

MODELO MATEMATICO Y EXPERIMENTOS CON UN HORNO DE ALTO VACIO PARA RECOCIDO DE VAINAS PARA ELEMENTOS COMBUSTIBLES.

S. Pissanetzky, R. Volpi, H. Cingolani y J.C. Almagro.

1. Introducción

En una publicación anterior /1/ se presentó el modelo matemático de un apilamiento de tubos metálicos en alto vacío. Las paredes exteriores del apilamiento se mantenían a una temperatura fija, diferente de la temperatura inicial del resto de los tubos, y se estudiaba la evolución de la temperatura en el interior del apilamiento en función del tiempo.

El modelo que aquí presentamos es también bidimensional y representa un horno de recocido de forma cilíndrica, que contiene en su interior un carro de sección exagonal cargado con 57 tubos de acero inoxidable. La temperatura de la retorta del horno se mantiene fija, y se estudia la evolución de la temperatura en el carro y la carga. El calor se propaga únicamente por radiación entre los distintos cuerpos, y por conducción dentro de las paredes del carro y las de cada uno de los tubos, ya que, por ser los tubos largos y livianos, se tocan sólo en unos pocos puntos y la transferencia de calor a través de esos contactos resulta mínima. Las temperaturas calculadas se comparan con mediciones realizadas en un horno de recocido, y muestran un acuerdo excelente, lo que prueba la corrección de la teoría y de las aproximaciones realizadas y la calidad de los programas de cálculo y también abre la posibilidad de emplear la computadora para el diseño de futuros hornos.

2. El modelo

El problema alineal de conducción del calor transiente se resuelve en el carro y en cada uno de los tubos por el método de Elementos Finitos /1/. La capacidad calorífica del acero 310 está dada en función de la temperatura por la interpolación:

$$\rho C = 0.84402 + 0.69645 \times 10^{-3}T - 0.48435 \times 10^{-6}T^2$$

en unidades cal, cm y °C, y dentro del rango de interés. La conductividad se tomó como constante e igual a 0.0444 cal/cm seg °C. Este valor no influye mayormente en los resultados.

Las transferencias de calor por radiación ocurren entre el horno, el carro y los tubos, y en todas las pequeñas cavidades que quedan entre los tubos. En cada cavidad y en cada paso de tiempo se resuelve el problema de radiación del calor por el método de la radiación neta /2, capítulo 8/.

Para ello el perímetro de cada cavidad se aproxima con una serie de pequeños "lados de radiación" rectos, y se calcula la energía radiante transferida entre cada par de lados en función de las temperaturas de esos lados en el instante de interés. El cálculo tiene en cuenta todos los detalles de la geometría para cada par de lados, por ejemplo el ángulo entre ellos y la existencia de obstrucciones totales o parciales que podrían impedir que toda la energía emitida por uno de los lados hacia el otro, lo alcance efectivamente. Se tiene en cuenta también la absorción y la reflexión de radiación.

3. Las mediciones

Las mediciones de temperatura se realizaron en la planta piloto Fábrica de Aleaciones Especiales de Ezeiza, utilizando un horno existente. La retorta del horno se mantenía a temperatura aproximadamente constante por medio de regulación automática, y era medida por varias termocuplas colocadas en diferentes puntos. El vacío dentro del horno se mantuvo mejor que 10^{-3} Torr. La temperatura de la carga se medía en tres puntos distintos por medio de termocuplas conectadas a un registrador. No se realizaron mediciones de potencia de entrada a la carga. Se realizaron varios experimentos, y con anterioridad a cada uno de ellos todos los tubos fueron cuidadosamente limpiados y pulidos. La emisividad de la superficie pulida de los tubos fue medida por separado colocando un tubo, con un calefactor eléctrico dentro, a lo largo del eje del horno vacío y frío. Suministrando una potencia conocida al calefactor y midiendo la temperatura de equilibrio alcanzada por el tubo, fue posible calcular la emisividad en función de la temperatura. Valores entre 0.30 y 0.35 fueron obtenidos para el rango de temperaturas de interés.

4. Resultados

La Figura 1 muestra los resultados medidos durante tres experiencias de calentamiento, desde 20° hasta 500°C, indicados con puntos llenos, vacíos y cruzados, respectivamente. Las termocuplas estaban colocadas como sigue:

- A- en la parte superior de los tubos, en contacto térmico con un tubo pero expuesto directamente a la radiación proveniente del horno.
- B- en el centro de la carga de tubos.
- C- en el fondo de la carga de tubos.

Las curvas llenas representan los resultados obtenidos con el modelo para los mismos tres puntos. Las emisividades adoptadas son 0.9 para el horno, 0.6 para el carro y 0.35 para los tubos. El acuerdo es muy bueno si se tiene en cuenta que la termocupla A indica una temperatura superior a la del tubo que toca porque recibe radiación directa desde el horno. Este efecto fue medido posteriormente obteniéndose una diferencia en función del tiempo que corresponde a la observada en la figura.

Tres experiencias de enfriamiento desde 500°C hasta 20°C dieron origen a los puntos indicados en la figura 2. Las curvas llenas fueron obtenidas numericamente tomando los mismos valores ya indicados para las emisividades. Nuevamente hay un buen acuerdo, teniendo en cuenta que la termocupla A marca ahora una temperatura menor que la correcta.

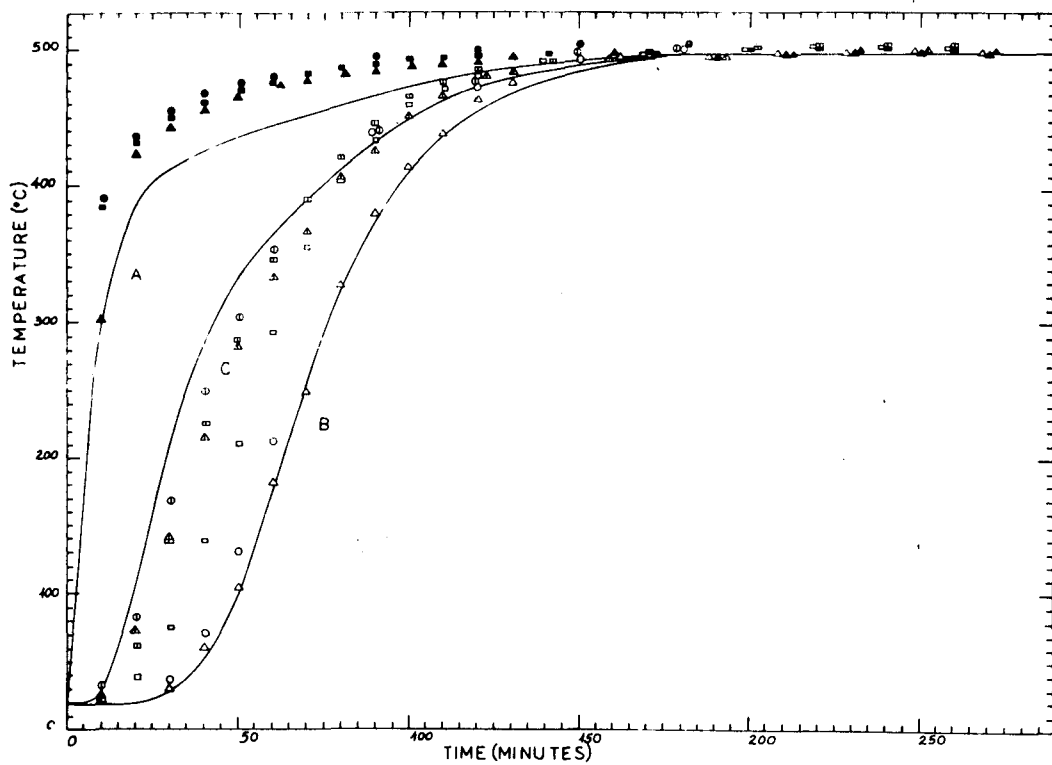
Curvas de potencia total, calculadas pero no medidas, se muestran en la figura 3. Las curvas llenas corresponden a calentamiento, y las punteadas a enfriamiento. Las señaladas con T indican la potencia total ganada (o perdida) por los tubos, C se refiere al carro, y T+C a la potencia total para carro y tubos. Se observa que el carro absorbe mucho calor inicialmente, pero en solo 8 minutos éste se hace menor al que toman los tubos, por lo que el efecto del carro en demorar el calentamiento de los tubos es muy pequeño.

Como conclusión podemos afirmar que se dispone de un método de cálculo efectivo, que representa muy bien la realidad, y que por lo tanto pue

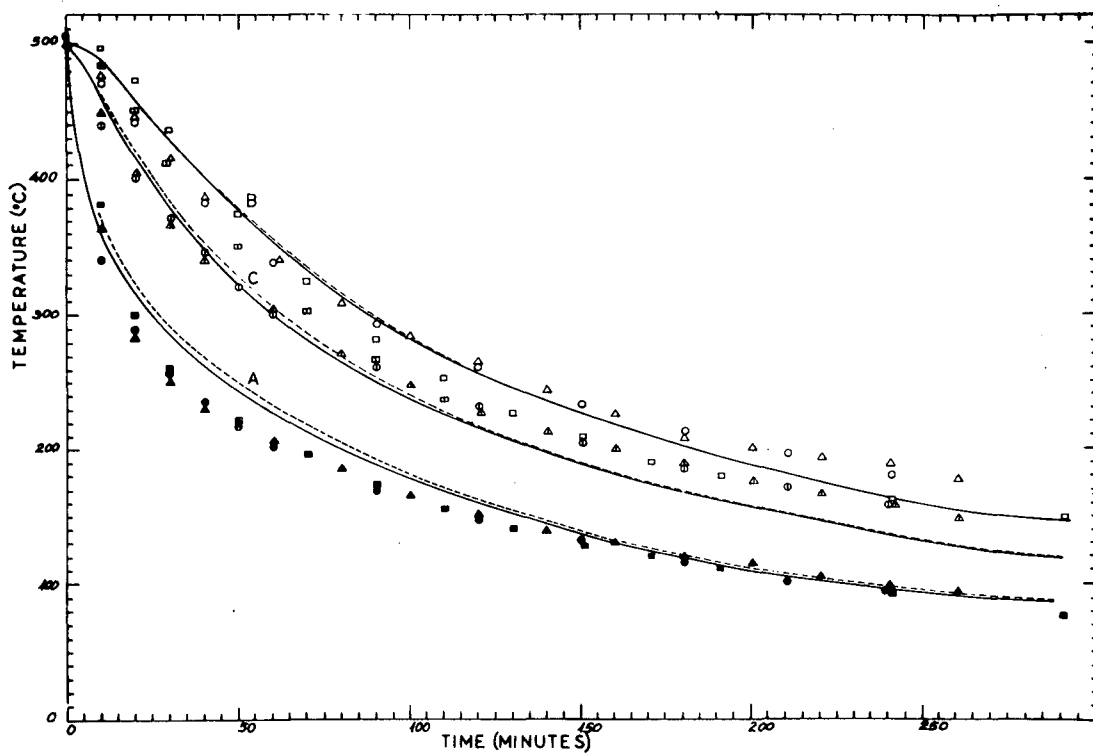
de utilizarse para el diseño de otros hornos o para la resolución de otros problemas de radiación y conducción de calor.

REFERENCIAS

- /1/ S. Pissanetzky, Nuclear Engineering and Design 56, 359-368 (1980).
- /2/ R. Siegel, J.R. Howell, Thermal Radiation Heat Transfer (Mc Graw-Hill, New York 1972).



PISSANETZKY - FIGURA 1



PISSANETZKY - FIGURA 2

ANFTCKY - FIGURE 3

