



## Informe 08: Laboratorio de Máquinas

### “Balance térmico compresor Recíproco”

Nombre: Constanza Puentes Vergara

Asignatura: Laboratorio de máquinas ICM557-3

Escuela Ingeniería Mecánica PUCV

Profesores: Cristóbal Galleguillos Ketterer

Tomás Herrera Muñoz

Ayudante: Ignacio Ramos

Fecha de entrega: 20 de Noviembre del 2020

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Informe 08: Laboratorio de Máquinas .....   | 1  |
| “Balance térmico compresor Recíproco” ..... | 1  |
| Introducción .....                          | 3  |
| Fórmulas .....                              | 4  |
| Desarrollo.....                             | 8  |
| Representación de Datos.....                | 8  |
| Tabla de valores calculados .....           | 10 |
| Gráficos .....                              | 11 |
| Conclusiones.....                           | 14 |

## Introducción

Un compresor recíproco, es aquella máquina térmica, que funciona por el desplazamiento de un émbolo dentro de un cilindro, que es movido por un cigüeñal, para obtener gases a alta presión.

En este informe, analizaremos principalmente un balance de este compresor, cómo se distribuye la energía en el equipo, partiendo desde la energía eléctrica hasta la útil en el aire comprimido, posterior a esto, analizaremos algunas gráficas y expondremos conclusiones acerca de estas y de lo observado con los cálculos, según sus eficiencias y otros.

## Fórmulas

A continuación, se presentarán las fórmulas restantes que no aparecen en el ensayo nº7 (anterior).

- **Potencia eje motor:**

$$N_{motor} = N_{Elec} * \eta_{motor} [kW] \quad \text{Ecuación (1)}$$

- **Potencia eje compresor:**

$$N_{compresor} = N_{motor} * \eta_{transmisión} [kW] \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- $\eta_{transmisión}$ : Rendimiento de la transmisión que se debe estimar.

- **Pérdidas motor:**

$$N_{perd. motor} = N_{elect} - N_{motor} [kW] \quad \text{Ecuación (3)}$$

- **Pérdidas mecánicas:**

$$N_{mec} = N_{compresor} - N_i [kW] \quad \text{Ecuación (4)}$$

- **Pérdidas transmisión:**

$$N_{transmisión} = N_{motor} - N_{compresor} [kW] \quad \text{Ecuación (5)}$$

- **Calor refrigeración:**

$$Q_{Total} = \frac{\dot{m}_{agua} * c * (t_s - t_E)}{1000} [kW] \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

- $\dot{m}_{agua}$  : Flujo másico de agua  $\left[\frac{kg}{s}\right]$
- $c$  : Calor específico del agua  $\left[\frac{J}{kg * ^\circ C}\right]$

- **Flujo másico agua:**

$$\dot{m}_{agua} = \frac{\dot{V}_{agua} * \rho_{agua}}{60} \left[\frac{kg}{s}\right] \quad \text{Ecuación (7)}$$

- **Calor sistema de refrigeración intermedia:**

$$Q_{SRI} = \frac{\dot{m}_{aire} * c_p * (t_{sbp} - t_{eap})}{1000} [kW] \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

- $\dot{m}_{aire}$ : Flujo másico de aire  $\left[\frac{kg}{s}\right]$
- $c_p$ : Calor específico del aire a presión constante  $\left[\frac{J}{kg * ^\circ C}\right]$

- **Flujo másico del aire:**

$$\dot{m}_{aire} = \frac{V * \rho_{aire}}{3600} \left[ \frac{kg}{s} \right] \quad \text{Ecuación (9)}$$

- **Calor rechazado por cilindros:**

$$Q_{CIL} = Q_{Total} - Q_{SRI} [kW] \quad \text{Ecuación (10)}$$

- **Potencia útil del aire:**

$$N_{U\ aire} = \frac{\dot{m}_{aire} * (c_p - c_v) * (t_{sap} - t_{ebp})}{1000} [kW] \quad \text{Ecuación (11)}$$

- **Rendimiento mecánico:**

$$\eta_{mec} = \frac{N_i}{N_{compresor}} * 100 [\%] \quad \text{Ecuación (12)}$$

- **Rendimiento sistema compresión:**

$$\eta_{gl\ SC} = \frac{N_{U\ aire}}{N_{elect}} * 100 [\%] \quad \text{Ecuación (13)}$$

- **Rendimiento del compresor:**

$$\eta_{Compresor} = \frac{N_{U\ aire}}{N_{compresor}} * 100 \text{ [%]} \quad \text{Ecuación (14)}$$

## Desarrollo

A continuación, se presenta el desarrollo de las preguntas propuestas, con una opinión personal para cada una de ellas.

## Representación de Datos

|   | Compresor             |       |             |       |       |       | Estanque de baja presión |        | Agua de refrigeración |                 |     | Motor Eléctrico |            |      |      |          |      | Patm. |
|---|-----------------------|-------|-------------|-------|-------|-------|--------------------------|--------|-----------------------|-----------------|-----|-----------------|------------|------|------|----------|------|-------|
|   | Presión               | Vel.  | Temperatura |       |       |       |                          |        | Temperatura           |                 | t   | Tensión         | Corrientes |      |      | Potencia |      |       |
|   | Pd                    | n     | tecbp       | tsebp | tecap | tecap | tebp                     | ΔP     | tea                   | t <sub>sa</sub> | 10l | V               | I1         | I2   | I3   | W1       | W2   |       |
|   | [kp/cm <sup>2</sup> ] | [rpm] | [°C]        | [°C]  | [°C]  | [°C]  | [°C]                     | [mmca] | [°C]                  | [°C]            | [s] | [V]             | [A]        | [A]  | [A]  | [kW]     | [kW] |       |
| 1 | 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 |
| 2 | 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 |
| 3 | 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 |

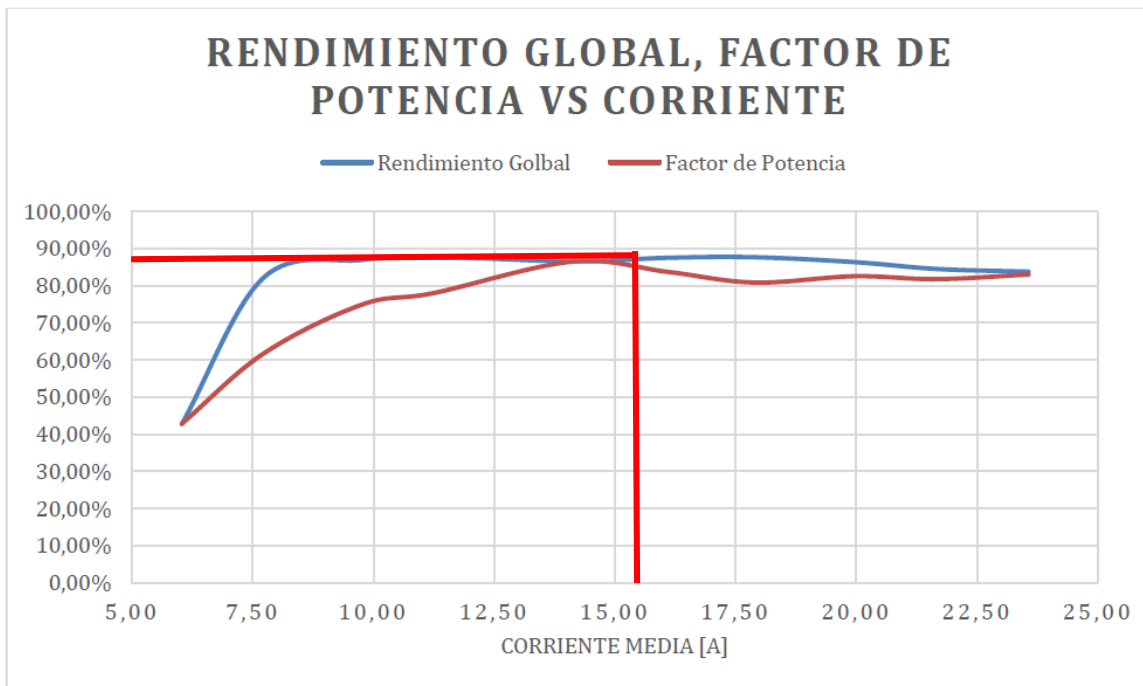
*Tabla 1: Mediciones compresor recíproco*

Tomaremos para efectos de cálculos, las mediciones hechas en el punto 2. Debido a que no es necesario tener los cálculos de las 3 mediciones. También mencionar que es elegido el punto 2, para mayor certeza en los valores que obtendremos, según lo mencionado en clases del profesor Tomás Herrera.

Se calculará según los datos del punto 2, la corriente media, para posterior a ello, obtener el rendimiento global del sistema, según el gráfico otorgado por los docentes.

La corriente media, da un valor de: 15,7 [A]. Con este valor, obtenemos del gráfico 1, el valor aproximado del rendimiento global del compresor, para proceder con los cálculos.





*Gráfico 1: Rendimiento global y factor de corriente VS. Corriente*

Aproximadamente, del gráfico 1, obtenemos un valor de 88% de rendimiento Global. (0,88), es decir, el rendimiento del motor.

Para otros cálculos, necesitaremos también el rendimiento de transmisión, que en nuestro caso estará dado a partir de las correas del compresor (Planas y en V, no consideramos solo una, sino que ambas), a partir de tablas que uno puede encontrar en material bibliográfico o por internet, las cuales difieren entre un 1-2% dependiendo de donde se seleccionen aproximadamente, el valor encontrado en la primera bibliografía puesta en este informe, fue de un 96% (0,96) aproximadamente, para ambas correas.

## Tabla de valores calculados

| TABLA DE VALORES CALCULADOS 1 |          |       |          |        |                |             |        |        |      |                |          |            |            |       |       |           |            |           |
|-------------------------------|----------|-------|----------|--------|----------------|-------------|--------|--------|------|----------------|----------|------------|------------|-------|-------|-----------|------------|-----------|
|                               | N trans  | Nelec | n M.elec | Nmotor | Nper.<br>Motor | N.<br>compr | Ni CBP | Ni CAP | Ni   | N. per.<br>Mec | n<br>mec | n<br>trans | Q<br>total | Q SRI | Q Cil | N<br>aire | n gl<br>SC | n<br>Comp |
|                               | kW       | kW    | %        | kW     | kW             | kW          | kW     | kW     | kW   | kW             | %        | %          | kW         | kW    | kW    | kW        | %          | %         |
| 2                             | 0,352704 | 10,02 | 88       | 8,8176 | 1,2024         | 8,4649      | 2,965  | 3,125  | 6,09 | 2,3749         | 71,94    | 96         | 3,85       | 0,734 | 3,116 | 0,495     | 4,94       | 6,58      |

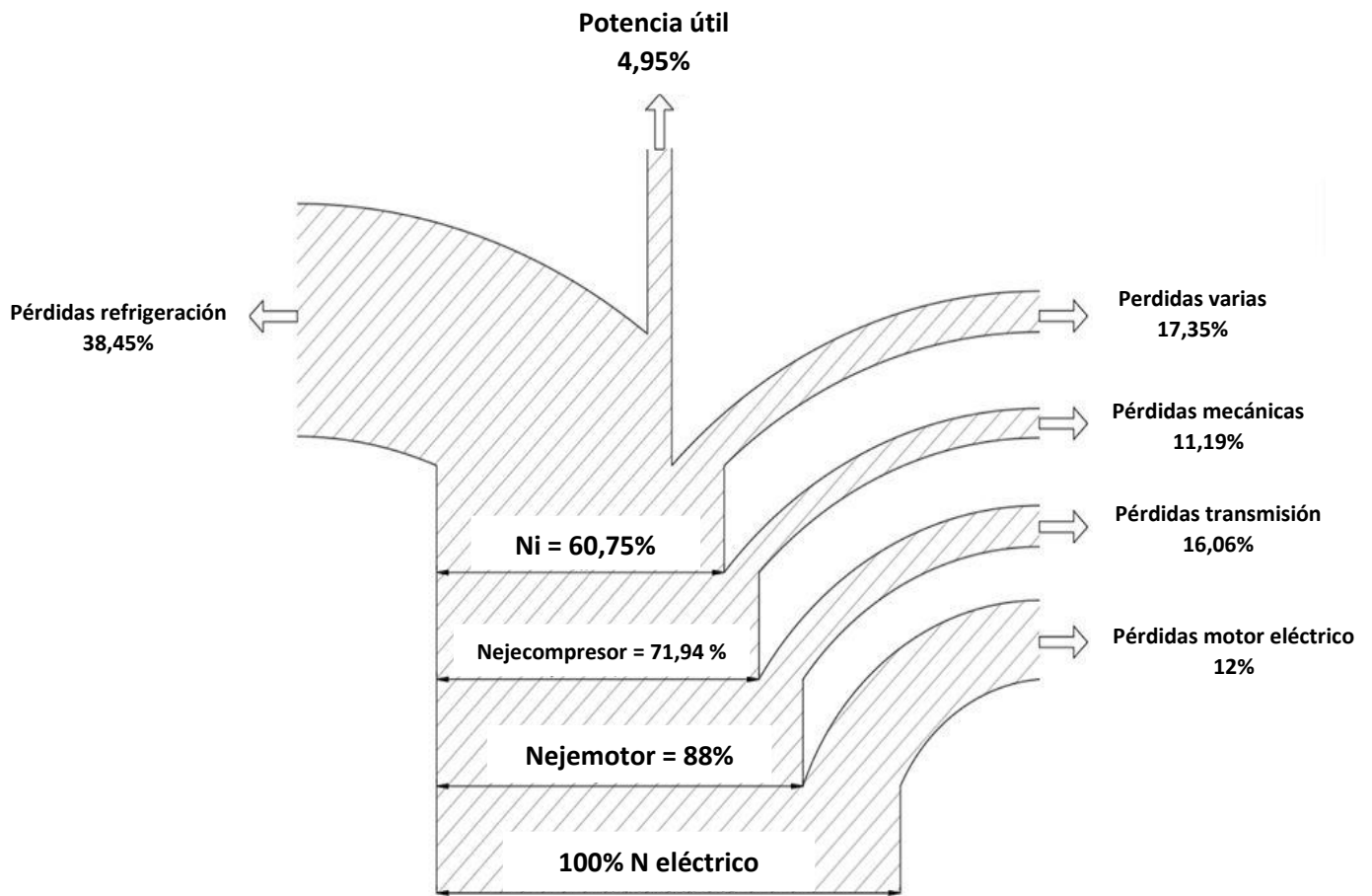
Tabla 2: Valores calculados a partir de las fórmulas presentadas

| TABLA DE VALORES CALCULADOS 2 |       |         |                 |             |        |        |       |                |         |       |       |        |
|-------------------------------|-------|---------|-----------------|-------------|--------|--------|-------|----------------|---------|-------|-------|--------|
|                               | Nelec | N motor | N per.<br>Motor | N.<br>compr | Ni CBP | Ni CAP | Ni    | N. per.<br>Mec | Q total | Q SRI | Q Cil | N aire |
|                               | %     | %       | %               | %           | %      | %      | %     | %              | %       | %     | %     | %      |
| 2                             | 100   | 88      | 12              | 6,58        | 29,58  | 31,17  | 60,75 | 15,67          | 38,45   | 7,33  | 3,12  | 4,95   |

Tabla 3: Valores calculados a partir de las fórmulas presentadas, parte 2

## Gráficos

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



*Ilustración 1: Gráfico Sankey*

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

Es un pésimo rendimiento, hablando con palabras claras y concisas. Sabemos de la teoría de cursos pasados que se han rendido, que, en promedio, los rendimientos para máquinas térmicas, ronda entre un 25%, y pueden llegar a valores máximos como un 38% aproximadamente (cuando se trata de máquinas bien eficientes), frente a esto, un 4,95% de eficiencia, comparándolo con otras máquinas térmicas, es bastante deficiente. Frente a

esto, podemos decir también que las pérdidas por refrigeración, se llevan un gran porcentaje de pérdidas para nuestro rendimiento.

- **¿El rendimiento global del compresor que comentario le sugiere?**

Considero que es un buen rendimiento global 88%, según lo obtenido de la gráfica 1, puesto que está en la cresta aproximadamente de este gráfico, es decir, es uno de los valores más altos que puede llegar a tener, considerando que la variación de los valores del gráfico es según la corriente media.

- **¿Qué efecto produce el rendimiento considerado para la transmisión?**

En el rendimiento global, no nos afecta ni nos cambia en nada, puesto que no depende directamente del rendimiento de transmisión, por otra parte, debiese haber una gran diferencia en el rendimiento considerado con el real para tener efectos nocivos en otros cálculos que tengan una incidencia directa con el rendimiento de transmisión.

- **¿Cómo sugiere Ud. determinar el rendimiento de la transmisión?**

Se podrían colocar sensores o sistemas que pudieran calcular el rendimiento para las correas o el sistema de transmisión que tenga el sistema (en este caso, para nuestro compresor); También podríamos calcular el torque de esta, para poder aplicar fórmulas conocidas y así tener un aproximado de rendimiento de transmisión, que no sea precisamente, realizar la resta correspondiente para obtenerlo (Como lo hacemos comúnmente).

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

Considerando los calores perdidos de diferentes formas, creo que es un valor bastante alto, el cual claramente afecta en el rendimiento global del sistema de compresión, aquí se va cerca de un 40% y no se aprovecha de ninguna forma, más que en la refrigeración, por lo que refrigerar el sistema, si bien es sumamente importante, afecta totalmente en el rendimiento de nuestro compresor. Si existiera una forma de afectar menos el calor que se pierde por refrigeración, a nivel general en compresores, podríamos aumentar de forma significativa su eficiencia.

- **¿Dónde está incluido el calor retirado por el aceite?**

En pérdidas varias, ya que, en pérdidas mecánicas, de transmisión y del motor eléctrico, no está incluido el calor retirado por el aceite (Son pérdidas

conocidas para nosotros y la del aceite no tenemos como calcularla). Por lo tanto, todas las que no son consideradas en estas mencionadas anteriormente o “mínimas” por si solas (puesto que en conjunto igual tienen un porcentaje considerable) o sin tanta importancia, quedan alojadas en “pérdidas varias”.

## Conclusiones

Es importante, realizar estos análisis específicos para diferentes máquinas térmicas como son los compresores recíprocos en el camino de nuestra carrera para llegar a ser profesionales con pensamiento ingenieril. Reconocer e interpretar diferentes resultados y gráficos más allá de solo los cálculos, nos abren una amplia visión de que es lo que sucede en la práctica con las máquinas térmicas que analizamos y en especial, en este informe, con compresores recíprocos.

En este informe, hicimos uso de fórmulas conocidas y otras otorgadas por nuestros docentes para poder, posteriormente, realizar análisis interpretativos de ellas, respondiendo a diferentes preguntas propuestas.

Podemos inferir, a través de este informe, la importancia de poder reconocer lo que sucede en la práctica y con los valores que se generan en diferentes ensayos, como el realizado y expuesto anteriormente.