

# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

BLOQUE II: Principios de generación y diseño de instalaciones de  
biomasa. Clase XII

## 1.7 Aislamiento de hornos (I/IV)

- 1) La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es muy grande
- 2) La superficie interior de la pared está sometida a condiciones de trabajo muy duras
- 3) El calor almacenado en la pared del horno puede ser considerable
- 4) Será conveniente que el peso de toda la estructura no sea excesivamente elevado

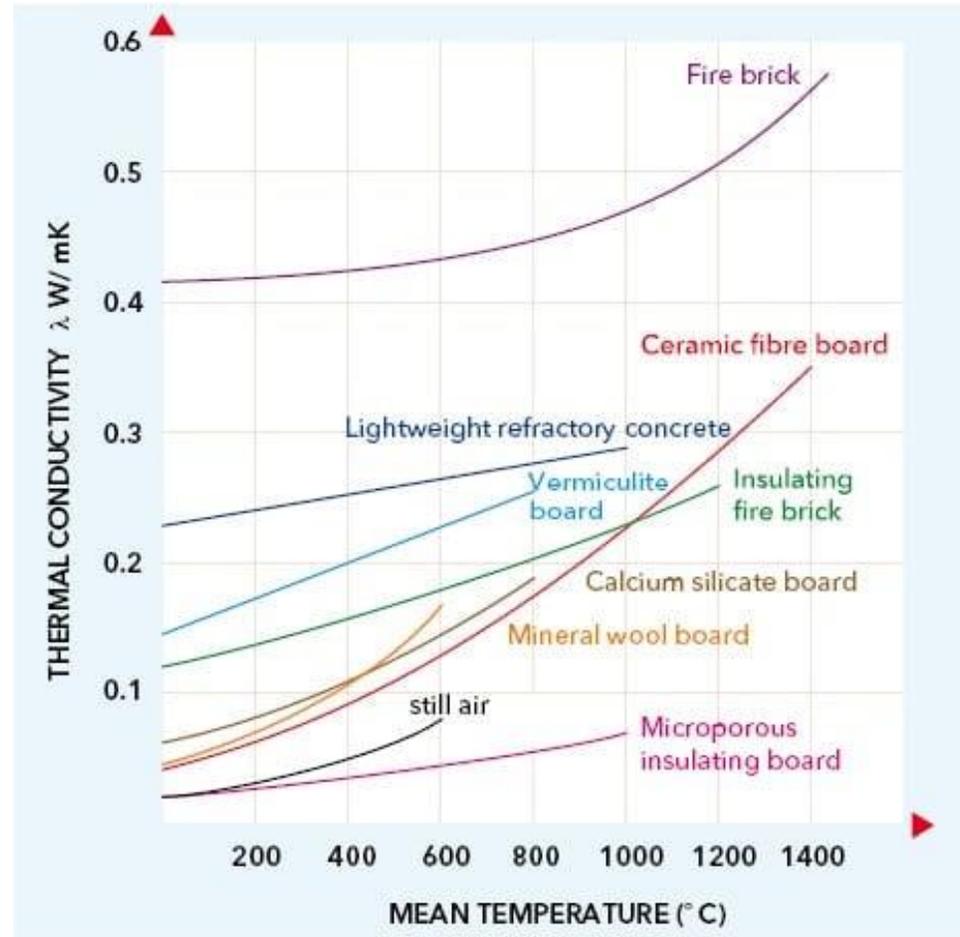
## 1.7 Aislamiento de hornos (II/IV)

- 1) reducir las pérdidas de calor a un nivel razonable
- 2) conseguir un espesor de pared no excesivo
- 3) garantizar la duración de la estructura del horno
- 4) mantener la temperatura exterior dentro del nivel de seguridad para evitar riesgos de accidentes, etc.

## 1.7 Aislamiento de hornos (III/IV)

- 1) refractarios, para temperaturas de hasta los 1400 °C
- 2) semirrefractarios, hasta 1100 °C
- 3) convencionales, hasta 700 °C

# 1.7 Aislamiento de hornos (IV/IV)



# 1.7.1 Elección de los materiales y predimensionado de la pared (I/III)

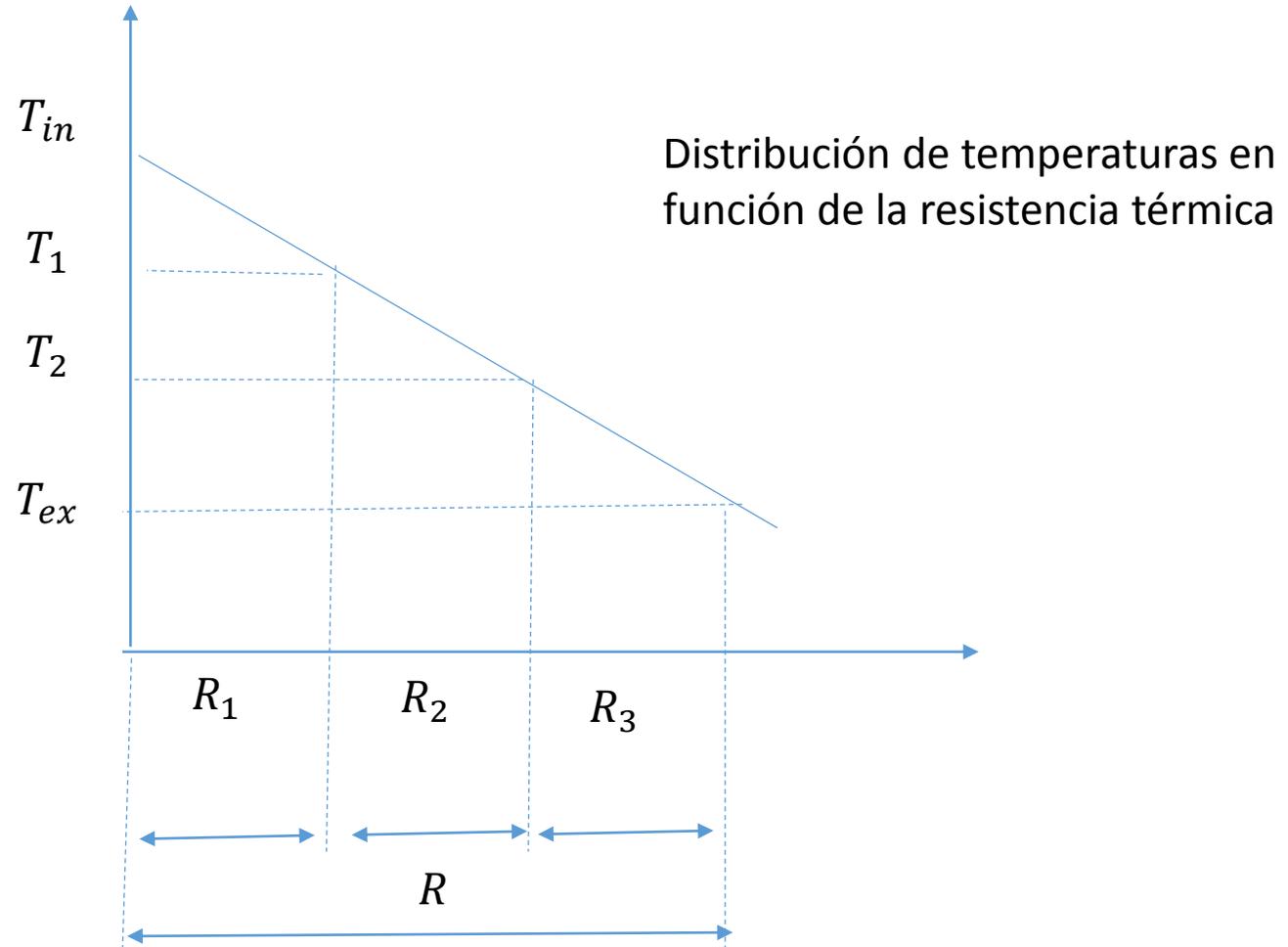
Para diseñar la pared del horno debe calcularse, en primer lugar, su resistencia térmica por unidad de superficie, la cual viene dada por

$$R = \frac{A \cdot (T_{in} - T_{ex})}{\dot{Q} \cdot f} \quad (18)$$

donde

- $R$  resistencia térmica total de la pared en  $m^2 K/W$
- $A$  superficie de cálculo del horno en  $m^2$
- $T_{in}$  temperatura interior de trabajo en K o  $^{\circ}C$
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o  $^{\circ}C$
- $\dot{Q}$  potencia térmica del quemador del horno en kW
- $f$  tanto por uno de pérdidas máximas toleradas

# 1.7.1 Elección de los materiales y predimensionado de la pared (II/III)



# 1.7.1 Elección de los materiales y predimensionado de la pared (III/III)

[1] Roçlaine. Manual del aislamiento en la industria. Dirección técnico-comercial y comunicación. Madrid, 1991.

- hornos de forma paralelepípedica y de espesor de pared uniforme e igual en todas las caras
- la superficie media de cálculo depende de la relación entre las dimensiones del horno y el espesor de la pared

Relación entre el espesor y las dimensiones	Cálculo de la superficie media
Para las tres dimensiones $I_i > 2e$	$A = (A_{in} + A_{ex})/2$
Para una o más dimensiones $\frac{e}{5} < I_i < 2e$	$A = A_{in} + 0.54 \cdot e \cdot \Sigma I_i + 1.2 \cdot e$
Para dos dimensiones $I_i > \frac{e}{5}$ y para una $I_i < \frac{e}{5}$	$A = A_{in} + 0.465 \cdot e \cdot \Sigma I_i$
Para una dimensión $I_i > \frac{e}{5}$ y para dos $I_i < \frac{e}{5}$	$A = 2.78 \cdot I_{max} \cdot e / \log(A_{ex}/A_{in})$

donde

$A_{in}$  superficie interior en m<sup>2</sup>

$A_{ex}$  superficie exterior en m<sup>2</sup>

$I_i$  longitud interior de una arista en m

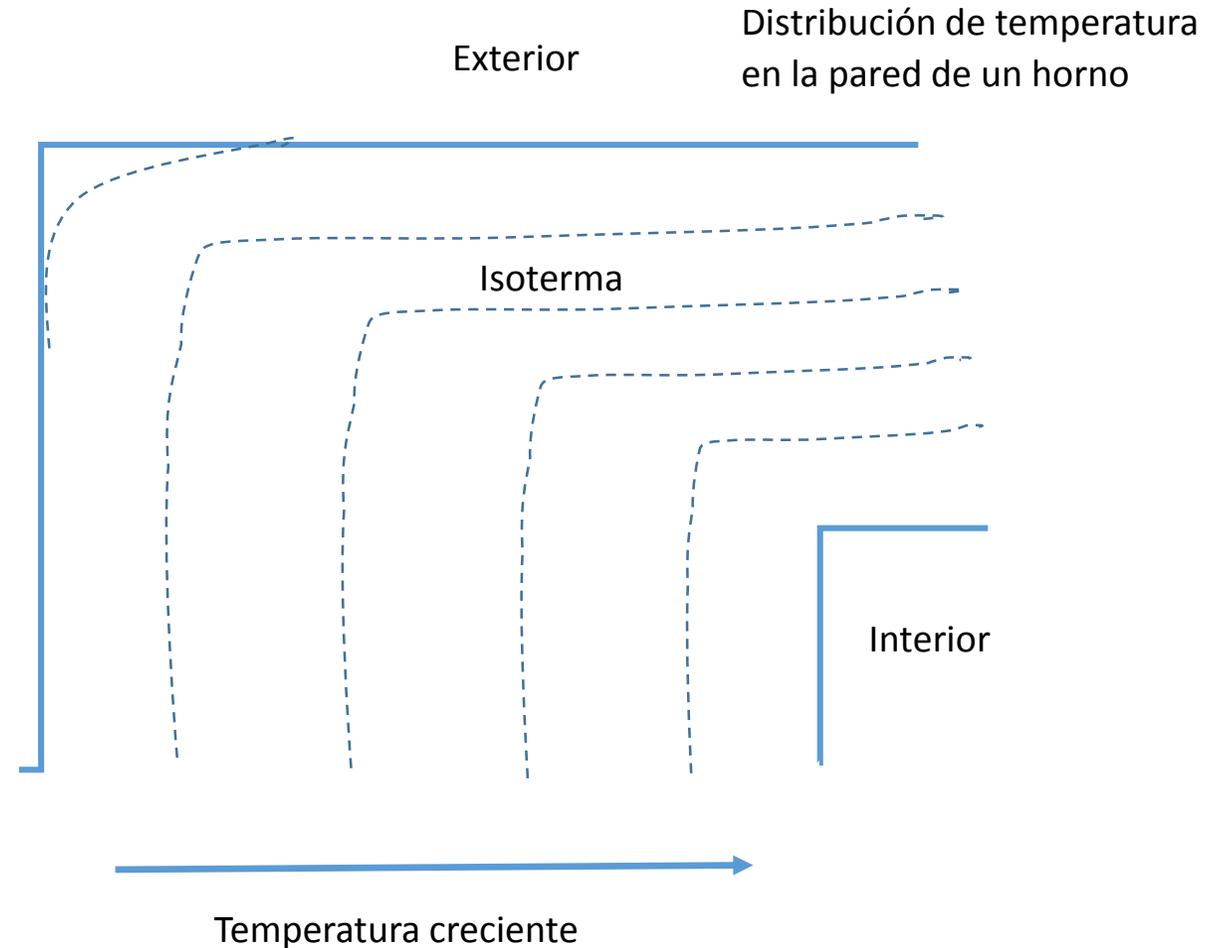
$I_{max}$  longitud interior de la arista más larga

$e$  espesor en m

Cálculo de la superficie media de la pared de un horno

# 1.7.2 Cálculo del calor disipado a través de la pared en régimen estacionario (I/II)

- La pared de un horno, sobre todo si el horno es pequeño, no puede considerarse formado por paredes planas puesto que el espesor de la pared es mayor en las aristas y en los vértices.
- Con lo cual:
  - 1) el gradiente de temperatura en estos puntos no será el mismo que en la pared plana
  - 2) las superficies isoterma no serían paralelas a las superficies exterior e interior
  - 3) la distribución de temperaturas en las superficies interior y exterior no serían uniformes
  - 4) el flujo de calor dependerá del punto considerado



# 1.7.2 Cálculo del calor disipado a través de la pared en régimen estacionario (II/II)

Superficie exterior	Coefficiente superficial
Muro de obra de fábrica horizontal	$h = 9.4 + 0.057 T_{ex}$
Muro de obra de fábrica vertical	$h = 7.1 + 0.057 T_{ex}$
Pared color aluminio horizontal	$h = 8.6 + 0.039 T_{ex}$
Pared color aluminio vertical	$h = 6.3 + 0.039 T_{ex}$

donde  $h$  es el coeficiente superficial que tiene en cuenta la convección y radiación y viene dado en  $\frac{W}{m^2K}$  y la temperatura ambiente exterior en  $^{\circ}C$

*Coeficiente de transmisión superficial exterior para hornos*

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo I

Un horno tiene las siguientes dimensiones interiores: ancho 1.6 m, largo 3 m y alto 0.9 m. La potencia térmica del quemador en régimen continuo es de 800 kW, la temperatura interior de trabajo 1100 °C y la temperatura exterior de cálculo 15 °C.

Escoger los materiales que constituyen la pared del horno y su espesor si se desea que las pérdidas de calor por transmisión a través de las paredes no superen el 7% de la potencia del quemador.

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas I/III)

**Pista 1:** Inicialmente se considerará un espesor de 0.4 m (a depurar de forma iterativa en el problema). Se considerará que un espesor es adecuado cuando la diferencia del espesor resultante entre una iteración y la siguiente es inferior al 10%.

**Pista 2:** La pared a construir estará formada por dos capas. La capa interior será de ladrillo refractario de conductividad 1.28 W/(mK) y tendrá una temperatura de trabajo entre 700 °C y 1100 °C; mientras que la capa exterior será de lana mineral de conductividad 0.13 W/(mK) y tendrá una temperatura de trabajo comprendida entre los 15 °C y los 700 °C.

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas II/III)

**Pista 3:**  $R_1 = R \cdot \frac{\Delta T_{in}}{T_{inS} - T_{ex}}$

**Pista 4:**  $e_1 = R_1 \cdot \lambda_i$

**Pista 5:**  $R_2 = R - R_1$

**Pista 6:**  $e_2 = R_2 \cdot \lambda_e$

donde:

- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $m^2K/W$
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $m^2K/W$
- $\Delta T_{in} = T_{inS} - T_{inI}$  diferencia entre temperaturas interior de trabajo superior e inferior en K o  $^{\circ}C$
- $T_{inS}$  temperatura interior de trabajo superior en K o  $^{\circ}C$
- $T_{inI}$  temperatura interior de trabajo inferior en K o  $^{\circ}C$
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o  $^{\circ}C$
- $\lambda_i$  conductividad del material de la capa interior en  $W/mK$
- $e_1$  espesor de la capa interior en m
- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $m^2K/W$
- $e_2$  espesor de la capa exterior en m
- $\lambda_e$  conductividad del material de la capa exterior en  $W/mK$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución I/VIII)

Cálculo de la superficie interior del horno

$$\begin{aligned} A_{in} &= (\textit{Alto} \cdot \textit{Ancho} + \textit{Largo} \cdot \textit{Alto} + \textit{Ancho} \cdot \textit{Largo}) \cdot 2 = \\ &= (0.9 \cdot 1.6 + 3 \cdot 0.9 + 1.6 \cdot 3) \cdot 2 = 17.88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución II/VIII)

Para la dimensión interior más pequeña se cumple que  $I_i > 2e$ , es decir,  $0.9 > 2 \cdot 0.4$ . Para las otras dos dimensiones también se cumplirá la misma condición.

Relación entre el espesor y las dimensiones	Cálculo de la superficie media
Para las tres dimensiones $I_i > 2e$	$A = (A_{in} + A_{ex})/2$
Para una o más dimensiones $\frac{e}{5} < I_i < 2e$	$A = A_{in} + 0.54 \cdot e \cdot \Sigma I_i + 1.2 \cdot e$
Para dos dimensiones $I_i > \frac{e}{5}$ y para una $I_i < \frac{e}{5}$	$A = A_{in} + 0.465 \cdot e \cdot \Sigma I_i$
Para una dimensión $I_i > \frac{e}{5}$ y para dos $I_i < \frac{e}{5}$	$A = 2.78 \cdot I_{max} \cdot e / \log(A_{ex}/A_{in})$
<p>donde</p> <p><math>A_{in}</math> superficie interior en <math>m^2</math></p> <p><math>A_{ex}</math> superficie exterior en <math>m^2</math></p> <p><math>I_i</math> longitud interior de una arista en m</p> <p><math>I_{max}</math> longitud interior de la arista más larga</p> <p><math>e</math> espesor en m</p>	

Cálculo de la superficie media de la pared de un horno

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución III/VIII)

### Dimensiones exteriores

$$\text{ancho exterior} = \text{ancho interior} + 2 \cdot \text{espesor} = 1.6 + 2 \cdot 0.4 = 2.4 \text{ m}$$

$$\text{largo exterior} = \text{largo interior} + 2 \cdot \text{espesor} = 3 + 2 \cdot 0.4 = 3.8 \text{ m}$$

$$\text{alto exterior} = \text{alto interior} + 2 \cdot \text{espesor} = 0.9 + 2 \cdot 0.4 = 1.7 \text{ m}$$

### Cálculo de la superficie exterior

$$\begin{aligned} A_{ex} &= (\text{Ancho exterior} \cdot \text{Largo exterior} + \text{Ancho exterior} \cdot \text{Alto exterior} + \text{Largo exterior} \cdot \text{Alto exterior}) \cdot 2 = \\ &= 39.32 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

### Cálculo de la superficie media

$$A = (A_{in} + A_{ex})/2 = (17.88 + 39.22)/2 = 28.55 \text{ m}^2$$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución IV/VIII)

Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie (18)

$$R = \frac{A \cdot (T_{in} - T_{ex})}{\dot{Q} \cdot f} = \frac{28.55 \cdot (1100 - 15)}{800 \cdot 0.07} = 553 \text{ m}^2 \frac{\text{K}}{\text{kW}} \quad (0.553 \text{ m}^2 \text{ K/W}) \quad (18)$$

donde

- $R$  resistencia térmica total de la pared en  $\text{m}^2 \text{ K/W}$
- $A$  superficie de cálculo del horno en  $\text{m}^2$
- $T_{in}$  temperatura interior de trabajo en K o  $^{\circ}\text{C}$
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o  $^{\circ}\text{C}$
- $\dot{Q}$  potencia térmica del quemador del horno en kW
- $f$  tanto por uno de pérdidas máximas toleradas

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución V/VIII)

Siguiendo las “pistas” del enunciado del problema se decide construir una pared formada por dos capas.

**Características de la capa interior:**

**Temperatura de trabajo entre 700 °C y 1100 °C, ladrillo refractario de conductividad 1.28 W/(mK).**

**Resistencia térmica**

$$R_1 = R \cdot \frac{\Delta T_{in}}{T_{ins} - T_{ex}} = 0.553 \cdot \frac{1100 - 700}{1100 - 15} = 0.204 \text{ m}^2\text{K/W}$$

**Espesor**

$$e_1 = R_1 \cdot \lambda_i = 0.204 \cdot 1.28 = 0.261 \text{ m}$$

donde:

- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $\Delta T_{in} = T_{ins} - T_{inI}$  diferencia entre temperaturas interior de trabajo superior e inferior en K o °C
- $T_{ins}$  temperatura interior de trabajo superior en K o °C
- $T_{inI}$  temperatura interior de trabajo inferior en K o °C
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o °C
- $\lambda_i$  conductividad del material de la capa interior en  $\text{W/mK}$
- $e_1$  espesor de la capa interior en m

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución VI/VIII)

Siguiendo las “pistas” del enunciado del problema se decide construir una pared formada por dos capas.

**Características de la capa exterior:**

**Temperatura de trabajo entre 15 °C y 700 °C, lana mineral de conductividad 0.13 W/(mK).**

**Resistencia térmica**

$$R_2 = R - R_1 = 0.553 - 0.204 = 0.349 \text{ m}^2\text{K/W}$$

**Espesor**

$$e_2 = R_2 \cdot \lambda_e = 0.349 \cdot 0.13 = 0.045 \text{ m}$$

donde:

- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $e_2$  espesor de la capa exterior en m
- $\lambda_e$  conductividad del material de la capa exterior en  $\text{W/mK}$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución VII/VIII)

**Siguiendo las “pistas” del enunciado del problema se decide construir una pared formada por dos capas.**

### **Cálculo del espesor total**

$$e = e_1 + e_2 = 0.261 + 0.045 = 0.306 \text{ m}$$

donde:

- $e$             espesor total en m
- $e_1$             espesor de la capa interior en m
- $e_2$             espesor de la capa exterior en m

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (pistas III/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 2:** Hallar la superficie media de cálculo utilizando las ecuaciones de la tabla del cálculo de la superficie media de la pared de un horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia térmica de la pared por unidad de superficie

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia de la capa interior (Pista 3) y del espesor de la capa interior (Pista 4)

**Paso 7:** Cálculo de la resistencia de la capa exterior (Pista 5) y del espesor de la capa exterior (Pista 6)

**Paso 8:** Cálculo del espesor total

**Paso 9:** Iterar hasta que la diferencia entre una iteración y la siguiente sea menor al 10%

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo (Solución VIII/VIII)

Siguiendo las “pistas” del enunciado del problema se decide construir una pared formada por dos capas.

Con este espesor (0.306 m), se repite el proceso de cálculo y se obtiene

- ancho = 2.212 m
- largo = 3.612 m
- alto = 1.512 m
- $A_{ex} = 33.69 \text{ m}^2$
- $A = 25.74 \text{ m}^2$
- $R = 499 \text{ m}^2\text{K/kW}$  ( $0.499 \text{ m}^2\text{K/W}$ )
- $R_1 = 0.184 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $e_1 = 0.235 \text{ m}$
- $R_2 = 0.315 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $e_2 = 0.041 \text{ m}$
- $e = 0.276 \text{ m}$

donde:

- $A_{ex}$  superficie exterior en  $\text{m}^2$
- $A$  superficie de cálculo del horno en  $\text{m}^2$
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $e_1$  espesor de la capa interior en m
- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $e_2$  espesor de la capa exterior en m
- $e$  espesor total en m

Dado que la discrepancia de este espesor, 0.276 m, con respecto al ensayado, 0.306 m, no es muy acusada (< al 10% indicado en el ejercicio), se puede considerar aceptable, ya que proporcionará un aislamiento superior al deseado.

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II

En base a los datos del ejemplo de cálculo I, se adopta un espesor de 0.250 m para la capa de refractario y un espesor de 0.050 m para la capa de lana mineral, siendo el acabado de la superficie exterior aluminio.

Calcular la pérdida de calor a través de las paredes y comprobar que la distribución de temperaturas en la pared es aceptable para la integridad del material aislante.

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas I/IV)

- **Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno**

$$R_c = \frac{R}{A}$$

- **Cálculo del coeficiente superficial medio**

$$h = \frac{h_h \cdot A_v + h_v \cdot A_h}{A_{ex}}$$

- **Cálculo de la resistencia superficial**

$$R_s = \frac{1}{h \cdot A_{ex}}$$

donde:

- $R_c$  resistencia a la conducción para todo el horno en K/W
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $m^2K/W$
- $A$  superficie media en  $m^2$
- $h$  coeficiente superficial medio en  $(W/m^2 K)$
- $h_h$  coeficiente superficial exterior de superficies horizontales en  $(W/m^2 K)$
- $A_v$  superficie exterior vertical en  $m^2$
- $h_v$  coeficiente superficial exterior de superficies verticales en  $(W/m^2 K)$
- $A_h$  superficie exterior horizontal en  $m^2$
- $A_{ex}$  superficie exterior en  $m^2$
- $R_s$  resistencia superficial en K/W

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas II/IV)

**Resistencia total debida a conducción más superficial**

$$R_{tot} = R_c + R_s$$

**Calor disipado a través de la pared del horno**

$$\dot{Q} = \left( \frac{1}{R_{tot}} \right) \cdot (T_{ins} - T_{ex})$$

**Resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo**

$$R_s = \left( \frac{1}{h} \right) \cdot \left( \frac{A}{A_{ex}} \right)$$

donde:

- $R_{tot}$  resistencia total debida a conducción más superficial en K/W
- $R_c$  resistencia a la conducción para todo el horno en K/W
- $R_s$  resistencia superficial en K/W
- $\dot{Q}$  calor disipado a través de la pared del horno en W
- $T_{ins}$  temperatura interior de trabajo superior en K o °C
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o °C
- $R_s$  resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo en m<sup>2</sup> K/W
- $h$  coeficiente superficial medio en (W/m<sup>2</sup> K)
- $A$  superficie media en m<sup>2</sup>
- $A_{ex}$  superficie exterior en m<sup>2</sup>

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas III/IV)

### Distribución de temperaturas

- **superficie interior** =  $T_{inS}$
- **separación refractario-lana de roca** =  $T_{inS} - (T_{inS} - T_{ex}) \cdot (R_1/R)$
- **superficie exterior** =  $T_{srlr} - (T_{inS} - T_{ex}) \cdot (R_2/R)$
- **aire exterior** =  $T_{ex}$

**Potencia térmica máxima tolerada por disipación a través de las paredes** =  $\dot{Q} \cdot f$

donde

- $T_{inS}$  temperatura interior de trabajo superior en K o °C
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o °C
- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $m^2K/W$
- $R$  resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie en  $m^2K/W$
- $T_{srlr}$  temperatura de la separación refractario-lana de roca en K o °C
- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $m^2K/W$
- $\dot{Q}$  potencia térmica del quemador del horno en kW
- $f$  tanto por uno de pérdidas máximas toleradas

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución I/X)

El espesor total de la pared del horno es

$$e = e_1 + e_2 = 0.250 + 0.050 = 0.300 \text{ m}$$

donde:

- $e$  espesor total en m
- $e_1$  espesor de la capa interior en m
- $e_2$  espesor de la capa exterior en m

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución II/X)

### Cálculo de la superficie interior del horno

$$A_{in} = (\text{Alto} \cdot \text{Ancho} + \text{Largo} \cdot \text{Alto} + \text{Ancho} \cdot \text{Largo}) \cdot 2 = (0.9 \cdot 1.6 + 3 \cdot 0.9 + 1.6 \cdot 3) \cdot 2 = 17.88 \text{ m}^2$$

### Dimensiones exteriores

- ancho exterior = ancho interior + 2·espesor = 1.6 + 2·0.3 = 2.2 m
- largo exterior = largo interior + 2·espesor = 3 + 2·0.3 = 3.6 m
- alto exterior = alto interior + 2·espesor = 0.9 + 2·0.3 = 1.5 m

### Cálculo de la superficie exterior

- $A_{ex} = (\text{Ancho exterior} \cdot \text{Largo exterior} + \text{Ancho exterior} \cdot \text{Alto exterior} + \text{Largo exterior} \cdot$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución III/X)

$$R_1 = \frac{e_1}{\lambda_i} = \frac{0.250}{1.28} = 0.195 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_2 = \frac{e_2}{\lambda_e} = \frac{0.050}{0.13} = 0.385 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R = R_1 + R_2 = 0.195 + 0.385 = 0.580 \text{ m}^2\text{K/W}$$

donde:

- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $e_1$  espesor de la capa interior en m
- $\lambda_i$  conductividad del material de la capa interior en  $\text{W/mK}$
- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $e_2$  espesor de la capa exterior en m
- $\lambda_e$  conductividad del material de la capa exterior en  $\text{W/mK}$
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución IV/X)

### **Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno**

$$R_c = \frac{R}{A} = \frac{0.580}{25.56} = 0.0227 \text{ K/W}$$

donde:

- $R_c$  resistencia a la conducción para todo el horno en K/W
- $R$  resistencia térmica de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $A$  superficie media en  $\text{m}^2$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución V/X)

superficies horizontales  $h_h = 8.6 + 0.039 \cdot 15 = 9.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

superficies verticales  $h_v = 6.3 + 0.039 \cdot 15 = 6.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

*Coefficiente de transmisión superficial exterior para hornos*

Superficie exterior	Coefficiente superficial
Muro de obra de fábrica horizontal	$h = 9.4 + 0.057 T_{ex}$
Muro de obra de fábrica vertical	$h = 7.1 + 0.057 T_{ex}$
Pared color aluminio horizontal	$h = 8.6 + 0.039 T_{ex}$
Pared color aluminio vertical	$h = 6.3 + 0.039 T_{ex}$

donde  $h$  es el coeficiente superficial que tiene en cuenta la convección y radiación y viene dado en  $\frac{W}{m^2 K}$  y la temperatura ambiente exterior en  $^{\circ}C$

donde:

- $h_h$  coeficiente superficial exterior de superficies horizontales en  $(W/m^2 K)$
- $h_v$  coeficiente superficial exterior de superficies verticales en  $(W/m^2 K)$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución VI/X)

**Cálculo de la resistencia de toda la superficie exterior**

**Superficie exterior vertical**

$$A_v = 2 \cdot (\text{ancho} + \text{largo}) \cdot \text{alto} = 2 \cdot (2.2 + 3.6) \cdot 1.5 = 17.4 \text{ m}^2$$

**Superficie exterior horizontal**

$$A_h = 2 \cdot \text{ancho} \cdot \text{largo} = 2 \cdot 2.2 \cdot 3.6 = 15.84 \text{ m}^2$$

**Coefficiente superficial medio**

$$h = \frac{h_h \cdot A_v + h_v \cdot A_h}{A_{ex}} = \frac{9.2 \cdot 17.4 + 6.9 \cdot 15.84}{33.24} = 8.10 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

**Resistencia superficial**

$$R_s = \frac{1}{h \cdot A_{ex}} = \frac{1}{8.10 \cdot 33.24} = 0.037 \text{ K/W}$$

donde:

- $A_v$  superficie exterior vertical en  $\text{m}^2$
- $A_h$  superficie exterior horizontal en  $\text{m}^2$
- $h$  coeficiente superficial medio en  $(\text{W/m}^2 \text{ K})$
- $h_h$  coeficiente superficial exterior de superficies horizontales en  $(\text{W/m}^2 \text{ K})$
- $h_v$  coeficiente superficial exterior de superficies verticales en  $(\text{W/m}^2 \text{ K})$
- $A_{ex}$  superficie exterior en  $\text{m}^2$
- $R_s$  resistencia superficial en  $\text{K/W}$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

# 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución VII/X)

**Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial**

$$R_{tot} = R_c + R_s = 0.0227 + 0.0037 = 0.0264 \text{ K/W}$$

**Calor disipado a través de la pared del horno**

$$\dot{Q} = \left( \frac{1}{R_{tot}} \right) \cdot (T_{ins} - T_{ex}) = \left( \frac{1}{0.0264} \right) \cdot (1100 - 15) = 41.1 \cdot 10^3 \text{ W}$$

**La resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo es**

$$R_s = \left( \frac{1}{h} \right) \cdot \left( \frac{A}{A_{ex}} \right) = \left( \frac{1}{8.10} \right) \cdot \left( \frac{25.56}{33.24} \right) = 0.095 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

donde:

- $R_{tot}$  resistencia total debida a conducción más superficial en K/W
- $R_c$  resistencia a la conducción para todo el horno en K/W
- $R_s$  resistencia superficial en K/W
- $\dot{Q}$  calor disipado a través de la pared del horno en W
- $T_{ins}$  temperatura interior de trabajo superior en K o °C
- $T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o °C
- $R_s$  resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo en m<sup>2</sup> K/W
- $h$  coeficiente superficial medio en (W/m<sup>2</sup> K)
- $A$  superficie media en m<sup>2</sup>
- $A_{ex}$  superficie exterior en m<sup>2</sup>

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución VIII/X)

**capa interior**

$$R_1 = 0.195 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

**capa exterior**

$$R_2 = 0.385 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

**superficial**

$$R_s = 0.095 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

**total**

$$R = R_1 + R_2 + R_s = 0.195 + 0.385 + 0.095 = 0.675 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

donde:

- $R$  resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $\text{m}^2\text{K/W}$
- $R_s$  resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo en  $\text{m}^2\text{K/W}$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución IX/X)

### Distribución de temperaturas

**superficie interior** =  $T_{inS} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$

**separación refractario-lana de roca** =

$$T_{inS} - (T_{inS} - T_{ex}) \cdot (R_1/R) = 1100 - (1100 - 15) \cdot (0.195/0.675) = 786.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

**superficie exterior** =

$$T_{srlr} - (T_{inS} - T_{ex}) \cdot (R_2/R) = 786.6 - (1100 - 15) \cdot (0.385/0.675) = 167.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

**aire exterior** =  $T_{ex} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

donde

$T_{inS}$  temperatura interior de trabajo superior en K o  $^\circ\text{C}$

$T_{ex}$  temperatura del aire ambiente en K o  $^\circ\text{C}$

$R_1$  resistencia térmica de la capa interior en  $\text{m}^2\text{K/W}$

$R$  resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie en  $\text{m}^2\text{K/W}$

$T_{srlr}$  temperatura de la separación refractario-lana de roca en K o  $^\circ\text{C}$

$R_2$  resistencia térmica de la capa exterior en  $\text{m}^2\text{K/W}$

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (pistas IV/IV)

**Paso 1:** Cálculo del espesor total de la pared del horno

**Paso 2:** Cálculo de la superficie interior del horno

**Paso 3:** Cálculo de la superficie exterior

**Paso 4:** Cálculo de la superficie media

**Paso 5:** Cálculo de la resistencia a la conducción por unidad de superficie media de cálculo

**Paso 6:** Cálculo de la resistencia a la conducción, para todo el horno (pista 1)

**Paso 7:** Cálculo de los coeficientes superficiales exteriores para superficies verticales y horizontales

**Paso 8:** Cálculo del coeficiente superficial medio y de la resistencia superficial (pista 1)

**Paso 9:** Cálculo de la resistencia total debida a conducción más superficial, del calor disipado a través de la pared del horno y de la resistencia superficial referida a la superficie media de cálculo superficial (pista 2)

**Paso 10:** Cálculo de la resistencia térmica (total) de la pared por unidad de superficie

**Paso 11:** Cálculo de la distribución de temperaturas (pista 3)

**Paso 12:** Discusión de resultados obtenidos

## 1.7.2 Ejemplo de cálculo II (Solución X/X)

### Discusión de los resultados:

La potencia térmica máxima tolerada por disipación a través de las paredes (véase ejemplo de cálculo anterior) es

$$\dot{Q} \cdot f = 800 \cdot 0.07 = 56 \text{ kW}$$

Como la disipada es menor que la máxima tolerada ( $41.1 < 56$ ), en principio, los espesores son aceptables.

Una temperatura superficial exterior de  $167.9 \text{ }^\circ\text{C}$ , teniendo en cuenta la seguridad de personas y equipos, solo es aceptable si se adoptan medidas de protección que impidan el contacto directo accidental.

donde

- $\dot{Q}$  potencia térmica del quemador del horno en kW
- $f$  tanto por uno de pérdidas máximas toleradas

# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACIÓN

*FIN*

*¿¿¿¿PREGUNTAS????*

*GRACIAS POR SU ATENCIÓN*

