

Sesión N° 4

## Ensayo de un grupo electrógeno

Laboratorio de Máquinas (ICM 557)

Segundo Semestre 2020

Profesores: Cristóbal Galleguillos

Tomas Herrera

Ayudante: Ignacio Ramos

Paralelo: 3

Nombre: 8501

Fecha: 13 de noviembre del 2020

## 1 Resumen

Se presenta un resumen de las conclusiones del análisis comparativo obtenido de un motor de combustión interna en aplicación a un grupo electrógeno.

- Se genera un consumo mayor de combustible para la generación corriente eléctrica. Esta diferencia de  $116,49\%_{(6)}$  entre el motor y los bornes de alternador a una misma corriente media, se produce debido a pérdidas sufridas durante la conversión de energía mecánica en eléctrica; estas pérdidas se suplen con un mayor consumo de combustible.
- El óptimo funcionamiento ocurre a una potencia eléctrica de  $14,92[\text{KW}]$ , con un consumo específico para los bornes del alternador de  $0,6408[\frac{\text{Kg}}{\text{KW}\cdot\text{h}}]$  y un costo de generación de  $373,92[\frac{\$}{\text{KW}\cdot\text{h}}]$  a una corriente media de  $45,83[\text{A}]$  siendo a la vez la máxima eficiencia.
- Se observa una clara diferencia en optimización del combustible para un mismo régimen de generación eléctrica entre los nuevos modelos de grupo electrógenos en comparación al ensayado.
- Es más económico emplear la red eléctrica suministrada por CHILQUINTA que la proporcionada por el grupo electrógeno ensayado para un periodo de usos extenso
- Es aconsejable la utilización de un grupo electrógeno para emergencias como apoyo a la red eléctrica del sitio a asegurar.

## 2 Índice

### Contenido

1 Resumen .....	2
2 Índice .....	3
3 Introducción .....	5
4 Objetivos.....	6
5 Metodología/Procedimientos.....	7
6 Resultados.....	8
6.1.1 Comparación entre los consumos específicos ensayados y los valores obtenidos del fabricante.....	8
6.2 Comparación entre Potencias ensayadas y los valores obtenidos del fabricante. ..	10
6.3 Costo del KW*h generado. ....	12
7 Conclusión.....	14
8 Referencias. ....	15
9 Anexo .....	16
9.1 Tablas .....	16
9.1.1 Tabla de valores medidos .....	16
9.1.2 Tabla de valores calculados.....	16
9.1.3 Tabla de datos dados por el fabricante. ....	17
9.1.4 Tabla de datos calculados a partir de los datos dados por el fabricante.....	18
9.2 Formulas: .....	19
9.2.1 Consumo específico en los bornes del alternador (1).....	19
9.2.2 Consumo específico del motor (2) .....	19
9.2.3 Potencia efectiva del motor (3).....	19
9.2.4 Potencia eléctrica de los bornes del alternador. (4).....	19
9.2.6 Error experimental (6): .....	20

9.2.5 Costo del KW*h generado (5) .....	20
9.2.6 Error experimental (6): .....	20
9.2.7 Corriente media (7) .....	20
9.2.8 Tensión media (8) .....	21
9.2.9 Caudal volumétrico de combustible (9) .....	21

### 3 Introducción

Analizar el comportamiento de un motor de combustión interna en aplicación a un grupo electrógeno y su comparación con los datos proporcionados por el fabricante.

Comparación con nuevos modelos electrógenos que actualmente se encuentran en el mercado.

## 4 Objetivos

- Determinar el costo  $Kwh$  generado.
- Determinar el punto de funcionamiento óptimo ¿A qué RPM?

Preguntas a responder:

- ¿Existe alguna fórmula que relacione las RPM con la frecuencia, si es así a cuantas RPM funcionó el motor?<sup>1</sup>
- Identifique las constantes que se presentan en la guía, que valor físico representan.
- Calcular las potencias eléctricas, las potencias efectivas, los consumos específicos en los bornes del alternador los consumos específicos del motor y los costos del  $kWh$  generado.
- Trazar las curvas de consumo específico del motor y del grupo en función de la carga (corriente).
- Trazar la curva de costo del  $kWh$  generado en función de la carga
- Determinar el punto de funcionamiento óptimo.
- Comparar y comentar el costo del  $kWh$  generado en el punto óptimo con el respecto a la mejor tarifa industrial de CHILQUINTA.
- Discutir a cuánto podría bajar el costo del  $kWh$  generado si se ocupara un grupo electrógeno de la misma potencia, pero última generación.
- Analizar y discutir valores y curvas obtenidas.

---

<sup>1</sup> Anexo 9.2.10

## 5 Metodología/Procedimientos.

Previo a realizar el experimento es útil contar con la siguiente información.

- Determinar el volumen de la bureta a ensayar (en este caso 375  $cm^3$ ).
- Densidad del combustible Diésel [ $\rho_c$ ].
- Costo del combustible [ $c$ ].

### Procedimiento de adquisición de datos sugerido.

- Poner en marcha el motor y llevarlo a la velocidad de 52 [Hz].
- Poner la resistencia hidráulica a fondo.
- Conectar la carga.
- Verificar la frecuencia y reajustar alrededor de los 52 [Hz] si está bajo los 48 [Hz].
- Continuar con este criterio durante todo el ensayo.
- Tomar la primera serie de valores de acuerdo con la tabla. Los valores de lectura instantánea, tomarlo una vez que se haya consumido la mitad del combustible de la probeta en uso.
- Terminada la medición de tiempo de consumo, rellenar probeta e inmediatamente iniciar la segunda lectura con el incremento de carga que se lograra en forma automática por la disminución de la resistencia por aumento de la temperatura del agua. Consumida la mitad de la probeta leer valores instantáneos.
- Seguir con el procedimiento análogo al descrito hasta que se llegue a plena carga la ebullición del agua en la resistencia hidráulica muy violenta.

## 6 Resultados.

### Ensayo grupo electrógeno.

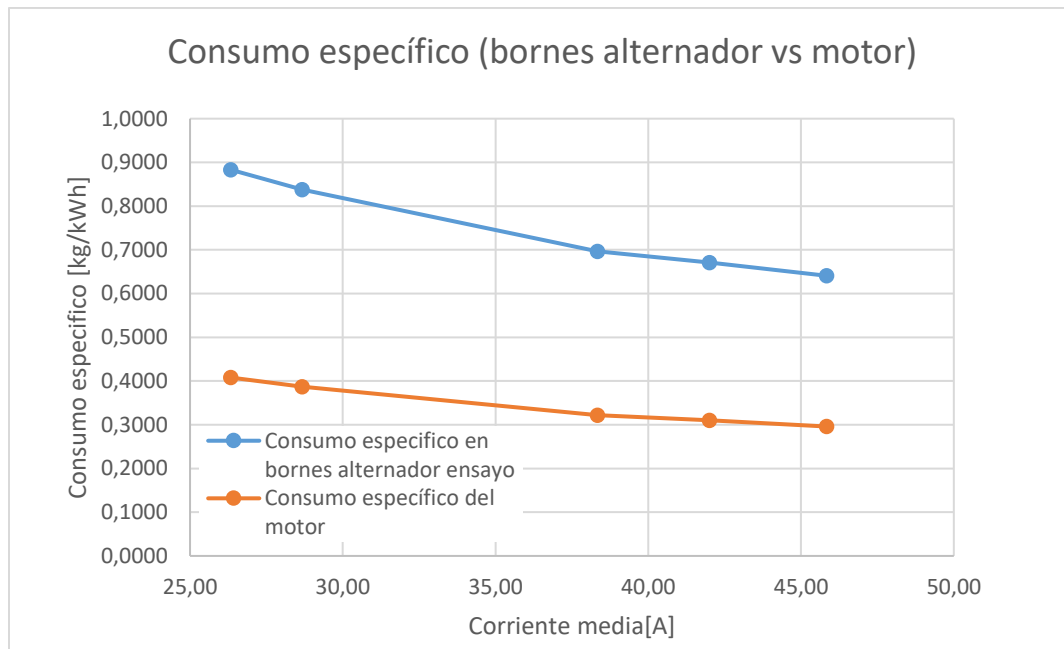
En esta sección se presentarán los resultados obtenidos del ensayo realizado a un motor de combustión interna aplicado un grupo electrógeno y su comparación con los datos proporcionados por el fabricante.

#### 6.1.1 Comparación entre los consumos específicos ensayados y los valores obtenidos del fabricante.

En la Grafico1 se representa el consumo específico de los bornes del alternador <sup>(1)</sup> vs consumo específico de motor <sup>(2)</sup>. En este se aprecia que el máximo consumo específico para los bornes del alternador se alcanza a los  $0,8832 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 26,33[A] mientras que el mínimo consumo se alcanza a los  $0,6408 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 45,83[A]. Por otra parte, el máximo consumo específico del motor se alcanza a los  $0,4079 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 26,33[A] mientras que el mínimo consumo se alcanza a los  $0,2960 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 45,83[A].

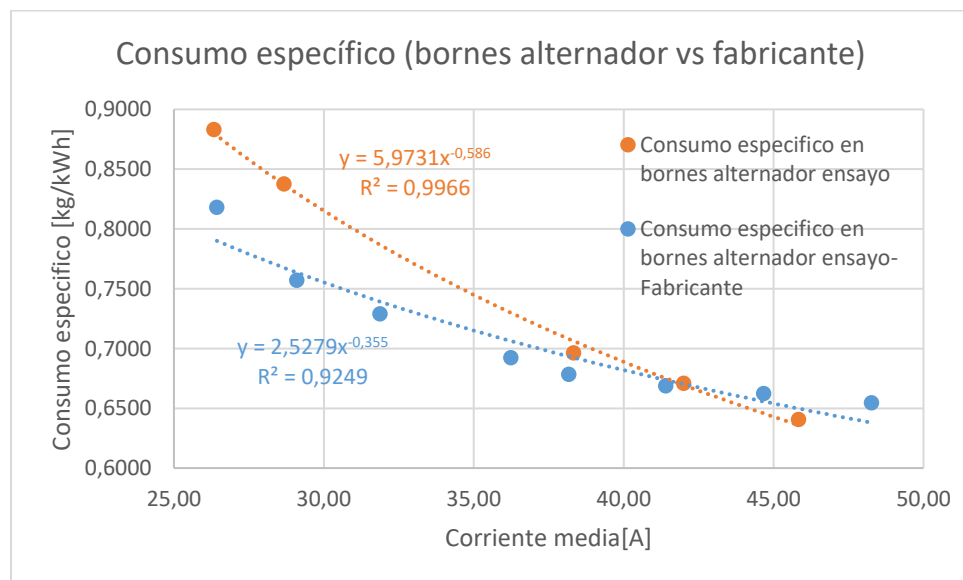
Se observa una diferencia porcentual de 116,49%<sub>(6)</sub> entre el consumo específico del alternador vs el motor, señalando que este último es más eficiente al generar una misma corriente media.





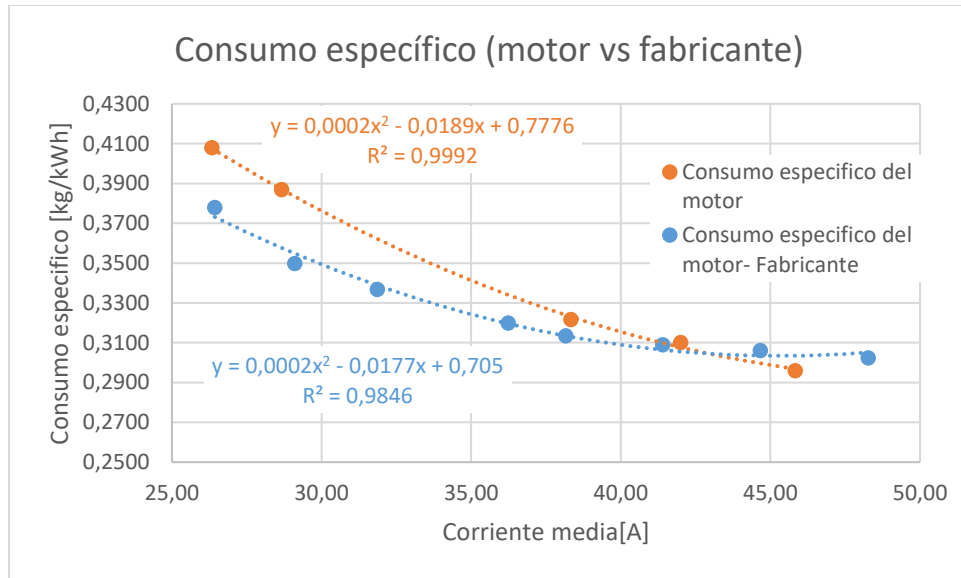
Grafica1: Representación comparativa del consumo específico del ensayo realizado

En el grafico2 se representa el consumo específico de los bornes del alternador <sup>(1)</sup> vs los valores entregados por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error<sup>(2)</sup> experimental para el consumo específico de los bornes del alternador ensayado de 7,75% respecto a los valores dados por el fabricante, estando dentro de los márgenes.



Grafica2: Representación comparativa del consumo específico de los bornes del alternador vs valores de fabricante.

En el grafico3 se representa el consumo especifico de motor  $_{(2)}$  vs los valores entregados por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error $_{(2)}$  experimental para el consumo especifico de los bornes del alternador ensayado de 1,48% respecto a los valores dados por el fabricante, estando dentro de los márgenes.



Grafica3: Representación comparativa del consumo específico del motor vs valores del fabricante.

## 6.2 Comparación entre Potencias ensayadas y los valores obtenidos del fabricante.

En el Grafico4 se presenta la comparación entre los valores obtenidos en el ensayo de Potencia efectiva del motor  $_{(3)}$  vs Potencia electrica en los bornes del alternador  $_{(4)}$ . En este se aprecia que la máxima Potencia eléctrica para los bornes del alternador se alcanza a los 14,92[KW] a una corriente media de 45,83[A] mientras que el mínimo consumo se alcanza a los 8,66[KW] a una corriente media de 26,33[A]. Por otra parte, la máximo Potencia específica del motor se alcanza a los 18,12[KW] a una corriente media de 45,83[A] mientras que el mínimo consumo se alcanza a los 10,51[KW] a una corriente media de 26,33[A].

Se observa una diferencia porcentual de 17,65% $_{(6)}$  entre la potencia efectiva del motor vs potencia eléctrica de los bornes del alternador, señalando que el primero es más eficiente al generar más potencia con un valor igual de corriente media.

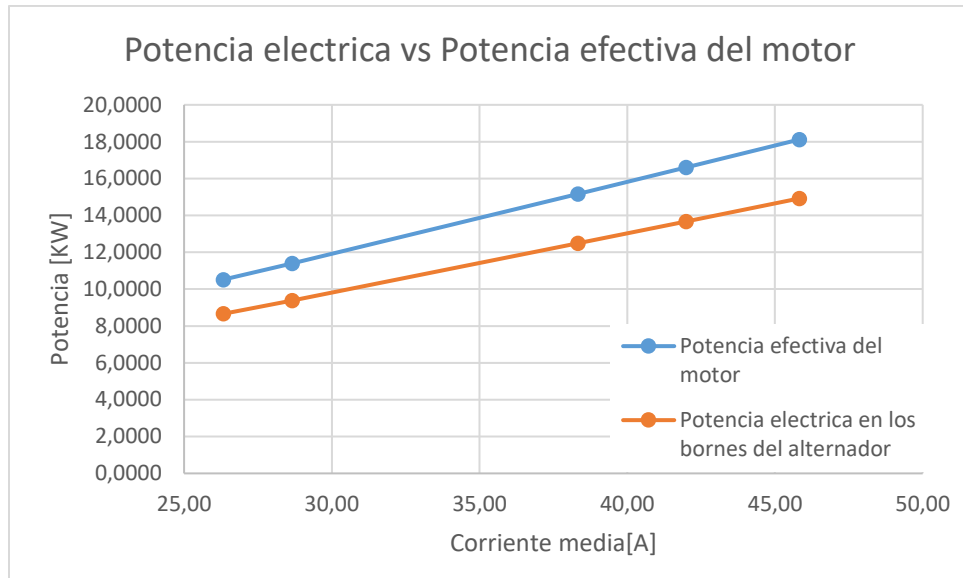


Grafico4: Representación comparativa de la Potencia específico vs Potencia eléctrica del ensayo realizado.

En el grafico5 se representa Potencia especifica del motor <sup>(3)</sup> vs los valores entregados por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error<sub>(2)</sub> experimental para el consumo especifico de los bornes del alternador ensayado de 0,19% respecto a los valores dados por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

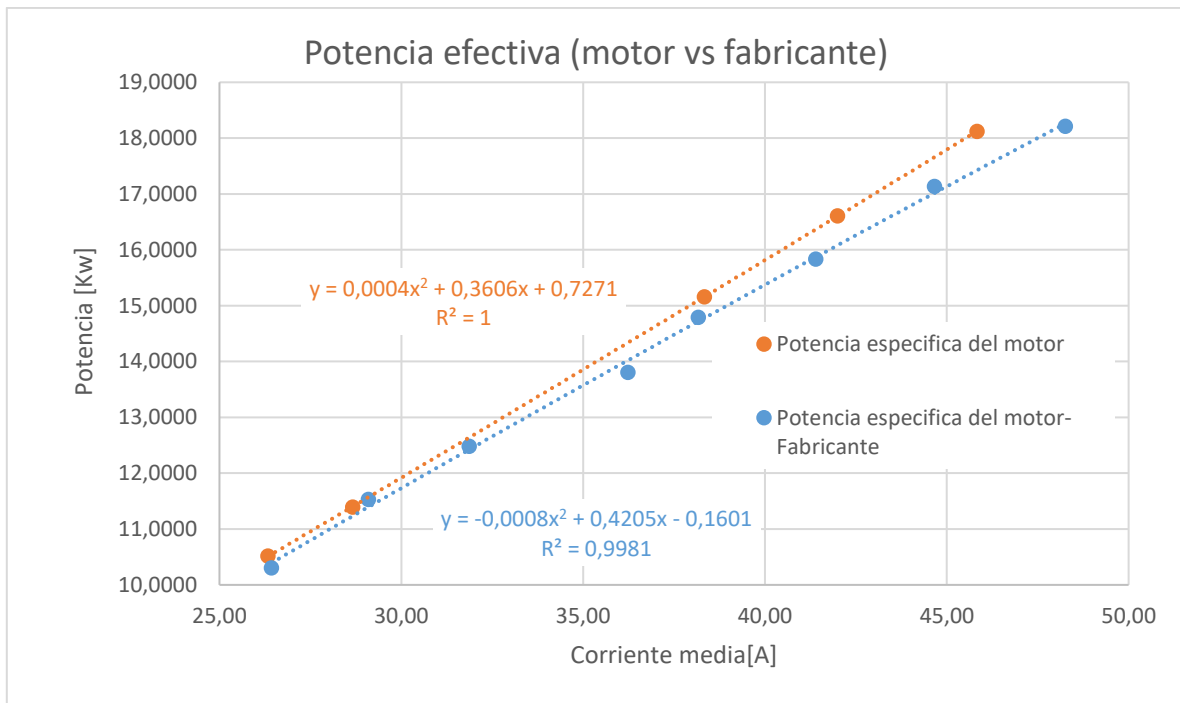


Grafico5: Representación comparativa de la Potencia efectiva vs valores del fabricante

En el grafico6 se representa Potencia electrica en los bornes del alternador <sup>(4)</sup> vs los valores entregados por el fabricante. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error<sub>(2)</sub> experimental para el consumo especifico de los bornes del alternador ensayado de 0,19% respecto a los valores dados por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

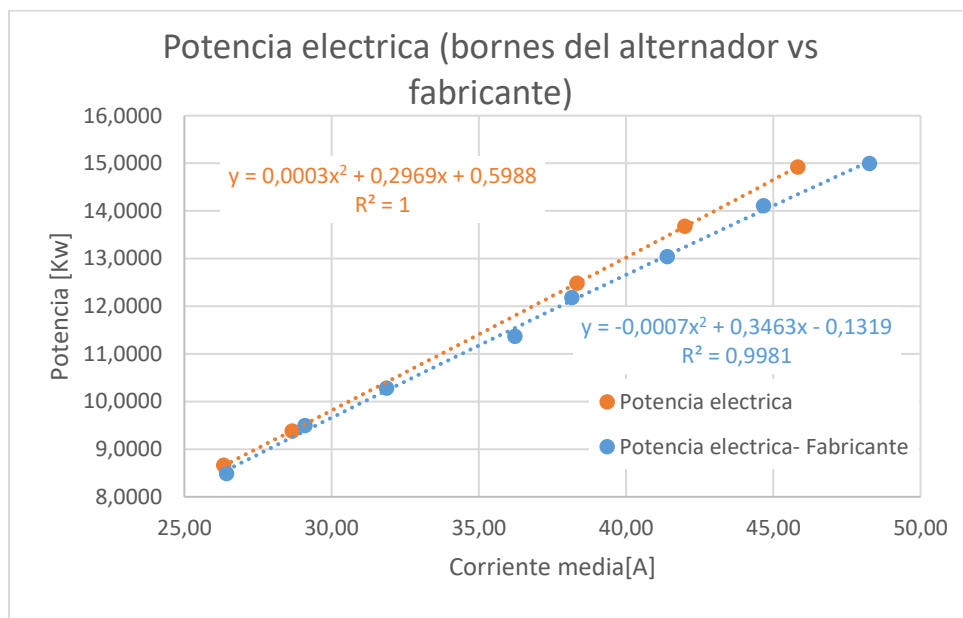


Grafico6: Representación comparativa de la Potencia eléctrica de los bornes del alternador vs valores del fabricante

### 6.3 Costo del KW\*h generado.

En el Grafico7 se representa los valores de Costo del KW \* h generado <sup>(5)</sup>. En este se aprecia que el máximo costo de generación en el ensayo se alcanza a los  $515,36 \left[ \frac{\$}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 26,33[A] mientras que el mínimo consumo se alcanza a los  $373,92 \left[ \frac{\$}{\text{KW} \cdot \text{h}} \right]$  a una corriente media de 45,83[A]. La línea de tendencia utilizada es la polinómica de grado 2, dando un error<sub>(6)</sub> experimental para costo de generación ensayado de 1,48% respecto al dado por el fabricante, estando dentro de los márgenes.

Se observa que la máxima eficiencia se logra con el mínimo consumo al hacer la comparación con el grafico4 de potencia eléctrica vs potencia efectiva.

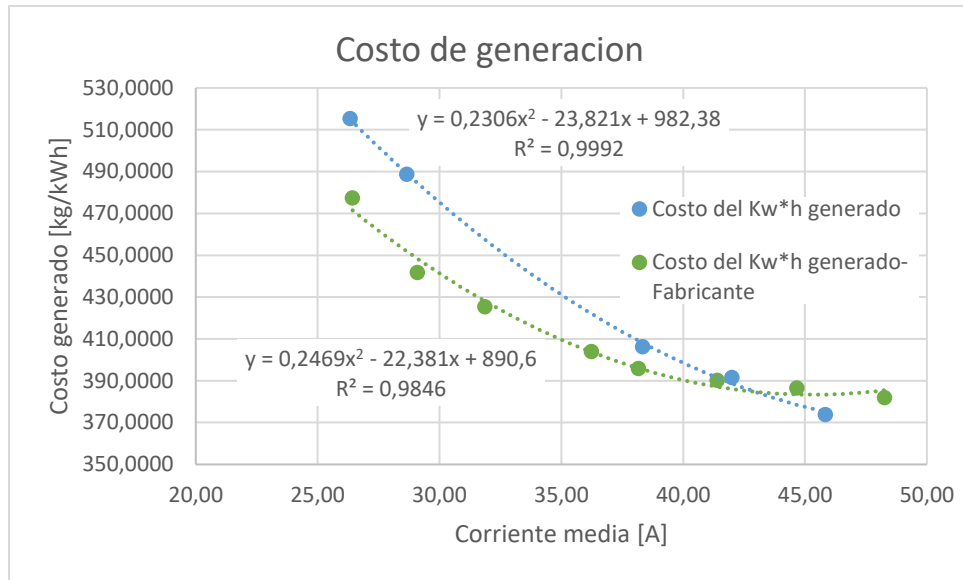


Grafico7: Representación de costo por cada KW\*h generado en el ensayo realizado.

## 7 Conclusión.

- El óptimo funcionamiento ocurre a una potencia eléctrica de 14,92[KW], con un consumo específico para los bornes del alternador de  $0,6408[\frac{Kg}{KW*h}]$  y un costo de generación de  $373,92[\frac{\$}{KW*h}]$  a una corriente media de 45,83[A] siendo a la vez la máxima eficiencia.
- Al comparar los gastos obtenidos de costo del KW\*h generado con los de la tarifa industrial de CHILQUINTA<sup>2</sup> para el año 2020, se obtiene que no es factible la competencia. El costo de generación de CHILQUINTA es de  $83,564[\frac{\$}{KW*h}]$  vs los  $373,92[\frac{\$}{KW*h}]$  de nuestro punto más óptimo, dando una diferencia porcentual de 347,46%.
- Al utilizar un grupo electrógeno de última generación se puede aumentar la eficiencia en el consumo. Un ejemplo de esto es el grupo electrógeno modelo P18-6<sup>3</sup> el cual muestra un costo de generación de  $234,84[\frac{\$}{KW*h}]$  con una potencia eléctrica de 17,6[KW]. La diferencia porcentual entre el mejor consumo obtenido en el ensayo vs el modelo P18-6 fue de 37,19%, mostrando un aprovechamiento mejor de este último.
- Se genera una pérdida de potencia entre el motor y los bornes del alternador, mostrando una caída del 17,65%<sub>(6)</sub>.
- Se genera un consumo mayor de combustible para la generación corriente eléctrica. Esta diferencia de 116,49%<sub>(6)</sub> entre el motor y los bornes de alternador a una misma corriente media, se produce debido a pérdidas sufridas durante la conversión de energía mecánica en eléctrica; estas pérdidas se suplen con un mayor consumo de combustible.

---

<sup>2</sup> TARIFAS DE SUMINISTRO DE CHILQUINTA ENERGÍA S.A

<sup>3</sup> Especificaciones Del Producto Para P18-6 se encuentra en referencias.

## 8 Referencias.

- Sistema de información en línea de precios de combustibles en estaciones de servicio:
  - <http://www.bencinaenlinea.cl/web2/buscador.php?region=7>
- FGWILSON-Grupos electrógenos<<Especificaciones del producto para P18-6>>:
  - [https://www.fgwilson.com/es\\_ES/products/new/fq-wilson/diesel-generators/small-range-220-kva/1000004398.html](https://www.fgwilson.com/es_ES/products/new/fq-wilson/diesel-generators/small-range-220-kva/1000004398.html)
- CHILQUINTA:Tarifas:
  - [<<https://www.chilquinta.cl/tarifas](https://www.chilquinta.cl/tarifas)  
<https://www.chilquinta.cl/storage/pdf/809286b550f74017cc95771dea875acb.pdf>  
>>
- Giangrandi, L. (2011). Aspectos técnico económicos para evaluación de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores diésel. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Texto guía:
  - Termodinámica 6th edición, Yunus A. Cengel.

## 9 Anexo

### 9.1 Tablas

#### 9.1.1 Tabla de valores medidos

Valores medidos / obtenidos por software / etc.									
Mediciones	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	V2 [V]	V2 [V]	V3 [V]	f [Hz]	V [cm3]	t [s]
1	26	26	27	404	404	404	51,5	375	150
2	28	29	29	402	402	402	51	375	146
3	39	39	37	400	400	400	50,5	375	132
4	42,5	42,6	40,9	400	400	400	50	375	125
5	46,4	46,5	44,6	399,9	399,9	399,9	50	375	120

Tabla 1: Valores obtenidos de la realización del ensayo

#### 9.1.2 Tabla de valores calculados

Valores Obtenidos								
Mediciones	Q [m3/h]	PeI [kW]	bel [kg/kWh]	CkWh [\$/kWh]	Im [A]	Vm [V]	Pe [kW]	be [kg/kWh]
1	0,0090	8,6618	0,8832	515,3663	26,33	404	10,5185	0,4079
2	0,0092	9,3826	0,8377	488,8081	28,67	402	11,3938	0,3869
3	0,0102	12,4841	0,6963	406,3348	38,33	400	15,1601	0,3216
4	0,0108	13,6782	0,6711	391,6293	42,00	400	16,6102	0,3100
5	0,0113	14,9229	0,6408	373,9215	45,83	399,9	18,1216	0,2960

Tabla 2: Valores calculados con sus respectivas conversiones.



### 9.1.3 Tabla de datos dados por el fabricante.

Valores obtenidos de fabricante										
Mediciones	corriente 1 [A]	corriente 2 [A]	corriente 3 [A]	voltaje 1 [V]	voltaje 2 [V]	voltaje 3 [V]	frecuencia [Hz]	vol. Comb [cm <sup>3</sup> ]	tiempo consumo combustible	t [s]
1	22,3	22,5	21,7	330	370	390	52,5	375	2'50,19"	170,19
2	24	22,4	23,6	350	360	397	52,5	375	2'47,56"	167,56
3	26,3	26,9	26,1	391	382	410	52,5	375	2'45,24"	165,24
4	29,1	29,5	28,7	399	394	409,2	52	375	2'39,63"	159,63
5	31,9	32,4	31,3	389,4	392,3	407,2	52	375	2'33,05"	153,05
6	38,4	35,7	34,6	359,5	390,9	405,8	51,5	375	2'25,74"	145,74
7	38	38,8	37,7	388,8	387,9	399,4	51	375	2'18,84"	138,84
8	41,2	42,2	40,8	393,7	385,2	381,7	50,5	375	2'11,56"	131,56
9	44,5	45,6	43,9	389,2	381,9	393,1	50	375	2'02,72"	122,72
10	48	49,2	47,6	372,7	375,1	397,2	49,8	375	1'56,88"	116,88
11	46,9	58,6	56,7	403,6	409,7	403,4	53,5	375	1'33,42"	93,42
12	60,9	63,7	61,5	394,2	382,6	415,3	52,5	375	1'26,84"	86,84
13	65,3	66,9	64,5	378,9	391,5	413,9	52	375	1'19,56"	79,56
14	69,2	71,1	68,9	391,7	386,4	411,2	51	375	1'13,77"	73,77
15	73,1	74,7	72,3	370,1	382,7	403,7	50	375	1'06,93"	66,93

Tabla 3: Valores proporcionados por el fabricante

#### 9.1.4 Tabla de datos calculados a partir de los datos dados por el fabricante.

Valores Obtenidos								
Mediciones	Q [m <sup>3</sup> /h]	PeI [kW]	beI [kg/kWh]	CkWh [\$/kWh]	Im [A]	Vm [V]	Pe [kW]	be [kg/kWh]
1	0,0079	6,557	1,0282	600,005	22,167	363,333	7,963	0,475
2	0,0081	7,010	0,9769	570,061	23,333	369,000	8,513	0,451
3	0,0082	8,487	0,8183	477,490	26,433	394,333	10,306	0,378
4	0,0085	9,494	0,7571	441,806	29,100	400,733	11,530	0,350
5	0,0088	10,282	0,7292	425,501	31,867	396,300	12,486	0,337
6	0,0093	11,369	0,6925	404,106	36,233	385,400	13,807	0,320
7	0,0097	12,182	0,6784	395,888	38,167	392,033	14,794	0,313
8	0,0103	13,040	0,6689	390,309	41,400	386,867	15,835	0,309
9	0,0110	14,113	0,6626	386,624	44,667	388,067	17,138	0,306
10	0,0116	14,999	0,6546	381,964	48,267	381,667	18,214	0,302
11	0,0145	17,853	0,6880	401,479	54,067	405,567	21,680	0,318
12	0,0155	20,070	0,6584	384,201	62,033	397,367	24,371	0,304
13	0,0170	21,074	0,6844	399,371	65,567	394,767	25,591	0,316
14	0,0183	22,508	0,6911	403,278	69,733	396,433	27,332	0,319
15	0,0202	23,027	0,7445	434,461	73,367	385,500	27,963	0,344

Tabla 4: Para una comparación óptima con los valores obtenidos en el ensayo la comparación se realizó en un rango de medición de [3-10]

## 9.2 Formulas:

### 9.2.1 Consumo específico en los bornes del alternador (1)

$$b_{el} = \rho_c \frac{\dot{Q}}{P_{el}} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} * \text{h}} \right]$$

Donde:

$\dot{Q}$ : caudal de combustible [m<sup>3</sup>/h]

$\rho_c$  : Densidad del diésel de 850 [  $\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$  ]

$P_{el}$ : Potencia electica [KW]

### 9.2.2 Consumo específico del motor (2)

$$b_e = 0,62 * 0,745 * b_{el} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{KW} * \text{h}} \right]$$

Donde:

$b_{el}$ : Consumo de los bornes del alternador.

### 9.2.3 Potencia efectiva del motor (3)

$$P_e = 1,63 * 0,745 * b_{el} [KW]$$

Donde:

$b_{el}$ : Consumo de los bornes del alternador.

### 9.2.4 Potencia eléctrica de los bornes del alternador. (4)

$$P_{el} = \cos \varphi * V_m * I_m [KW]$$

Donde:

$\varphi = 120^\circ$  para un motor trifásico

$V_m$ : Tensión media [V]

$I_m$ : Corriente media [A].

#### 9.2.6 Error experimental (6):

Para el cálculo de errores experimentales se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor teorico}} \right| * 100$$

#### 9.2.5 Costo del KW\*h generado (5)

$$C_{KW\text{h}} = \frac{\dot{Q}_{cb} * c}{P_{el}} \left[ \frac{\$}{KW * h} \right]$$

Donde:

$\dot{Q}_{cb}$ : caudal de combustible [m<sup>3</sup>/h]

$c$  = costo del combustible<sup>4</sup> ( $c=496[\frac{\$}{L}]$ )

$P_{el}$ : Potencia electrica [KW]

#### 9.2.6 Error experimental (6):

Para el cálculo de errores experimentales se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{valor experimental} - \text{valor teorico}}{\text{valor teorico}} \right| * 100$$

#### 9.2.7 Corriente media (7)

$$I_m = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

Donde:

$I_1, I_2, I_3$ : Corrientes medidas en el ensayo [A]

---

<sup>4</sup> SHELL: Avenida Concha y Toro 696, Puente alto-(17-10-2020)

#### 9.2.8 Tensión media (8)

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}$$

Donde:

$I_1, I_2, I_3$ : Tensiones medidas en el ensayo [V]

#### 9.2.9 Caudal volumétrico de combustible (9)

$$\dot{Q} = \frac{v}{t} \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Donde:

v: Volumen de combustible [ $m^3$ ]

t: tiempo de medición del ensayo [h]

#### 9.2.10 Conversión de rpm a frecuencia (10)

$$1RPM = \frac{1 \text{ Ciclo}}{1_{\text{minuto}}} \overrightarrow{\text{conversion}} \text{ Frecuencia} = \frac{\text{velocidad}(RPM)}{60_s} [Hz]$$

Para el caso del motor ensayado, el intervalo de frecuencia es de: [1500-1545][RPM]