

Modificación al diseño de hornos, reduciendo el consumo de energía, tomando en cuenta la reflectancia de los materiales

Julián Rentería Hernández, Josué Del Valle Hernández, Francisco Alejandro Ramírez Díaz,
Juan Mauricio Valtierra Domínguez, Brenda Rosario Hernández Palafox

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de León. Av. Tecnológico S/N, Fraccionamiento Industrial Julián de Obregón, León Guanajuato.

Resumen

Para la manufactura de suelas por medio de la inyección de plástico, la eficiencia energética no es algo que se obtenga con el empleo de estos equipos. Debido a la baja inversión de capital emplean parrillas con resistencias calefactoras donde las pérdidas de calor son excesivas. Como carecen de un análisis comparativo de las propiedades térmicas de los materiales con los que se fabrican los hornos, presentan diferencias de temperatura que evidencian consumos enormes de energía. La meta del trabajo fue reducir el consumo de energía proponiendo a partir de un análisis comparativo, el uso de materiales apropiados térmicamente y un diseño que permita el mejor aprovechamiento de la energía. A partir de las características térmicas de los materiales de construcción y realizando pruebas con la cabina existente, empleando para su rediseño aluminio de especificación 1100, colocando aislamientos, y sustituyendo las resistencias eléctricas por lámparas infrarrojas e instalando un sistema de control y adquisición de datos a partir de sensores, para obtener las diferentes temperaturas alcanzadas tanto en el molde de aluminio como en las paredes del horno se alcanzó la condición deseada, 61° C y 51° C reduciendo el tiempo de calefacción de 90 a 10 minutos.

Abstract

For the manufacture of soles by means of plastic injection, energy efficiency is not something that is obtained with the use of these equipment. Due to the low capital investment use grills with heating resistors where heat losses are excessive. Since they lack a comparative analysis of the thermal properties of the materials with which the furnaces are manufactured, they present temperature differences that demonstrate enormous energy consumption. The goal of the work was to reduce energy consumption by proposing a comparative analysis, the use of appropriate materials thermally and a design that allows the best use of energy. Based on the thermal characteristics of the construction materials and carrying out tests with the existing cabin, using for its redesign aluminium specification 1100, placing insulations, and replacing electrical resistors with infrared lamps and installing a system of control and data acquisition from sensors, to obtain the different temperatures reached in both the aluminium mould and the furnace walls the desired condition was reached, 61° C and 51° C reducing the heating time from 90 to 10 minutes.

Palabras Clave: horno, reflectancia, absorbancia, radiación infrarroja

1. ANTECEDENTES

La técnica utilizada por las empresas para calentar sus moldes de suelas se realiza por medio de una parrilla la cual carece de aislamiento térmico y está totalmente expuesta a la intemperie, la fuente de calor se obtiene mediante resistencias eléctricas tipo espira de 2 kW c/u colocadas por debajo. El tiempo estimado de calefacción nunca es menor a 90 minutos alcanzando las paredes de horno construidas en lámina negra de acero, una temperatura de 160° C, los moldes alcanzan una temperatura máxima de 50° C. Esta condición es requerida para obtener un vulcanizado de compresión de buena calidad. Sin embargo, el uso de esta técnica de calentamiento demanda un consumo importante de energía eléctrica ya que la parrilla se encuentra encendida todo el turno laboral, no cuenta con un sistema de control y a su vez se da un desperdicio de energía

significativo por estar al aire libre. Como los moldes están expuestos a la intemperie su temperatura no es uniforme por lo que se produce una merma en la producción.

El propósito principal por el que se emplea el aluminio o sus aleaciones en la fabricación de moldes, está fundado en que se conservan las ventajas básicas de este metal como la facilidad de mecanizado, ligereza y elevada conductividad térmica y dureza, aunque es un material altamente reflectante. La intención de calentar los moldes antes de colocarlos en la máquina de inyección sirve para evitar el choque térmico entre el material y el molde, si está frío, el material se cristaliza provocando baja calidad en el producto y/o pérdidas de material.

2. MARCO TEORICO

Para el sistema analizado se consideran presentes los tres mecanismos de transferencia de calor:

Conducción. Consiste en un transporte de energía calorífica sin transporte de materia, pero en presencia de ésta; es decir, tiene lugar en los cuerpos, exige la presencia de materia. Este proceso es típico de los sólidos y se considera consecuencia de la agitación térmica: 1) de los *fonones* (cuantos de energía de las ondas elásticas o de vibración de las redes interatómicas; caso de los sólidos no metálicos); 2) de los *electrones libres* (sólidos metálicos); o 3) de las *moléculas* (en los fluidos). En este último caso -de los fluidos- es imposible separar el proceso de conducción del proceso de convección, propio de los fluidos.

Convección. Consiste en un transporte de energía calorífica con transporte de materia. (Por tanto, precisa también la presencia de materia). Este proceso es típico de los fluidos y se considera consecuencia de una diferencia de temperatura que origina diferencias de densidad de unos puntos a otros, ya que la densidad es función de la temperatura $\rho(T)$, que en presencia de un campo gravitatorio origina las corrientes de convección.

Radiación. Consiste en un transporte de energía calorífica que puede tener lugar tanto en presencia de materia como en ausencia de ésta (en el vacío). No exige, en consecuencia, la presencia de materia. Este proceso tiene carácter de *onda electromagnética térmica*; es decir, cualitativamente es una onda electromagnética (que en el vacío se propaga a la velocidad de la luz), y de manera concreta de un determinado rango de frecuencias. La emisión tiene lugar en todas direcciones y al incidir en un cuerpo éste puede actuar reflejándola, absorbiéndola (con aumento de la energía interna, incremento de la temperatura) o transmitiéndola. Se denomina *radiación térmica* a la que resulta exclusivamente de la temperatura (puede haber radiación debido a bombardeo de electrones, a descargas eléctricas, etc).

Según el principio de conservación de la energía:

$$E = A + R + T \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Dividiendo esta expresión por la energía incidente (E):

$$1 = \frac{A}{E} + \frac{R}{E} + \frac{T}{E}$$

O bien:

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Siendo:

$\alpha = A/E$ = fracción de la radiación que es absorbida = poder absorbente = **absortividad**.

$\rho = R/E$ = fracción de la radiación que se refleja = poder reflexivo = **reflectividad**.

$\tau = T/E$ = fracción de la radiación que se transmite = poder transmisivo = **transmisividad**.

La mayor parte de los sólidos con los que se trabaja en ingeniería son *cuerpos opacos* a la radiación, es decir, poseen una transmisividad tan baja que puede considerarse nula frente a la absortividad y reflectividad. Para éstos se verifica:

$$\tau = 0 \Rightarrow \alpha + \rho = 1$$

3. METODOLOGIA

Para determinar cómo se distribuye la energía aportada por la fuente (las lámparas) y absorbida por el horno y los elementos que lo constituyen se analizan cada una de los siguientes componentes:

- 1.- Carga térmica de las lámparas ($Q_{lamparas}$)
- 2.- Carga térmica en el molde (Q_{molde})
- 3.- Carga térmica en el aire dentro de la cabina (Q_{aire})
- 4.- Carga térmica en la placa de acero al carbono (Q_{placa})
- 5.- Carga térmica en el disco de acero al carbono (Q_{disco})
- 6.- Carga térmica de la pared trasera y pared frontal ($Q1$ Y $Q2$ donde $Q1 = Q2$)
- 7.- Carga térmica de la parte superior y la parte inferior de la cabina ($Q3$ Y $Q4$)
- 8.- Carga térmica de la parte lateral izquierda y derecha ($Q5$ Y $Q6$)
- 9.- Carga térmica total absorbida por las paredes del horno y de cada elemento que lo compone ($Q_{total absorbida}$)

1.- Carga térmica de las lámparas ($Q_{lamparas}$)

Para la carga térmica de las lámparas se obtuvieron datos con un multímetro digital tomando cada una de las corrientes de cada lámpara y su voltaje, el cual por los principios es el mismo en cada nodo. Conociendo la corriente y el voltaje, empleando la ecuación 2.1 se obtuvieron los datos de la potencia de cada una de las lámparas.

$$P = V * I \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Ya una vez que se obtenga la potencia de cada lámpara empleando la ecuación 2.2 se calcula la potencia total de las lámparas

$$Q_{lamparas} = P1 + P2 + P3 \quad (\text{Ec. 2.2})$$

2.- Carga térmica en el molde (Q_{molde})

Para la carga térmica en el molde conocemos la masa del molde, el cp del aluminio 6065 y la diferencia de temperatura, empleando la ecuación 2.3

$$Q_{molde} = m * cp * \Delta_t \quad (\text{Ec. 2.3})$$

3.- Carga térmica en el aire dentro de la cabina (Q_{aire})

Para obtener la carga en el aire primero se tiene que calcular el volumen (Ecuación 2.4) interno de la cabina y posteriormente tomar dato de la densidad del aire procedemos a calcular la masa con la ecuación 2.5

$$V = L * L * L \quad (\text{Ec. 2.4})$$

$$M_{aire} = v * \rho \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Conociendo además el calor específico del aire y su diferencia de temperatura con la ecuación 2.6 se tiene la carga térmica del aire.

$$Q_{aire} = m * cp * \Delta_t \quad (\text{Ec. 2.6})$$

4.- Carga térmica en la placa de acero al carbono (Q_{placa})

Para obtener la carga térmica de la placa es necesario saber las dimensiones, su espesor, la densidad del acero al carbono y el cp.

Con la ecuación 2.4 se obtiene el volumen de la placa

$$V = L * L * L \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Enseguida con la ecuación 2.6 se debe de calcular la masa de la placa de acero conociendo el Cp y el Δ_t

$$Q_{placa} = m * cp * \Delta_t \quad (\text{Ec. 2.6})$$

5.- Carga térmica en el disco de acero al carbono (Q_{disco})

Para obtener la carga térmica en el disco es necesario saber las dimensiones, su espesor, la densidad del acero al carbono y el cp.

Con la ecuación 2.7 se obtiene el área del círculo

$$a = \pi * r^2 \quad (2.7)$$

Con la ecuación 2.8 calculamos el volumen del disco

$$V = a * L \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Enseguida con la ecuación 2.6 se debe de calcular la masa de la placa de acero conociendo el Cp y el Δ_t

$$Q_{disco} = m * cp * \Delta_t \quad (\text{Ec. 2.6})$$

6.- Carga térmica de la pared trasera y pared frontal (Q_1 Y Q_2 donde $Q_1 = Q_2$)

Para el cálculo de la pared trasera y pared frontal es necesario saber el área primeramente seguido del coeficiente de transferencia de calor por convección y se tiene el dato del ΔT el cual fue un dato obtenido por medición.

El área es calculada por la ecuación 2.9

$$a = l * l \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Calculando el área y teniendo los otros dos datos se procede a usar la ecuación 2.10

$$Q = A * h * \Delta T \quad (\text{Ec. 2.10})$$

7.- Carga térmica de la pared superior y la pared inferior de la cabina (Q_3 Y Q_4)

Donde $Q_3 = Q_4$

Para el cálculo de la pared superior y pared inferior es necesario saber el área primeramente seguido del coeficiente de transferencia de calor por convección y se tiene el dato del ΔT el cual fue un dato obtenido por medición.

El área es calculada por la ecuación 2.9

$$a = l * l \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Calculando el área y teniendo los otros dos datos se procede a usar la ecuación 2.10

$$Q = A * h * \Delta T \quad (\text{Ec. 2.10})$$

8.- Carga térmica de la parte lateral izquierda y derecha (Q_5 Y Q_6)

Donde $Q_5 = Q_6$

Para el cálculo de la pared lateral izquierda y pared derecha es necesario saber el área primeramente seguido del coeficiente de transferencia de calor por convección y se tiene el dato del ΔT el cual fue un dato obtenido por medición.

El área es calculada por la ecuación 2.9

$$a = l * l \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Calculando el área y teniendo los otros dos datos se procede a usar la ecuación 2.10

$$Q = A * h * \Delta T \quad (\text{Ec. 2.10})$$

9.- Carga térmica total absorbida por las paredes del horno y de cada elemento que lo compone

$$Q_{total\ absorbida}$$

Para la carga térmica total que fue absorbida por las paredes del horno y los elementos como lo son el molde de aluminio, la placa de acero, el disco de acero y el aire se hace una sumatoria de cada una de ellas como se muestra en la ecuación 2.11.

$$Q_{total\ absorbida} = Q_{molde} + Q_{aire} + Q_{placa} + Q_{disco} + Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Después de que se tiene la carga térmica total que fue absorbida por el horno y sus componentes se hace una comparación con la energía aportada por la fuente la cual es la carga térmica de las lámparas. (Figura 2.12)

$$Q_{lamparas} - Q_{total\ absorbida} = 0 \quad (\text{Figura 2.12})$$

4. CIRCUITO DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Con la cabina modificada se diseñó e implemento un circuito de control que permitió la adquisición de datos, así como la acción de suspender el suministro de energía eléctrica que alimenta a las lámparas. Los componentes de este circuito fueron: como elementos primarios de medición seis termopares tipo J y un bulbo resistivo de temperatura (RTD). Para llevar a cabo la adquisición de datos se instaló una tarjeta modelo NI-612, a fin de controlar el proceso se situó un controlador marca Honeywell modelo UDC 1000 micro pro DC 100370001000, completando el circuito como elemento final de control se integró un contactor trifásico de CA a 30 A y 220 V.

El sustituir las resistencias calefactoras por lámparas infrarrojas asegura una mejor distribución del calor inclusive en caso de los combustibles fósiles el horno tendría mayores dimensiones además de materiales especiales y un sistema de eliminación de los productos de la combustión. En ambos casos el ahorro tanto en operación como en infraestructura requerida es importante en el caso de las lámparas infrarrojas.

5. RESULTADOS

1 Como parte de la metodología primeramente se realizó una prueba de calentamiento con un horno cuyas paredes son de lámina negra oxidada y no cuenta con puerta frontal, pero si está aislado. Las condiciones fueron: calefacción mediante dos resistencias tipo espira y temperatura de 25° C al inicio y después de 90 minutos su temperatura de paredes alcanzó los 160°C mientras que el molde logro 60° C.

De acuerdo a los materiales la reflectancia para el fierro oxidado es de 0.264 mientras que para el aluminio 6061 fue de 0.84, debido a esta diferencia tan grande el calor se absorbe en la lámina por su mayor absorbancia.

2 Tomando como base como base la reflectancia del molde de aluminio se seleccionó el material que debería sustituir a la lámina negra en las paredes del horno optándose por el aluminio de especificación 1100 calibre 22

sustituyendo las resistencias calefactoras por lámparas infrarrojas y como aislante se colocó fibra de vidrio de media densidad con espesor de 1 pulgada con una conductividad térmica de 0.038 w/m K y un coeficiente de convección para aire quieto de 8.7353 w/ m² K y tomando las ecuaciones del balance térmico se obtuvo:

Tabla 3.2 Resultados de las cargas térmicas del horno

CARGA TÉRMICA (Q)	POTENCIA (W)	ENERGÍA (KJ)
Q_{molde}	1,733.2985	996.3
Q_{aire}	91.5654	52.6317
Q_{placa}	429.4227	246.8321
Q_{disco}	301.0549	173.0463
Q_1	93.6913	53.8537
Q_2	93.6913	53.8537
Q_3	127.9686	73.5563
Q_4	127.9686	73.5563
Q_5	94.3821	54.2508
Q_6	94.3821	54.2508
TOTAL	3,187.4255	1,832.1317

Usando la ecuación 2.12 se obtuvo el valor de la tabla 3.3

$$Q_{lamparas} - Q_{total\ absorbida} = Q_{sobrante}$$

$$3188.6W - 3,187.4255 W = 1.1745 W$$

Se considera que la distribución del calor fue la apropiada ya que prácticamente no existe calor faltante. Corroborando que tanto el cambio de material a paredes como el aislante empleado fueron los apropiados.

Las temperaturas alcanzadas en el horno se muestran en las figuras 3.1 y 3.2.

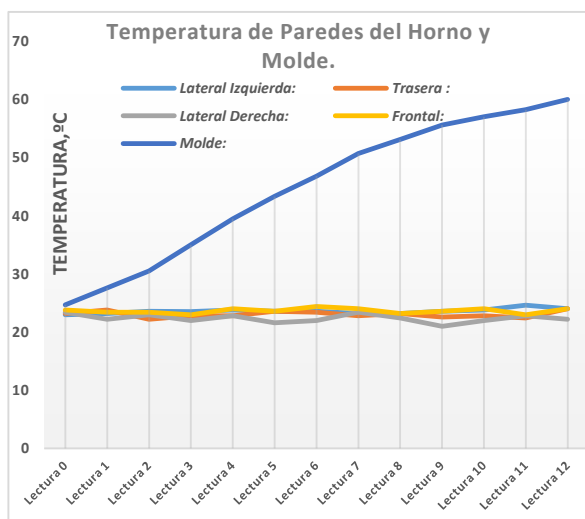


Figura 3.1 Temperatura de Paredes del Horno y Molde.

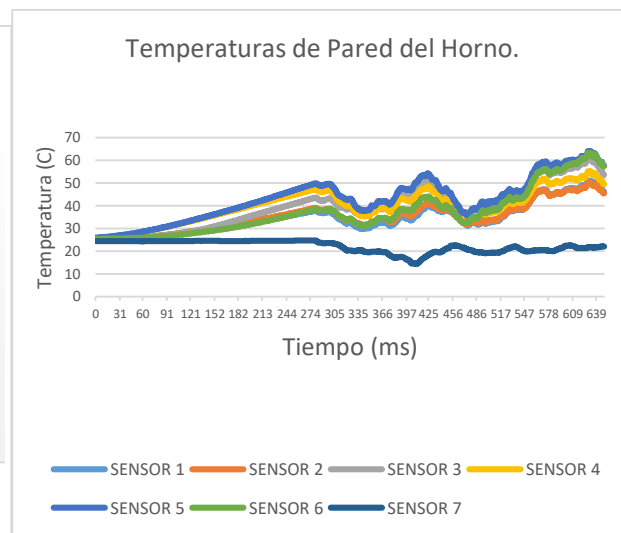


Figura 3.2 Temperatura de Pared del Horno.

6. CONCLUSIONES

La reflectancia de los materiales influye significativamente el proceso de calentamiento ya que al ser próximos sus valores el calentamiento es homogéneo y su aprovechamiento es mayor.

Las paredes del horno se calentaron menos que el molde ya que como su reflectancia es mayor el calor se absorbía mejor en el molde.

Al mejorar el proceso de transferencia de calor la temperatura de superficie de la pared exterior del horno se mantuvo casi a temperatura ambiente ya que la combinación de aislante apropiado con materiales de reflectancia similar evito la perdida de calor.

7. REFERENCIAS

- [1] Lienhard H. J. IV, Lienhard H. J.V; 2017; A Heat Transfer Text book; Plogiston Press 4th ed. Cambridge, MA.
- [2] Mills F. A.;1996; Transferencia de calor; McGraw Hill/ Irwin.
- [3] Perry J., Chilton; 2000; Manual del Ingeniero Químico;UTEHA.
- [4] Incropera F.P.; 2007; Fundamentals of Heat and Mass Transfer; Jhon Wiley and Sons 6th ed.
- [5] Kern D. Q.; 1998; Procesos de Transferencia de Calor; CECSA 3ª edición.
- [6] Welty J. R.; 1996; Introducción a la Ingeniería de la Transferencia de Calor; Limusa y Noriega Editores.
- [7] Holman J. P.; 1998; Transferencia de Calor; McGraw Hill 8ª

Correo electrónico autor: jrenteriahern@hotmail.com