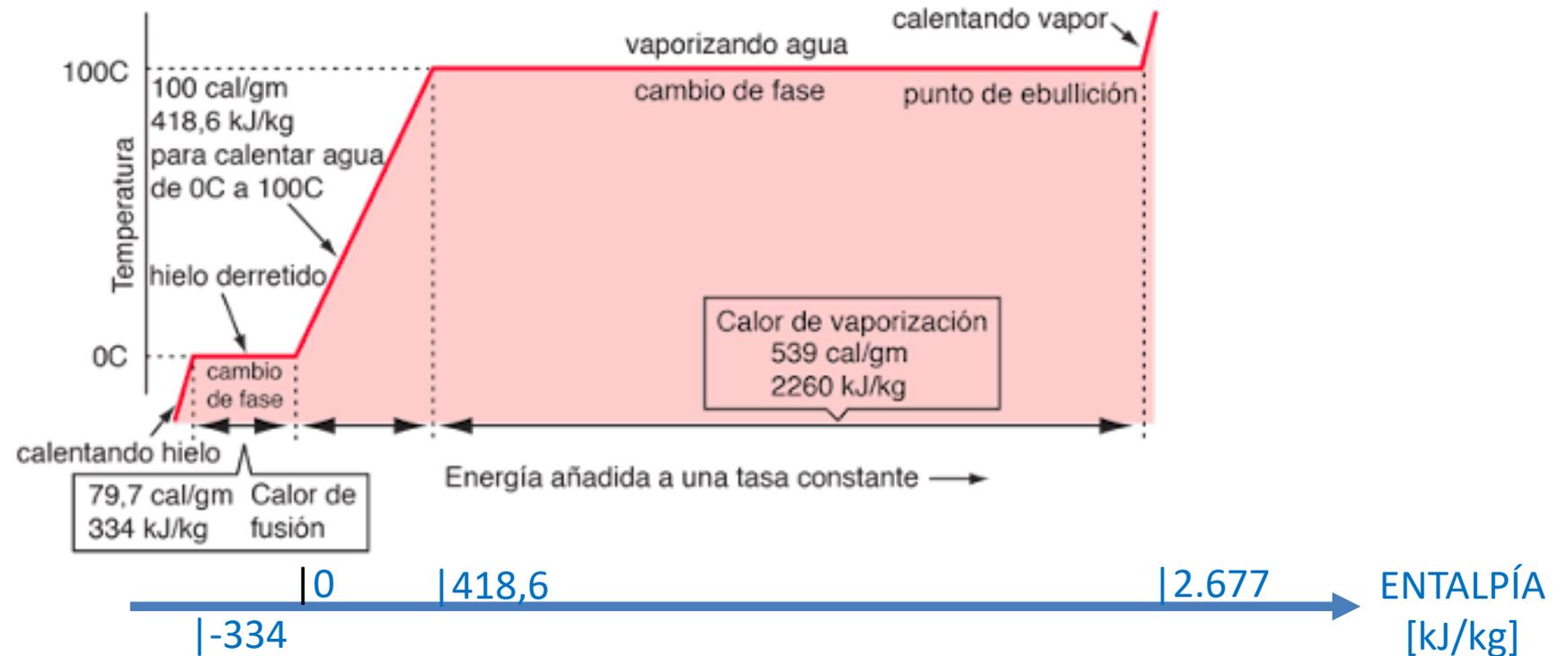


Motogeneradores

3) Calor Latente y Sensible

Calor Latente: es la energía térmica que tiene un cuerpo sin cambiar su temperatura. El calor sirve para cambiar su fase, su estado de agregación como la fusión del hielo, el calor de vaporización

Calor Sensible: es la energía térmica que produce un cambio de temperatura al tener un estado de agregación constante sólido, líquido o gaseoso. La temperatura se da según su capacidad calórica C_p



4) Mecanismos de Transferencia de Calor

- Transporte de calor en régimen estacionario
 - Régimen estacionario después de "start up" y antes del "shut down".
- Transporte de calor en regimen transitorio, no estacionario
 - Cambios temporales:
transporte de calor como una función dependiente del tiempo
En la industria alimentaria se deben limpiar todos los equipos en forma rutinaria por "fouling" (higiene, reinfeción, materia extraña) y por cambio de producto.
 - Remedio: Cleaning in Place, **CIP**, Cleaning Out of Place, **COP**

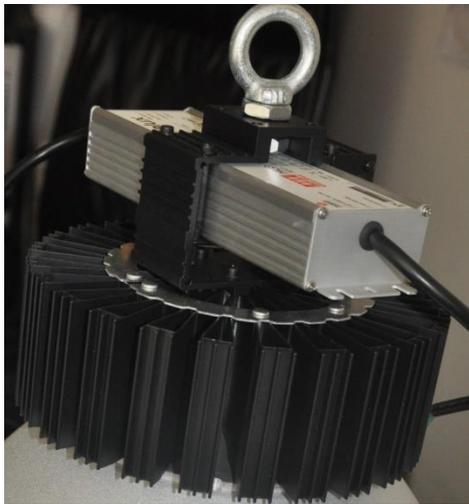
Atención
con
regímenes
transitorios
necesarios

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

- **4.1 Conducción**
- **4.2 Convección**
- **4.3 Radiación**

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

4.1 Transporte de Calor por Conducción



- Transporte de calor en sólidos
- Impulsado por la diferencia de temperaturas
- Parámetros influyentes:
 - Características térmicas del medio
 - (Presión)
 - Temperatura
 - Estado (fase)
 - Densidad
- Parámetros para el cálculo:
 - Conductividad térmica [W/mK]
 - Superficie de transmisión
 - Diferencia de temperatura

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

4.2 Transporte de Calor por Convección

- Basado en el movimiento macroscópico en medio fluido
- Igualación de temperaturas de las fases (medio y barrera)
- **Convección Natural:** Impulsada por la diferencia de densidad que provoca la diferencia de temperatura entre el medio que fluye y la capa límite o frontera
- **Convección Forzada:** Impulsada por el trabajo de bombas, ventiladores, etc.
- Parámetros influyentes:
 - Turbulencia: alta → aumento de la convección (# Reynolds)
 - Propiedades del medio (# de Prandtl)
- Parámetros para el cálculo
 - Coeficiente de transferencia de calor [W/m²K]
 - Superficie de transmisión
 - Diferencia de temperaturas

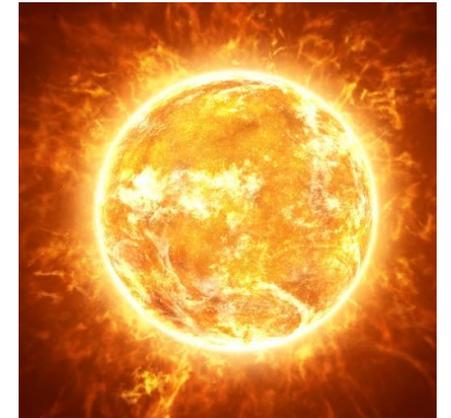
4) Mecanismos de Transferencia de Calor

- Al contrario de la conducción y la convección, este mecanismo no está vinculado a elementos o materiales calor-transportadores

4.3

Trasmisión de Calor por Radiación

- Impulsado por la diferencia de temperatura entre dos objetos
- Parámetros para el cálculo
 - Coeficiente de emisión
 - Superficie de emisión
 - Diferencia de temperaturas (T^3 a la tercera potencia)



4) Máquinas transmisoras de calor

"Para ser económicas tienen que ser eficientes, lo barato sale caro"

- Transporte directo de calor
 - Se mezclan fases fluidas con distintos niveles de temperatura
 - Ejemplo: mezcla de concentrado caliente con agua fría
- Transporte indirecto de calor
 - A través de un pared intermedia
- Tipos de intercambiadores de calor
 - Cambiador de haz de tubos (tubo y carcaza)
 - Serpentes de refrigeración
 - Cambiador de placas
 - Cambiador / Evaporizador de película fina
 - Etc.

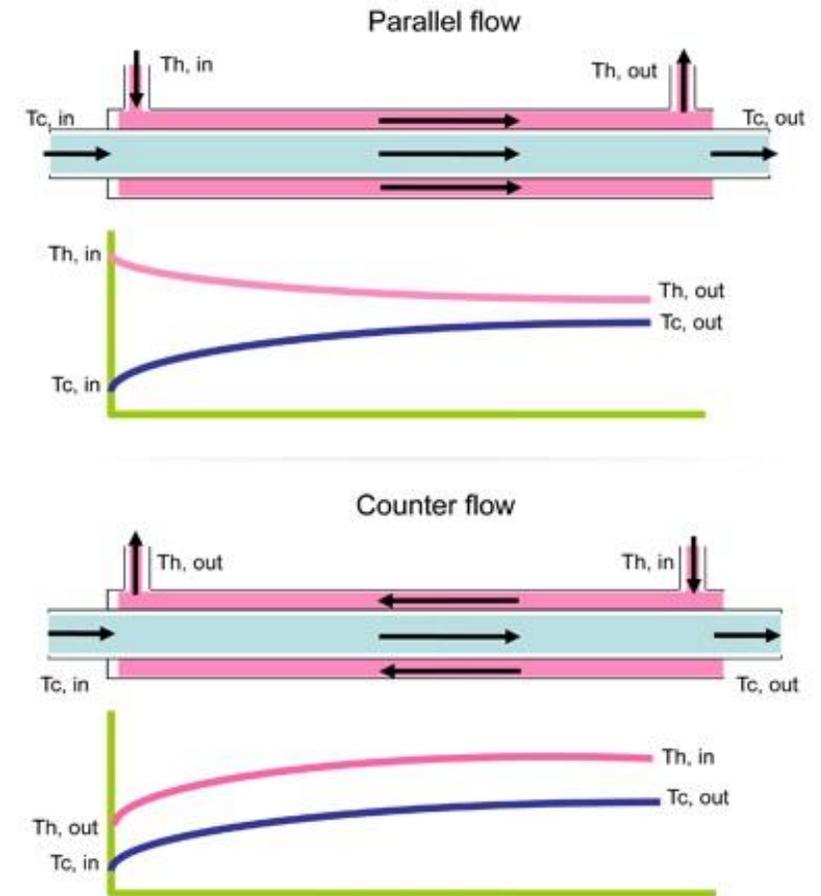


Fuentes: <http://www.gireeshcoolingtowers.com>, <http://www.wcrhx.com>,
<http://www.micromatic.com>, <http://www.schulzpartner.com>

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

- Cocorriente (flujo en paralelo)
- Contracorriente
- Corriente cruzada
 - Mezcla entre paralelo y contracorriente
- Diferencia de Temperatura entre dos fluidos
 - Cambiador de Placas: 2K
 - Cambiador de Tubos: 5K

Flow Direction



Dirección del flujo en los cambiadores de calor

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

Cálculo de transporte de calor

- Normalmente se presenta una combinación de conducción, convección y radiación
- Parámetros para el cálculo
 - Coeficiente de transferencia de calor hacia el exterior
 - Superficie
 - Diferencia de temperaturas

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

Diseño de cambiadores de calor

- Parámetros técnicos
 - Tipo de cambiador de calor
 - Flujo
 - Control
 - Ensuciamiento (Fouling)
- Parámetros económicos
 - Costos de inversión (superficie de transmisión)
 - Costos operativos (caída de presión debido a la turbulencia)

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta T_m$$

Q: Flujo calor [W]

K: Coeficiente de transferencia de calor [W/m²K]

A: Superficie [m²]

ΔT_m : Incremento de temperatura media

4) Mecanismos de Transferencia de Calor

Cambiadores de calor

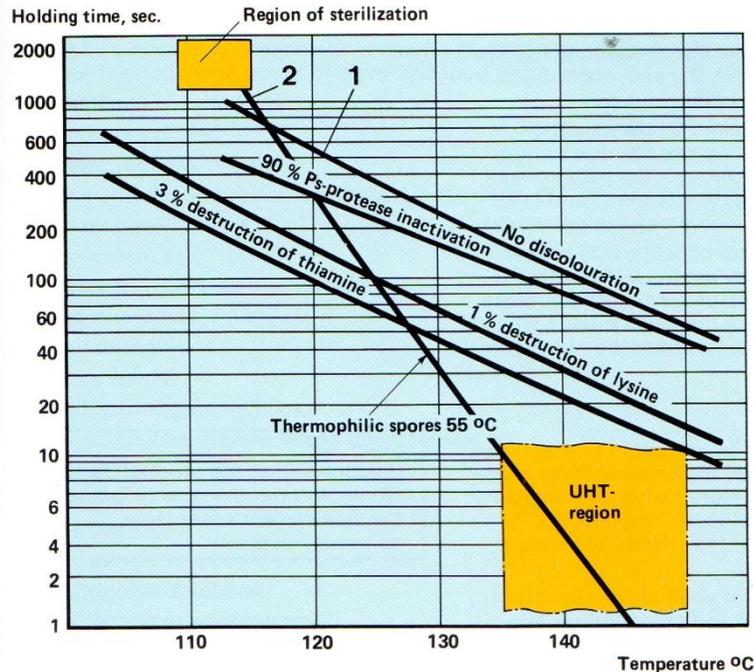


Fig. 2 Limiting lines for the destruction of spores and effects on the milk

Alta Eficiencia Energética con cambiador de placas con >95% de recuperación de calor

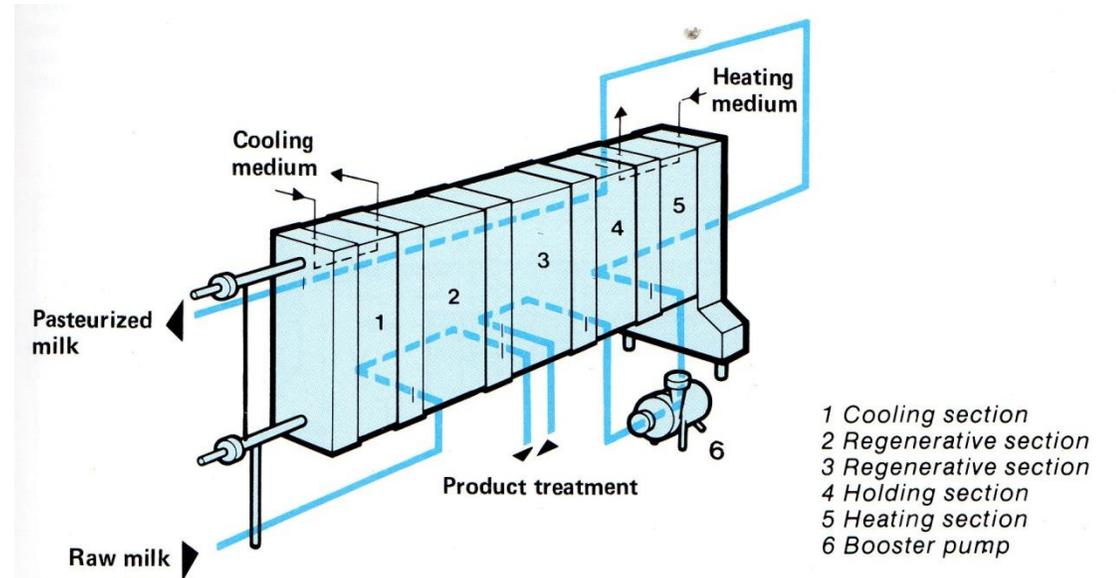


Fig. 16 Plate pasteurizer with regenerative sections and booster pump

5) Conductores y Aislantes Térmicos

Un **conductor térmico** es un material que promueve la conducción térmica, típico de materiales sólidos.

Los metales como el aluminio, el cobre y el acero son buenos conductores térmicos.

Un **aislante térmico** es un material que inhibe cualquiera de los tres mecanismos de transmisión de calor: la conducción, la convección y la radiación

El aire, el vacío, la madera, el plástico y muchas telas como lanas y el algodón son buenos aislantes térmicos.

5) Conductores y Aislantes Térmicos

Coeficiente de conductividad térmica

Este coeficiente varía con las condiciones del material (humedad que contiene, temperatura a la que se hace la medición), por lo que se fijan condiciones para hacerlo, generalmente para material seco y 15 °C y en otras ocasiones, 300K (26,84°C).

En el Sistema Internacional de Unidades (SI) se mide en vatios / (metro × Kelvin) [**W/(m·K)**]

Algunos valores típicos de conductividad térmica en la tabla 

Material	Conductividad Térmica [W/(m·K)]
Acero	80,01
Acero inoxidable	16,32
Agua	0,58
Aire	0,024
Alcohol	0,161
Alpaca	29,11
Aluminio	209,31
Amianto	0,041
Bronce	116 - 1861
Cobre	372,1 - 385,21
Corcho	0,04 - 0,301
Estaño	64,01
Fibra de vidrio	0,03-0,071
Glicerina	0,291
Hierro dulce	79,5
Ladrillo	0,801
Ladrillo refractario	0,47-1,051
Latón	81-1191
Litio	301,21
Madera	0,131
Mercurio	83,71
Mica Moscovita	0,351
Níquel	52,31
Oro	308,21
Parafina	0,211
Plata	406-419
Plomo	35,01
Poliestireno expandido	0,025-0,045
Poliuretano	0,018-0,025
Vidrio	0,6 - 11
Zinc	106-140

5) Aislantes Térmicos

Un **aislante térmico** es un material que inhibe cualquiera de los tres mecanismos de transmisión de calor: la conducción, la convección y la radiación

El aire, el vacío, la madera, el plástico y muchas telas como lanas y el algodón son buenos aislantes térmicos.

- Un material con bajo **coeficiente de conductividad** es un aislante. El aplicar vacío como en un termo es el mejor aislante.
- Un material que inhibe la **convección**, es decir, el movimiento del fluido por ejemplo atrapando aire como la lana de vidrio, la espuma de poliestireno, o de poliuretano actúa como aislante.
- Un material con bajo **coeficiente de emisión** en su superficie como el aluminio o pinturas “lowE” actúan como aislante contra la radiación de calor.

5) Aislantes Térmicos

Pregunta 4.2

Cuando se observan accidentes, para evitar la hipotermia solían repartir gruesas frazadas. Hoy en día se vé más el repartir delgadas cubiertas/foils aluminizadas o doradas

¿Qué efecto tienen?



Conclusiones

El correcto uso de materiales aislantes con bajo **coeficiente de conductividad**, que inhiben la **convección**, o con bajo **índice de emisión**, individuales o en combinación, son un gran paso para una **Eficiencia Energética**.

No olvidar la revisión y mantención periódica

Es una de las medidas de Eficiencia Energética más costo-efectivas con un alto retorno a la inversión

Orden de prioridades en Energía Térmica:

- 1) Eficiencia Energética en aplicaciones frío-calor**
- 2) Uso directo de energía térmica renovable como geotermia de baja entalpía del subsuelo, de aerotermia utilizando el calor del aire, y solar térmica**
- 3) Uso de combustibles renovables carbono neutrales**

¡Muchas gracias por su atención!



Dr. Erwin Plett

Director

Alfa Lux Ingeniería SpA

www.alfalux.eu

Erwin.Plett@alfalux.eu

+56 9 9779 2785

