

Informe 07 Laboratorio de máquinas: Balance Térmico del Compresor Recíproco

Felipe Eduardo Trujillo Preuss

Escuela de Ingeniería Mecánica

felipe.trujillo.p@mail.pucv.cl

27 de Noviembre de 2020

1. Introducción

En el presente ensayo se han efectuado distintas mediciones en un compresor recíproco, correspondientes a temperatura, presión de descarga, presión atmosférica, humedad, velocidad de rotación, entre otros. Estos datos se recopilan para calcular y analizar la distribución de energía en todo el circuito de compresión, iniciando por el motor eléctrico hasta el compresor, para identificar las pérdidas existentes entre cada una de las etapas que confieren la transferencia energética.

2. Objetivos

Analizar cómo se distribuye la energía en el circuito de compresión, vale decir, efectuar un balance térmico, inicializando el cálculo desde la energía eléctrica suministrada por el motor hasta la energía útil que contiene el aire comprimido.

3. Procedimientos

[a] Instalar y preparar los instrumentos para medir temperaturas, potencia indicada y eléctrica, tensión y corriente, flujos de aire y agua. Desde esa base, se pone en marcha el compresor y se espera un tiempo prudente hasta que su operación sea estable. La presión atmosférica en [mmHg] se mide al inicio del ensayo.

[b] Con la presión manométrica de descarga nominal correspondiente a $7 \text{ [kp/cm}^2\text{]}$ se obtienen las mediciones especificadas en la Tabla N°1. Posteriormente, sin modificar las condiciones de operación, se repiten tres veces las lecturas a intervalos de 10 [min].

4. Tabla de valores medidos

Compresor						Estanque de baja presión		Agua			Motor Eléctrico						
Presión	Veloc	Temperatura						Temp	tiempo	Tensión	Corrientes			Potencia			
Pd	n	tecbp	tsebp	tecap	tecap	tebp	ΔP	tea	t _{sa}	10 l	V	I1	I2	I3	W1	W2	Patm.
[kp/cm2]	[rpm]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[mmca]	[°C]	[°C]	[s]	[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[mmHg]
7,2	498,5	20	50	26,5	90,5	37	510	18	25	75	372	17,6	15,3	14,5	6,65	3,35	756,9

Tabla 1. Valores medidos en el ensayo

5. Fórmulas

Las fórmulas para calcular el Caudal de aire (V_{aire}), Presión media indicada (Pmi_{CXP}), Potencia indicada (Ni_{CXP}), Corriente media (I), Potencia eléctrica (N_{Elec}) y Caudal de agua (V_{agua}) se encuentran en informes anteriores 06 comportamiento del compresor de tornillo y 05 Ensayo compresor recíproco.

Potencia eje motor:

$$N_{motor} = N_{Elec} \cdot \eta_{motor} [kW]$$

Potencia eje compresor:

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

η_{trans} : Rendimiento de la transmisión estimado

Pérdidas del motor:

$$N_{perd. motor} = N_{elect} - N_{motor} [kW]$$

Pérdidas mecánicas:

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

Pérdidas en la transmisión:

$$N_{trans} = N_{motor} - N_{compresor} [kW]$$

Calor de refrigeración:

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

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

c : Calor específico del agua [J/kg · °C]

Flujo másico de agua:

$$\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{V}_{agua} \cdot \rho}{60} [\text{kg/s}]$$

Calor del sistema de refrigeración intermedia (SRI):

$$Q_{SRI} = \frac{\dot{m}_{aire} \cdot c_p \cdot (t_{sbp} - t_{eap})}{1000} [kW]$$

\dot{m}_{aire} : Flujo másico de aire [kg/s]

c_p : Calor específico del aire a presión constante [J/kg · °C]

Flujo másico de aire:

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

Calor rechazado por cilindros:

$$Q_{CIL} = Q_{Total} - Q_{SRI} [kW]$$

Potencia útil del aire:

$$N_{U\ aire} = \frac{\dot{m}_{aire} \cdot (c_p - c_v) \cdot (t_{sap} - t_{ebp})}{1000} [kW]$$

Rendimiento mecánico:

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

Rendimiento del sistema de compresión:

$$\eta_{gl\ SC} = \frac{N_{U\ aire}}{N_{elect}} \cdot 100 [\%]$$

Rendimiento del compresor:

$$\eta_{Compresor} = \frac{N_{U\ aire}}{N_{compresor}} \cdot 100 [\%]$$

6. Tabla de valores calculados

VALORES CALCULADOS 1.1							
N elec	η m.elec	N motor	N per.motor	N compresor	Ni CBP	Ni CAP	Ni
kW	%	kW	kW	kW	kW	kW	kW
10,000	86,000	8,600	1,400	7,740	3,287	3,199	6,486

VALORES CALCULADOS 1.2								
N per.mec	η mec	η trans	Q total	Q SRI	Q Cil	N aire	η gl SC	η compr
kW	%	%	kW	kW	kW	kW	%	%
1,254	83,802	90,000	4,667	0,736	3,931	0,501	5,015	6,479

VALORES CALCULADOS 2.1							
N elec	N motor	N per.motor	N compresor	N per.trans	Ni CBP	Ni CAP	Ni
%	%	%	%	%	%	%	%
100	86,000	14,000	77,400	8,60	32,869	31,994	64,863

VALORES CALCULADOS 2.2					
N per.mec	N per.varias	Q Total	Q SRI	Q Cil	N aire
%	%	%	%	%	%
12,537	13,183	46,665	7,355	39,310	5,015

Tabla 2. Valores calculados del ensayo

7. Gráficos

7.1. Diagrama Sankey

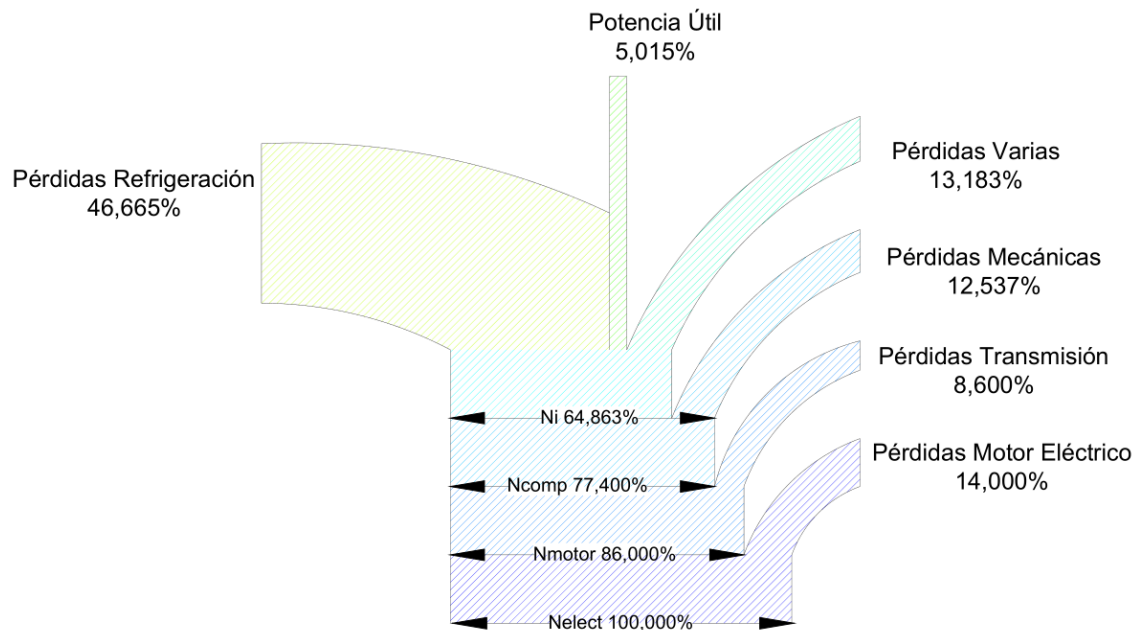


Gráfico 1. Ilustración de diagrama Sankey sobre la distribución energética

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

El rendimiento global del sistema de compresión resulta en un valor de 5.015 %, indicando que la mayor parte de la energía suministrada a partir del motor eléctrico al sistema de compresión se invierte en el sostenimiento del proceso a través de las pérdidas. Es esperable que el proceso de compresión del gas sea bastante ineficiente por el hecho de que sólo queda como útil el trabajo de flujo y no la energía interna.

7.3. ¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?

El rendimiento del compresor es de un 6.479 %, una magnitud bastante baja debido a que indica las pérdidas incluidas en el motor y la transmisión. Esta definido como el cociente entre la potencia útil del aire y la potencia en el eje del compresor, por lo que se pueden efectuar modificaciones en el motor, la lubricación del mismo e incluso en las correas, no obstante, por la naturaleza del proceso, el aumento del trabajo útil que se le suministra al aire y la mejora en el rendimiento sería pequeña.

7.4. ¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?

Es un rendimiento que da cuenta de la pérdida generada en la transmisión de energía desde el eje del motor eléctrico hasta el eje del compresor, a través de una correa tipo V montada en una polea con ranura (motor) y en una polea plana (compresor). Estas pérdidas se producen por efecto del roce entre correa y polea, el desdoblamiento de las correas y el ingreso/egreso de la correa de su ranura. En general, los valores de este rendimiento son altos.

El rendimiento de la transmisión es directamente proporcional a la potencia en el eje del compresor, ahora bien, su variación no afecta notablemente a la potencia útil transmitida al aire, debido a que el porcentaje de pérdidas asociado a la transmisión es despreciable en comparación a la significativa pérdida por refrigeración.

Como la transmisión implementada corresponde a una dual de banda con sección plana y sección en V. Una transmisión de banda plana presenta una eficiencia de aproximadamente 98%, en cambio, la eficiencia de una transmisión de banda en V llega a ser hasta de un 96% [1]. A partir de esta base y ciñéndose a un análisis conservador, se opta por determinar una eficiencia para la transmisión dual de un 90%, que en el cálculo posterior con respecto al 100% de potencia entregada de 10 [kW], resulta en una pérdida del 8,6%.

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

Existen variados métodos para determinar dicho rendimiento, por ejemplo, la implementación de un torquímetro, capaz de medir el torque aplicado a través de la medición de la deformación angular del eje. Por otro lado, se podría usar un dinamómetro que crea una resistencia y con ello la medición de la salida de torque a una velocidad dada. Ambos dispositivos permiten obtener el torque y aparte es conocida la velocidad de rotación, parámetros con los que se puede calcular la potencia en el eje del compresor. Comparando esta potencia con los resultados obtenidos del ensayo respecto a la potencia entregada por el eje del motor eléctrico, se obtiene el rendimiento de la transmisión.

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

La refrigeración cumple un rol esencial en el proceso de compresión, por ello constituye la mayor pérdida del sistema correspondiente a un 46.665%. Es una magnitud necesaria para este calor disipado, en caso contrario, la temperatura que se alcanzaría en el interior de los cilindros produciría el detenimiento e inoperatividad del compresor debido a la modificación de las propiedades del lubricante y el agripamiento de los pistones.

La magnitud del calor extraído depende directamente del fluido utilizado en la refrigeración del sistema. El uso de agua es el método más efectivo ya que por concepto de calor específico es capaz de extraer 4 veces la cantidad de energía por unidad de masa que extrae el aire.

7.7. ¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite?

Las funciones que desempeña el aceite lubricante son múltiples: reduce la fricción y desgaste, evita la corrosión, extrae el calor producido, entre otros.

El calor retirado por el aceite está integrado a las pérdidas varias, asociado a la transferencia de calor por radiación hacia el ambiente que experimenta el cárter que lo contiene y la transferencia de calor por convección desde el compresor. El flujo de calor se transmite a través de las paredes hacia el exterior, constituyendo una pérdida continua que puede llegar a ser considerable.

8. Conclusión

Se lograron cuantificar las pérdidas en el sistema satisfactoriamente, visualizando la distribución de la energía en todo el proceso a través del diagrama Sankey, lo que contribuye a comprender cómo mejorar el funcionamiento en el sistema de un compresor recíproco.

9. Bibliografía

[1] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett (2011). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley - Novena edición (9.a ed.). MCGRAW HILL EDUCATION.