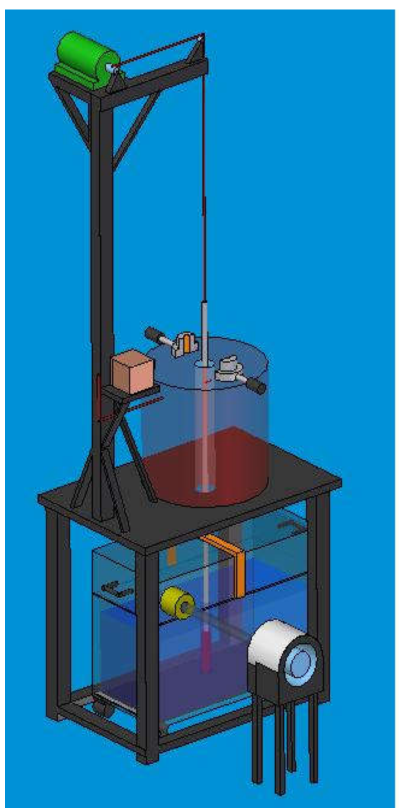
# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
# FACULTAD REGIONAL LA PLATA

Ingeniería mecánica

PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

AÑO 2016

“TEMPLOMETRO”

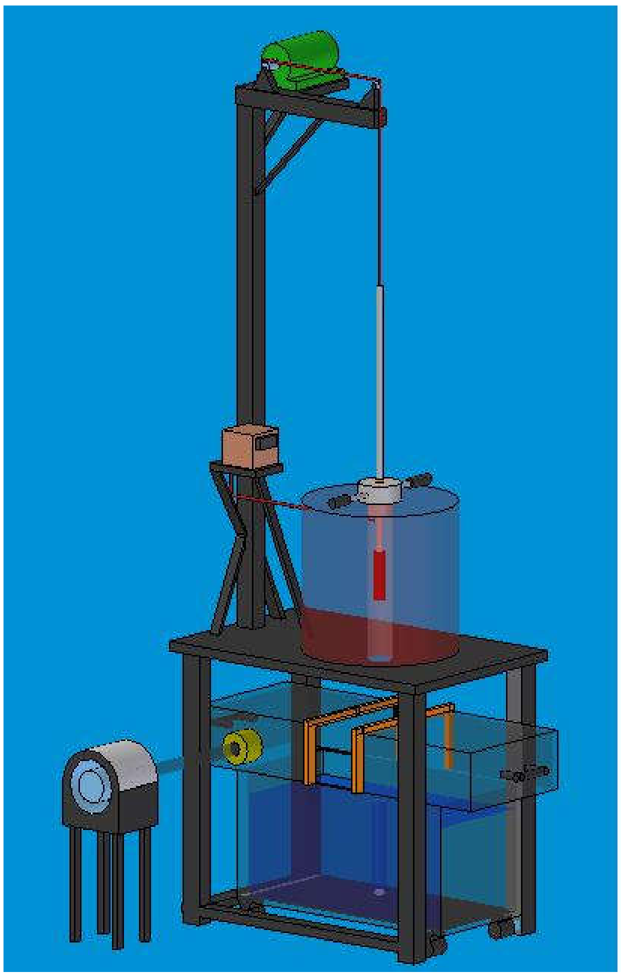


Alumno: Garcia Ibarroule, Ruy
Legajo: 05-19089-2

# Índice

## INTRODUCCION

La cátedra de Materiales Metálicos de la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTN-FRLP realizara un proyecto cuyo nombre es "Templometro", que consiste esencialmente en evaluar el comportamiento de los medios de enfriamientos para determinar los grados de severidad. Para ello se necesita un horno eléctrico que alcance una temperatura de 1000 °C.
En la figura siguiente se representa el templometro



## OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es diseñar un horno eléctrico del tipo circular de doble abertura, que debe alcanzar una temperatura de 1000 °C para calentar una probeta de acero inoxidable a 820 °C

## ALCANCE

Calcular la aislación térmica del horno.

REQUERIMIENTOS

El horno ($T_{max}$ = 1000°C) es de tipo vertical con caja cilíndrica de doble abertura para permitir el desplazamiento de la probeta (La probeta está construida de acero inoxidable AISI 316L y sus dimensiones son L=100 mm y un $\phi$ = 25 mm).

El horno consume una potencia de 2500 W de corriente alterna cuya tensión es 220 v

De acuerdo al artículo 139 (capitulo 16) del decreto 351/79 del reglamento de la ley 19.587de higiene y seguridad en el trabajo:

La temperatura exterior superficial del horno no debe superar los 60 °C y dejar un espacio libre de 1,50 m próximos al horno

El horno está compuesto por cinco materiales diferentes con sus respectivos coeficientes de conductibilidad térmica. Los materiales 1 y 2 son ladrillos refractarios cuya misión además de ser aislantes es la de soportar el shock térmico. El material 3 es un super aislador de lana de vidrio y por eso sus coeficientes de conductibilidad térmica son muy bajos. El material 4 es una chapa de acero inoxidable cuyas funciones esenciales es de protección al interior del horno y reducir la transferencia de calor por radiación ya que es una superficie fuertemente reflectora.

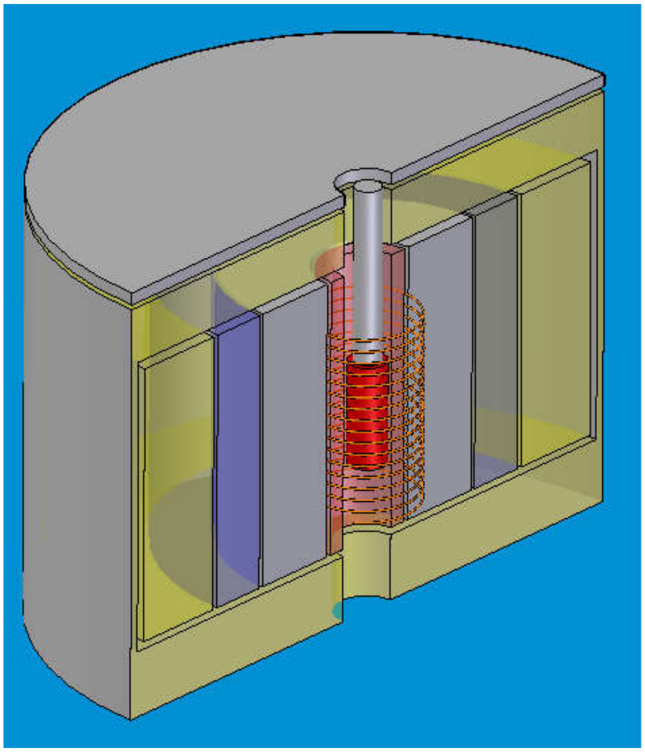
El material 1 es el que está expuesto a 1000°C, siguiendo el orden hasta el material 4 que es el que está expuesto a temperatura de alrededores

1. k = 0.75 $\frac{W}{m \cdot C}$ (Ladrillo refractario)
2. k = 0,40 $\frac{W}{m \cdot C}$ (Ladrillo refractario)
3. k = 0,05 $\frac{W}{m \cdot C}$ (Lana de vidrio)
4. k = 13.5 $\frac{W}{m \cdot C}$ ( Acero inoxidable)

Estos valores son obtenidos de bibliografía (Transferencia de calor y masa. Zengel)

En la figura siguiente se puede visualizar el horno con sus diferentes capas refractarias. Las tapas superior e inferior de acero y un recubrimiento protector con chapa de acero inoxidable.

La probeta está indicada de color rojo y la resistencia eléctrica de color naranja



En las figuras siguientes se visualizan las diferentes partes refractarias del horno

- <u>Resistencia eléctrica</u>

Para lograr alcanzar esta temperatura se utiliza una resistencia eléctrica con una alimentación de corriente eléctrica alterna con tensión de 220 v. El material de la resistencia eléctrica es una aleación de Ni-Cr.

- <u>Controlador de temperatura para el horno</u>

La temperatura del horno será comandada por un controlador de temperatura para calentamiento ($T_{max}$ = 1000 °C; $T_{min}$ = 17 °C) con entrada para sensor de temperatura tipo termocupla K.

MEMORIA DE CALCULOS

Se utilizo la ecuación diferencial de transferencia de calor en régimen estacionario y en coordenadas cilíndricas:

$$\frac{d}{dr}\left(r\, dT/dr\right) = 0$$

Integrando:

$$r\,\frac{dT}{dr} = C_1$$

Dividiendo todo entre r :

$$\frac{dT}{dr} = \frac{C_1}{r}$$

Se integra con respecto a r:

$$T_{(r)} = C_1 \ln r + C_2 \rightarrow \text{Solución general}$$

Aplicando las condiciones de frontera, se obtiene

$$T_{(r_1)} = T_1 \rightarrow C_1 \ln r_1 + C_2 = T_1$$

$$T_{(r_2)} = T_2 \rightarrow C_1 \ln r_2 + C_2 = T_2$$

Tenemos dos ecuaciones con dos incógnitas

$$C_1 = \frac{(T_2 - T_1)}{\left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)}$$

$$C_2 = T_1 - \frac{(T_2 - T_1)}{\left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)} \ln r_1$$

$$T_{(r)} = \left( \frac{\ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \right) (T_2 - T_1) + T_1$$

A partir de la ley de Fourier se determina

$$Q_{cilindro} = -K\,A\,\frac{dT}{dr} = -K\,(2\,\pi\;r\,K\,L)\,\frac{C_1}{r_1} = -\,2\,\pi\;K\,L\,C_1 = 2\,\pi\;K\,L\,\frac{(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Reordenando las ecuaciones para expresar el concepto de resistencia térmica:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{total}}$$

$$R_{total} = R_{cil\,1} + R_{cil\,2} + R_{cil\,3} + R_{cil\,4} + R_{conv\text{-}rad}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\ln\left({r_2}/{r_1}\right)}{2\pi\;L\;k_1} + \frac{\ln\left({r_3}/{r_2}\right)}{2\pi\;L\;k_2} + \frac{\ln\left({r_4}/{r_3}\right)}{2\pi\;L\;k_3} + \frac{\ln\left({r_5}/{r_4}\right)}{2\pi\;L\;k_4} + \frac{1}{2\pi\;r_5\;L\,h_{comb}}}$$

- $R_1 = \frac{1}{2\pi\;k_1\;L}\,\mathrm{Ln}\left({r_2}/{r_1}\right) =$

$$\frac{1}{2\pi \times 0.75\,\frac{W}{m\;{}^{\circ}C} \times 0.3\,m}\;Ln\left(\frac{0.065\,m}{0.04\,m}\right)$$

$$R_1 = 0.33\,\frac{°C}{W}$$

- $R_2 = = \frac{1}{2\pi\ k_2\ L}\ \mathrm{Ln}\left({}^{r_3}\!/_{r_2}\right) =$

$$\frac{1}{2\pi\ \times\ 0.4\,\frac{W}{m\ °C}\ \times\ 0.3\ m}\quad Ln\left(\frac{0.11m}{0.065\ m}\right)$$

$$R_2 = 0.57\,\frac{°C}{W}$$

- $R_3 = \frac{1}{2\pi\ k_3\ L}\ \mathrm{Ln}\left({}^{r_4}\!/_{r_3}\right) =$

$$\frac{1}{2\pi\ \times\ 0.05\,\frac{W}{m\ °C}\ \times\ 0.3\ m}\quad Ln\left(\frac{0.22\ m}{0.11\ m}\right) =$$

$$R_3 = 7.31\ \frac{°C}{W}$$

- $R_4 = \frac{1}{2\pi\ k_5\ L}\ \mathrm{Ln}\left({}^{r_6}\!/_{r_5}\right) =$

$$\frac{1}{2\pi\ \times\ 13.5\ \frac{W}{m\ °C}\ \times\ 0.3\ m}\quad Ln\left(\frac{0.222\ m}{0.22\ m}\right) =$$

$$R_5 = 0.0038\ \frac{°C}{W}$$

- $R_5 = \frac{1}{2\pi \; r_6 \quad L \quad h_{comb}} =$

$$\frac{1}{2\pi \;\times\; 0.222 \;\times\; 0.3\,m \;\times\; 8.78\,\frac{W}{°C \;\; m^2}} =$$

$$R_5 = 0.33\,\frac{°C}{W}$$

El coeficiente de convección se obtuvo de bibliografía (transferencia de calor y masa. Zengel), sabiendo que el h más bajo que existe en la práctica es $h = 5\,\frac{W}{m \;\; °C}$

Y con respecto a la radiación:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\,\sigma\,A_s\,(T_s^4 - T_{alrd}^4) = h_{rad}\;A_s\;(T_s - T_{alrd}) = \frac{T_s - T_{alrd}}{R_{rad}}$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}\;A_s}$$

$h_{rad} = \frac{\dot{Q}_{rad}}{A_s\,(T_s - T_{alrd})} = \varepsilon\,\sigma\,(T_s^2 + T_{alrd}^2)(T_S + T_{arld})$ = coeficiente de transferencia de calor por radiación

$$h_{rad} = 0.6 \;\times\left(5.67 \times 10^{-8}\,\frac{W}{m^2 \;\times\; k^4}\right)(313^2 + 293^2)k\,(313 + 293)k =$$

$$h_{rad} = 3.78\,\frac{W}{°C \;\; m^2}$$

Cuando las $T_{alrd} \cong T_{\infty}$. Se puede expresar la combinación:

$$h_{combinado} = h_{conv} + h_{rad} = 8.78\,\frac{W}{°C \;\; m^2}$$

Volviendo a los cálculos, la resistencia total es:

$$R_{total} = 8.54\,\frac{°C}{W}$$

$$\dot{Q} = \frac{1000\,°C \; - \; 20\,°C}{8.54\,\frac{°C}{W}}$$

$$\dot{Q} = 114\text{ W}$$

Para comprobar el cálculo veremos a continuación las temperaturas correspondientes capa por capa.
Recordando que $\dot{Q}$ = ctte y conociendo $T_1$ = 1000 °C y $T_\infty$ = 20 °C

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

- $T_2 = \dot{Q} \times R_1 - T_1 =$

  $T_2$ = 941 °C

- $T_3 = \dot{Q} \times R_2 - T_2 =$

  $T_3$ = 861°C

- $T_4 = \dot{Q} \times R_3 - T_3 =$

  $T_4$ = 60°C

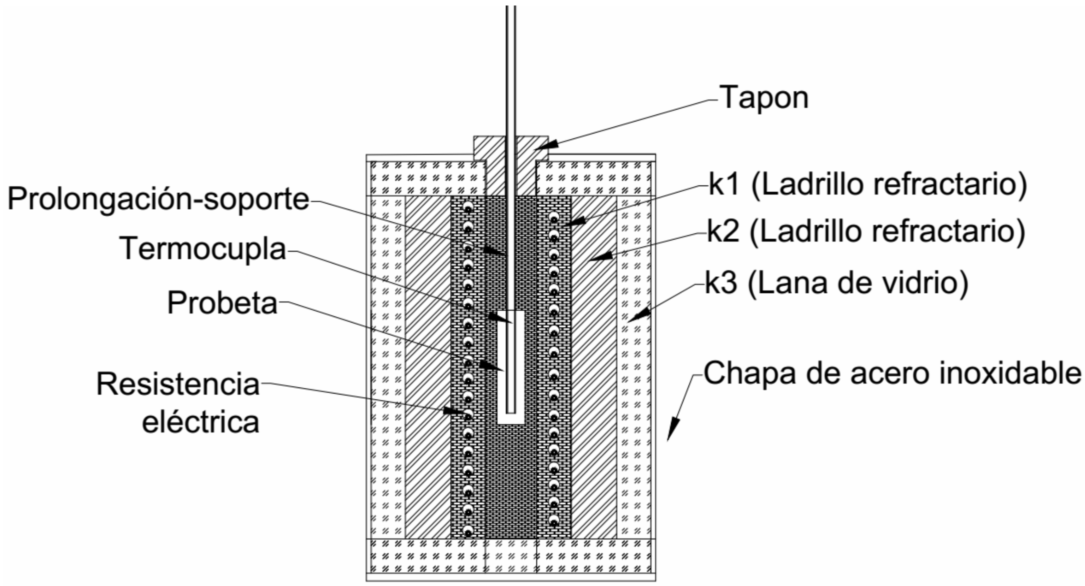
- $T_5 = \dot{Q} \times R_4 - T_4 =$

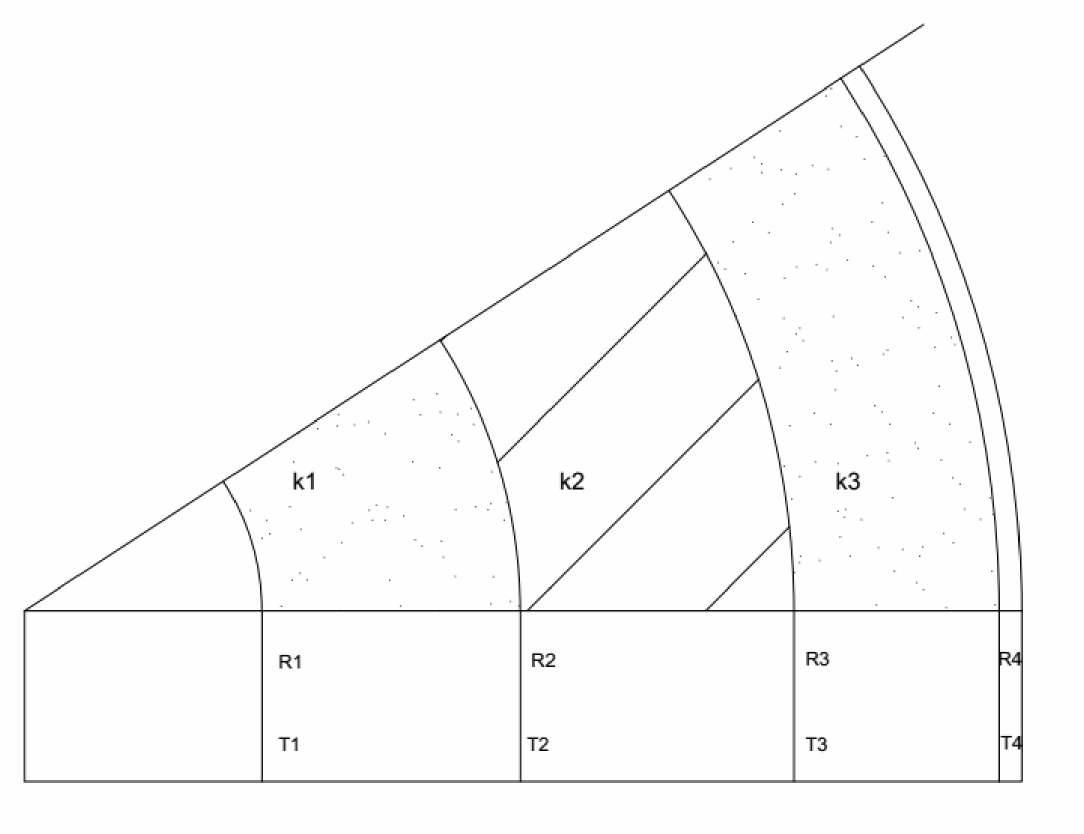
  $T_5$ = 59°C

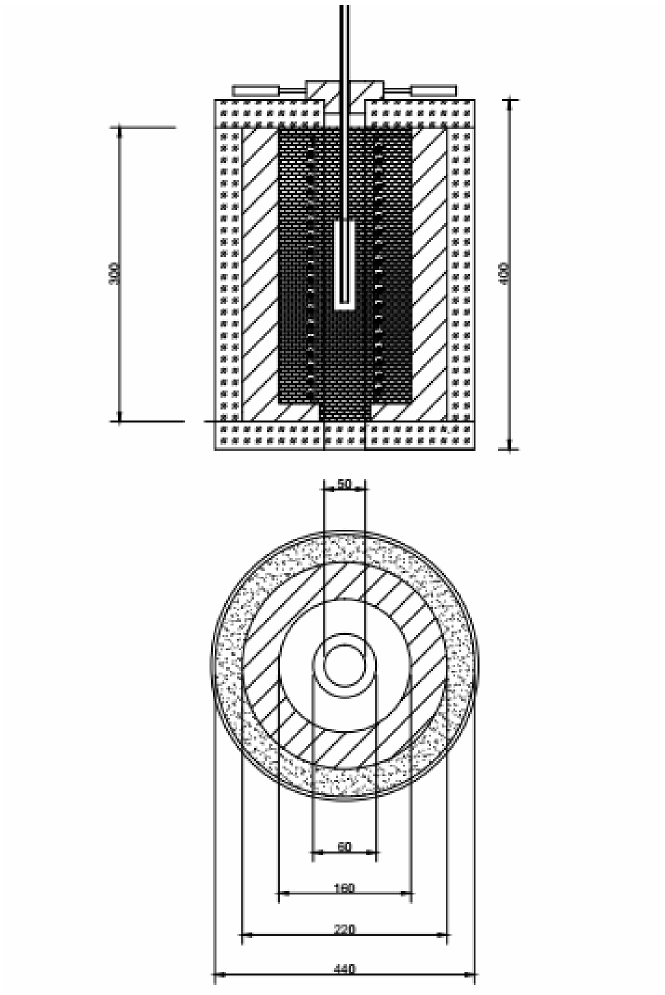
- $T_\infty = \dot{Q} \times R_5 - T_5 =$

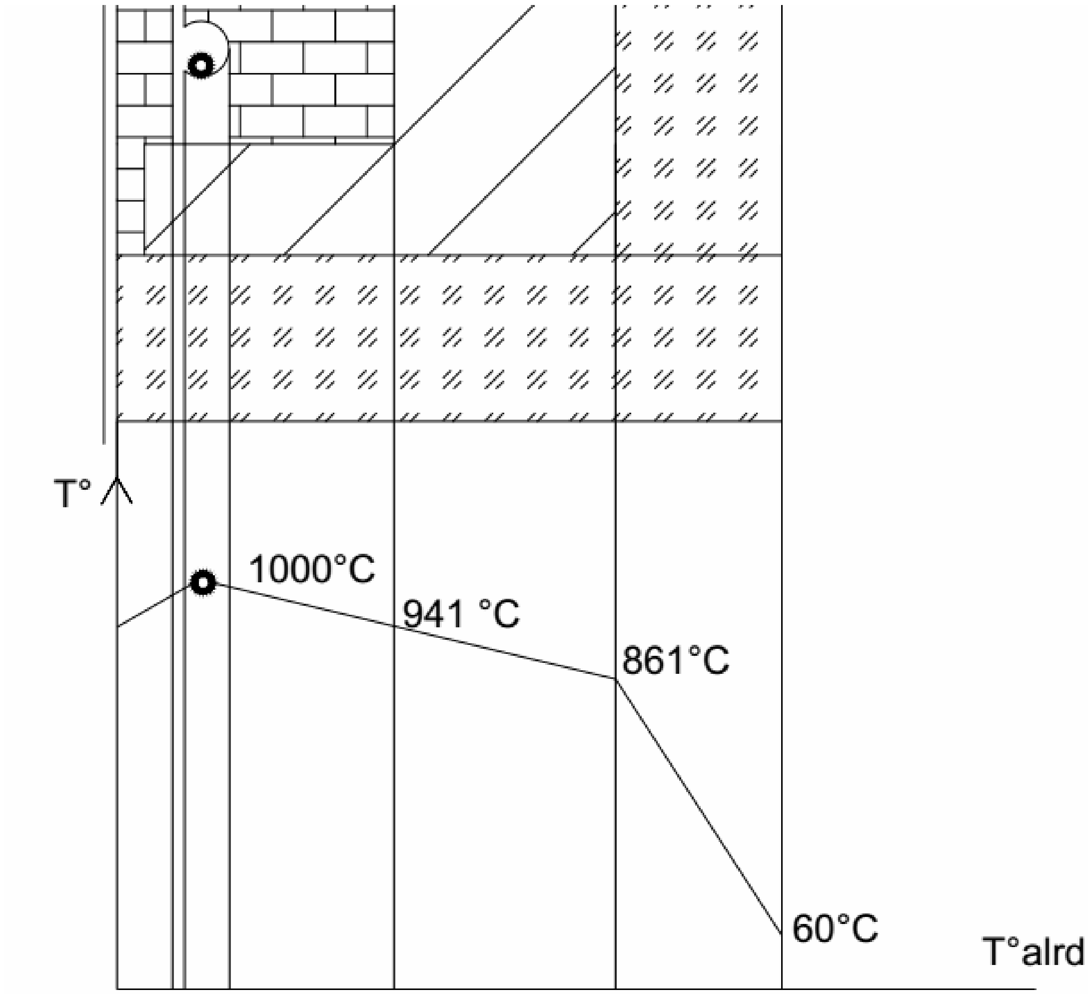
  $T_\infty$ = 20°C

En la figuras siguientes se visualizan las temperaturas correspondientes y las dimensiones del horno




k1
k2
k3
R1
R2
R3
R4
T1
T2
T3
T4


300
400
50
60
160
220
440


T°
1000°C
941 °C
861°C
60°C
T°alrd