

ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

INFORME 7: LABORATORIO DE MAQUINAS

Balance térmico de un compresor.

Tomás Fierro Sánchez
Profesores:
Cristóbal Galleguillos Ketterer
Tomás Herrera Muñoz
Fecha: 20 de noviembre de 2020.

Introducción:

Los compresores son maquinas muy recurrentes en el mundo industrial, se encuentran en todo tipo de establecimientos y esto es debido a sus diversas aplicaciones, donde es imperante tener un suministro de algún gas en particular, con presiones y caudales específicos. Sin embargo, estos equipos requieren una gran cantidad de energía para funcionar, ya que generalmente requieren de una fuente de alimentación eléctrica y la transmisión de esta al proceso de compresión del aire (u otro gas) no es perfecta.

En este informe, se estudiará el ensayo de un compresor reciproco y se estimará el rendimiento que posee este equipo, calculando las distintas perdidas que se pueden encontrar a lo largo del sistema (mecánicas, transmisión, refrigeración, etc.) y representándolas a través de un diagrama Sankey.

Objetivo:

Analizar cómo se distribuye la energía en el equipo, partiendo desde la energía eléctrica hasta la útil en el aire comprimido.

Desarrollo:

Tabla de valores medidos.

Tabla 1: Valores medidos parte 1

	Valores medidos										
	Compresor						Estanque de baja presión		Agua de refrigeración		
									Temperatura		Tiempo
	Presión	Velocidad	Temperatura				Temperatura		Tiempo		
	Pd	n	tec _{bp}	tseb _p	tec _{ap}	tec _{ap}	tebp	ΔP	tea	t _{sa}	10 l
[kp/cm2]	[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmca]	[°C]	[°C]	[s]	
1	7.0	499.0	20	49	26	89	34.5	488	18	25	77
2	7.1	500.0	20	50	26.5	90.5	36	496	18	25	76
3	7.2	498.5	20	50	26.5	90.5	37	510	18	25	75

Tabla 2: Valores medidos parte 2

Valores medidos							
	Motor Eléctrico						
	Tensión	Corrientes			Potencia		
	V	I ₁	I ₂	I ₃	W ₁	W ₂	Patm.
	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[mmHg]
1	372	17.4	15.4	14.6	6.55	3.36	756.9
2	373	17.3	15.3	14.5	6.62	3.4	756.9
3	372	17.6	15.3	14.5	6.65	3.35	756.9

Para los cálculos que se realizarán en este informe, se utilizará la segunda medición hecha en el ensayo, destacada con color verde en las tablas 1 y 2.

Ecuaciones:

Se indican las ecuaciones no consideradas en el informe anterior:

Ecuación 1: Potencia eje motor.

$$N_{motor} = N_{elec} \eta_{motor} [kW]$$

Ecuación 2: Potencia eje compresor.

$$N_{compresor} = N_{motor} \eta_{transmision} [kW]$$

Ecuación 3: Pérdidas motor.

$$N_{perd.motor} = N_{elec} - N_{motor} \quad [kW]$$

Ecuación 4: Pérdidas mecánicas.

$$N_{mec} = N_{compresor} - N_i \quad [kW]$$

Ecuación 5: Pérdidas transmisión.

$$N_{transnision} = N_{motor} - N_{compresor} \quad [kW]$$

Ecuación 6: Calor refrigeración.

$$Q_{Total} = \frac{\dot{m}_{agua} c (t_s - t_E)}{1000} \quad [kW]$$

Ecuación 7: Flujo másico de agua.

$$\dot{m}_{agua} = \frac{V_{agua} \rho_{agua}}{60} \quad [kg / s]$$

Ecuación 8: Calor sistema de refrigeración intermedia.

$$Q_{SRI} = \frac{\dot{m}_{aire} c_p (t_{SBP} - t_{EAP})}{1000} \quad [kW]$$

Ecuación 9: Flujo másico de aire.

$$\dot{m}_{aire} = \frac{V \rho_{aire}}{3600} \quad [kg / s]$$

Ecuación 10: Calor rechazado por cilindros.

$$Q_{cil} = Q_{Total} - Q_{SRI} \quad [kW]$$

Ecuación 11: Potencia útil del aire.

$$N_{U \text{ aire}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}} (c_p - c_v) (t_{SAP} - t_{EBP})}{1000} \quad [kW]$$

Ecuación 12: Rendimiento mecánico.

$$\eta_{mec} = \frac{N_i}{N_{compresor}} 100 \quad [\%]$$

Ecuación 13: Rendimiento sistema de compresión.

$$\eta_{glsc} = \frac{N_{U \text{ aire}}}{N_{elec}} 100 \quad [\%]$$

Nomenclatura

η (...) = rendimiento (motor, compresor, etc.) [%]

\dot{m}_{agua} = Flujo másico de agua [kg/s]

c = calor específico del agua [J/kg°C]

\dot{m}_{aire} = Flujo masico de aire [kg/s]

c_p = calor específico a presión constante del aire [J/kg°C]

Consideraciones:

La eficiencia del motor se entrega en una curva de rendimiento v/s corriente media, para estimarla, se utilizará la corriente media calculada para los valores utilizados (15.7 [A]) según se puede observar en la ilustración 1. El grafico entrega un valor aproximado del 87% de rendimiento global el cual será utilizado como rendimiento del motor eléctrico (η_{motor}).

Por otro lado, para estimar el rendimiento de la transmisión se multiplicarán valores encontrados de transmisión por correa en V y transmisión por correas planas, usando el valor inferior de los rangos encontrados para cada una (92% en ambos casos) obteniendo un valor total de 84%.**[1]**

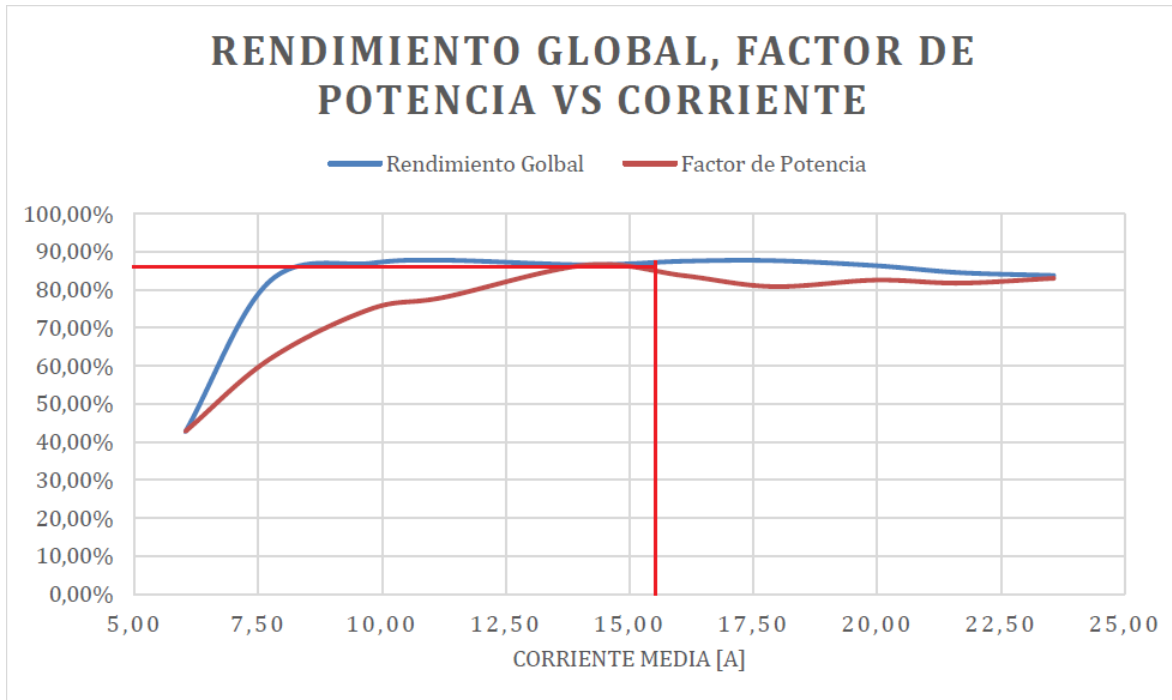


Ilustración 1

Tabla valores calculados

Tabla 3

Valores calculados 1							
N elec.	η motor	N motor	N perdidas Motor	N compresor	Ni CBP	Ni CAP	Ni
[kW]	%	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
10.02	87.00%	8.7174	1.3026	7.3226	2.9229	2.9575	5.8804

Tabla 4

Valores calculados 1								
N perd. mec.	η mec.	η trans.	Q total	Q SRI	Q cil.	Nu aire	η glSC	η compresor
[kW]	%	%	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	%	%
1.4422	80.30%	84.00%	3.8440	0.5615	3.2825	0.48105	4.80%	6.57%

Tabla 5

Valores calculados 2											
N elec.	N motor	N per. Motor	N comp.	Ni CBP	Ni CAP	Ni	N per mec	Q total	Q SRI	Q cil	N aire
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
100.00%	87.00%	13.00%	73.08%	29.17%	29.52%	58.69%	14.39%	38.36%	5.60%	32.76%	4.80%

Hacer un gráfico Sankey en que se muestre claramente la distribución de energía. En hoja nueva y completa.

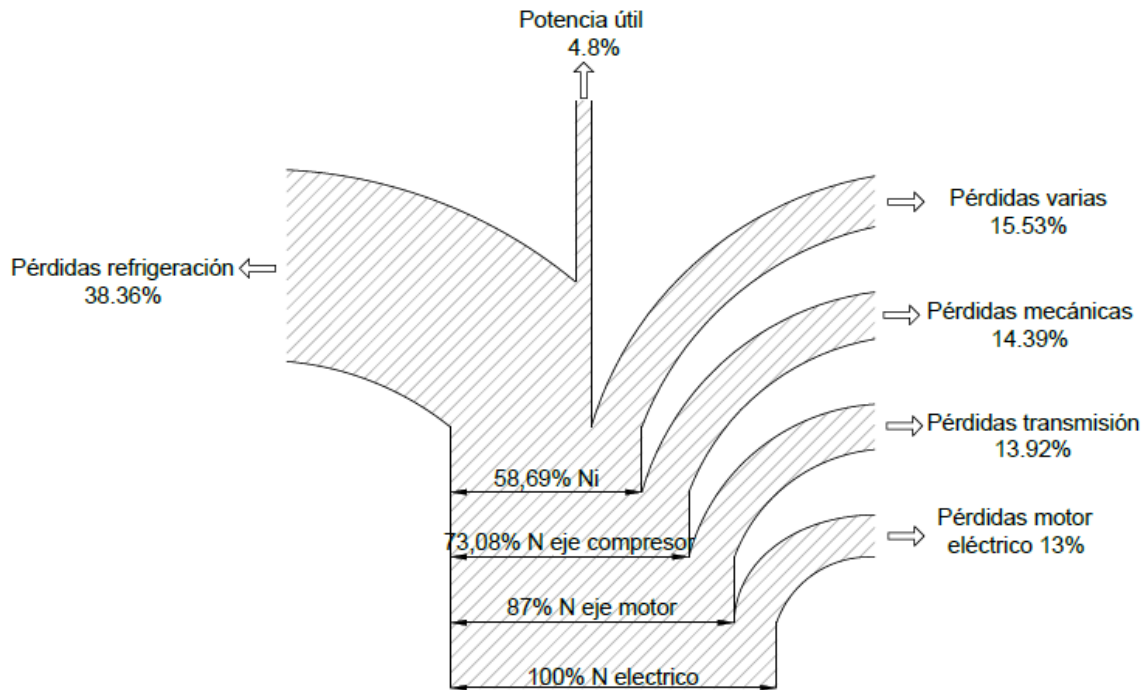


Ilustración 2: Diagrama Sankey compresor recíproco

¿El rendimiento global del sistema de compresión que comentario le sugiere?

Es un rendimiento muy bajo si se compara con otras máquinas térmica, por ejemplo, los motores de combustión interna que poseen eficiencias entre el 20 y el 30% en su versión de gasolina o los motores Diesel que incluso pueden alcanzar el 45% en algunas aplicaciones. Se pierde mucha energía generada en forma de calor (casi un 40%), otra gran parte en perdidas mecánicas o de transmisión. Finalmente, este rendimiento se explica por que solo se considera como útil la potencia que comprime el gas, si se utilizara el calor que se pierde en la refrigeración, podría obtenerse un sistema globalmente más eficiente. [2]

¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?

Sigue siendo bajo en comparación a otras máquinas térmicas como se mencionó anteriormente, sin embargo, se puede apreciar un aumento con respecto al rendimiento global del sistema de compresión ya que este considera como potencia suministrada la potencia del eje del compresor, despreciando las pérdidas del motor eléctrico y de la transmisión.

¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?

Al cambiar el rendimiento para las ecuaciones, el rendimiento global del sistema de compresión no cambia en lo absoluto, esto se debe a que este valor depende de la potencia del motor y de la potencia útil del aire, ambos parámetros se calculan sin la incidencia del rendimiento considerado para la transmisión, por lo que el rendimiento real de la transmisión esta implícito en las mediciones realizadas para calcular flujo masico de aire.

¿Como sugiere Ud. determinar el rendimiento de la transmisión?

Podría estimarse conectando un generador eléctrico a la misma transmisión usada por el sistema de compresión, de esta forma se podría medir la potencia eléctrica generada y se conocería el rendimiento de este generador por lo que podría estimarse cuanta de esa potencia se perdió por efectos de transmisión. Por otra parte, este método podría ser complicado de emplear y costoso si es que no se tiene el equipo, en ese caso quizás seria mejor medir la potencia en el eje del compresor directamente con alguna especie de dinamómetro o algún instrumento similar.

¿Qué comentario le sugiere el calor total de refrigeración y sus componentes?

Se pierde una parte importante de la potencia refrigerando el compresor, y una parte menor en la refrigeración intermedia, esto explica que el proceso de compresión necesite bastante energía para realizarse ya que gran parte de esta se convierte en calor y no es deseable para el proceso tener estas altas temperaturas ya que hay una perdida en la resistencia de los materiales del compresor y pueden producir roturas entre otros. [3]

¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite?

Debe estar incluido en perdidas varias, ya que en este apartado están incluidas todas las pérdidas que no se consideran en las anteriores, además, no se hizo ninguna medición de temperaturas relacionadas con el intercambio de calor con el aceite en este ensayo.

Conclusión:

La compresión del aire es un proceso sumamente ineficiente con valores cercanos al 5%, teniendo variadas pérdidas a lo largo de este, sumando alrededor de un 56.84% en pérdidas mecánicas, de transmisión y por parte del motor eléctrico y un poco más en pérdidas varias (aproximadamente 14% cada una) y a eso hay que sumarle un 38.36% de pérdidas por refrigeración, la cual es necesaria para el correcto del compresor y en algunos casos para la aplicación que tendrá el aire.

Las pérdidas por transmisión no afectaron al calculo de la eficiencia global, pero esto se debe a como están planteadas las ecuaciones para calcular la potencia útil del aire, por lo que estas también podrían haber sido estimadas a partir del rendimiento global de compresión, sin embargo, para esto se debería haber supuesto un valor de perdidas varias, ya que este valor fue calculado en base a los demás.

Se podría aumentar la eficiencia global utilizando el calor extraído en la refrigeración calentando algún otro fluido de interés como agua o aire, también podría hacerse algún arreglo en la transmisión, la que en este caso es "mixta" ya que tiene una polea en V y otra polea plana, por este motivo la eficiencia de la transmisión baja en relación con otro método mas formal de transmisión de potencia.

Referencias:

- [1] http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/textbooks_dvd_only/DAN/V-belts/intro/intro.html
- [2] <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-motor-de-combustion-es-el-mas-eficiente-hoy-falso>
- [3] Mège, R. (2019) Apunte de compresores – Turbomáquinas PUCV.