Definición de Rendimientos

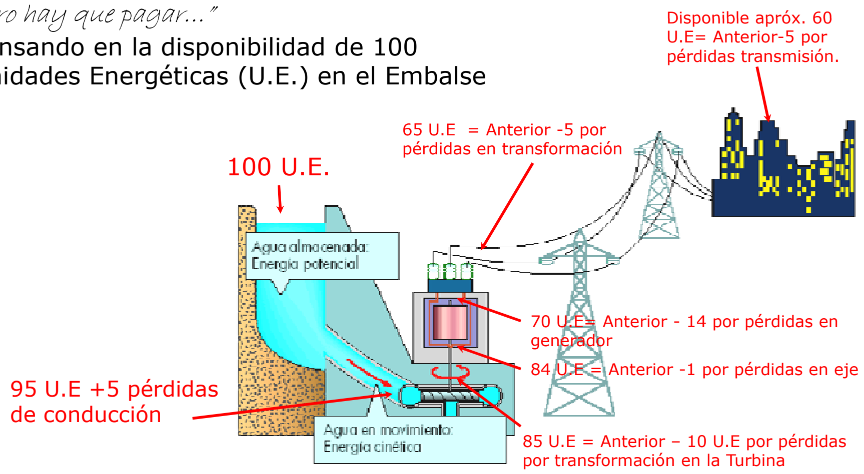
Prof. Miguel ASUAJE

Marzo 2012

Una Definición General de Rendimiento

"La Energía no se crea ni se destruye. Solo se transforma...
Pero hay que pagar..."

Pensando en la disponibilidad de 100 Unidades Energéticas (U.E.) en el Embalse



Una Definición General de Rendimiento

Un ejemplo Financiero

Comprobante de Pago

DICIEMBRE 2008

ASUAJE TOVAR MIGUEL A.	7947864	6507-037 Dpto. de Conversion y Transporte de Energia

Cargo	Dedicación	Categ / Grado	Tipo de Personal	Modalidad
PROFESOR	DEDICACION EXCLUSIVA	AGREGADO	ORDINARIO	

ASIGNACIONES	MONTOS	DEDUCCIONES	MONTOS
SUELDO	1.430,00	RETENCION 10% C/A ACADEMIC	296,20
COMPLEMENTO SUELDO	51,00	SEGURO DE VIDA Y ACCIDENTE	5,76
APORTE 10% C/A ACADEMICO	148,10	DESCTO. SEGURO HOSPIT.	401,00
SEGURO DE VIDA Y ACCIDENTE	5,76	LEY IMP. HABITACIONAL	14,30
APORTE SEGURO HOSPITALIZAC.	107,00	ASOCIACION DE PROFESORES	32,49
BONO RENDIMIENTO ACADEMICO	466,00	FONDO DE PENSION Y JUBIL. DO	59,24
		PREST.CON FIANZA AHORRO CAPA	211,20
TOTAL ASIGNACIONES	2.207,86	TOTAL DEDUCCIONES	1.020,19
		ANTICIPO PRIMERA QUINCENA	360,83
		NETO	826,84

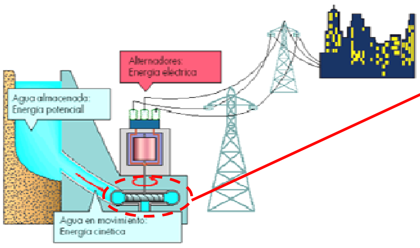
$$\eta_{sueldo} = \frac{Cantidad\ Recibida}{Cantidad\ Máxima\ a\ Recibir}$$

Equivalente a las Pérdidas

$$\eta_{sueldo} = \frac{2207,86 - 1020,19}{2207,86} = 0,54$$

Una Definición General de Rendimiento

La definición de rendimiento depende de las fronteras que se definen en el proceso de transformación energética.
Para el estudio de la transformación en la máquina, solo se considera lo que pasa en la máquina.



$$\eta_{GLOBAL} = \eta_{O} = \eta_{H} \cdot \eta_{m} \cdot \eta_{V}$$

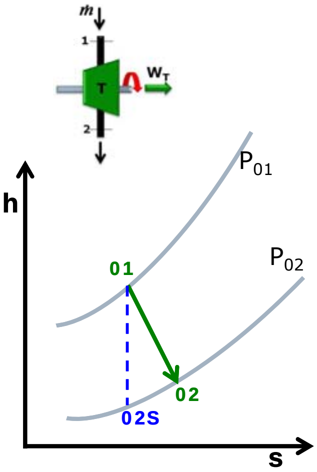
$$\eta_{H} = \eta_{is} = \eta_{ad} = \eta_{T}^{C}$$

Asociada a la transf. Energética del fluido

TURBINA $= \dfrac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía disponible}}$

COMPRESOR $= \dfrac{\text{Energía obt. fluido}}{\text{Energía disponible}}$

Rendimientos Turbinas



Eficiencia Global

$$\eta_{o,T} = \frac{\text{Energía mecánica disponible en acoplamiento del eje/ tiempo}}{\text{Máxima diferencia de energía disponible en el fluído/ tiempo}}$$

$$\eta_{o,T} = \frac{\text{Potencia del Eje}}{\dot{m}\Delta h_{0S}}$$

Rendimiento adiabático o hidráulico

$$\eta_{t,T} = \frac{\text{Energía suministrada al rotor / tiempo}}{\text{Máxima diferencia de energía disponible en el fluido / tiempo}}$$

$$\eta_{t,T} = \frac{h_{01} - h_{02}}{h_{01} - h_{02S}}$$

Rendimientos Turbinas

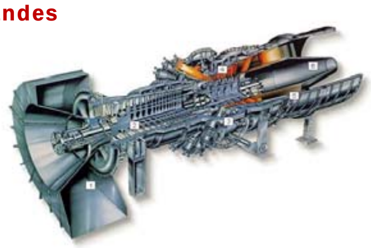
Rendimiento Mecánico

$$\eta_m = \frac{\text{Energía mecánica disponible en acoplamiento del eje/ tiempo}}{\text{Energía suministrada al rotor / tiempo}}$$

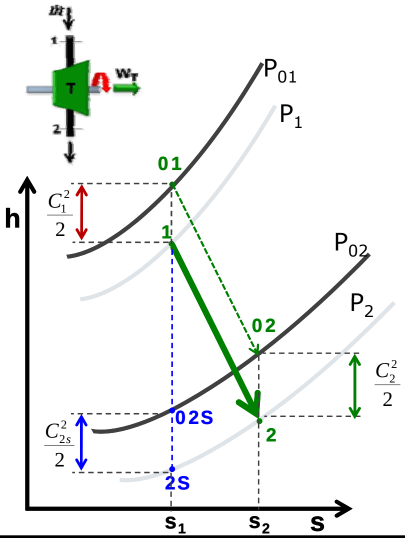
$$\eta_m = \frac{\eta_0}{\eta_t}$$

95% Máquinas pequeñas

99% Máquinas grandes



Rendimientos Turbinas



Rendimiento total a total

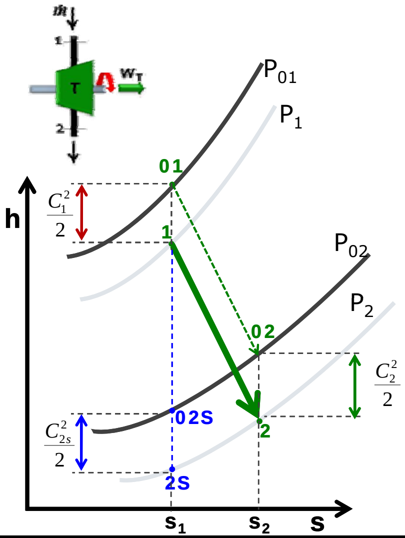
Aprovechamiento de la **Energía Cinética** a la salida de la turbina

$$\eta_{tt,T} = \frac{h_{01} - h_{02}}{h_{01} - h_{02s}} = \frac{(h_1 + \tfrac{1}{2}c_1^2) - (h_2 + \tfrac{1}{2}c_2^2)}{(h_1 + \tfrac{1}{2}c_1^2) - (h_{2s} + \tfrac{1}{2}c_{2s}^2)}$$

Es frecuente que $C_1 = C_2$ ó que la diferencia entre ellas sea pequeña, y $C_2 \approx C_{2S}$, en estos casos el rendimiento queda…

$$\eta_{tt,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

Rendimientos Turbinas



Rendimiento total a estático

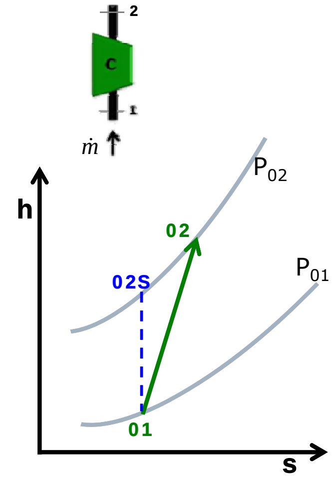
No se aprovecha la **Energía Cinética** a la salida de la turbina

$$\eta_{ts,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s} + \tfrac{1}{2}c_{2s}^2}$$

Si $C_2 \approx C_{2S}$ y la diferencia entre la Energía Cinética de entrada y salida es pequeña…

$$\eta_{ts,T} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s} + \tfrac{1}{2}c_1^2}$$

Rendimientos Compresor



Eficiencia Global

$$\eta_{0,C} = \frac{\text{Energía mínima para comprimir de P1 a P2/ tiempo}}{\text{Energía suministrada al acoplamiento/ tiempo}}$$

Rendimiento adiabático o hidráulico

$$\eta_{t,C} = \frac{\text{Energía mínima para comprimir de P1 a P2 / tiempo}}{\text{Energía suministrada por el rotor al fluido / tiempo}}$$

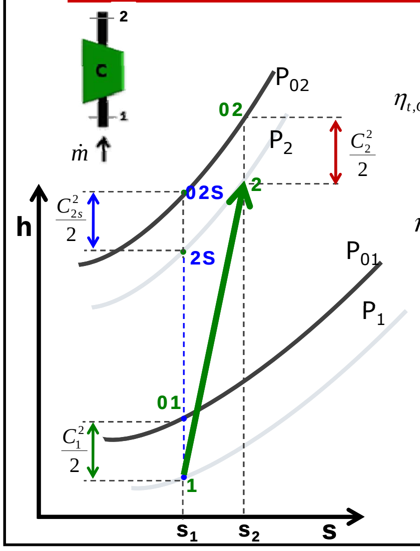
$$\eta_{t,C} = \frac{h_{02S}\text{-}h_{01}}{h_{02}\text{-}h_{01}}$$

Rendimiento Mecánico

$$\eta_{mc} = \frac{\text{Energía suministrada por el rotor al fluido / tiempo}}{\text{Energía suministrada al acoplamiento / tiempo}}$$

$$\eta_{m} = \frac{\eta_{0,C}}{\eta_{t,C}}$$

Rendimientos Compresor



Rendimiento adiabático

$$\eta_{t,C} = \frac{\text{Energía mínima para comprimir de P1 a P2 / tiempo}}{\text{Energía suministrada por el rotor al fluido / tiempo}}$$

$$\eta_{t,C} = \frac{h_{02S}\text{-}h_{01}}{h_{02}\text{-}h_{01}} = \frac{(h_{2s} + \frac{1}{2}c_{2s}^2) - (h_1 + \frac{1}{2}c_1^2)}{(h_2 + \frac{1}{2}c_2^2) - (h_1 + \frac{1}{2}c_1^2)}$$

Si $C_1 = C_2 \approx C_{2S}$ ó la diferencia entre ellas sea pequeña....

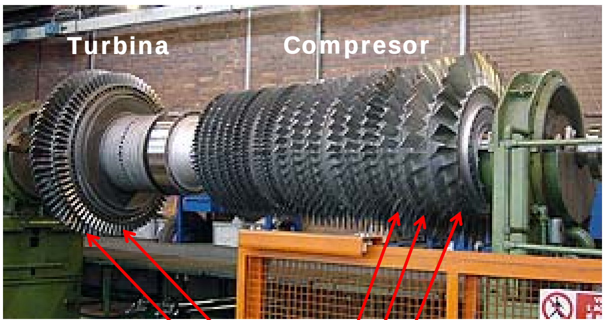
$$\eta_{t,C} = \frac{h_{2S}\text{-}h_1}{h_2\text{-}h_1}$$

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento

- Tanto en un compresor como en una turbina de gas o vapor, el rendimiento adiabático η_t de la máquina completa será diferente del rendimiento η_p del pequeño escalonamiento. El rendimiento del pequeño escalonamiento se define como rendimiento politrópico
- La diferencia entre ambos rendimeintos depende de su comportamiento con la relación de presiones
  - $\eta_t = f(r_P)$
  - $\eta_p \neq f(r_P) =$ Constante

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento

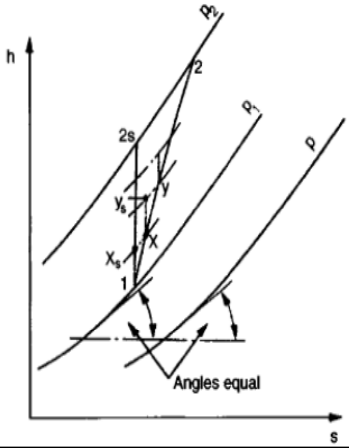
- Cada etapa representa un escalonamiento tanto en el compresor como en la turbina



Etapas o Escalonamientos

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento

Propone que el proceso de compresión puede dividirse en pequeños escalonamientos de igual rendimiento…



$$\eta_p = \frac{h_{xs} - h_1}{h_x - h_1} = \frac{h_{ys} - h_x}{h_y - h_x} = \frac{\sum \Delta \dot{W}_{\min}}{\sum \Delta \dot{W}}$$

Sabiendo que..

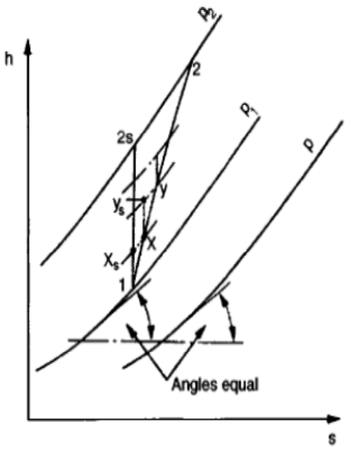
$$\sum \Delta \dot{W} = (h_x - h_1) + (h_y - h_x) + \ldots\ldots = h_2 - h_1$$

Podemos reescribir el rendimiento…

$$\eta_p = \frac{(h_{xs} - h_1) + (h_{ys} - h_x) + \ldots.}{h_2 - h_1}$$

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento

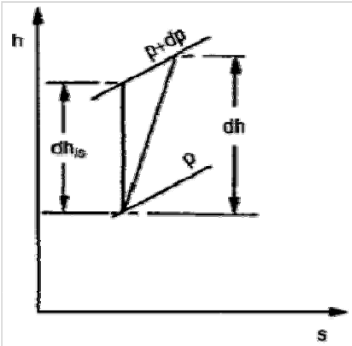
Debido a la divergencia de las líneas de presión constante se cumple:



$$(h_{xs} - h_1) + (h_{ys} - h_x) + \ldots\ldots > h_{2s} - h_1 \Rightarrow \eta_p > \eta_c$$

Para un proceso de compresión el rendimiento adiabático de la máquina es menor que el rendimiento del pequeño escalonamiento

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento para Gas Ideal



En un proceso de compresión, el rendimiento politrópico del pequeño escalonamiento viene dado por:

$$\eta_p = \frac{dh_{is}}{dh} = \frac{v \cdot dp}{C_p \cdot dT}$$

De la ecuación de estado de un gas ideal..

$$v = \frac{R \cdot T}{P}$$

Recordando la definición de C_p y sustituyendo...

$$\frac{dT}{T} = \frac{(\gamma - 1)}{\gamma \cdot \eta_p} \cdot \frac{dP}{P} \xrightarrow{Integrando} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma \cdot \eta_p}}$$

También se pueden aplicar condiciones de estancamiento en esta propiedad

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento para Gas Ideal

Suponiendo $C_1 = C_2$, el rendimiento adiabático para el proceso total de compresión viene dado por:

$$\eta_c = \frac{T_{2S} - T_1}{T_2 - T_1}$$

En el proceso ideal $\eta_p = 1$, por lo tanto:

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(\gamma-1)}{\gamma}}$$

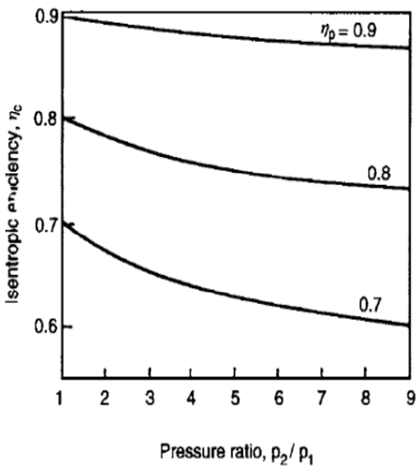
Regresando al rendimiento adiabático ..

$$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{\frac{T_{2s}}{T_1} - 1}{\frac{T_2}{T_1} - 1} \Rightarrow \eta_c = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma \cdot \eta_p}} - 1}$$

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento para Gas Ideal

$$\eta_{t,C} = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma\cdot\eta_p}} - 1}$$

$$\eta_p > \eta_{t,C}$$



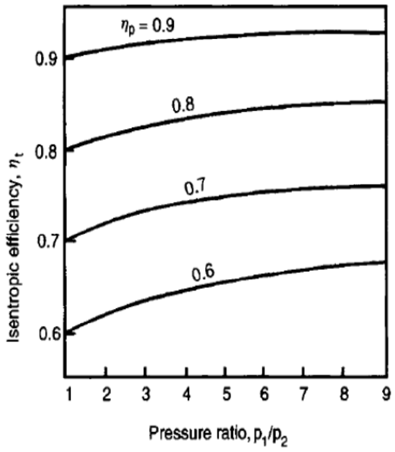
Compresor con γ = 1.4

Rendimiento del Pequeño Escalonamiento para Gas Ideal

De manera análoga al proceso de compresión, se puede demostrar que en una turbina se cumple que

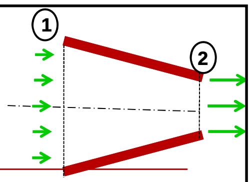
$$\eta_{t,T} = \frac{1-\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\eta_p(\gamma-1)}{\gamma}}}{1-\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}$$

$$\eta_{t,T} > \eta_p$$

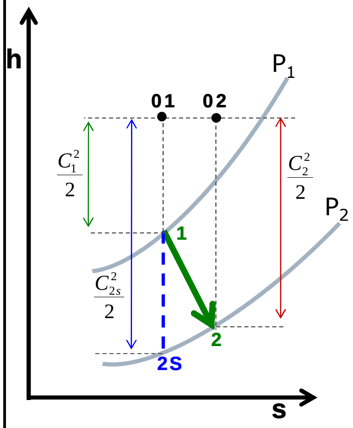


Turbina con γ = 1.4

Rendimiento de una Tobera



Aplicando la primera ley de la termodinámica…



$$\dot{Q}-\dot{W}=\dot{m}\left[(h_2-h_1)+\tfrac{1}{2}\left(c_2^2-c_1^2\right)\right]$$

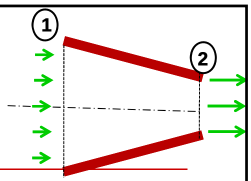
Como no existe ningún tipo de trabajo ni calor, nos queda..

$$0=\dot{m}\left[(h_2-h_1)+\tfrac{1}{2}\left(c_2^2-c_1^2\right)\right] \qquad \mathrm{I}$$

$$h_2+\tfrac{1}{2}\cdot c_2^2=h_1+\tfrac{1}{2}\cdot c_1^2$$

$$\Rightarrow h_{02}=h_{01}$$

Rendimiento de una Tobera



De manera análoga podemos decir que para el proceso adiabático reversible se cumple que…

$$h_1-h_{2S}=\tfrac{1}{2}\left(c_{2S}^2-c_1^2\right)$$

El rendimiento de una tobera puede definirse $\eta_{tob}=\dfrac{\mathrm{h_1\text{-}h_2}}{\mathrm{h_1\text{-}h_{2S}}}=\dfrac{c_2^2-c_1^2}{c_{2S}^2-c_1^2}$

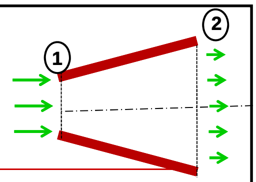
Para un proceso isentrópico se cumple que $Tds=0=dhis-vdP$. Tratando el **flujo como incompresible**, las variaciones de 1 a 2S se pueden expresar como…

$$h_1-h_{2S}=\frac{P_1-P_2}{\rho}$$

Restándole a la expresión anterior la ecuación I , se puede reescribir el rendimiento de la siguiente manera…

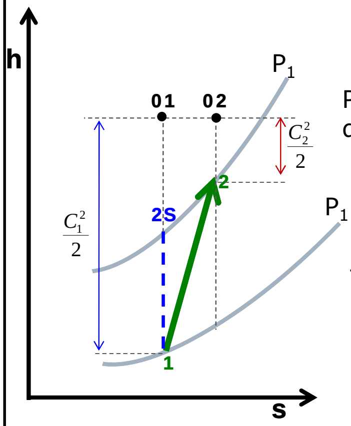
$$\eta_{tob}=1-\frac{\mathrm{P_{01}\text{-}P_{02}}}{\mathrm{P_1\text{-}P_2}}$$

Rendimiento de un Difusor



Aplicando la primera ley de la termodinámica, se llega a que …

$$h_2 - h_1 = \tfrac{1}{2}\left(c_1^2 - c_2^2\right)$$



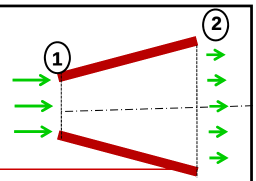
Para el proceso adiabático reversible se cumple que …

$$h_{2S} - h_1 = \tfrac{1}{2}\left(c_1^2 - c_{2S}^2\right)$$

El rendimiento del difusor se puede definir de forma análoga al de la tobera….

$$\eta_{dif} = \frac{h_{2S}-h_1}{h_2-h_1} = \frac{c_1^2 - c_{2S}^2}{c_1^2 - c_2^2}$$

Rendimiento de un Difusor



Para **flujo incompresible…**

$$h_{2S} - h_1 = \frac{P_2 - P_1}{\rho}$$

Y en consecuencia…

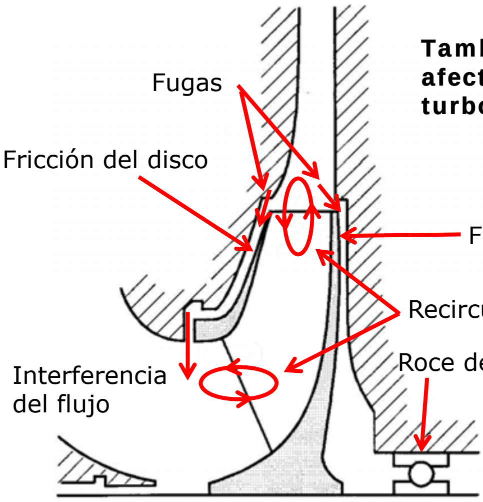
$$\eta_{dif} = \frac{2\left(P_2 - P_1\right)}{\rho \cdot \left(c_1^2 - c_2^2\right)}$$

También se puede reescribir el rendimiento como función solamente de los incrementos de presión..

$$\eta_{dif} = \frac{1}{1 + \dfrac{P_{01}-P_{02}}{P_2 - P_1}}$$

Eficiencias de las turbomáquinas

Eficiencia externa



También hay otros factores que afectan el desempeño del la turbomáquina