

Transporte de Energía

“Generación” de calor

Dr. Bernardo Hernández Morales

**Depto. de Ingeniería Metalúrgica
Facultad de Química, UNAM**

Semestre 2017-1



1a Ley de la termodinámica

La 1a Ley de la termodinámica establece que:

“La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”

Entonces, en un balance de energía térmica:

$$\underbrace{\sum E + \sum G}_{\text{Flujos}} = A + \sum S$$

Rapideces

El término “ G ” representa a cada uno de los tipos de energía que se transforma en energía térmica en un proceso

Ejemplos de la vida cotidiana



electricasas.com



radioelectronica.es



es.paperblog.com

Tipos de energía que se transforman en energía térmica

- **Eléctrica**
- **Química**
- **Nuclear**
- **Mecánica**
- **Viscosa**

Rapidez de “generación” de energía térmica

$$G = q_G V$$

G es la rapidez de energía térmica generada [W]

q_G es la rapidez volumétrica de energía térmica generada [W/m^3]

En estado estacionario:

$$\sum E + \sum G = 0 + \sum S$$

Energía eléctrica

A la transformación de energía eléctrica en energía térmica se le conoce como efecto Joule

La equivalencia está dada por:

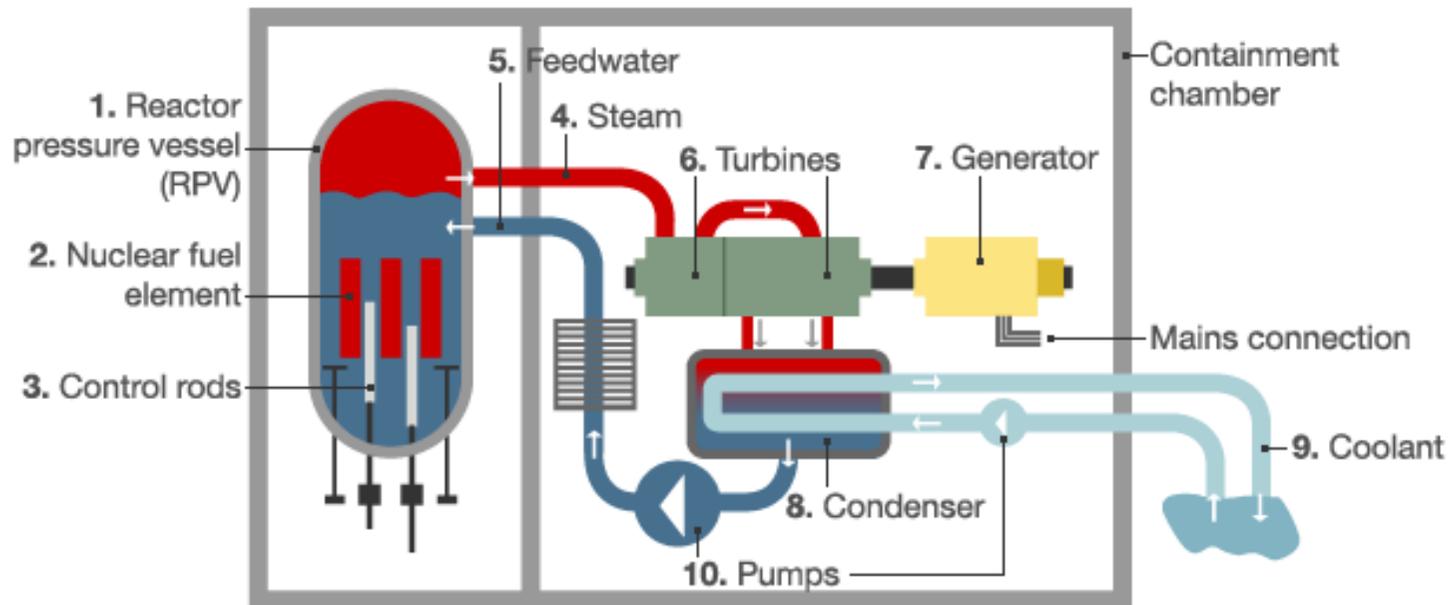
$$Q_G = i^2 R_e \quad \text{¡ unidades !}$$

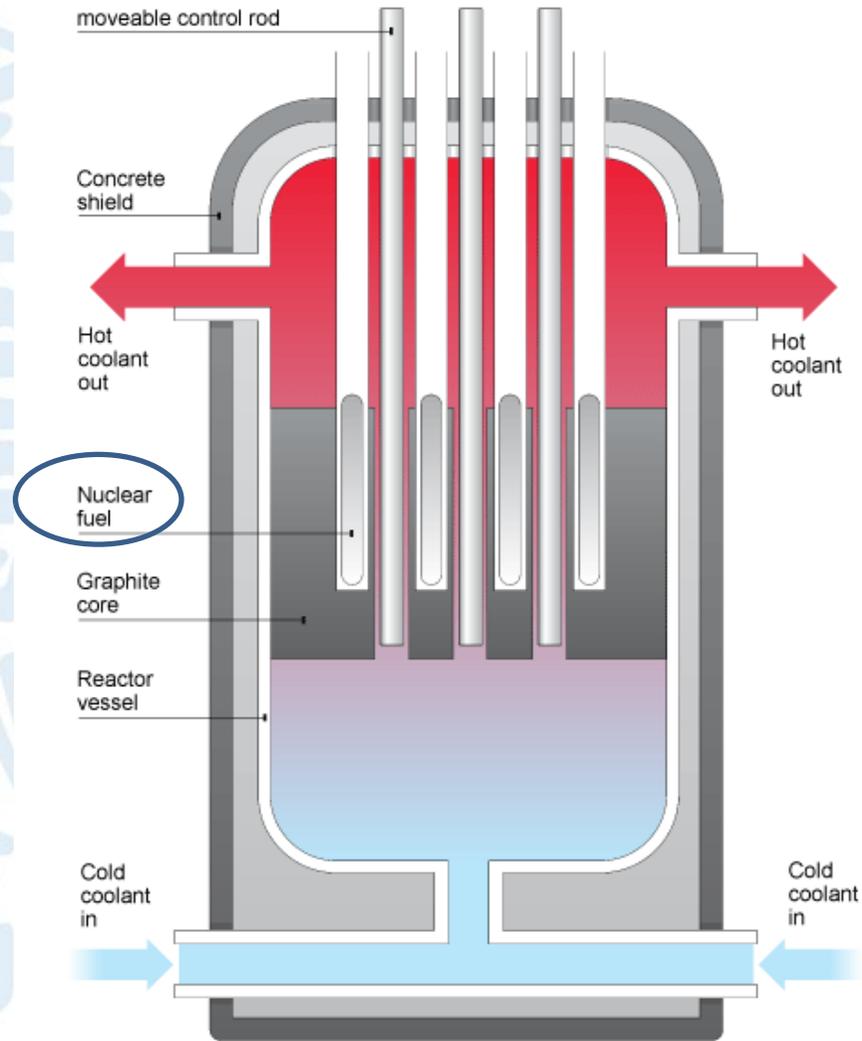
Además, recuerda que la ley de Ohm es:

$$i = \frac{V}{R_e}$$

¿ cómo se calcula una resistencia eléctrica ?

Boiling Water Reactor system





Energía química

Todas las reacciones químicas son:

- Endotérmicas (absorben energía térmica; $\Delta H_{\text{reacc}} > 0$)
- Exotérmicas (liberan energía térmica; $\Delta H_{\text{reacc}} < 0$)

Entonces, la energía química se transforma en energía térmica resultando en:

- $G < 0$ para las reacciones endotérmicas
- $G > 0$ para las reacciones exotérmicas

La relación entre energía química y energía térmica es:

$$q_G = \rho \Delta H \frac{\partial f}{\partial t}$$

Donde f es la fracción transformada (relacionada con el grado de avance de la reacción)

Nota: En el contexto de Transporte de Energía, el signo de ΔH es positivo para una reacción exotérmica

Valores de ΔH

Tostación de galena (mineral de Pb)



T	deltaH	deltaS	deltaG	K	Log(K)
C	kJ	J/K	kJ		
0.000	-416.374	-81.304	-394.166	2.415E+075	75.383
100.000	-417.075	-83.512	-385.912	1.061E+054	54.026
200.000	-417.473	-84.471	-377.505	4.777E+041	41.679
300.000	-417.583	-84.691	-369.042	4.324E+033	33.636
400.000	-417.429	-84.448	-360.583	9.607E+027	27.983
500.000	-417.095	-83.988	-352.160	6.225E+023	23.794
600.000	-416.635	-83.430	-343.788	3.700E+020	20.568
700.000	-416.088	-82.837	-335.475	1.020E+018	18.008
800.000	-415.483	-82.246	-327.221	8.482E+015	15.929
900.000	-389.255	-59.599	-319.336	1.658E+014	14.220
1000.000	-388.189	-58.727	-313.421	7.246E+012	12.860
1100.000	-387.277	-58.036	-307.585	5.029E+011	11.701
1200.000	-436.456	-93.508	-298.705	3.911E+010	10.592
1300.000	-436.325	-93.422	-289.358	4.061E+009	9.609
1400.000	-436.193	-93.340	-280.020	5.531E+008	8.743
1500.000	-436.062	-93.264	-270.690	9.437E+007	7.975
1600.000	-435.933	-93.193	-261.367	1.946E+007	7.289
1700.000	-435.807	-93.128	-252.051	4.710E+006	6.673
1800.000	-435.686	-93.068	-242.742	1.308E+006	6.117
1900.000	-435.570	-93.014	-233.438	4.087E+005	5.611
2000.000	-435.461	-92.964	-224.139	1.415E+005	5.151

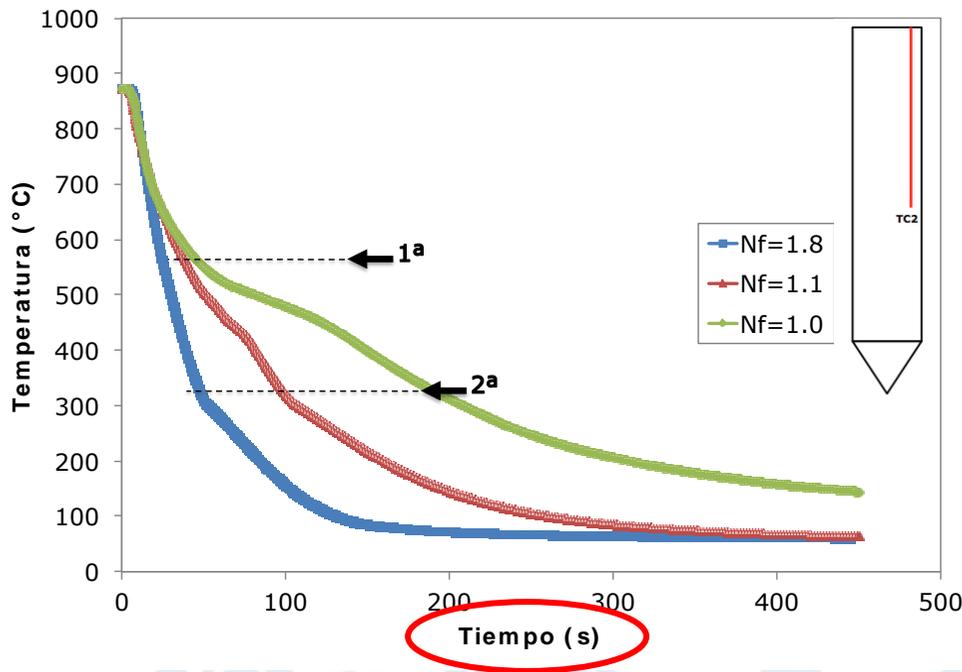
Son ciclos controlados de calentamiento y enfriamiento para provocar cambios en la microestructura



➔ **Propiedades del producto**

Tratamientos térmicos

Todas las reacciones de transformación de los aceros durante el enfriamiento desde la temperatura de austenización son exotérmicas



Eso resulta en el efecto conocido como recalcancia, que es el cambio de pendiente que se aprecia en la curva de enfriamiento

Mayra Murillo García. “Caracterización de la extracción de calor durante el temple de probetas de acero”.
Tesis de Licenciatura, FQ-UNAM

Una operación común en la fabricación de componentes ingenieriles es la de fusión del material y posterior vaciado en moldes



<http://www.pedeca.es/tag/ilt-plasma/>

Durante la solidificación de materiales metálicos también se observa el efecto de recalcancia (debido a las reacciones líquido – sólido)

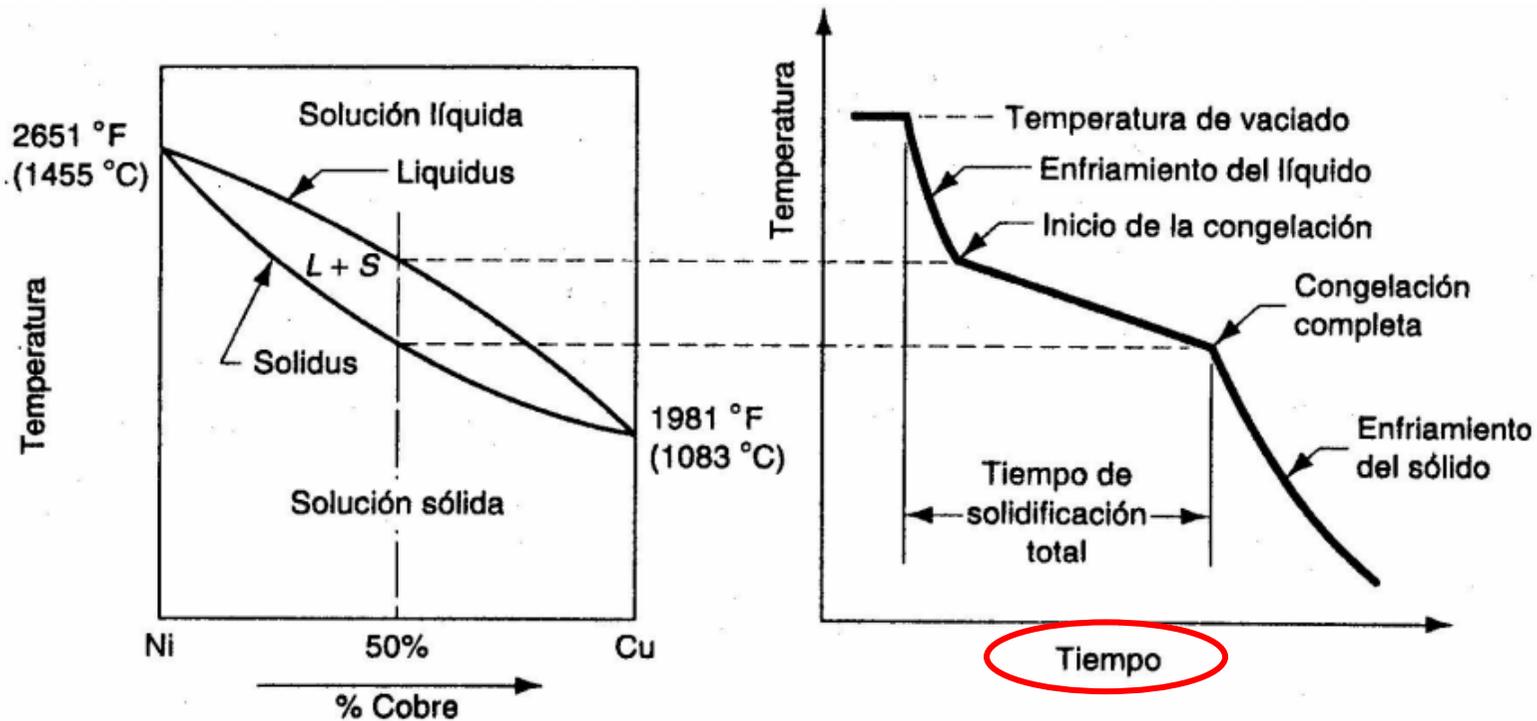


Diagrama de fase

Curva de enfriamiento

Tren de laminación



<http://www.vecasteel.com>

The rate of heat generation takes into account the plastic work done, energy accumulated in the material due to the increase of dislocation density and heat produced during the softening process. It is described by the equation [56]

$$\dot{q} = \int_V \left[\eta \bar{\sigma}_i \dot{\epsilon}_i^p - \nu A \dot{\epsilon}_i + \nu B \gamma e^{\left(\frac{D}{kT}\right)} \right] dV \quad (2.7)$$

where V = volume of the body (m^3)

$\bar{\sigma}_i$ = equivalent stress (MPa)

$\dot{\epsilon}_i^p$ = equivalent strain rate (s^{-1})

$\bar{\sigma}_i \dot{\epsilon}_i^p$ = rate of heat generation due to plastic work (W/m^3)

ν = energy per unit length of dislocation (J/m)

A, B = material constants

D = activation energy of diffusion

γ = dislocation density

$k = 1.380 \times 10^{-23}$ J/K molecule (Boltzmann constant)

Una forma simplificada se obtiene con la Ecuación de Pavlov

$$q_G = \sigma_f \ln \left(\frac{H_{in}}{H_{out}} \right)$$

σ_f es la tensión de fluencia

H_{in} es la altura a la entrada del rodillo

H_{out} es la altura a la salida del rodillo