TRANSFERENCIA DE CALOR

MI31A-Fenómenos de Transporte en Metalurgia Extractiva

Prof. Tanai Marín

Clase #5

5.1 Transferencia de Calor No-estacionaria vs Estacionaria

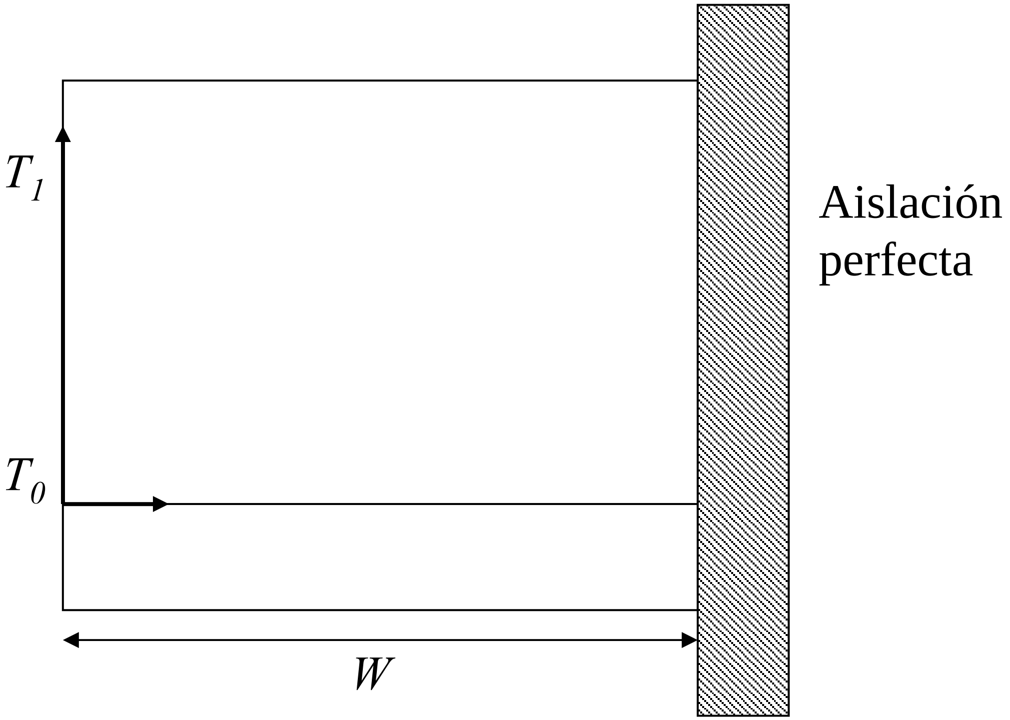
- Luego de iniciar un proceso o al hacer un cambio en éste, habrá un período de tiempo antes de alcanzar el estado estacionario.
- En algunas situaciones, el estado estacionario nunca es alcanzado.
- En otras, el estado estacionario se alcanza muy rápidamente

- El objetivo de esta sección es encontrar algunas relaciones que permitan determinar aproximadamente cuánto tiempo tardará en alcanzarse el estado estacionario.

Número de Fourier

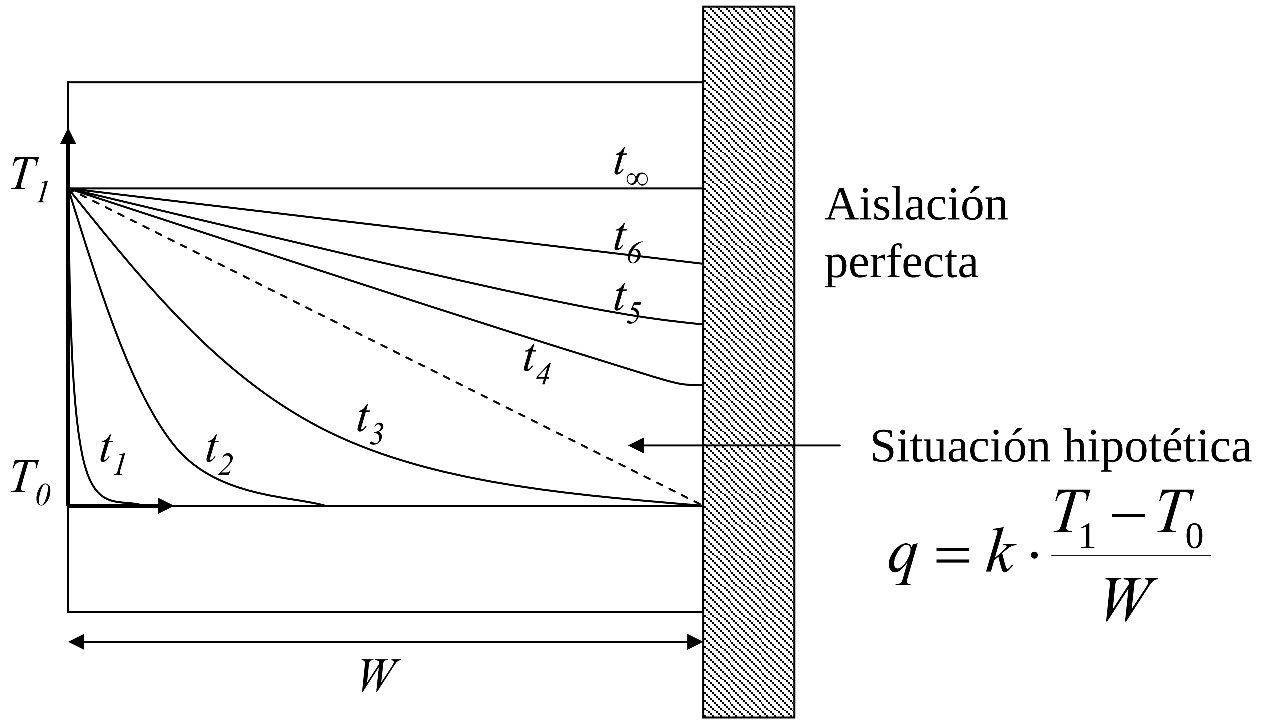
- Consideremos la siguiente situación:

•Sistema de ancho W
•Área A (perpendicular)
•Temperatura inicial uniforme T_0.
•El sistema se encuentra aislado a la profundidad W
•La Temperatura de la superficie se aumenta a T_1 en t=0



Número de Fourier

- A medida que transcurre el tiempo:



- Supongamos que el flujo de calor “promedio” desde que se impuso la temperatura T_1 hacia el sistema está dado por:

$$Q[\mathrm{W}] = k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_0}{W}$$

- Una vez que la temperatura en el extremo W ha alcanzado la temperatura T_1 → régimen estacionario, la cantidad total de calor ingresada al sistema debe ser:

$$\Delta H[\mathrm{J}] = m[\mathrm{kg}] \cdot c_p \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{K}}\right] (T_1 - T_0)[\mathrm{K}]$$

$$\Delta H[\mathrm{J}] = c_p \cdot \rho \cdot A \cdot W \cdot (T_1 - T_0)$$

- La cantidad de energía ingresada debe igualar al flujo de calor por el tiempo necesario para lograr estado estacionario:

$$k \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_0}{W} \cdot t = c_p \cdot \rho \cdot A \cdot W \cdot (T_1 - T_0)$$

- Por lo tanto, para el flujo de calor hipotético:

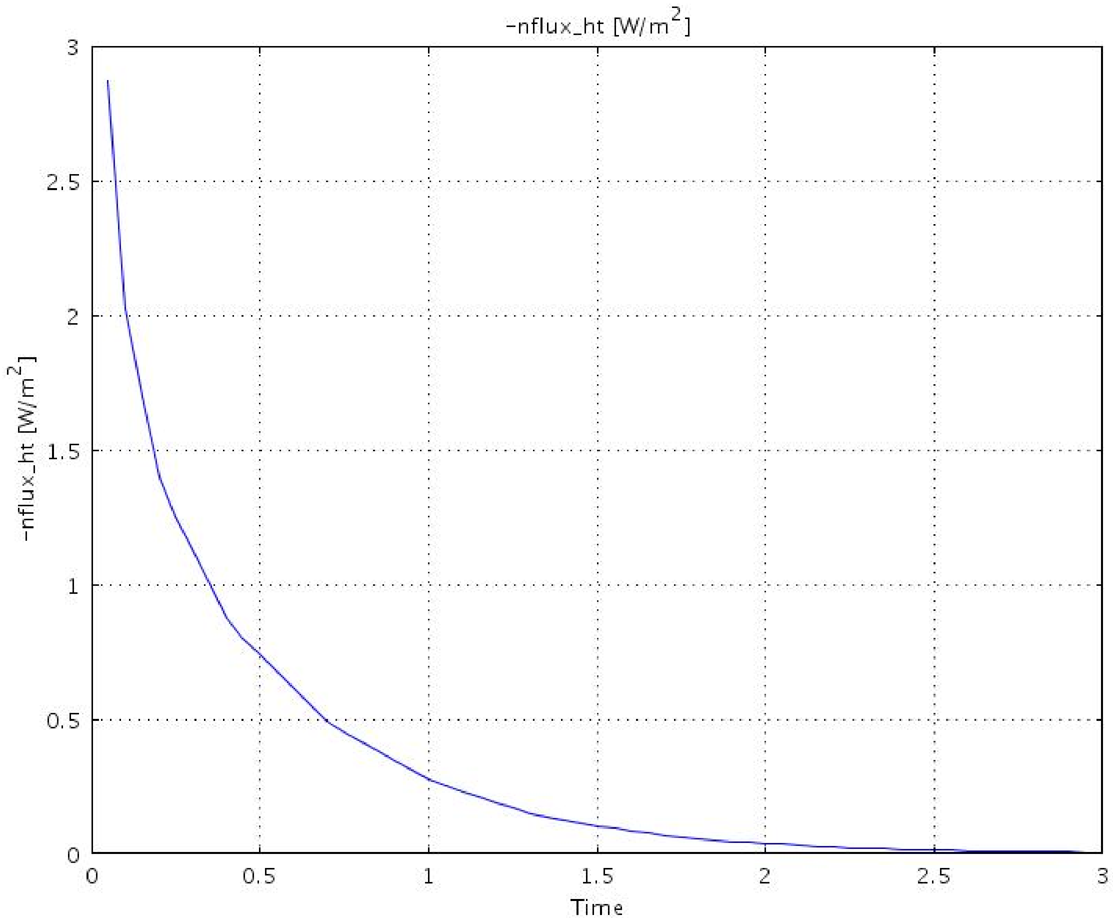
$$t = \frac{c_p \cdot \rho}{k} \cdot W^2 = \frac{W^2}{\alpha}$$

- Se define el tiempo adimensional dado por la última relación, como el número de Fourier (Fo):

$$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2}$$

- Al aumentar esta razón con el tiempo, significa que el estado estacionario se acerca.
- Si $Fo<1$, el proceso de conducción acaba de comenzar y no se ha alcanzado estado estacionario.

- El estado estacionario se logrará si el flujo de calor a través del sistema es constante, en el caso de el ejemplo anterior debe ser =0.



Flujo de calor en el tiempo a través de superficie en $x=0$

k =1 W/(m K)

W =1 m

ρ = 1 kg/m^3

c_p = 1 J/(kg K)

Fo = ?

- En realidad, para el caso descrito anteriormente, se ha establecido que el estado estacionario se logra cuando:

$$Fo > 2$$

- Esta situación también es aplicable a una placa de ancho $2W$ y temperatura inicial T_0 y la temperatura de ambas caras es repentinamente cambiada a T_1.

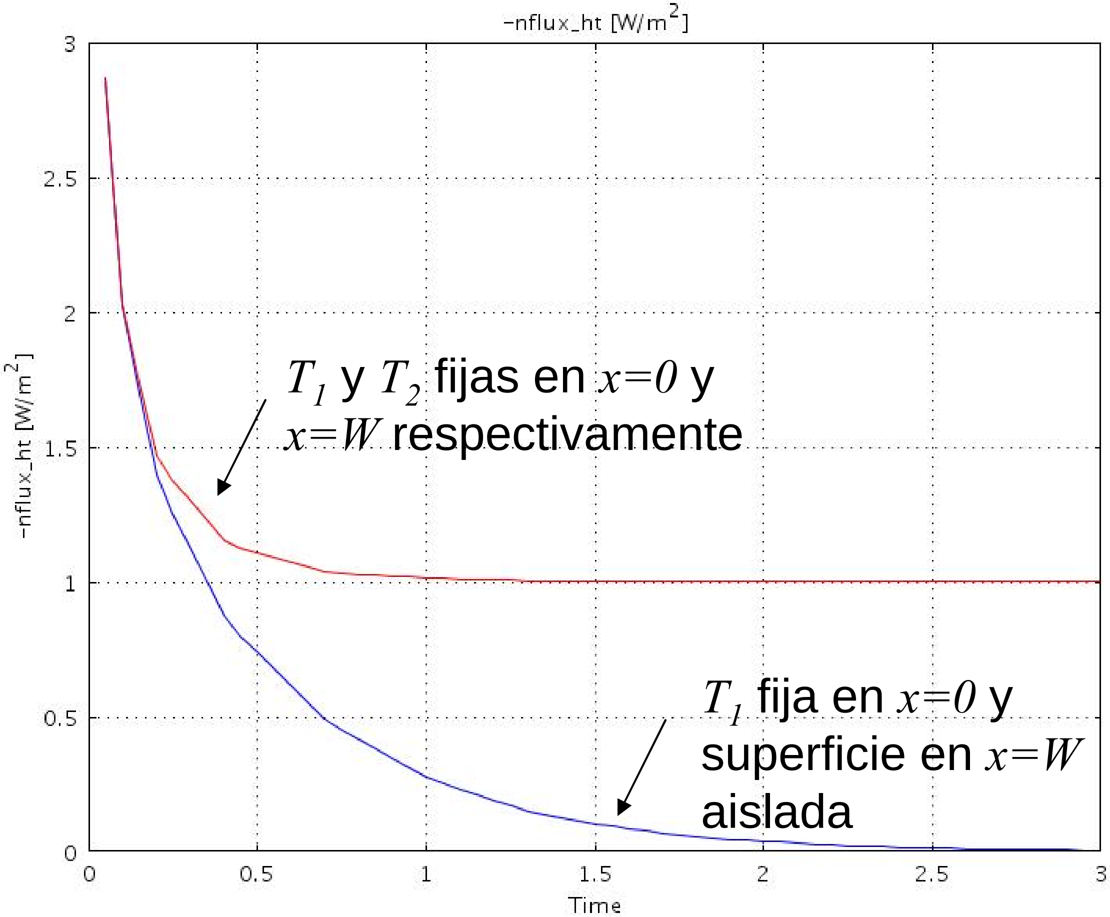
Caso con dos temperaturas fijas

- Si la temperatura se mantiene fija en ambos extremos, es decir $T=T_1$ en $x=0$ y $T=T_0$ en $x=W$. El flujo de calor en estado estacionario será:

$$q = k\,\frac{T_1 - T_0}{W} > 0, \quad T_1 > T_0$$

Caso con dos temperaturas fijas

- El flujo de calor en función del tiempo en $x=0$ será:

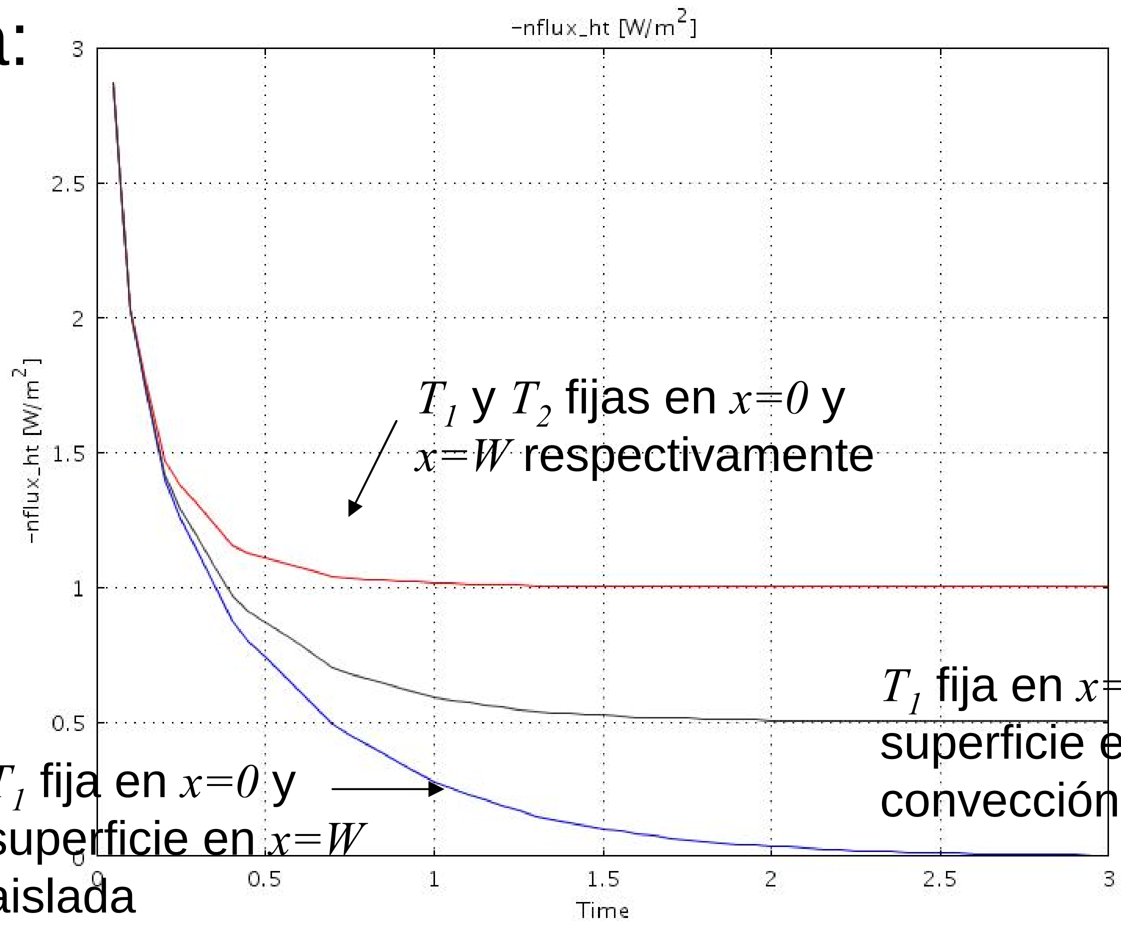


Caso con convección en una superficie

- Supongamos que la temperatura inicial es T_0, en $x=0$ se impone $T=T_1$ fija pata $t>0$ y la superficie en $x=W$ está expuesta a convección con un coeficiente de transferencia de calor h y temperatura ambiente igual a T_0.
- En estado estacionario tendremos:
- q=?
- Perfil de temperatura?
- Fo para lograr estado estacionario? Con respecto a los casos anteriores?

Caso con convección en una superficie

- El flujo de calor en función del tiempo en $x=0$ será:



T_1 y T_2 fijas en $x=0$ y $x=W$ respectivamente

T_1 fija en $x=0$ y superficie en $x=W$ con convección

$$q = \frac{T_1 - T_0}{\frac{W}{k} + \frac{1}{h}}$$

T_1 fija en $x=0$ y superficie en $x=W$ aislada

Criterios para estado estacionario

Placa o Bloque, situación:	Criterio para estado estacionario
Ancho W; Un extremo aislado; una superficie con cambio de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 2$
Ancho $2W$; Ambas superficies expuestas al mismo cambio repentino de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 2$
Ancho W; Un lado mantenido a la temperatura inicial; Una superficie con cambio repentino de temperatura	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 1$
Ancho W; Una superficie con cambio brusco de temperatura (T_0 a T_1), la otra superficie cambia de T_0 a T_W debido a convección en esa superficie	$Fo = \frac{\alpha \cdot t}{W^2} \geq 1 + \frac{T_W - T_0}{T_1 - T_0}$

5.2 Conducción no-estacionaria

- El balance de calor para un sistema transiente es:

Acumulación = Entrada + generación – salida - consumo

$$\frac{d(Calor)}{dt} = q_{in} + q_{gen} - q_{out} - q_{cons}$$

- El cambio de energía o calor de un sistema debido a cambios de temperatura está dado por:

$$d(Calor)[\mathrm{J}] = m \cdot c_p \cdot dT = \rho \cdot V \cdot c_p dT$$

- Con capacidad calórica constante, la acumulación de calor en el tiempo debido a cambios de temperatura es:

$$\frac{d(Calor)}{dt}\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}\right] = \rho \cdot V \cdot c_p \frac{dT}{dt}$$

- En el caso particular de conducción en una dimensión, sin generación o consumo y con flujos de calor dados, el balance de energía queda:

$$\rho \cdot (A \cdot L) \cdot c_p \frac{dT}{dt} = A \cdot (q_{in} - q_{out})$$

y

$$\rho \cdot L \cdot c_p \frac{dT}{dt} = q_{in} - q_{out}$$

Ejemplo, conducción transiente 1D

- Durante el calentamiento de una muralla de 0.05 m de espesor, en algún momento, el flujo de calor hacia la muralla era de 200 W/m^2 y desde la muralla, 50 W/m^2. la densidad es de 750 kg/m^3 y la capacidad calorífica, de 1250 J/(kg ºC). Determine la tasa de calentamiento promedio de la muralla en ese momento.