



---

# Pruebas en un Compresor Alternativo

---

Alumno: Daniel Mardini González  
Curso: Laboratorio de Máquinas  
Código: ME5301  
Profesor: Ricardo Díaz S.  
Ayudante del laboratorio: Pedro Pino T.

Fecha de entrega: 20 de agosto de 2018  
Santiago, Chile

## Índice de Contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>1</b>
<b>3. Antecedentes</b>	<b>1</b>
3.1. Gas ideal . . . . .	1
3.2. Coeficiente politrópico . . . . .	1
3.3. Compresor . . . . .	1
3.4. Equipo . . . . .	2
<b>4. Metodología</b>	<b>3</b>
<b>5. Memoria de cálculo</b>	<b>3</b>
<b>6. Resultados</b>	<b>4</b>
<b>7. Análisis de resultados</b>	<b>6</b>
<b>8. Conclusiones</b>	<b>7</b>
<b>9. Anexo</b>	<b>8</b>
<b>Referencias</b>	<b>10</b>

## Lista de Figuras

3.1. Esquema simplificado del compresor alternativo. . . . .	2
3.2. Esquema del equipo del laboratorio . . . . .	2
6.1. Temperaturas medidas en el tiempo. . . . .	4
6.2. Presiones medidas en el tiempo. . . . .	4
6.3. Coeficiente politrópico en los distintos compresores. . . . .	4
6.4. Caudal de entrada calculado en el tiempo. . . . .	5
6.5. Caudal para cada presión de descarga. . . . .	5
6.6. Diagrama PV para un tiempo de 14[min] . . . . .	5
6.7. Diagrama PV para un tiempo de 21[min] . . . . .	5
6.8. Diagrama PV para un tiempo de 31[min] . . . . .	5
6.9. Diagrama PV para un tiempo de 33[min] . . . . .	5

## Lista de Tablas

A.1. Medias registradas en la experiencia. . . . .	8
A.2. Coeficientes politrópicos de cada etapa. . . . .	9
A.3. Volumen en los puntos de medición . . . . .	10

## 1. Introducción

En la industria actual es necesario el uso de gases a altas presiones para el desarrollo de procesos desde la acción de herramientas neumáticas hasta dispositivos de pintura. En este informe se presenta el estudio de un compresor alternativo el cual consiste en un sistema de pistón accionado por un mecanismo biela-manivela energizado por un motor. Para llevar a cabo este estudio se realizó una experiencia en laboratorio en donde se tomó el estado del gas a comprimir en distintos puntos de una máquina de compresión de tres etapas.

## 2. Objetivos

### Objetivo principal

- Estudiar el funcionamiento y componentes de una máquina de compresión de aire.

### Objetivos secundarios

- Reconocer las partes que componen un compresor..
- Reconstruir el ciclo en el diagrama  $P-v$  para este compresor de tres etapas.
- Obtener la curva de caudal versus presión de descarga.

## 3. Antecedentes

### 3.1. Gas ideal

Un gas ideal es aquel que sigue las leyes de Boyle, Charles y la ley de Avogadro [1, p. 38] que son resumidas en la ecuación 3.1. Esta igualdad predice una relación para una cantidad  $n$  de moléculas de aire entre la presión  $P$ , la temperatura  $T$  y el volumen  $V$  que ocupa, dicha relación está parametrizada por la constante  $R$ .

$$PV = RnT \quad (3.1)$$

### 3.2. Coeficiente politrópico

Un proceso politrópico es un proceso térmico en el que la variación de estado para un medio de trabajo está dada por la ecuación 3.2 y está caracterizado por el coeficiente politrópico  $n$  [1, p. 65].

$$PV^n = \text{constante} \quad (3.2)$$

### 3.3. Compresor

Un compresor es una máquina que recibe trabajo para aumentar la presión de un fluido. Un compresor alternativo como el que se muestra en la figura 3.1 consiste en una cámara con un embolo que se mueve a través de un mecanismo Biela-Manivela y comprime el aire al reducir el volumen dentro de la cámara cuando el embolo hace su subida. El aire proviene de la línea de aspiración e ingresa a la zona de trabajo cuando la diferencia de presiones mueve la válvula de admisión que controla el paso del fluido, la descarga

se produce de manera similar; la válvula de escape se mueve por diferencia de presiones y permite el abandono del fluido por la línea de impulsión.

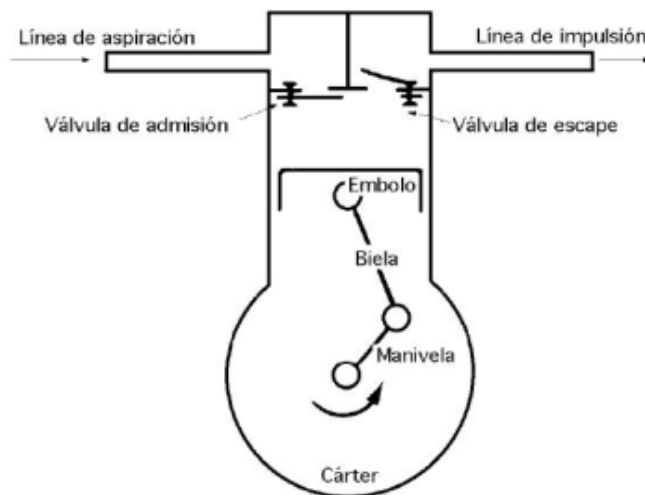


Figura 3.1: Esquema simplificado del compresor alternativo.

### 3.4. Equipo

El equipo del laboratorio está esquematizado en la figura 3.2 y consta de un compresor de 3 etapas, cada una posee un intercambiador de calor para enfriar el aire previo a la compresión de este. El aire es tomado desde el ambiente y es almacenado en un estanque de 500 [lt] a la presión de descarga. El equipo posee termocuplas y manómetros que permiten registrar las temperaturas  $T_1$  a  $T_3$  y las presiones  $P_1$  a  $P_3$ .

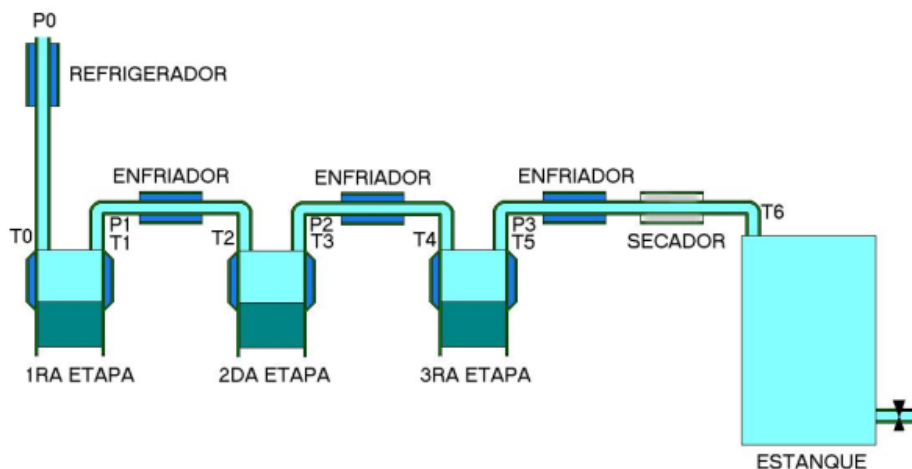


Figura 3.2: Esquema del equipo del laboratorio

## 4. Metodología

Para tomar las mediciones se ubican estudiantes en los distintos puntos de medición: en la pantalla que muestra las temperaturas y en los manómetros. Con el uso de un cronómetro se toma el tiempo y se da partida a la máquina. Cada un minuto se da aviso y el equipo toma las medidas de su puesto simultáneamente y se registran. La última medición se realiza en el minuto posterior al sonido de la máquina que indica que se ha llegado a una presión crítica.

## 5. Memoria de cálculo

Mediante el uso de las ecuaciones 3.1 y 3.2 se puede deducir que, para una misma masa de aire en dos situaciones distintas (designadas por los subíndices 1 y 2), el coeficiente politrópico está dado por la ecuación 5.1

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(P_2/P_1)}} \quad (5.1)$$

Para determinar el volumen que se toma en cada instante se utiliza la ecuación 3.1 tanto al exterior como en el estanque luego de la compresión y se tiene la relación:

$$V_0 = V_{\text{est}} \frac{P_3 T_0}{T_6 P_0} \quad (5.2)$$

Con la ecuación 5.2 se puede determinar también el caudal  $\dot{V}_0$  derivando con respecto al tiempo como se hace a continuación:

$$\dot{V}_0 = V_{\text{est}} \left( \frac{P_3 \dot{T}_0}{T_6 P_0} \right) \quad (5.3)$$

Por ultimo se puede determinar el volumen en cada punto mediante la ecuación 3.1 de manera que:

$$V_i = V_{\text{est}} \frac{P_3 T_i}{T_6 P_i} \quad (5.4)$$

## 6. Resultados

Las figuras 6.1 y 6.2 muestran la evolución de la temperatura y presión en cada punto de medición respectivamente.

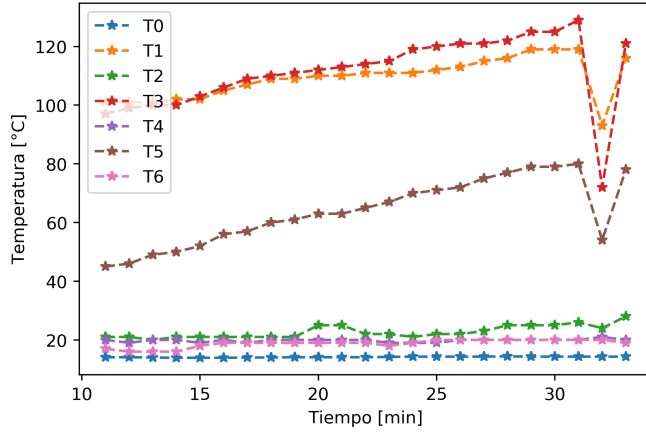


Figura 6.1: Temperaturas medidas en el tiempo.

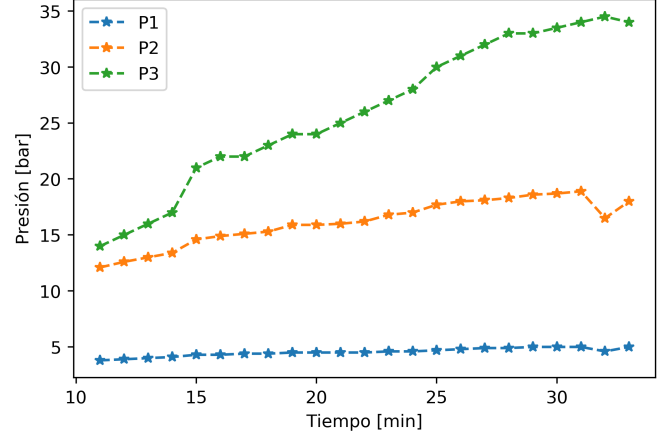


Figura 6.2: Presiones medidas en el tiempo.

En la figura 6.3 se muestra el coeficiente calculado con la ecuación 5.1 para el cada compresor a en cada instante de tiempo.

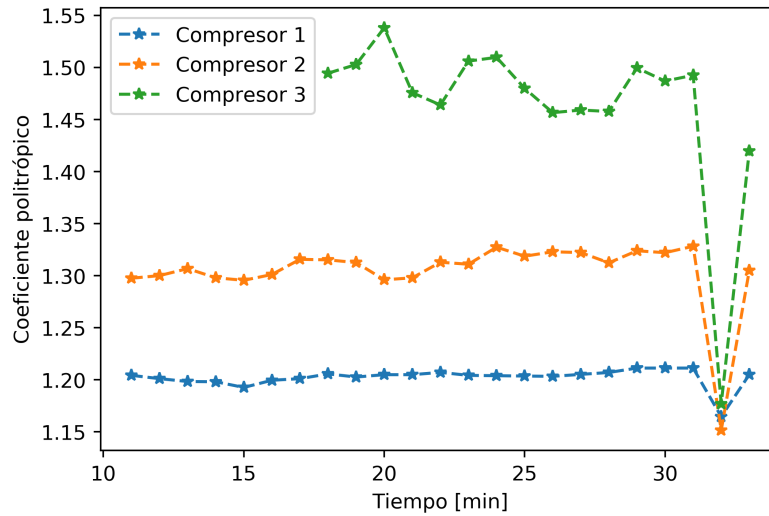


Figura 6.3: Coeficiente politrópico en los distintos compresores.

En las figuras 6.4 y 6.5 se muestran los caudales en función de los parámetros tiempo y presión de descarga calculados con la ecuación 5.3. Mientras que las figuras 6.6 a 6.9 muestran los diagramas  $Pv$  en distintos instantes de tiempos y fueron calculados con la ecuación 5.2.

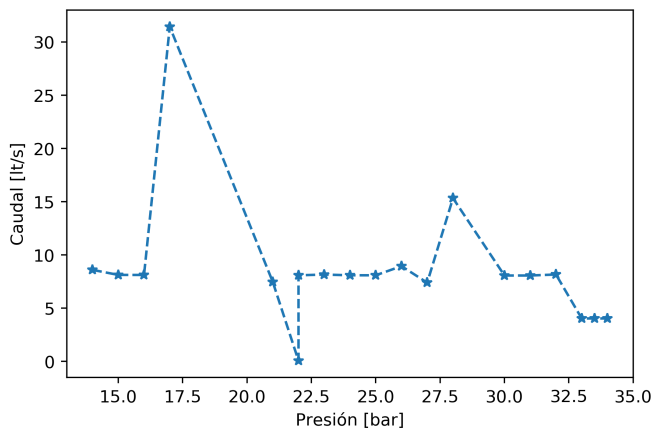
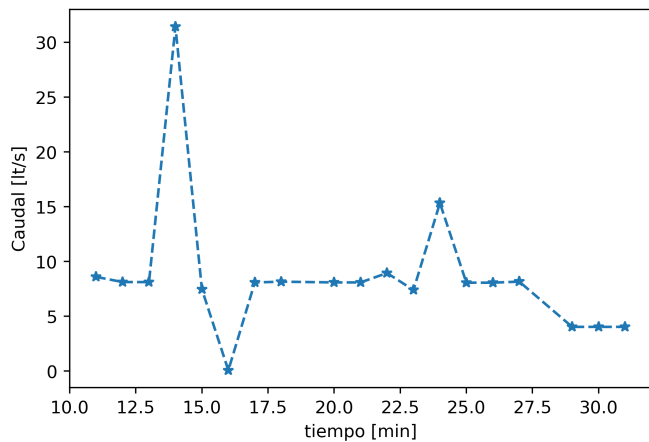


Figura 6.4: Caudal de entrada calculado en el tiempo. Figura 6.5: Caudal para cada presión de descarga.

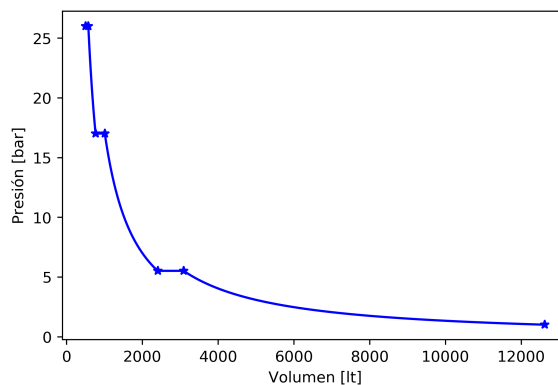
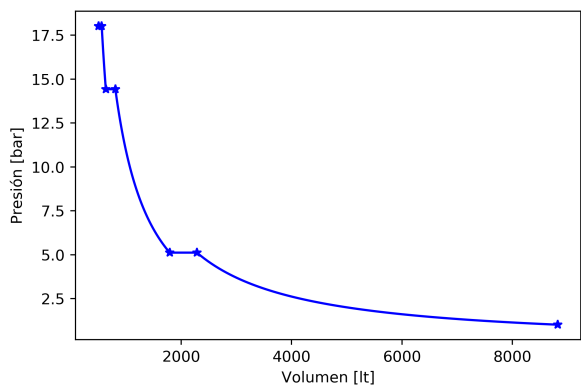


Figura 6.6: Diagrama PV para un tiempo de 14[min] Figura 6.7: Diagrama PV para un tiempo de 21[min]

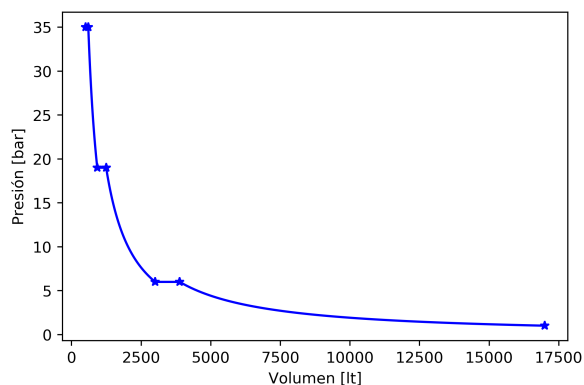
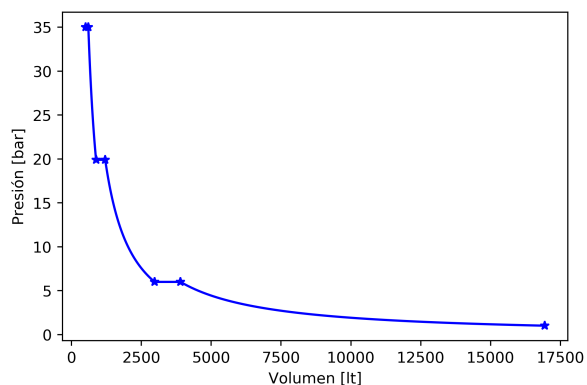


Figura 6.8: Diagrama PV para un tiempo de 31[min] Figura 6.9: Diagrama PV para un tiempo de 33[min]

Las figuras presentadas anteriormente tienen su base en las tablas A.1 a ?? en donde se presentan los



resultados de los cálculos para cada caso. Cabe destacar que las gráficas se realizaron a partir del minuto 12 pues se detectó una mala toma de datos previo a esa medición.

## 7. Análisis de resultados

Las figuras 6.1 muestra la evolución de la temperatura en el tiempo, en este caso se observa que tanto las temperaturas ambiente  $T_0$  como las temperaturas de entrada a los compresores se mantienen relativamente constantes y permanecen en una línea baja de temperaturas inferior a  $30^\circ\text{C}$  a diferencia de las temperaturas de salida que se encuentran en aumento a través del tiempo y a alta temperatura. Esta diferencia entre la entrada y la salida del compresor se debe al calentamiento del gas al interior de los cilindros y el enfriamiento se realiza para disminuir el trabajo necesario para aumentar la presión. En el gráfico se observa una caída o un valle en el minuto 32 que corresponde al momento en que se llega a la presión crítica de la máquina en donde se deja escapar gas y la temperatura disminuye drásticamente para luego retomar el intercambio de calor de estado cuasi estacionario.

En cuanto a la evolución de la presión mostrada en el gráfico de la figura 6.2 se observa un comportamiento creciente de la presión de escape y la presión del segundo compresor mientras que el primero tiene una presión de descarga más bien baja y casi constante en el tiempo.

Los coeficientes politrópicos de la figura 6.3 muestran, en las primeras dos etapas de compresión, un comportamiento casi constante salvo por el valle que coincide con el momento del escape por la presión crítica de la máquina. Dado que el coeficiente politrópico es constante y posee baja dispersión a través del tiempo y por tanto, como se vio en el gráfico anterior, a través de la presión de descarga, se puede utilizar con fidelidad para predecir el comportamiento de la máquina en otras puestas en marcha. Esto no sería posible en el caso del tercer compresor pues el coeficiente politrópico posee una dispersión mayor con respecto a un valor fijo.

Los gráficos 6.4 y 6.5 son prácticamente equivalentes pues muestran la evolución del caudal en el tiempo y en contra la presión pero esta última evoluciona crecientemente con el tiempo por lo que resultará una forma similar en ambos casos. En un primer momento llaman la atención unos *peaks* que sobresalen de un comportamiento suave de las curvas, estas irregularidades tienen su origen en la definición teórica del caudal: En la ecuación 5.3 se ve que la función es directamente proporcional al cambio entre una multiplicación de términos, pero como se ha observado en gráficos anteriores, tanto  $P_0$ ,  $T_0$  como  $T_6$  son prácticamente constantes en el tiempo de modo que el valor del caudal será muy susceptible a cambios bruscos en la presión que es lo que se observa los tiempos 14 y 24 [min] de la figura 6.2 en los cuales se observan variaciones bruscas de  $P_3$  que generan estas variaciones. La explicación de ellos puede estar en una imprecisión al tomar las medidas pues las agujas de los manómetros analógicos presentan oscilaciones muy rápidas y, a veces, muy amplias de modo que no es sencillo registrar un valor exacto que describa la masa de aire con fidelidad. Además no se puede fiar del registro que se llevaba antes del minuto 12 pues, como se dijo, los registros estaban errados de modo que no se tiene una visión general y clara del comportamiento del compresor desde la partida hasta su presión crítica. Sin embargo, si se obvian los peaks se observa una leve disminución del caudal del fluido de trabajo a medida que aumenta la presión.

En las figuras 6.6 a 6.9 se observa la evolución del diagrama  $PV$  con el tiempo y se aprecia que las presiones de los compresores tienden a estabilizarse a medida que aumenta el tiempo y, como ya se vio en gráficos anteriores, la segunda y tercera etapa tienden a aumentar su presión de descarga. A medida que

se aumenta el tiempo (y la presión final de descarga) se observa que la curva se apega más hacia el origen y que se tienen los escalones esperados en un sistema de compresión por etapas los cuales provocan que aumente el rendimiento el compresor en comparación a uno con la misma relación de presiones.

## 8. Conclusiones

Se observó que la presión de descarga final del compresor tiene un comportamiento creciente y que las temperaturas de entrada, luego de los intercambiadores de calor, son prácticamente constantes.

Los coeficientes politrópicos de cada etapa pueden servir para caracterizar a la máquina mientras no sean tan dispersos como en el caso de las primeras dos etapas del compresor.

Las curvas de caudal, tanto versus la presión como el tiempo, no fueron útiles para realizar deducciones pues los datos previos, desde la partida de la máquina, estaban errados.

Se logra obtener el diagrama  $PV$  del proceso para cualquier tiempo pues la combinación de presiones y temperaturas de cada punto junto con la ley de Avogadro (eq. 3.1) permiten calcular el volumen del gas aún cuando éste no se está midiendo directamente.

## 9. Anexo

Tabla A.1: Medias registradas en la experiencia.

$n$	$P_1$ [Bar]	$P_2$ [Bar]	$P_3$ [Bar]	$T_0$ [°C]	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	$T_3$ [°C]	$T_4$ [°C]	$T_5$ [°C]	$T_6$ [°C]
1	3.3	6	4	16.2	45	12	40	15	15	15
2	3.6	6.8	5	15.7	60	18	49	19	19	12
3	3.7	7.5	6	15.3	72	19	51	20	19	13
4	3.9	8.3	7	15	80	18	59	20	20	14
5	5	16	24	14.8	85	20	62	20	39	16
6	5.2	17.6	27	14.7	90	19	85	21	49	18
7	5.2	17.7	28	14.6	92	19	92	20	52	18
8	5.2	17.7	28	14.5	98	20	99	20	59	19
9	5	17.5	28	14.4	100	20	101	20	58	18
10	3.7	11.9	13	14.2	101	20	98	20	49	18
11	3.8	12.1	14	14.1	101	21	97	20	45	17
12	3.9	12.6	15	14.1	101	21	99	19	46	16
13	4	13	16	14	101	20	100	20	49	16
14	4.1	13.4	17	13.9	102	21	100	20	50	16
15	4.3	14.6	21	13.9	102	21	103	19	52	18
16	4.3	14.9	22	13.9	105	21	106	20	56	19
17	4.4	15.1	22	14	107	21	109	19	57	19
18	4.4	15.3	23	14	109	21	110	20	60	19
19	4.5	15.9	24	14.1	109	21	111	20	61	19
20	4.5	15.9	24	14.1	110	25	112	20	63	19
21	4.5	16	25	14.1	110	25	113	20	63	19
22	4.5	16.2	26	14.1	111	22	114	20	65	19
23	4.6	16.8	27	14.2	111	22	115	19	67	18
24	4.6	17	28	14.3	111	21	119	19	70	19
25	4.7	17.7	30	14.3	112	22	120	19	71	20
26	4.8	18	31	14.3	113	22	121	20	72	20
27	4.9	18.1	32	14.3	115	23	121	20	75	20
28	4.9	18.3	33	14.4	116	25	122	20	77	20
29	5	18.6	33	14.3	119	25	125	20	79	20
30	5	18.7	33.5	14.3	119	25	125	20	79	20
31	5	18.9	34	14.3	119	26	129	20	80	20
32	4.6	16.5	34.5	14.3	93	24	72	21	54	20
33	5	18	34	14.3	116	28	121	20	78	19

Tabla A.2: Coeficientes politrópicos de cada etapa.

$n$	$n_0$	$n_1$	$n_2$	$n_3$
1	0.979109	1.04693	1.23868	1
2	0.988713	1.07901	1.23767	1
3	0.989601	1.10525	1.21329	1.01795
4	0.991888	1.12011	1.25947	1
5	1.01452	1.11478	1.14776	1.19466
6	1.02388	1.12202	1.22796	1.28605
7	1.02653	1.12584	1.2536	1.30934
8	1.03326	1.13735	1.27619	1.39826
9	1.0323	1.14417	1.27707	1.37231
10	1.03037	1.17331	1.30562	-6.49658
11	1.02468	1.17057	1.29753	2.53051
12	1.02528	1.16798	1.30005	2.19485
13	1.02822	1.16551	1.30675	1.94658
14	1.02878	1.1654	1.29795	1.77618
15	1.02898	1.16095	1.29554	1.4525
16	1.03271	1.16747	1.30108	1.45766
17	1.03375	1.16959	1.31568	1.52223
18	1.03634	1.17389	1.31514	1.49439
19	1.03686	1.17168	1.31258	1.5027
20	1.03887	1.17381	1.29603	1.53795
21	1.03838	1.17381	1.29789	1.47568
22	1.03987	1.17593	1.31288	1.46389
23	1.04134	1.17376	1.31094	1.50603
24	1.04374	1.17376	1.32735	1.50959
25	1.04377	1.17375	1.31866	1.47986
26	1.04427	1.17377	1.32291	1.45649
27	1.04658	1.17584	1.32217	1.45905
28	1.04795	1.17786	1.3123	1.4576
29	1.04973	1.18188	1.32389	1.49942
30	1.04952	1.18188	1.32205	1.48681
31	1.05019	1.18188	1.32819	1.49244
32	1.0268	1.13637	1.15155	1.17703
33	1.04842	1.17589	1.30511	1.41978

Tabla A.3: Volumen en los puntos de medición

n	$V_0$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$
1	2484.15	641.65	575.095	388.422	357.413	500
2	3005.81	761.445	665.45	434.743	394.258	512.274
3	3488.59	897.394	759.593	466.602	421.978	510.484
4	3968	1002.91	826.833	497.626	439.196	510.448
5	12291.9	2576.16	2108.62	852.057	745.28	539.772
6	13666.8	2811.8	2262.06	925.677	760.262	553.237
7	14149.7	2928.21	2342.81	972.236	780.531	558.389
8	14096.4	2966.14	2342.78	987.482	777.86	568.458
9	14139.9	3091.89	2429.02	1006.96	788.963	568.693
10	6824.75	1910.37	1496.79	691.681	546.319	553.237
11	7334.42	2011.08	1581.08	730.28	578.365	548.251
12	7850	2108.64	1657.78	756.977	594.252	551.876
13	8337.32	2195.64	1720.3	783.391	615.439	557.064
14	8824.29	2285.32	1791.89	806.418	633.53	558.793
15	10709.7	2669.21	2092.89	910.762	707.375	558.389
16	11157.9	2803.15	2180.47	938.413	725.56	563.324
17	11161.8	2765.92	2140.19	934.099	714.11	565.035
18	11646.8	2901.29	2233.19	965.258	738.524	570.169
19	12136.1	2967.29	2284	972.317	741.988	571.881
20	12136.1	2975.06	2315.06	974.848	741.988	575.304
21	12621.2	3094	2407.61	1010.48	767.117	575.304
22	13106.4	3221.32	2475	1039.82	787.35	578.727
23	13643	3292.33	2529.56	1048.27	789.004	584.149
24	14086.6	3398.18	2602.05	1080.99	805.331	587.284
25	15006.3	3565.94	2732.67	1111.31	825.817	586.986
26	15490.1	3626.99	2772.26	1131.92	841.867	588.692
27	15974	3696.08	2820.03	1161.17	863.622	593.809
28	16463.6	3817.85	2925.07	1186.96	880.568	597.22
29	16457.9	3783.3	2876.43	1177.67	867.099	600.631
30	16699.8	3838.92	2918.71	1188.92	875.382	600.631
31	16941.7	3894.53	2970.93	1206.03	879.145	602.337
32	17183.7	3951.07	3206.5	1193.75	1017.36	557.991
33	16999.7	3877.97	3001.03	1242.23	923.911	600.976

## Referencias

- [1] W.H. Severns, H.E. Degler & J.C. Miles. (1961). *La Producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. New York: REVERTÉ.