



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

# Informe N°8: Ensayo balance térmico compresor recíproco

Laboratorio de Máquinas

## Profesores

Cristóbal Galleguillos Ketterer  
Tomás Herrera Muñoz

## Alumno

Héctor Muzio Harris

## Resumen

Se realizó un ensayo de balance térmico a un compresor recíproco con cilindros de alta y baja presión, y presión nominal de  $7\left[\frac{Kp}{cm^2}\right]$ . Con el fin de analizar cómo se distribuye la energía en el equipo, se obtuvo que de un 100% de energía suministrada por la red eléctrica (10,02 Kw), 38,42% fueron perdidas por refrigeración, 9,44% perdidas varias, 15,92% perdidas mecánicas, 15,36% perdidas de transmisión, 16% perdidas del motor eléctrico y un 4,86% fue potencia útil en el aire comprimido.

## Índice

Introducción .....	4
Objetivo .....	5
Trabajo de laboratorio.....	5
Tabla de valores medidos. *(Datos utilizados para cálculos, destacados en naranja) .....	6
Fórmulas .....	6
Constantes a Utilizar.....	8
Valores calculados .....	8
Hacer un gráfico Sankey en que se muestre claramente la distribución de energía.....	10
¿El rendimiento global del sistema de compresión que comentario le sugiere?.....	10
¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?.....	10
¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?.....	11
¿Como sugiere Ud. determinar el rendimiento de la transmisión? .....	11
¿Qué comentario le sugiere el calor total de refrigeración y sus componentes?.....	11
¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite? .....	12
Conclusión .....	13
Anexos .....	14

## Introducción

Un compresor reciproco, reciprocante, alternativo, o también denominado de pistón, es un compresor de desplazamiento positivo, en el que la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose linealmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro, reduciendo de esta forma, el volumen de la cámara donde se encuentra el gas, esto provoca el aumento de la presión hasta que se alcanza la presión de descarga requerida. [referencia 1 ]

Para poder entender cómo se distribuye la energía en un sistema de compresión reciprocante, es necesaria la realización de este ensayo, determinando las pérdidas que se originan en el sistema de compresión, desde que se le suministra energía desde la red eléctrica, hasta que la energía se le transmite al aire que sale a una presión determinada. Para que esto sea posible interactuaran varios elementos entre los cuales destacan, la transmisión por correas, el motor eléctrico, los cilindros de alta y baja presión, estanque de baja presión, sistema de refrigeración entre otros.

## Objetivo

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

## Trabajo de laboratorio.

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, regular la presión de descarga a 7 [kp/cm<sup>2</sup>] y esperar un tiempo para que se estabilice su operación.

—Tomar las siguientes mediciones:

- \* Presión de descarga, [kp/cm<sup>2</sup>].
- \* Velocidad del compresor, [rpm].
- \* Temperatura de aspiración y de descarga de ambos cilindros, [°C].
- \* Diagramas indicados para cada cilindro.
- \* Temperatura del estanque de baja presión, [°C].
- \* Presión en el estanque de baja presión, [cm<sub>c.a.</sub>].
- \* Temperaturas de entrada y salida del agua de refrigeración, [°C].
- \* 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, [mm<sub>Hg</sub>], se mide al inicio del ensayo.

Tabla de valores medidos. \*(Datos utilizados para cálculos, destacados en naranja)

VALORES MEDIDOS																	
COMPRESOR						E. BP		AGUA		MOTOR							At
pd	n	temperatura				t.	Dp	temper.		tie m po	V	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	W1	W2	Pa
		Te CBP	Ts EBP	Te CAP	Ts CAP	Tebp	H	Te	Ts	T							
kp/c m <sup>2</sup>	rpm	°C	°C	°C	°C	°C	mm ca	°C	°C	s	V	A	A	A	kW	kW	mm Hg
7,0	499,0	20	49	26	89	34,5	488	18	25	77	372	17,4	15,4	14,6	6,55	3,36	756,9
7,1	500,0	20	50	26,5	90,5	36	496	18	25	76	373	17,3	15,3	14,5	6,62	3,4	756,9
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

## Fórmulas

Se indicarán las fórmulas no consideradas en el ensayo anterior (Nº8)

Potencia eje motor:

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

Potencia Eje Compresor

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

Donde:

$\eta_{transmisión}$

Rendimiento de la transmisión que debe estimar

Pérdidas motor:

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

Pérdidas mecánicas:

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

Pérdidas Transmisión:

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

Calor de refrigeración

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

Donde:

$\dot{m}_{agua}$  Flujo másico de agua [kg/s]  
 $c$  Calor específico del agua [J/kg °C]

Flujo másico de agua:

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

Calor Sistema de refrigeración intermedia:

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

Donde:

$\dot{m}_{aire}$  Flujo másico de aire [kg/s]  
 $c_p$  Calor específico a presión constante del aire [J/kg °C]

Flujo másico de aire:

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

Calor rechazado por cilindros:

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

Potencia útil del aire:

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

Rendimiento mecánico:

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

Rendimiento sistema de compresión:

$$\eta_{gLSC} = \frac{N_{Uaire}}{N_{elec}} 100 [\%]$$

## Rendimiento del Compresor

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

Expresar los valores en porcentaje, considerando la potencia eléctrica como el 100 [%].

## Constantes a Utilizar

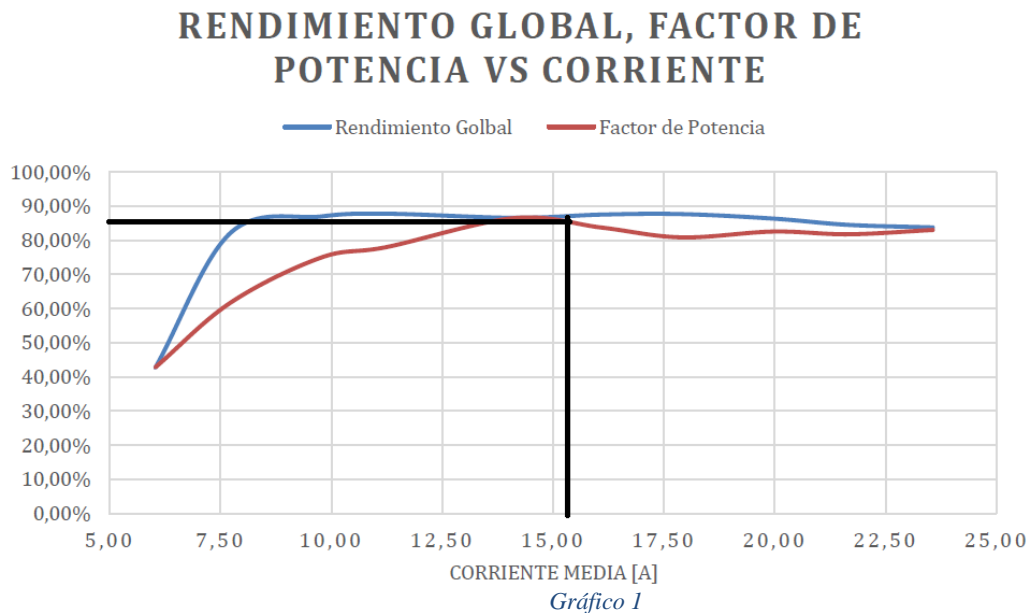
$\alpha$	S [cm <sup>2</sup> ]	densidad agua [Kg/m <sup>3</sup> ]	Calor específico agua [ j/kg°C]
0,6	3,80123436	1000	4180
cp aire[ j/kg°C]	cv aire[ j/kg°C]	densidad aire 20°C [kg/m <sup>3</sup> ]	rendimiento de transmisión
1005	718	1,2041	0,8464

## Valores calculados

Se calculó la corriente media del motor eléctrico, para de esta forma poder determinar su rendimiento global.

$$I_m = \frac{17,3+15,3+14,5}{3} = 15,7 \text{ [A]}$$

Con este valor, se obtiene el rendimiento global del motor eléctrico, gracias al gráfico N°1.



Fuente: Anexo 2



Obteniendo de esta forma el rendimiento global del motor, el cual es 84%.

V agua	V agua	V aire	m agua	m aire	corriente media
L/min	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	kg/s	kg/s	A
7,89	0,00013158	71,95	0,13	0,0241	15,7

Tabla 2

Valores Calculados 1								
N elect	n motor electrico	N motor	N perdmotor	N compresor	NI cbp	NI CAP	NI	N perdmec
kw	%	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw
10,02	84	8,42	1,60	7,12	3,16	2,83	5,99	1,13

Tabla 3

Valores Calculados 1								
n mec	n trans	N trans	Q Total	Q SRI	Q cil	N u aire	n gl sc	n compre
%	%	Kw	Kw	Kw	Kw	Kw	%	%
84,08	84,64	1,29	3,85	0,57	3,28	0,49	4,86	6,83

Tabla 4

Valores Calculados 2											
N elect	N motor	N perdmotor	N compresor	NI cbp	NI CAP	NI	N perdmec	Q Total	Q SRI	Q cil	N u aire
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
100	84	16	71,10	31,50	28,28	59,78	11,32	38,42	5,67	32,75	4,86

Tabla 5

Hacer un gráfico Sankey en que se muestre claramente la distribución de energía.

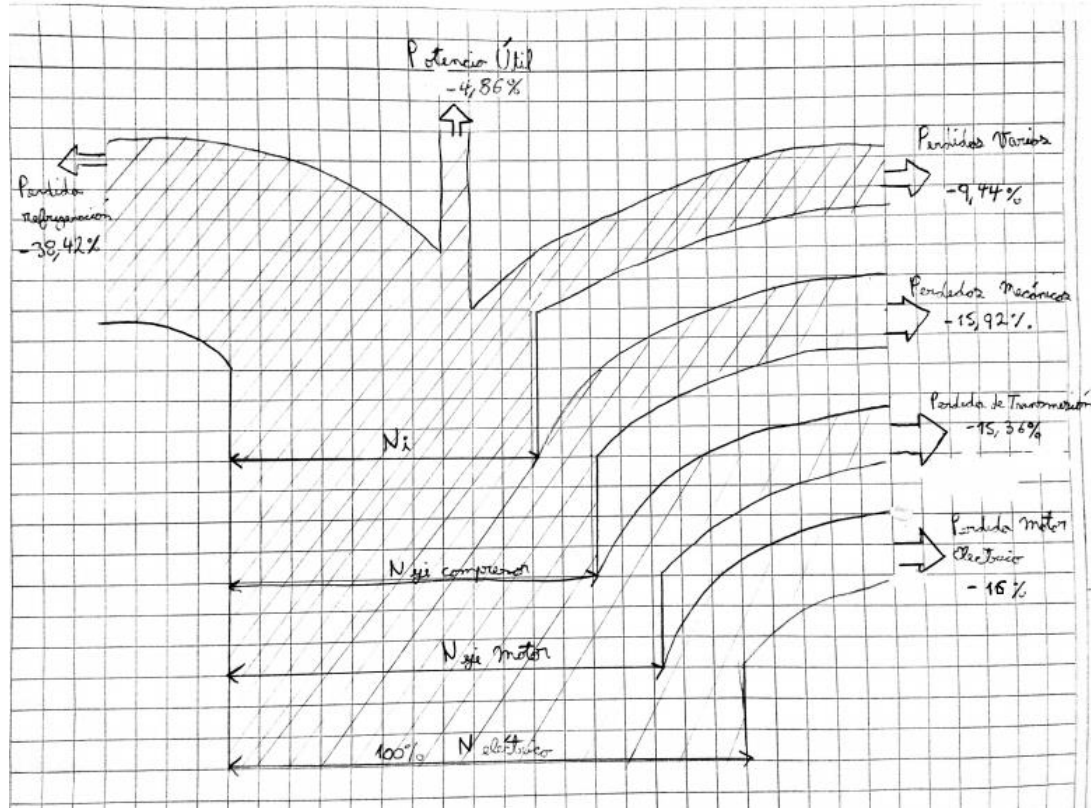


Gráfico 2

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

Lo que más llama la atención, es la cantidad enorme de pérdidas asociadas a este proceso de compresión, siendo la pérdida por refrigeración, la más grande. Dato que no sorprende, ya que, al ser una máquina reciproca de pistones, la fricción genera gran cantidad de energía calórica, siendo el calor rechazado por los cilindros, la que más aporta en esta pérdida. Muy importante destacar también, que la energía útil, que posteriormente se le puede retirar al aire comprimido, es muy poca, teniendo un valor de 4,86% de la energía eléctrica suministrada en un inicio, lo que muestra que debido a las pérdidas y al tipo de compresor, este proceso se podría decir que es bastante ineficiente con respecto a la energía con la que sale el aire.

¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?

El rendimiento del compresor es relativamente alto, alcanzando un valor del 71,1%. Es importante destacar que, en el cálculo de su rendimiento, se ve afectado por 2 factores, los cuales lo limitan, entre ellos está el rendimiento de transmisión, ya que este sistema de compresión posee correas en V, pero en el lado del motor tiene las poleas acanaladas y en el compresor polea plana, elementos que no son 100% eficientes. Otro elemento que afecta el valor del rendimiento del compresor es el rendimiento del motor eléctrico, ya que, con sus pérdidas, limita la eficiencia del compresor. Cabe destacar que se considera que la energía suministrada por la red eléctrica corresponde al 100%, siendo afectada por el rendimiento del motor eléctrico (84%), y por el rendimiento de transmisión (84,64%).

## ¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?

El rendimiento de la transmisión afecta directamente a:

- El rendimiento del compresor, y por ende a su potencia.
- El rendimiento mecánico por lo tanto las pérdidas mecánicas.
- Y claramente a la potencia perdida o ganada por el rendimiento de la transmisión.

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

Revisando en la literatura, se encontró varias semejanzas en los rendimientos que se la asignaban a los distintos tipos de transmisiones por correas.

CHARACTERISTICS OF SPEED REDUCERS						
	gears	chain	timing belt	V-belt	flat belt	hydrostatic trans.
drive mechanism	positive	positive	positive	friction	friction	-
max capacity, kW	10 000	500	500	1 000	1 000	1 000
max torque, Nm	$10^8$	$10^6$	$10^4$	$10^4$	$10^4$	$10^8$
max speed, m/s	50	15	60	30	50	-
speed ratio accuracy	high	high	high	moderate	moderate	moderate
full load efficiency, %	94-98	94-98	93-98	92-97	92-97	84-92
lubrication required	yes	yes	no	no	no	-

Tabla 6

Fuente: Anexo 3

De esta manera, al ser el sistema de transmisión de la escuela un conjunto de 2 tipos de poleas, se optó por suponer las eficiencias como sistemas separados, por lo tanto, se realizó la multiplicación de las peores eficiencias en cada caso, dando como resultado:

$$\text{Rendimiento de transmisión} = 0,92 * 0,92 = 0,8464$$

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

Sin lugar a duda es la pérdida de energía más grande en el sistema de compresión, llegando a un valor de 3,85 Kw, lo que corresponde a 38,425% de la energía eléctrica suministrada.

Enfocándonos en el área industria, sería interesante aprovechar esta energía calórica suministrada en el sistema de refrigeración, ocupándose en calefacción o sistemas precalentadores, anteriores a otros procesos que necesiten este tipo de energía, todo esto con el fin de ahorrar recursos, como también de esta forma subir el rendimiento general de todo el sistema de compresión, algo similar a los sistemas de cogeneración de energía.

## ¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite?

El calor retirado por el aceite de lubricación, no se ha nombrado en este informe, y tampoco se ha calculado de ninguna manera, pero en el diagrama de Sankey realizado para este sistema, existe un extracto correspondiente “perdidas varias”, el cual corresponde a un valor de 9,44% de la energía eléctrica suministrada. Dentro de este porcentaje están incluidas las pérdidas por el calor retirado por el aceite, sumado también a otros tipos de pérdidas.

## Conclusión

A lo largo de este ensayo, se obtuvieron gran cantidad de datos, específicamente rendimientos y potencias, las cuales a grandes rasgos es difícil de entender y anexar a lo que se está realizando, afortunadamente y gracias al diagrama de Sankey, se permite apreciar de manera gráfica los resultados obtenidos.

Las pérdidas dentro del sistema general de compresión son muy altas, y de diferentes tipos, pero sin duda la más relevante debido a su magnitud, corresponde a la pérdida de refrigeración. Darse cuenta que cerca del 40% de la energía suministrada, se pierde por esta vía, deja mucho que analizar y pensar, planteando grandes desafíos. ¿Cómo podemos aprovechar esta energía? A nivel industrial debe ser más que llamativo poder aprovechar estos recursos, ya que se traduce en beneficios para la empresa, sumado también que a nivel industrial pueden existir compresores de mayor envergadura, lo que se traduce en más energía que podría ser aprovechada, si a esto le sumamos que existan sistemas con compresores funcionando en paralelo o en línea a nivel industrial, nos muestra que hay un gran mercado que aprovechar, y es ahí donde debemos encontrar las soluciones que traigan los mayores beneficios posibles.

Como se nombró con anterioridad, utilizar esa energía para calentar agua que se utilizara en duchas, o en calefacción, puede ser una de las muchas soluciones que nos permitan aprovechar de mejor manera los recursos que actualmente se están desperdiciando.

## Anexos

1. Monografías, Katherine, Compresores reciprocantes, encontrar en :  
<https://www.monografias.com/trabajos95/compresores-reciprocantes/compresores-reciprocantes.shtml#:~:text=Es%20un%20compresor%20de%20desplazamiento,efecto%2C%20origina%20el%20incremento%20en>
2. Elementos suministrados por los profesores del curso, Rendimiento global y factor de potencia VS corriente media.
3. Douglas Wright, V-BELT DRIVES, mayo del 2005, encontrar en: [http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/textbooks\\_dvd\\_only/DAN/V-belts/intro/intro.html](http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/textbooks_dvd_only/DAN/V-belts/intro/intro.html)

### Otros Anexos

- Tomás Ignacio Herrera Muñoz, PPT Balance Térmico compresor recíproco.
- Tablas y gráficos no referenciados corresponden a elaboración propia.