



Contenido

- Introducción
- Calculo
 - Exergía de un sistema cerrado
 - Exergía de un sistema abierto
 - Exergía del calor
- Rendimiento exergético o efectividad térmica
- Representación gráfica

Exergías

Son aquellas formas de energía que en procesos reversibles se pueden convertir de una en otra; y que en procesos reversibles o irreversibles se transforman en formas de energía de conversión restringida como la energía interna, la entalpía y el calor.



Exergía y Anergía

Exergía es la energía que se puede transformar totalmente en cualquier forma de energía, interactuando con un medio determinado.

Anergía es la energía que no se puede transformar en exergía.

Definición operativa:

La exergía de una forma de energía es el máximo trabajo útil que se produce de esa energía bajo la intervención de un medio determinado.

Ambiente termodinámico

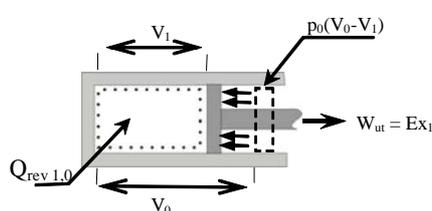
Es un sistema en reposo que se encuentra en equilibrio termodinámico; y sus propiedades intensivas permanecen constantes a pesar de recibir o entregar energía y materiales.

- es un reservorio para la energía entropía y materia
- está en equilibrio térmico a T_0
- se encuentra en equilibrio mecánico a p_0

Exergía de un sistema cerrado

- Se desprecian la energía cinética y potencial del sistema.
- Se determina el máximo trabajo útil que el sistema es capaz de ceder.
- El medio está en equilibrio a T_0 y p_0
- El sistema evoluciona desde un estado inicial 1 "vivo" hasta el equilibrio térmico y mecánico con el medio (estado 0 "muerto") mediante procesos reversibles.

Exergía de un sistema cerrado



$$U_0 - U_1 = Q_{rev 10} - W_{rev 10}$$

$$Q_{rev 10} = T_0(S_0 - S_1)$$

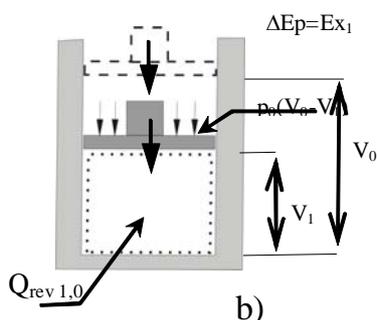
$$W_{rev 10} = Ex_1 + p_0(V_0 - V_1)$$

$$U_0 - U_1 = T_0(S_0 - S_1) - [Ex_1 + p_0(V_0 - V_1)]$$

$$Ex_1 = U_1 - U_0 - T_0(S_1 - S_0) + p_0(V_1 - V_0)$$

$$Ex_1 = U_1 - T_0S_1 + p_0V_1 - (U_0 - T_0S_0 + p_0V_0)$$

- Exergía del sistema cerrado o exergía física de su energía interna.



1ª Función de Gouy o Darrieus

$$Ex_1 = U_1 - T_0S_1 + p_0V_1 - (U_0 - T_0S_0 + p_0V_0)$$

$$B = U - T_0S + p_0V$$

$$Ex_1 = B_1 - B_0$$

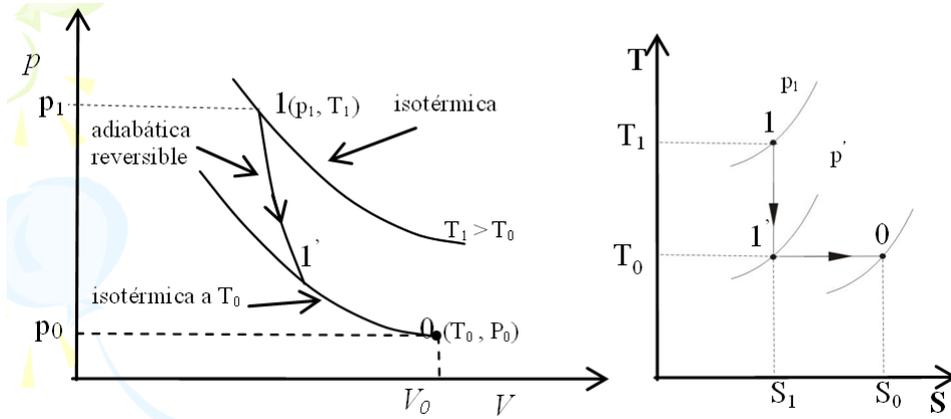
$$b = u - T_0s + p_0v$$

$$e_{x_1} = b_1 - b_0$$

$$\Delta e_x = e_{x_2} - e_{x_1} = b_2 - b_1$$

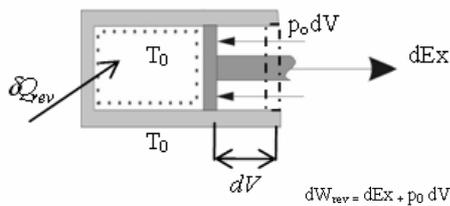
$$\Delta e_x = u_2 - u_1 - T_0(s_2 - s_1) + p_0(v_2 - v_1)$$

Exergía de un sistema cerrado



$$E_{x_1} = U_1 - U_0 - T_0(S_1 - S_0) + p_0(V_1 - V_0)$$

Exergía de un SC a T₀



$$Ex = B - B_0$$

$$dEx = dB = dU - T_0 dS + p_0 dV$$

$$\delta Q_{rev} = dU + p dV = T_0 dS$$

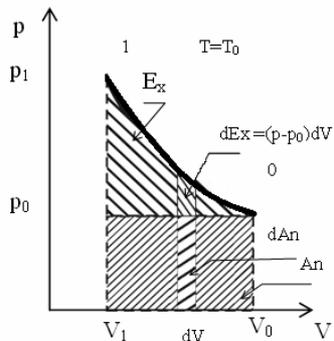
$$dU = T_0 dS - p dV$$

$$dEx = T_0 dS - p dV - T_0 dS + p_0 dV$$

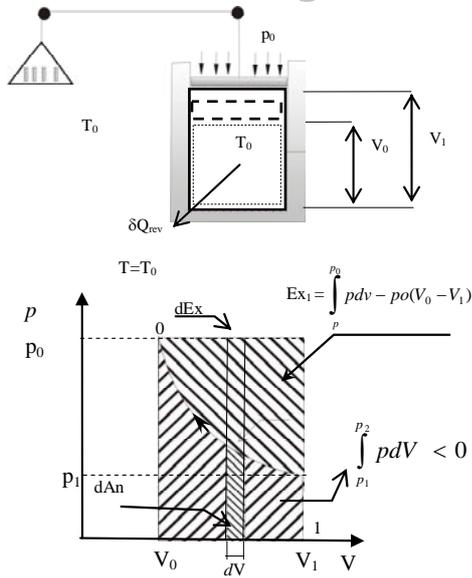
$$dEx = -p dV + p_0 dV$$

$$Ex_0 - Ex_1 = - \int_V^{V_0} p dV + p_0 (V_0 - V)$$

$$Ex_1 = \int_V^{V_0} p dV - p_0 (V_0 - V) \quad Ex_0 = 0$$



Exergía de un SC a T_0



$$Ex = B - B_0$$

$$dEx = dB = dU - T_0 dS + p_0 dV$$

$$\delta Q_{rev} = dU + p dV = T_0 dS$$

$$dU = T_0 dS - p dV$$

$$dEx = T_0 dS - p dV - T_0 dS + p_0 dV$$

$$dEx = -p dV + p_0 dV$$

$$Ex_0 - Ex_1 = - \int_V^{V_0} p dV + p_0 (V_0 - V)$$

$$Ex_1 = \int_V^{V_0} p dV - p_0 (V_0 - V) \quad Ex_0 = 0$$

Exergía de un sistema abierto

- Es el máximo trabajo de circulación.

$$Q_{rev 10} = H_0 - H_1 + W_{c rev 10}$$

$$W_{c rev 10} = W_{c max 10}$$

$$Ex_1 = W_{c max 10} = Q_{rev 10} + H_1 - H_0$$

$$Q_{rev 10} = T_0 (S_0 - S_1)$$

$$Ex_1 = T_0 (S_0 - S_1) + H_1 - H_0$$

$$Ex_1 = (H_1 - T_0 S_1) - (H_0 - T_0 S_0)$$

2ª Función de Gouy o Darrieus

$$Ex_1 = (H_1 - T_0 S_1) - (H_0 - T_0 S_0)$$

$$B' = H - T_0 S$$

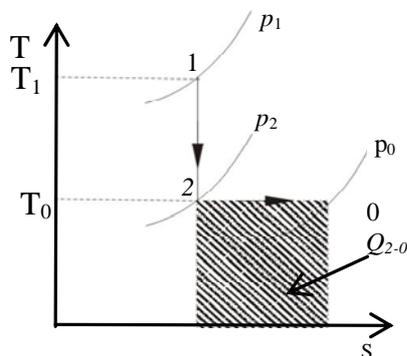
$$Ex_1 = B'_1 - B'_0$$

$$b' = h - T_0 s$$

$$e_{x_1} = b'_1 - b'_0$$

$$e_{x_1} = h_1 - h_0 - T_0 (s_1 - s_0)$$

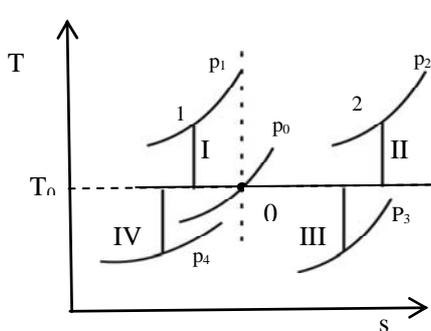
Exergía de un sistema abierto



$$e_{x_1} = h_1 - h_0 - T_0 (s_1 - s_0)$$

$$e_{x_1} > h_1 - h_0$$

Exergía de un sistema abierto



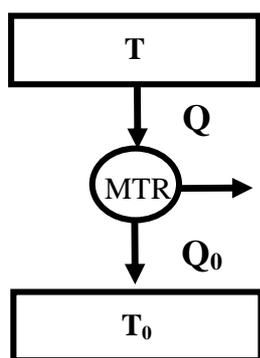
$$e_{x1} > 0$$

$$e_{x2} \leq 0$$

$$e_{x3} < 0$$

$$e_{x4} \leq 0$$

Exergía del calor



$$W_{\max} = Q \cdot \frac{T - T_0}{T}$$

El limite de T₂ es T₀

$$Ex = W_{\max} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

Exergía o calor utilizable

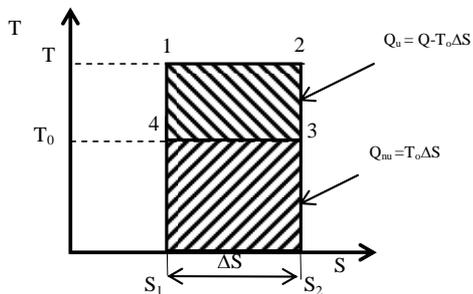
$$Q_0 = -T_0 \frac{Q}{T} = -T_0 \Delta S$$

Anergía o calor no utilizable

$$Q = Ex + Q_{nu}$$

Solo una fracción reducida del calor puede convertirse en trabajo

Exergía del calor



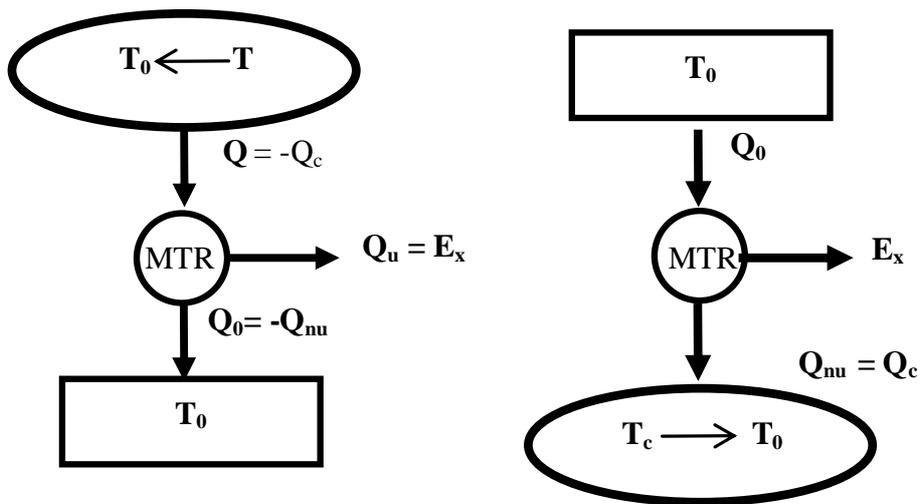
$$Q = T\Delta S$$

$$Q_0 = -T_0\Delta S$$

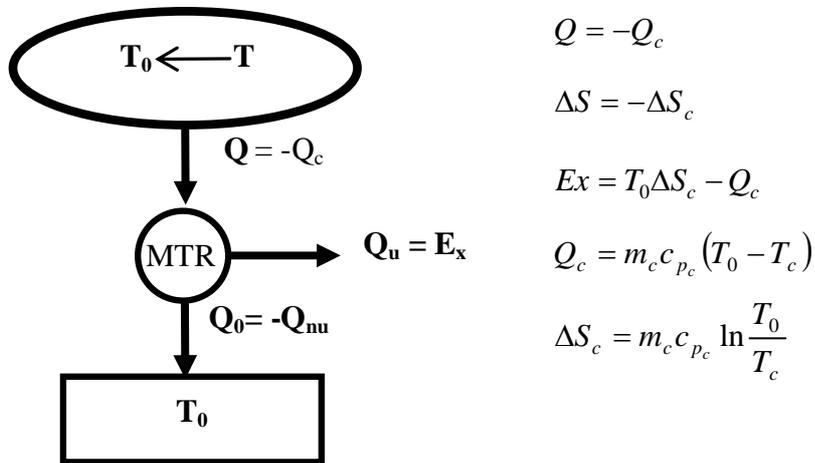
$$Ex = Q - T_0\Delta S$$

$$Q_{nu} = T_0\Delta S$$

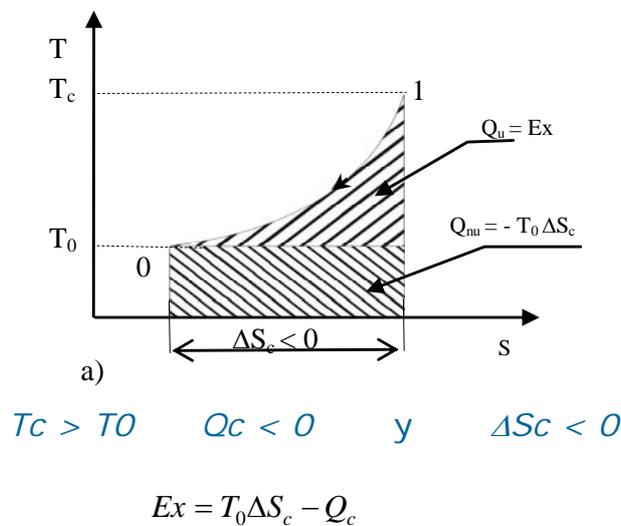
Exergía para sistemas con capacidad energética finita



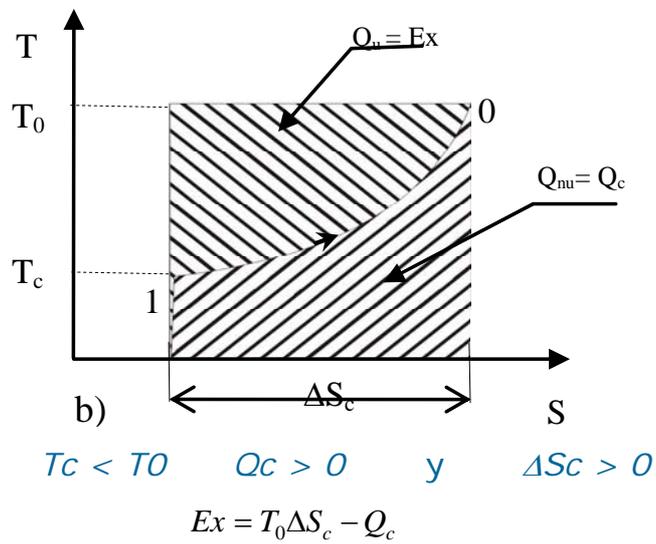
Exergía para sistemas con capacidad energética finita



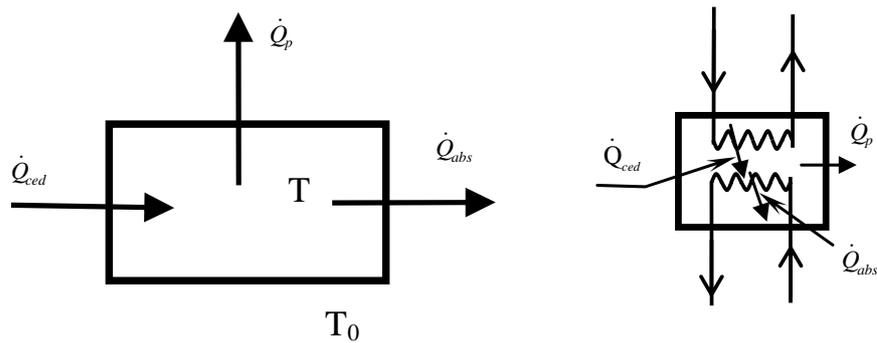
Exergía para sistemas con capacidad energética finita



Exergía para sistemas con capacidad energética finita



Rendimiento Exergético o Efectividad Térmica



$$\eta_T = \frac{\text{efecto útil}}{\text{calor aportado}}$$

$$\eta_T = \frac{\dot{Q}_{ab}}{|\dot{Q}_{ced}|}$$

Con un muy buen aislamiento tendería a 1

Rendimiento Exergético o Efectividad Térmica

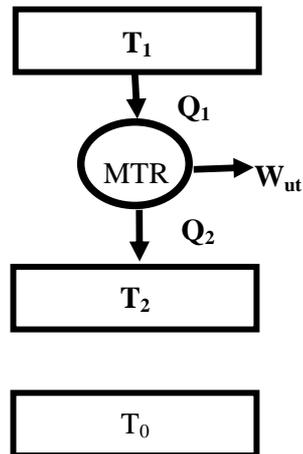
$$\eta_{ex} = \frac{\text{exergías producidas en el sistema y/o medio}}{\text{exergías aportadas en el sistema y/o medio}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{W_{ut_{mx}} + Q_{u_2}}{Q_{u_1}}$$

$$W_{ut_{mx}} = Q_1 - |Q_2|$$

$$Q_{u_1} = Q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right)$$

$$Q_{u_2} = |Q_2| \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right)$$



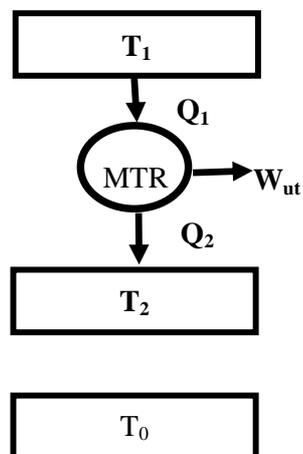
Rendimiento Exergético o Efectividad Térmica

$$\eta_{ex} = \frac{Q_1 - |Q_2| + |Q_2| \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right)}{Q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right)}$$

$$\eta_{ex} = \frac{Q_1 - T_0 \frac{|Q_2|}{T_2}}{Q_1 - T_0 \frac{Q_1}{T_1}}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} = \Delta S = \frac{|Q_2|}{T_2}$$

$$\eta_{ex} = \frac{Q_1 - T_0 \Delta S}{Q_1 - T_0 \Delta S} = 1$$



Rendimiento Exergético para un ciclo irreversible de Carnot

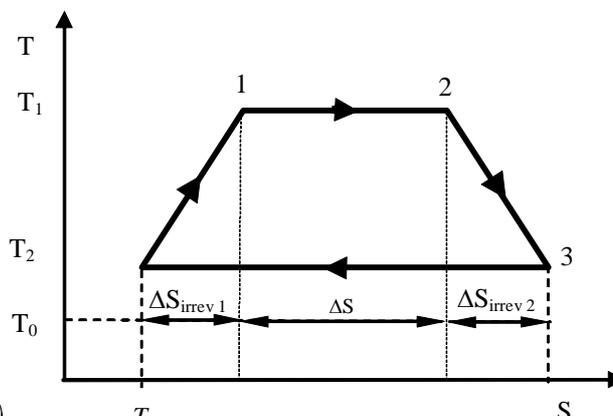
$$\eta_{ex} = \frac{W_{ut} + Q_{u_2}}{Q_{u_1}}$$

$$W_{ut} = Q_1 - |Q_2|$$

$$Q_{u_1} = Q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$$

$$Q_{u_2} = |Q_2| \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)$$

$$\eta_{ex} = \frac{Q_1 - |Q_2| + |Q_2| \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)}{Q_1 \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)} = \frac{Q_1 - |Q_2| \frac{T_0}{T_2}}{Q_1 - T_0 \frac{Q_1}{T_1}}$$



Rendimiento Exergético para un ciclo irreversible de Carnot

$$\frac{Q_1}{T_1} = \Delta S$$

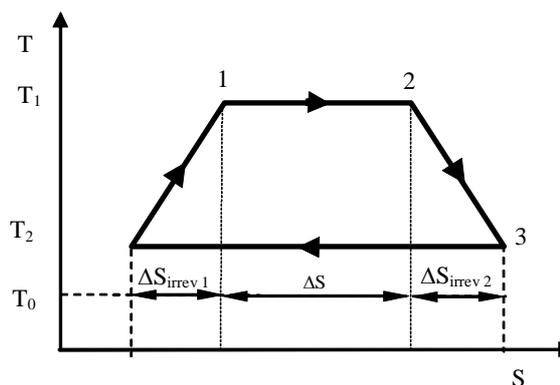
$$\frac{|Q_2|}{T_2} = \Delta S + \Delta S_{irr1} + \Delta S_{irr2}$$

$$\frac{|Q_2|}{T_2} = \Delta S + \Delta S_{irr}$$

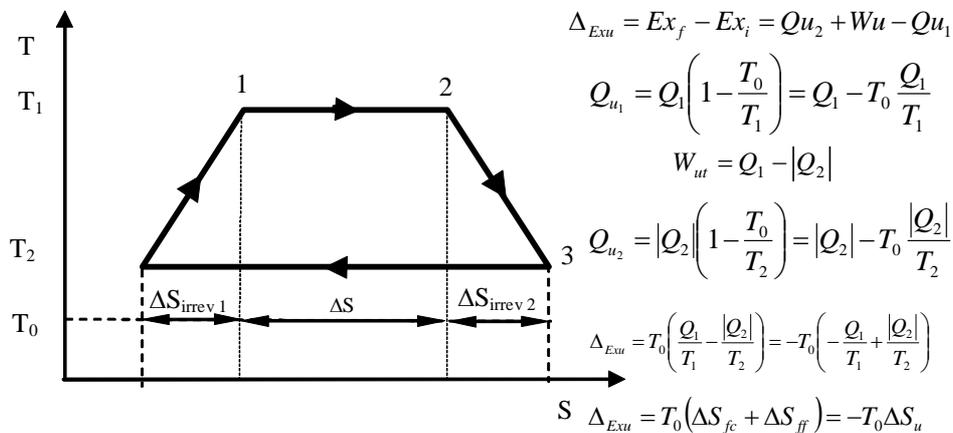
$$\eta_{ex} = \frac{Q_1 - T_0(\Delta S + \Delta S_{irr})}{Q_1 - T_0 \Delta S}$$

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{T_0 \Delta S_{irr}}{Q_1 - T_0 \Delta S} < 1$$

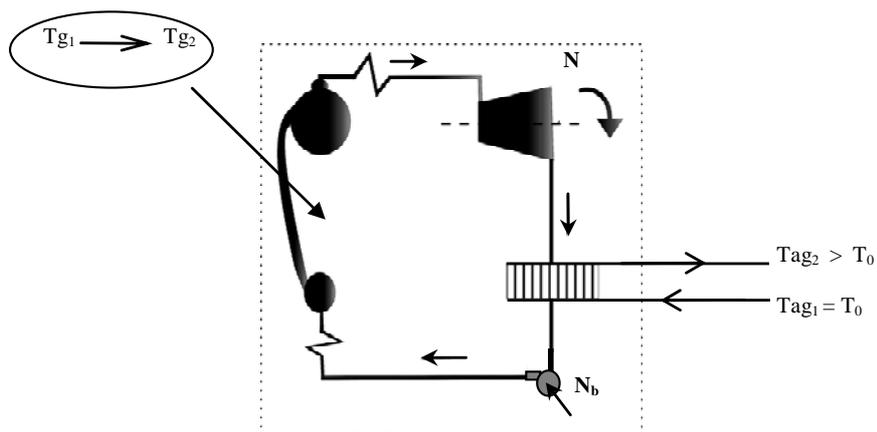
$$\eta_{ex} = 1 - \frac{Ex_{perd}}{Ex_{cons}}$$



Variación de Ex del universo



Rendimiento Exergético para una central termoeléctrica



$$\eta_{ex} = \frac{N + \dot{Q}_{gu2} + \dot{Q}_{agu}}{\dot{Q}_{gu1} + |N_B|}$$

Representación Gráfica

