

**Práctica no pautada**

**Estudio de Perfiles de calentamiento  
en los cuerpos sólidos.**

**Profesores:**

**Bertucelli, Daniela**

**Garbellini, Olga**

**Alumnos:**

**Palermo, Pedro**

**Alés, Alejandro**

**Fecha: 19/05/08**

## Objetivo:

Estudiar la conducción del calor a través de una barra cilíndrica, tomando como variables la distancia, el tiempo y el tipo de material.

## Introducción:

La conducción del calor es el mecanismo de transferencia de calor de escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las mas bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes.

La conducción de calor solo ocurre si hay diferencias de temperaturas entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor  $\Delta x$ , con área de sección transversal  $A$  y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes  $T_1$  y  $T_2$ , con  $T_2 > T_1$ , se encuentra que el calor  $\Delta Q$  transferido en un tiempo  $\Delta t$  fluye del extremo caliente al frío. Si se llama  $H$  (en Watts) al calor obtenido por unidad de tiempo, la rapidez de transferencia de calor  $H = \Delta Q / \Delta t$ , está dada por la ley de la conducción del calor de Fourier:

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

donde  $dT / dx$  se llama gradiente de temperatura, y  $k$  es una constante de proporcionalidad llamada conductividad térmica. Se escoge la dirección del flujo de calor en la dirección de las  $x$  crecientes; como el calor fluye en la dirección de la  $T$  decreciente, se introduce un signo menos en la ecuación (esto es, se desea que  $dQ / dt$  sea positiva cuando  $dT / dx$  sea negativa).

Una sustancia que tiene gran conductividad térmica  $k$  es un buen conductor de calor. El valor  $k$  depende de la temperatura, aumentando ligeramente al elevarse la temperatura, pero  $k$  puede considerarse prácticamente constante en toda la extensión de una sustancia si la diferencia de temperaturas entre sus partes no es demasiado grande.

Aplíquese la Ec. (1) a una varilla de longitud de  $L$  y sección transversal constante  $A$ , en la cual se ha llegado a un estado de régimen estable. En un estado de régimen estable, la temperatura en cada punto es constante en el transcurso del tiempo. Por consiguiente  $dQ / dt$  es el mismo para todas las secciones. Pero  $dQ / dt = -kA(dT / dx)$ , de manera que, para valores constantes de  $k$  y de  $A$ , el gradiente de  $dT / dx$  es el mismo en todas las secciones. Por consiguiente,  $T$  disminuye linealmente a lo largo de la varilla, de modo que  $-dT / dx = (T_2 - T_1) / L$ . Así pues, el calor  $\Delta Q$  transmitido en el tiempo  $\Delta t$  es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad (2)$$

El fenómeno de la conducción del calor muestra también que los conceptos de calor y temperatura son netamente diferentes. Diferentes varillas, que tengan la misma diferencia de temperatura entre sus extremos, pueden transmitir cantidades totalmente diferentes de calor en el mismo tiempo.

### **Procedimiento:**

En primer lugar, para estudiar la conducción del calor a través de barras de distintos materiales, se dispuso de un generador de vapor eléctrico, un tapón de madera y dos barras: una de acero y otra de acrílico, ambas de  $300 \pm 1$  mm de largo y  $10 \pm 1$  mm de diámetro.

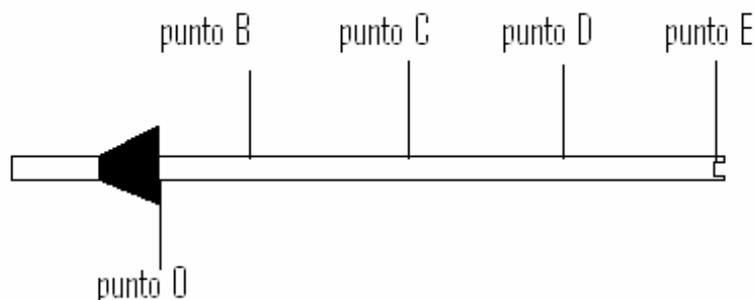
El tapón de madera tenía un orificio por el cual se inserto la barra metálica, pero este tapón se agrietó y dejó salir vapor, el cual se puso en contacto con la barra, modificándole la temperatura. Por lo cual, el tapón de madera debió de ser descartado por uno de telgopor.

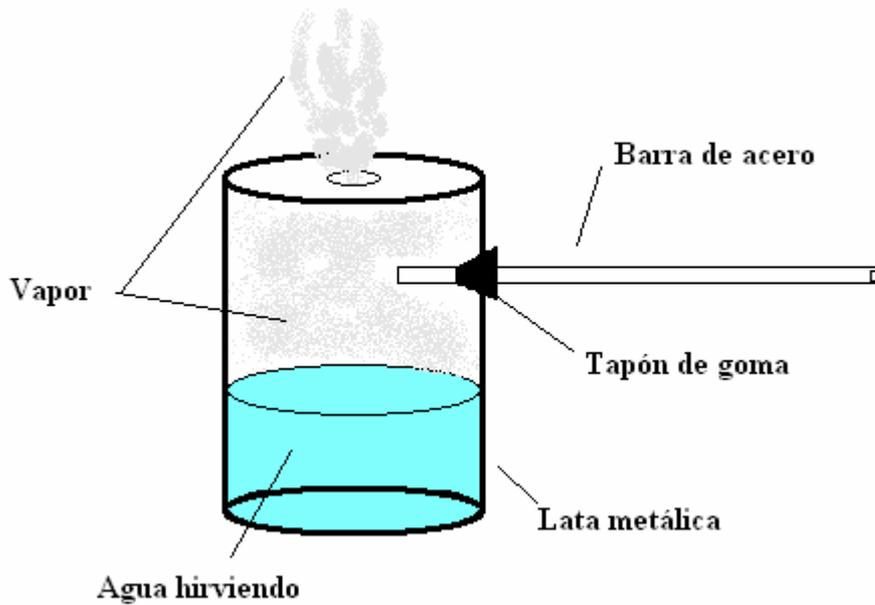
El tapón de telgopor tenía un orificio practicado de forma vertical, por el cual salía el vapor, y una canaleta horizontal sobre la cual se colocó la barra. Esta canaleta hacía posible la comunicación entre el extremo de la barra que se iba a calentar y el orificio por el cual salía el vapor. Se calentó agua en el generador de vapor, con el tapón apoyado sobre la abertura del mismo, y cuando se alcanzaba el hervor se disponía de forma horizontal la barra sobre la canaleta. Entonces se medía la temperatura en función del tiempo, del extremo de la barra, que se encontraba al aire libre. Para este fin se utilizó una termocupla embutida en un orificio realizado en dicho extremo. La termocupla transmitía los datos a una computadora mediante una interfase PASCO CI-7500 y un software de adquisición de datos Science Work Shop.

Este procedimiento no satisfizo las expectativas, ya que el telgopor que formaba el tapón, se deformó con el calor del generador de vapor, y dejó salir vapor, que influyó sobre la temperatura de la barra.

Por último, se resolvió definirse por un sistema formado, por una lata de leche en polvo, a la cual se le realizó un orificio en la sección lateral y otro en la sección superior, a efectos de dejar salir el vapor, de manera tal que la presión del sistema no aumente y no afecte el punto de ebullición del agua.

A la barra metálica se le realizaron tres orificios laterales a fin de ubicar las termocuplas tipo K a la distancia del extremo libre de la barra:  $53.9 \pm 0.01$  mm (Punto D);  $103.52 \pm 0.01$  mm. (Punto C);  $161.44 \pm 0.01$  mm. (Punto B). Por el orificio lateral, se introdujo la barra a estudiar, provista por un tapón de goma, colocado a  $218.50 \pm 0.01$  mm, para que la barra encaje de manera firme sobre la lata. Se eligió el último punto mencionado como el punto cero de la barra, y el punto E es el extremo libre.

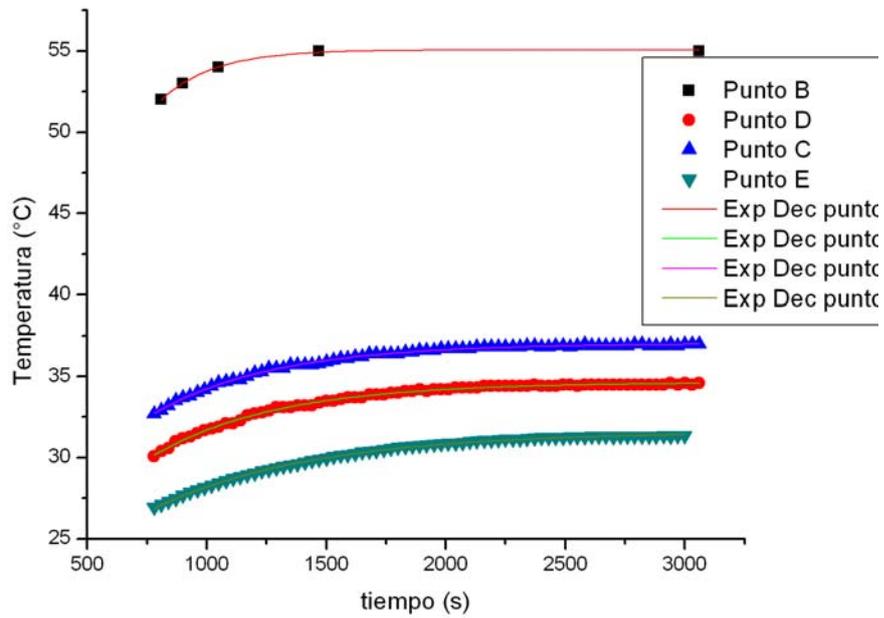




Se colocaron las termocuplas de esta manera: Punto B, C y D, en contacto termocuplas tipo K, conectadas a un tester; en cambio el punto E, se conecto a una sensor analógico de temperatura mediante una interfase PASCO CI-7500 y un software de adquisición de datos Science Work Shop. En todos los casos, se agregó grasa siliconada en los puntos de toma de datos, a fin de mejorar el contacto.

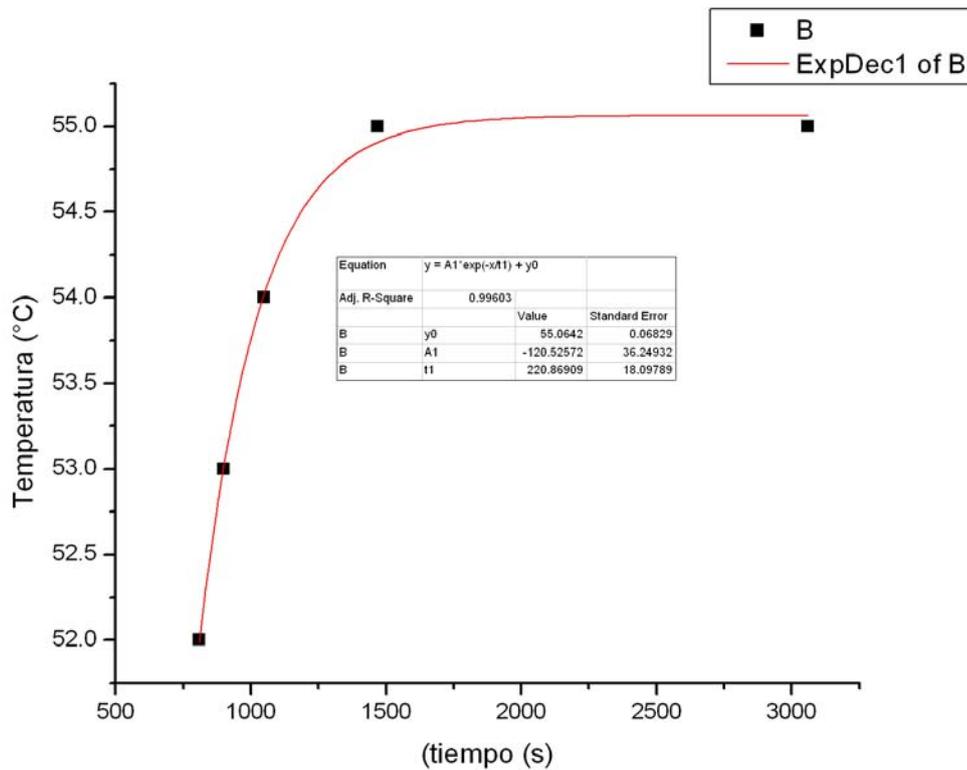
El recipiente se colocó sobre un trípode, y se procedió a su calentamiento mediante un mechero Bunsen. Cuando el agua entro en ebullición, se colocó la barra en el extremo lateral, y se procedió a realizar las mediciones de temperatura en función del tiempo en los distintos puntos de muestra, esta medición se tomo cada 30 segundos y se dio por finalizada cuando no se observó mas aumento de temperatura; luego de esto, se procedió a retirar la barra de la fuente de calor, a fin de realizar las mismas mediciones (en los 4 puntos y cada 30 segundos) pero, en este caso, de enfriamiento. Se realizo este mismo procedimiento con la barra metálica libre y luego aislada con cinta de papel.

**Resultados y análisis de datos**

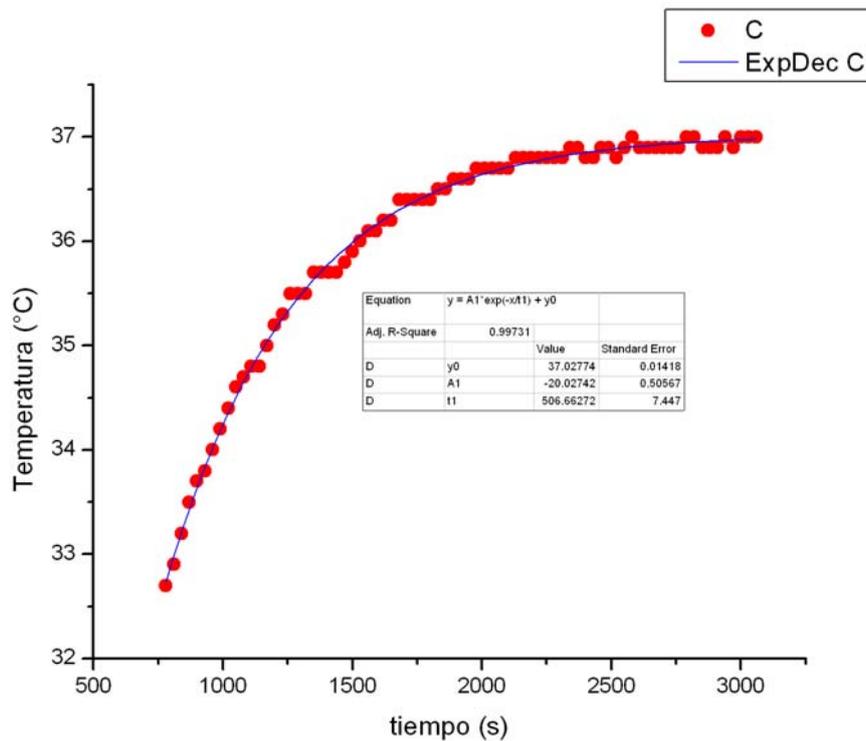


**Fig 1. Calentamiento en barra metálica, sin aislar.**

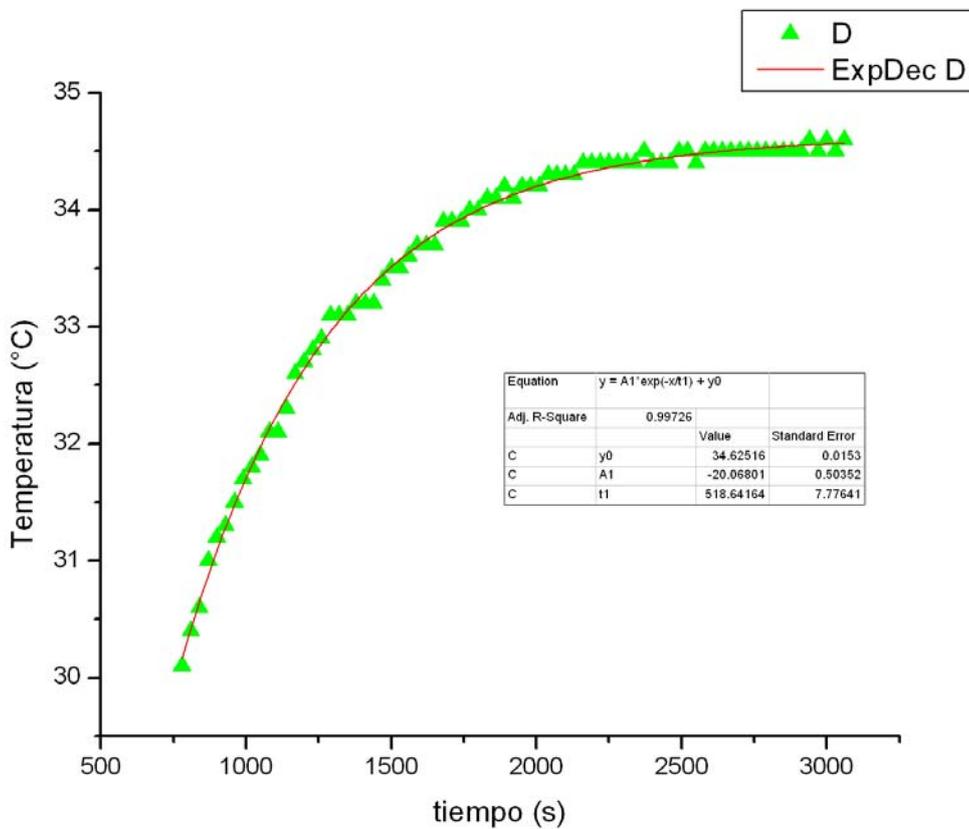
Como se ver en la figura 1, las curvas correspondientes a todos los puntos ajustan con gran certeza a una curva exponencial de primer orden.



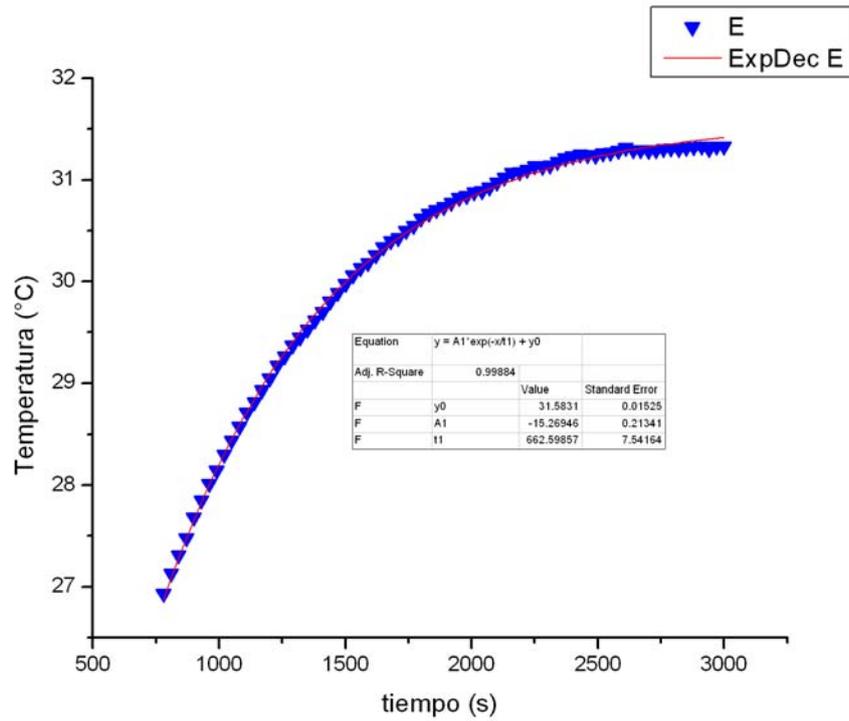
**Fig 2. Calentamiento en barra sin aislar, punto B.**



**Fig 3. Calentamiento en barra sin aislar, punto C**

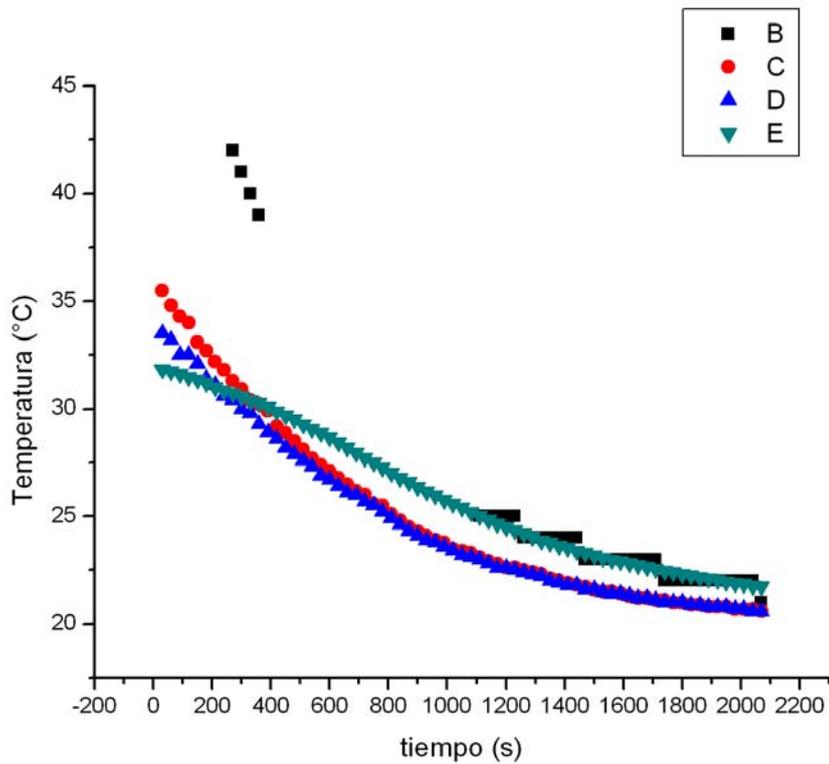


**Fig 4. Calentamiento en barra sin aislar, punto D**

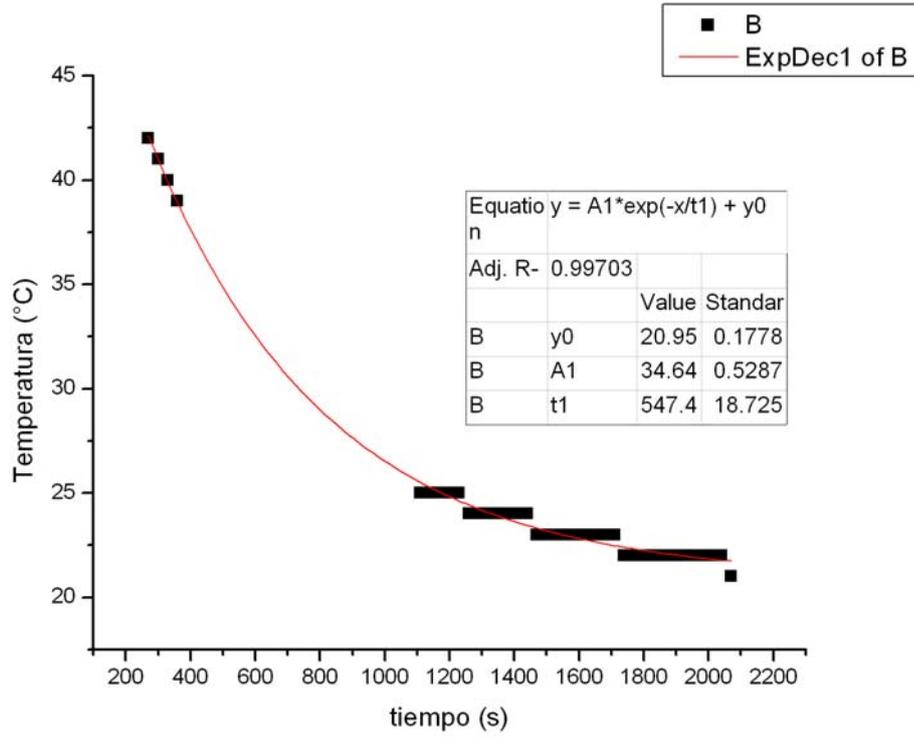


**Fig 5. Calentamiento en barra sin aislar, punto E**

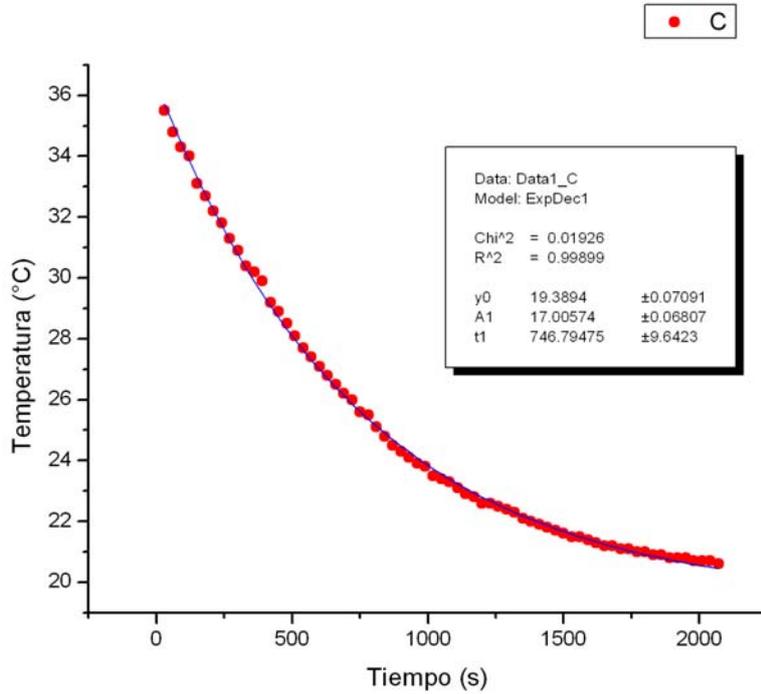
En todos los puntos (Fig 2; 3; 4 y 5), se puede comprobar, con buena aproximación, que el crecimiento de temperatura ha sido exponencial decreciente de primer orden.



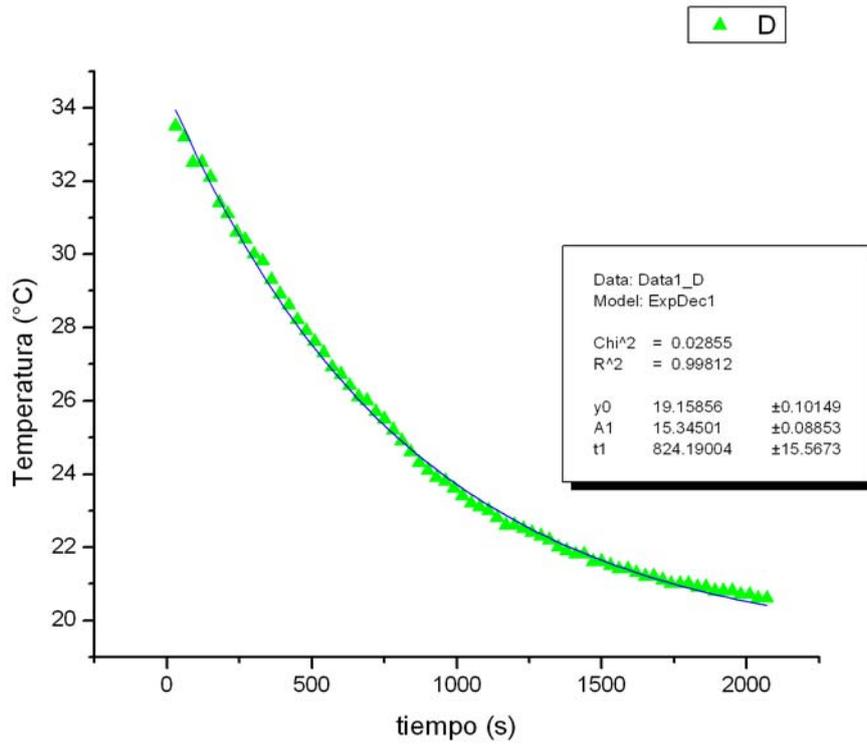
**Fig 6. Enfriamiento de una barra metálica, sin aislar.**



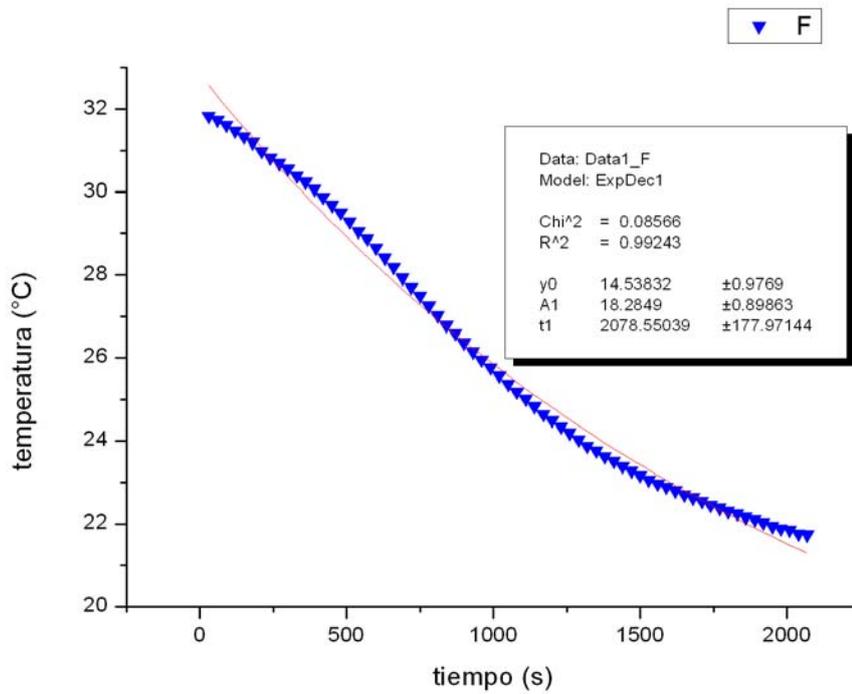
**Fig 7. Enfriamiento en el punto B, sin aislar.**



**Fig. 8. Enfriamiento en el punto C, sin aislar.**

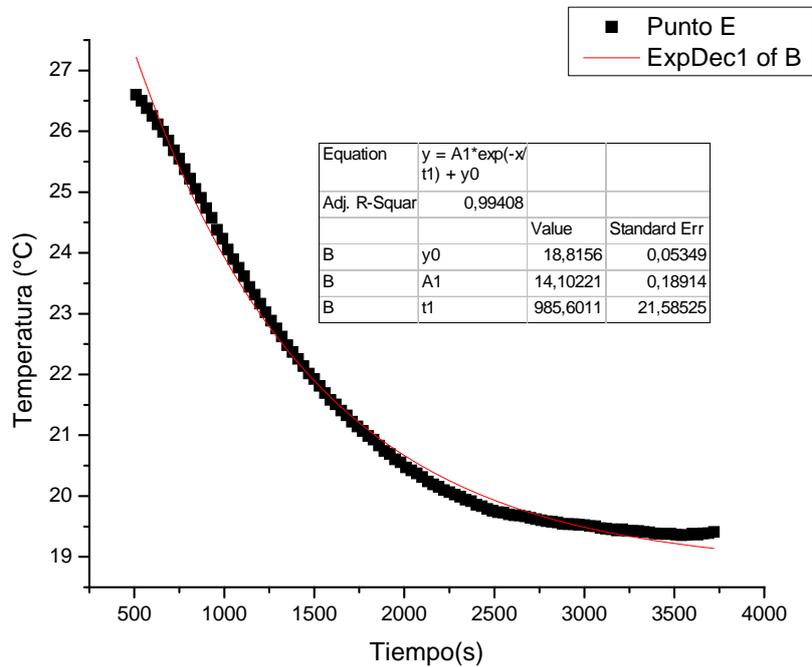


**Fig 9. Enfriamiento en el punto D, sin aislar.**



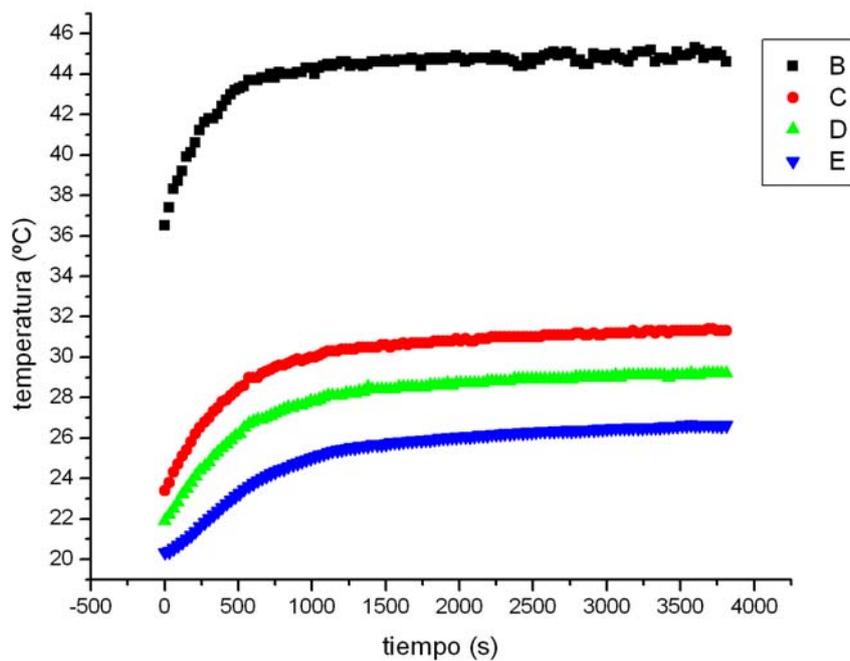
**Fig 10. Enfriamiento en el punto E, sin aislar.**

En las figuras 8, 9, 10 y 11, podemos observar el decrecimiento exponencial, cuyos ajustes dan buena aproximación, salvo en el punto E (fig 11). donde parece comportarse de otra manera.



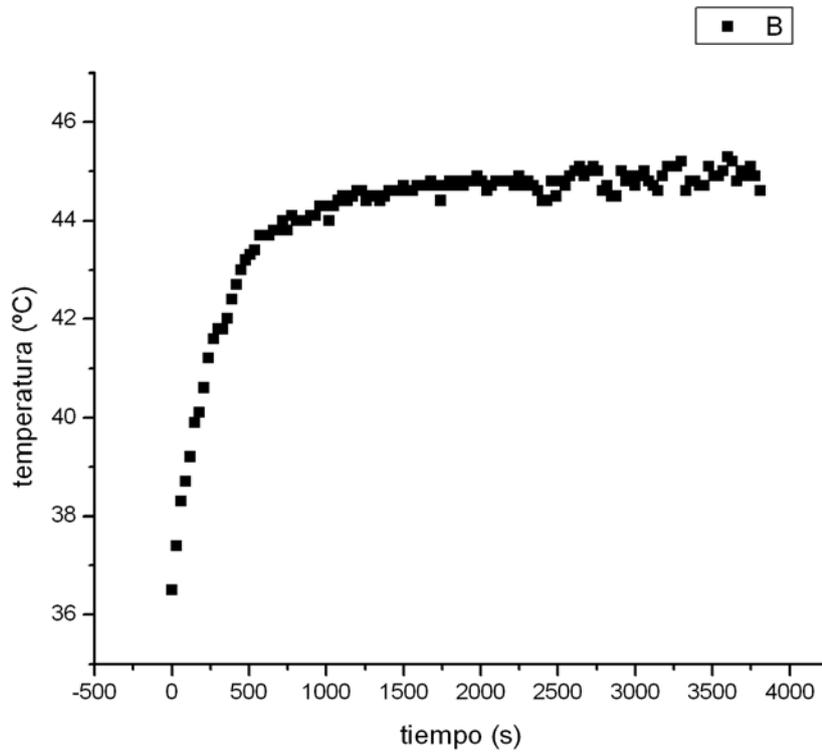
*Fig 11. Enfriamiento en el punto E, aislado.*

Al igual que para la barra sin aislar, el enfriamiento del punto E ajusta muy bien con una exponencial de primer orden.

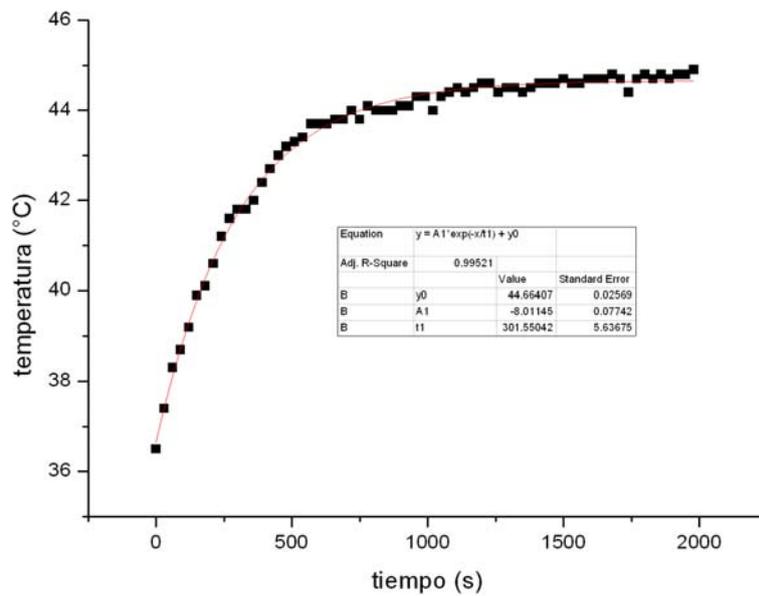


*Fig 12. Calentamiento de la barra metálica aislada.*

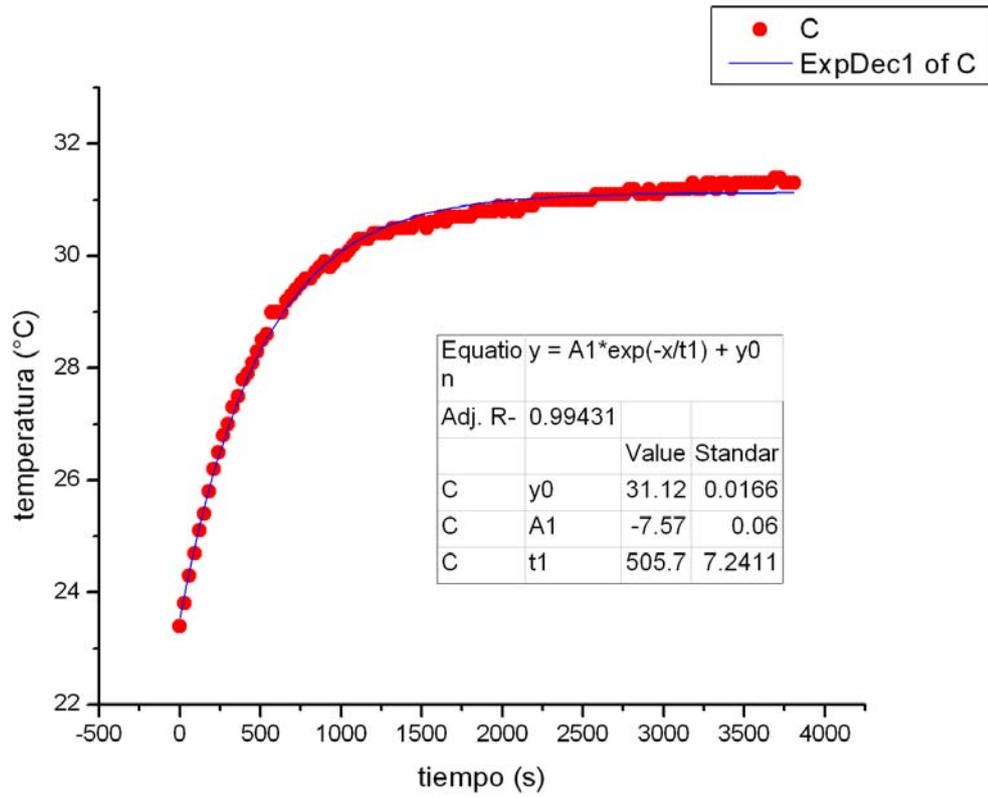
En esta figura, podemos ver que el comportamiento de las temperaturas en los puntos con respecto al tiempo, parece crecer de manera exponencial.



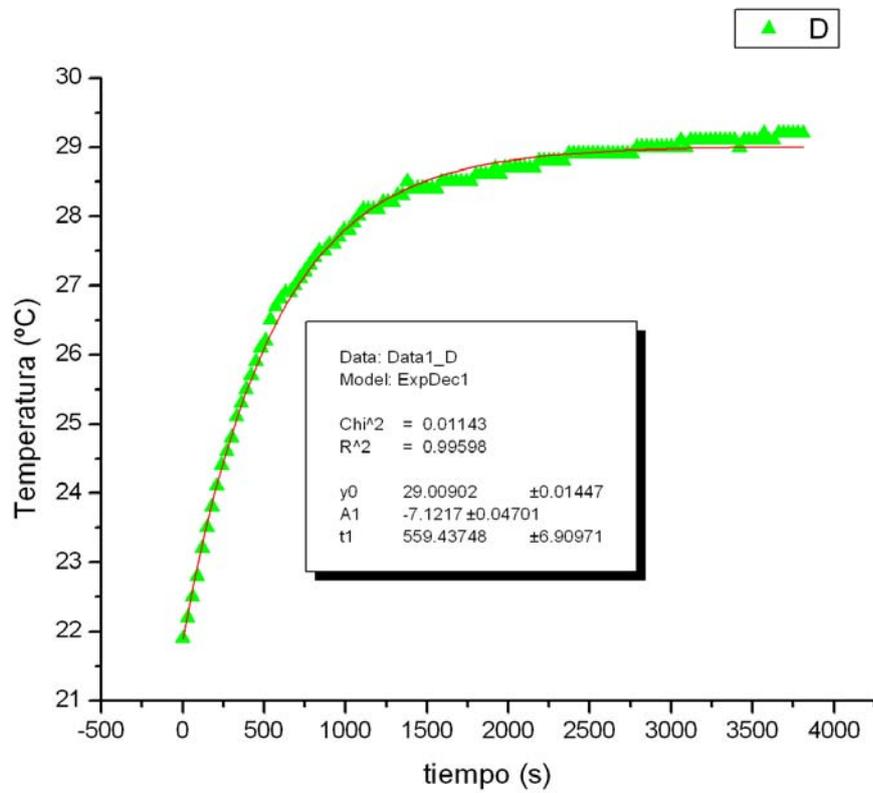
**Fig 13. Calentamiento barra aislada, punto B.**



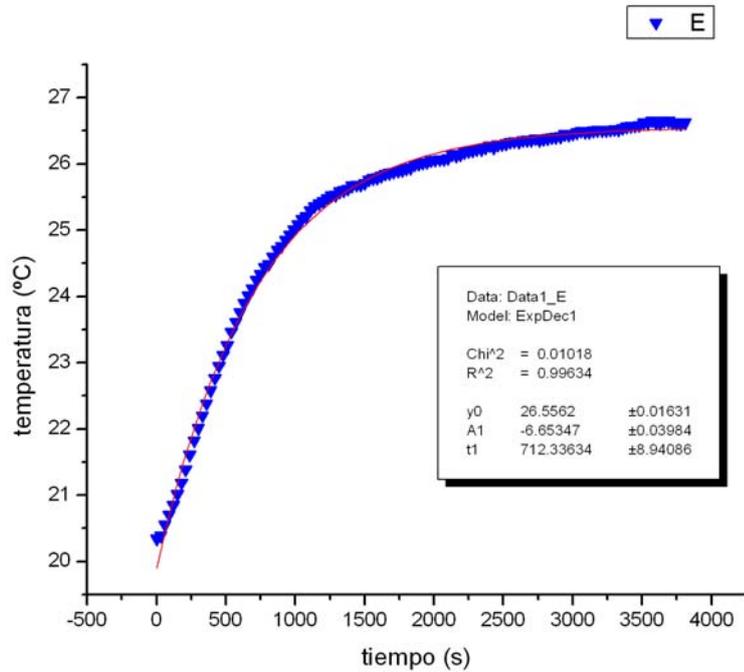
**Fig 14. Calentamiento barra aislada, punto B. Despreciando los últimos valores.**



**Fig. 15. Calentamiento barra aislada, punto C.**



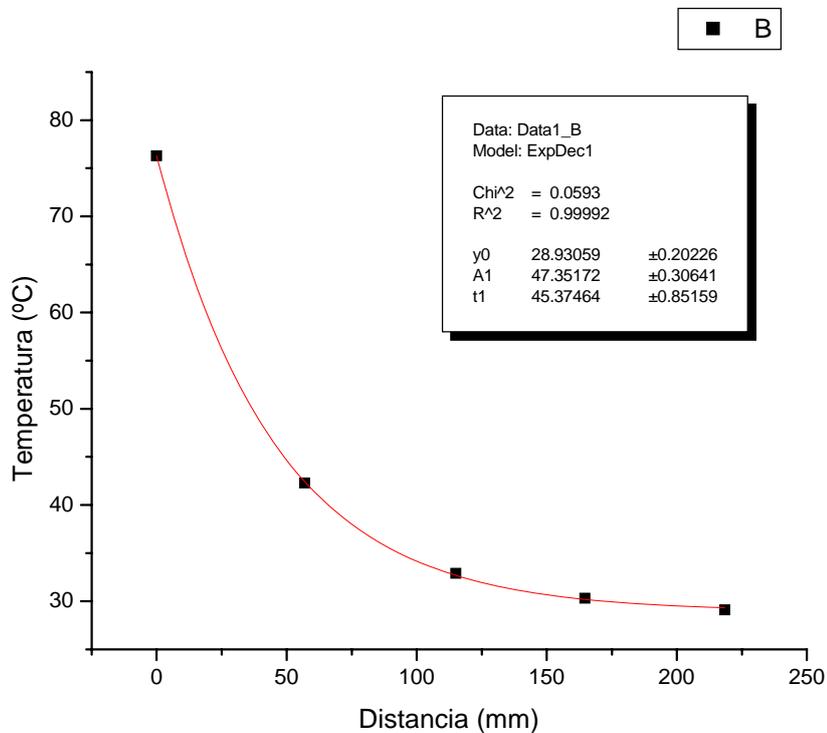
**Fig 16. Calentamiento barra aislada, punto D.**



**Fig 17. Calentamiento barra aislada, punto E.**

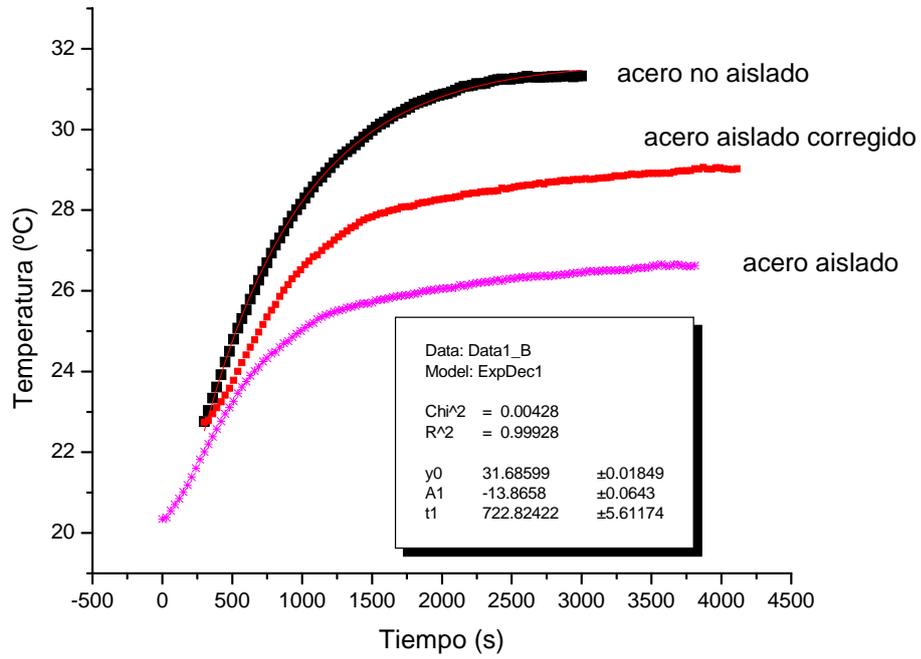
Se puede observar, de las últimas cuatro figuras (15, 16, 17 y 18), que el crecimiento de la temperatura en una barra aislada ajusta con bastante aproximación a las curvas exponenciales decrecientes de primer orden.

Tomando los últimos valores de temperatura de cada punto, y graficando en función de la distancia, se obtiene:

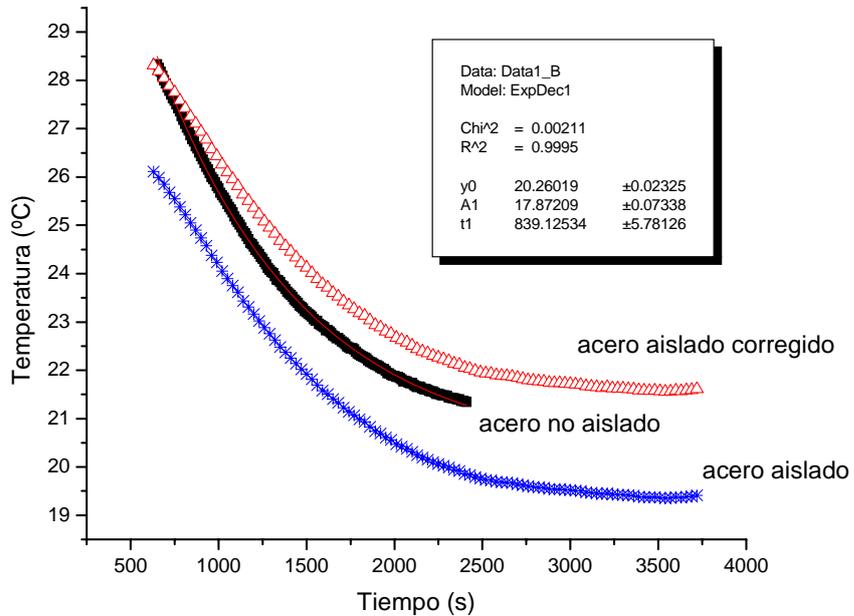


**Fig 19. Temperatura en función de la distancia.**

Donde se observa que dicha gráfica se ajusta con bastante precisión a una exponencial decreciente de primer orden.



**Fig 20. Comparación para el calentamiento entre la barra de acero aislada y la barra de acero sin aislar (punto E)**



**Fig 21. Comparación para el calentamiento entre la barra de acero aislada y la barra de acero sin aislar (punto E)**

## ***Conclusión***

En primer lugar, se nota que tanto para la barra aislada como para la barra sin aislar, el calentamiento en cada punto donde se tomó la temperatura, obedece a la ley de enfriamiento de Newton ya que se pueden ajustar con exponenciales de primer orden.

Sin embargo, contrario a lo que podría esperarse, el calentamiento de la barra sin aislar fue mas rápido y llegó a temperaturas más altas que la barra aislada (como se puede ver en la figura 20). La explicación de este fenómeno podría ser que la barra sin aislar absorbía el calor que irradiaba la lata, y la barra aislada lo absorbía en mucho menor medida por el hecho de encontrarse aislada.

Como se puede ver en la figura 21, la barra sin aislar se enfrió notablemente mas rápido que la barra aislada, lo cual es razonable ya que la primera pierde calor adicional por radiación.

En cuanto a la variación de temperatura en función de la distancia (figura 19) una vez alcanzado el régimen estacionario, se obtuvo una curva exponencial decreciente de primer orden.

## **Bibliografía**

- Sears Zemansky