

Sesión N° 7

Ensayo Balance Térmico compresor Reciproco

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: 8501

Fecha: 10 de diciembre del 2020

1 Resumen

Se presenta un resumen de las conclusiones del análisis obtenido de un compresor reciproco al realizar un balance térmico.

- La Potencia útil es solo del 4,3%, siendo un proceso extremadamente ineficiente.
- Se observaron las siguientes eficiencias de mayor a menor:
 - Eficiencia eléctrica: 100%
 - Eficiencia motor: 87%
 - Eficiencia compresor: 82,6%
 - Eficiencia Ni: 60,8%
 - Potencia útil: 4,3%
- Se observan las siguientes perdidas:
 - Perdidas por refrigeración: 37,9%
 - Perdidas Mecánicas: 21,7%
 - Perdidas de Transmisión: 4,3%
 - Perdidas del motor eléctrico: 13%
 - Perdidas debido a otros factores: 18,7%

2 Índice

Contenido

1 Resumen	2
2 Índice	3
3 Introducción	5
4 Objetivos.....	6
5 Metodología/Procedimientos.....	7
6 Resultados.....	8
6.1 Rendimientos.	8
7 Conclusión.....	11
7.1 Rendimientos.....	11
8 Referencias.....	12
9 Anexo	13
9.1 Formulas:	13
9.1.1 Potencia eje motor:	13
9.1.2 Potencia eje compresor:	13
9.1.3 Perdidas Motor:.....	13
9.1.4 Perdidas mecánicas:.....	13
9.1.5 Perdidas transmisión:.....	13
9.1.6 Calor Refrigeración:	13
9.1.7 Flujo masico de agua:	13
9.1.8 Calor Sistema de refrigeración intermedia:	13
9.1.9 Calor rechazado por cilindros:.....	13
9.1.10 Potencia útil del aire:.....	14
9.1.11 Rendimiento Mecánico:.....	14
9.1.12 Rendimiento sistema de compresión:	14

9.1.13 Rendimiento del compresor:	14
9.2 Tablas	15
9.2.1 Datos del ensayo de compresor reciproco.	15
9.2.2 Datos calculados.....	16
9.2.3 Datos calculados a partir de los diagramas.....	17
9.2.3 Rendimiento Global, factor de potencia vs corriente.	17

3 Introducción

En el presente informe se muestran la eficiencia térmica y sus respectivas perdidas a partir de datos obtenidos del ensayo de un compresor reciproco.

4 Objetivos

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

Preguntas a responder:

- Hacer un gráfico Sankey en que se muestre claramente la distribución de energía. En hoja nueva y completa.
- ¿El rendimiento global del sistema de compresión que comentario le sugiere?
- ¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?
- ¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?
- ¿Como sugiere Ud. determinar el rendimiento de la transmisión?
- ¿Qué comentario le sugiere el calor total de refrigeración y sus componentes?
- ¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite?

5 Metodología/Procedimientos.

Para la realización de la experiencia se siguieron los siguientes pasos:

- Instalar y preparar los instrumentos para medir: temperaturas, potencia indicada y eléctrica, tensión y corriente, flujos de aire y agua.
- Poner en marcha el compresor y esperar un tiempo para que se estabilice su operación.

Con la presión manométrica de descarga nominal, $7 \left[\frac{kp}{cm^2} \right]$, tome las siguientes mediciones:

- Presión de descarga en $\left[\frac{kp}{cm^2} \right]$.
- Velocidad del compresor, [rpm].
- Temperatura de aspiración y de descarga de ambos cilindros, [EC].
- Diagramas indicados para cada cilindro.
- Temperatura del estanque de baja presión, [EC].
- Presión en el estanque de baja presión, [cmca].
- Temperaturas de entrada y salida del agua de refrigeración, [EC].
- Tiempo en llenarse el recipiente de volumen conocido, [s].
- Tensión y corriente eléctrica, [V] y [A] respectivamente.
- Potencia eléctrica, método de los dos Wattmetros, [kW].

Sin modificar las condiciones de operación repetir tres veces las lecturas, a intervalos de 10 [min] aproximadamente.

La presión atmosférica, [mmHg], se mide al inicio del ensayo.

Para el desarrollo de la experiencia se utilizó la segunda medición correspondiente a la tabla de valores medidos, Anexo 9.2, de la cual se obtuvieron los cálculos posteriores.

Para los cálculos correspondientes se utilizaron las fórmulas del anexo 9.1 y las tablas del anexo 9.2

6 Resultados.

Balance térmico de Compresor reciproco ensayado.

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos del ensayo realizado a un compresor reciproco sometido a distintas condiciones de operación con el fin de analizar la distribución de la energía.

6.1 Rendimientos.

En la Grafico1 se representan mediante un gráfico Sankey los valores obtenidos para los Rendimientos¹ globales del sistema de compresión. De este se obtienen las siguientes observaciones:

Rendimiento Global:

- Se observa que la Potencia útil es solo del 4,3%, siendo un proceso extremadamente ineficiente.
- Se observan las siguientes perdidas:
 - Perdidas por refrigeración: 37,9%
 - Perdidas Mecánicas: 21,7%
 - Perdidas de Transmisión: 4,3%
 - Perdidas del motor eléctrico: 13%
 - Perdidas debido a otros factores: 18,7%
- Las perdidas resultados de cada transición son elevadas. Las perdidas por refrigeración están presentes en el aumento de la transferencia de calor correspondientes a las transiciones del gas por los cilindros de baja y alta presión. La disminución de los gases al final del proceso de descarga del cilindro de baja presión (CBP) se debe a que los gases pasan por un sistema de refrigeración el cual disminuye su temperatura antes de ingresar al cilindro de alta presión (CAP) para su compresión final.
- Las perdidas debido a otros factores son un factor a considerar. Entre estas podemos mencionar el calor retirado por el aceite producto de la lubricación de los elementos móviles de los sistemas mencionados.

Rendimiento del compresor:

¹ Los diferentes rendimientos con sus fórmulas correspondientes se encuentran en la sección anexo9.1

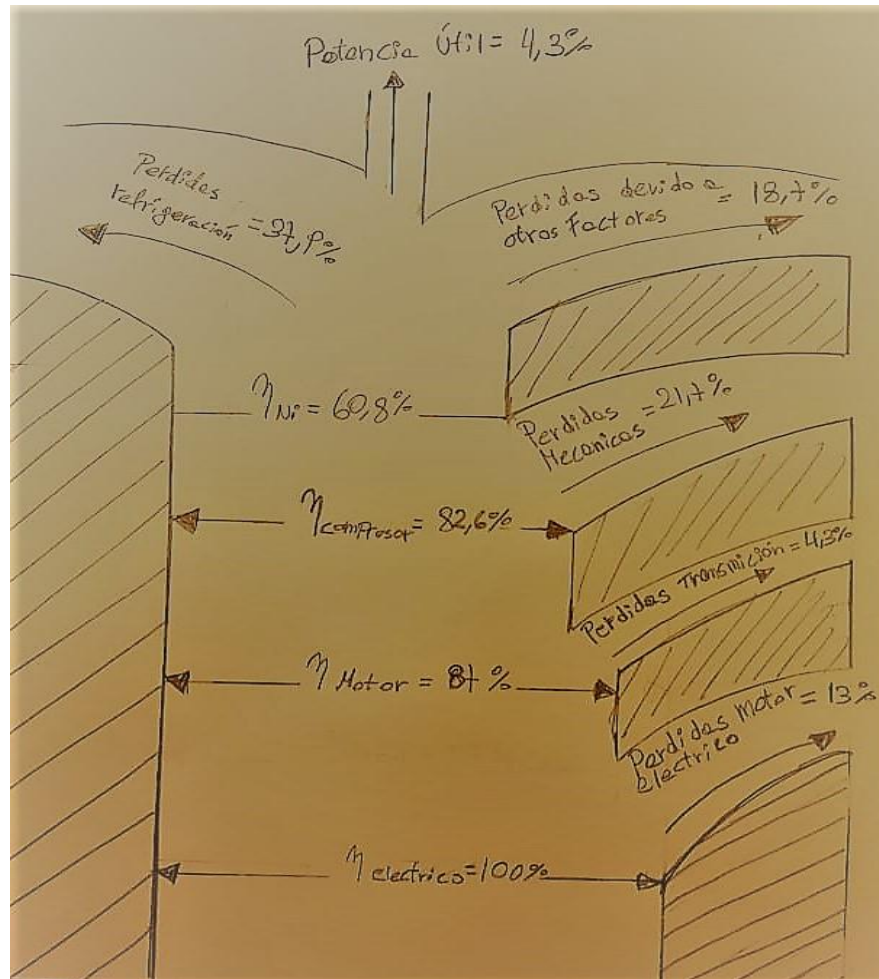
- Se observa un rendimiento cercano al 82,6%.
- Se observa un decrecimiento del 17,4% productos de perdidas asociadas principalmente a la transmisión y perdidas del motor eléctrico.
- Se observan perdidas mecánicas debido al proceso de compresión, lo que afectara la eficiencia en el rendimiento η_i , asociados a los cilindros de baja y alta presión.

Rendimiento Motor:

- Se observa un rendimiento cercano al 87%.
- Se observa un decrecimiento del 13% productos de perdidas asociadas principalmente al motor eléctrico.
- Las perdidas asociadas a la transmisión posiblemente a fricción, calor, vibraciones y esfuerzos debido al diseño de correas en V utilizado afectan la potencia del compresor. Estas pérdidas afectaran la eficiencia en el rendimiento del compresor.

Rendimiento eléctrico:

- Se observa un rendimiento cercano al 100%.
- Las perdidas asociadas al motor eléctrico afectan la eficiencia en el rendimiento del motor. Estas pueden deberse a diversas causas:
 - Perdidas de Joule en el rotor.
 - Perdidas de joule en el estator.
 - Perdidas mecánicas.
 - Etc.



Grafica1: Representación de grafico Sankey con los valores de rendimientos obtenidos.

7 Conclusión.

7.1 Rendimientos.

- La Potencia útil es solo del 4,3%, siendo un proceso extremadamente ineficiente.
- El rendimiento total inicial baja constantemente debido a pérdidas de diversa índole. Entre las principales se encuentran las pérdidas por refrigeración (37,9%) en donde se observó que a medida que disminuían los gases al final del proceso de descarga del cilindro de baja presión (CBP) debido a que estos pasan por un sistema de refrigeración el cual disminuye su temperatura antes de ingresar al cilindro de alta presión (CAP) para su compresión final generando pérdidas de calor.
- Las pérdidas por transmisión (4,3%) puede disminuir al escoger de forma más eficiente el tipo de correas utilizadas (en V o planas) conociendo su rendimiento. Una forma de calcular el rendimiento de la transmisión es mediante una medición de la potencia en el eje del compresor.
- El movimiento de los pistones en el compresor origina caudales constantes, pero no continuos, pudiendo originar en la succión vibraciones que incrementan el desgaste de las piezas generando pérdidas señaladas en pérdidas debido a otros factores (18,7%) como las señaladas para el calor retirado del aceite.

8 Referencias.

- Determinación de pérdidas eléctricas en motores de inducción modelados electromagnéticamente con el método de los elementos finitos.
 - <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v28n3/v28n3a09.pdf>
- <<Diseño y calculo de compresores>> de Pedro a Gómez Rivaz
- Sistema de refrigeración por compresión:
 - <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- Departamento de ingeniería eléctrica y energética universidad de Cantabria, <<COMPRESORES>> de Pedro Fernández Diez
- Rendimiento y aplicaciones de los compresores:
 - <https://www.acrlatinoamerica.com/201205094761/articulos/refrigeracion-comercial-e-industrial/rendimiento-y-aplicaciones-de-los-compresores.html>
- Texto guía:
 - Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

9 Anexo

9.1 Formulas:

9.1.1 Potencia eje motor:

$$N_{\text{motor}} = N_{\text{elec}} * \eta_{\text{motor}} [\text{KW}]$$

9.1.2 Potencia eje compresor:

$$N_{\text{motor}} = N_{\text{elec}} * \eta_{\text{motor}} [\text{KW}]$$

Donde:

$\eta_{\text{transmisión}}$: Rendimiento de la transmisión que debe estimar

9.1.3 Perdidas Motor:

$$N_{\text{per.motor}} = N_{\text{elec}} - N_{\text{motor}} [\text{KW}]$$

9.1.4 Perdidas mecánicas:

$$N_{\text{mec}} = N_{\text{compresor}} - N_i [\text{KW}]$$

9.1.5 Perdidas transmisión:

$$N_{\text{transmisión}} = N_{\text{motor}} - N_{\text{compresor}} [\text{KW}]$$

9.1.6 Calor Refrigeración:

$$Q_{\text{total}} = \frac{\dot{m}_{\text{agua}} c (t_s - t_E)}{1000} [\text{KW}]$$

Donde:

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

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

9.1.7 Flujo masico de agua:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \frac{V_{\text{agua}} * \rho_{\text{agua}}}{60} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

9.1.8 Calor Sistema de refrigeración intermedia:

$$Q_{\text{SRI}} = \frac{V * \rho_{\text{agua}}}{3600} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$$

9.1.9 Calor rechazado por cilindros:

$$Q_{\text{cil}} = Q_{\text{total}} - Q_{\text{SRI}} [\text{kw}]$$

9.1.10 Potencia útil del aire:

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

9.1.11 Rendimiento Mecánico:

$$\eta_{\text{motor}} = \frac{N_i}{N_{\text{compresor}}} * 100 \text{ [%]}$$

9.1.12 Rendimiento sistema de compresión:

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

9.1.13 Rendimiento del compresor:

$$\eta_{\text{compresor}} = \frac{N_{U \text{ aire}}}{N_{\text{compresor}}} * 100 \text{ [%]}$$

9.2 Tablas

9.2.1 Datos del ensayo de compresor reciproco.

	Compresor						Estanque de baja presión		Agua de refrigeración		
	Presión	Velocid	Temperatura						Temperatura		tiempo
	Pd	n	tecbp	tsebp	tecap	tecap	tebp	ΔP	tea	tse	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

Motor Eléctrico						
Tensión	Corrientes			Potencia		
V	I1	I2	I3	W1	W2	Patm.
[V]	[A]	[A]	[A]	[kW]	[kW]	[mmHg]
372	17,4	15,4	14,6	6,55	3,36	756,9
373	17,3	15,3	14,5	6,62	3,4	756,9
372	17,6	15,3	14,5	6,65	3,35	756,9

Tabla1: Los valores medidos en la prueba de ensayo del compresor reciproco.

9.2.2 Datos calculados.

	N elec	η motor elec	N motor	N Perdidas Motor	N compresor	Ni CBP	Ni CAP	Ni	N Perdidas Mec.	η mec	η trans	Q Total	Q SRI	Q Cil	N aire	η glSC	η compr
	kW	%	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	%	%	kW	kW	kW	kW	%	%
2	10,020	87,000	8,717	1,303	8,282	2,970	3,130	6,100	2,182	73,658	95,000	3,804	0,540	3,264	0,440	4,391	5,313

	N elec	N motor	N Perdida Motor	N compresor	Ni CBP	Ni CAP	Ni Total	N Perdidas Mec.	Q Total	Q SRI	Q Cil	N aire
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2	100,000	87,000	13,000	82,650	29,641	31,238	60,878	21,772	37,962	5,389	32,573	4,391

Tabla2: Datos calculados que representan los distintos valores con sus respectivas normalizaciones.

9.2.3 Datos calculados a partir de los diagramas.

DIAGRAMAS INDICADOS		
CBP	CAP	CBP y CAP
Área	Área	L_d
[cm ²]	[cm ²]	[mm]
5,3	5,5	66
4,8	5,8	66
4,8	5,4	66

Tabla1: Tabla comparativa de valores obtenidos mediante el ensayo del compresor reciproco. Para cálculos prácticos se utilizó la primera fila.

9.2.3 Rendimiento Global, factor de potencia vs corriente.

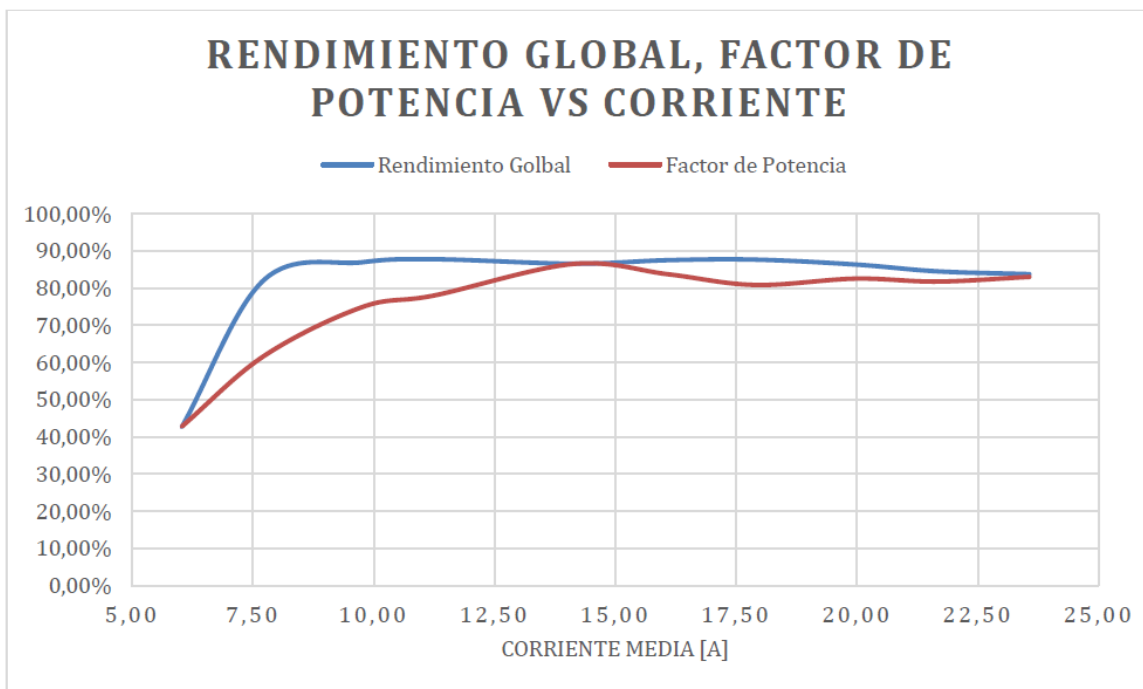


Grafico2: Estimación de rendimiento cercano al 87% del global del motor.