

Informe N°4: Laboratorio de Máquinas: Motores de Combustión Interna / Ensayo de un Grupo Electrónico

Lucas Villalobos Burgos ¹

¹Escuela de Ingeniería Mecánica

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

cristobal.galleguillos@pucv.cl

13 de octubre de 2020

1. Introducción y Objetivos

En la actualidad, se disponen de una gran cantidad de generadores de electricidad y de los mas variados tipos, y a partir de varias fuentes como lo pueden ser energías renovables y no renovables. Hemos observado en informes anteriores como estas nos ofrecen una gran cantidad de beneficios dependiendo de las limitantes a las cuales se someten, por lo que establecer el momento para ocupar una es de suma importancia para mejorar la eficiencia general de los sistemas y ofrecer el mejor servicio.

Los grupos eléctricos se yerguen como una solución a problemas del suministro eléctrico público, el cual puede llegar a ser propenso a fallas, cortes, y otros problemas que no se pueden dejar al azar libremente, puesto que hay servicios que se requieren de un funcionamiento pleno y permanente.

El estudio que se le realizará a estos generadores nos ayudarán a analizar de mejor manera sus características y así establecer su mejor comportamiento bajo qué circunstancias.

Objetivo General: Analizar el comportamiento de un motor de combustión interna en aplicación a un grupo eléctrico.

Objetivos Específicos: Determinar el costo kWh generado por el grupo eléctrico y determinar el punto de funcionamiento óptimo, y a qué velocidad (RPM).

2. Desarrollo

2.1. Cálculo

Primero que todo, el ensayo del grupo eléctrico nos arrojó datos tabulados, necesarios para el cálculo posterior y que se muestran a continuación:

#	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	V1 [V]	V2 [V]	V3 [V]	f [Hz]	Combustible Vol [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

Figura 1: Datos iniciales

Para el desarrollo de los cálculos, se recurrió a las siguientes fórmulas, enunciadas en el informe de preparación del ensayo.

La fórmula de la corriente media nos indica el promedio entre las 3 corrientes, mismo caso para los voltajes, importantes para los cálculos posteriores:

Para la potencia eléctrica, se utiliza la siguiente fórmula, expuesta en términos de motor monofásico:

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

Figura 2: Fórmula de la Corriente Media

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

Figura 3: Fórmula del Voltaje Medio

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

Figura 4: Fórmula de la Potencia Eléctrica

El consumo específico, el cuál nos servirá para establecer valores comparativos con los motores electrógenos actuales:

$$b_{el} = \rho_c * \frac{\dot{Q}_{cb}}{P_{el}} \left[\frac{kg}{kWh} \right]$$

Figura 5: Fórmula del Consumo Específico del Alternador

Y el costo, que al igual que el consumo específico, nos definirá una variable que permitirá comparativas con los costos de chilquinta para una condición óptima:

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

Figura 6: Fórmula del Costo del kWh

Por último, se adjuntan los valores tabulados obtenidos, necesarios para el análisis:

Combustible Vol [cm3]	t [s]	Velocidad [RPM]	Imedia [A]	Vmedia [V]	Pefectiva [W] [kW]		Pelectr [W]
375	150	3090	26,3333333	404	8661,799952	8,661799952	10638,66667
375	146	3060	28,6666667	402	9382,621504	9,382621504	11524
375	132	3030	38,3333333	400	12484,10821	12,48410821	15333,33333
375	125	3000	42	400	13678,2403	13,6782403	16800
375	120	3000	45,8333333	399,9	14922,91946	14,92291946	18328,75
Vol [m3]	t [h]	Caudal Volumetrico				CE alternador [kg/kWh]	Costo [\$/kWh]
0,000375	0,04166667	0,009	m3/H	0,0000025	m3/s	0,883188257	514,742897
0,000375	0,04055556	0,00924658	m3/H	2,5685E-06	m3/s	0,837675168	488,2167977
0,000375	0,03666667	0,01022727	m3/H	2,8409E-06	m3/s	0,696339832	405,8432386
0,000375	0,03472222	0,0108	m3/H	0,000003	m3/s	0,671138962	391,1555786
0,000375	0,03333333	0,01125	m3/H	3,125E-06	m3/s	0,640792844	373,4691468

Figura 7: Tabla de Valores

2.2. Relación de las RPM con la Frecuencia

Para la relación de las RPM se necesita usar la formula para un número de polos (p) definido:

$$RPM = \frac{120}{f * p}$$

Figura 8: Fórmula de conversión a RPM

Con esta transformación, se logra obtener las RPM a la cual trabaja el motor a una frecuencia en Hz (f). El motor posee 4 polos, con valores que oscilan los 1500 RPM, algo usual para estos tipos de generadores (Los grupos electrógenos funcionan a 1500 RPM).

2.3. Identificación de las constantes

La identificación de las constantes nos lleva a 4 factores inalterables, relacionados a la densidad del Diésel que es de 850 Kg por metro cúbico, el ángulo relativo a la diferencia fasorial de las corrientes, correspondiente a 120°, el volumen del ensayo que es de 375 centímetros cúbicos, y el valor del diésel que, a pesar de que cambia en el tiempo, se mantiene entre límites estables y últimamente ronda los \$ 495,4 pesos por litro.

2.4. Potencias, Consumos y Coste

Las potencias necesitan del cálculo previo de las intensidades y tensiones medias, y el producto de ambas por el coseno de la fase resulta en la potencia efectiva del grupo electrógeno. El producto directo de las intensidades y tensiones resulta en la potencia eléctrica, correspondiente a la aparente y la efectiva en conjunto.

Para el cálculo de los consumos se necesita calcular el caudal volumétrico en términos de metros cúbicos o litros por hora, lo que nos lleva a un consumo en términos de kg/kWH, con tendencia a bajar según aumenta la intensidad de corriente.

2.5. Determinación de Curvas de Interés y Funcionamiento Óptimo

Con la determinación de curvas de interés, como para el consumo específico y de costos respecto a la intensidad de corriente, abre la posibilidad de obtener una ecuación de segundo grado para obtener un óptimo relativo a un máximo de revoluciones con una intensidad de corriente determinada.

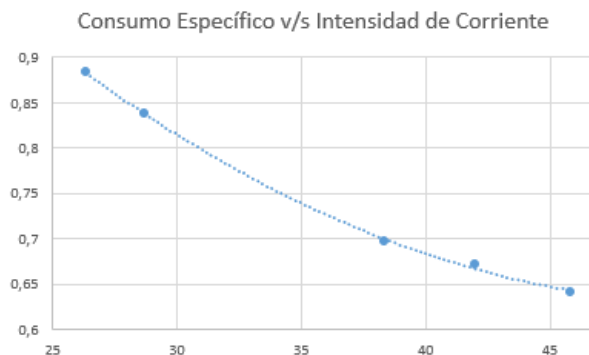


Figura 9: Gráfico del Consumo Específico por Intensidad de Corriente Media

El consumo específico del motor junto al gráfico de costos nos indican preliminarmente que a mayor intensidad se producen eficiencias mejores.

El gráfico de costos, mediante una parametrización por linea de tendencia, establece una ecuación cuadrática que nos permite sacar un máximo o un óptimo en este caso, el cual se sitúa en los 55 [A] de intensidad media, funcionando a 50 [Hz] de frecuencia. La resolución de esta función da un resultado de costo de 369,59 pesos chilenos por kWh producido.

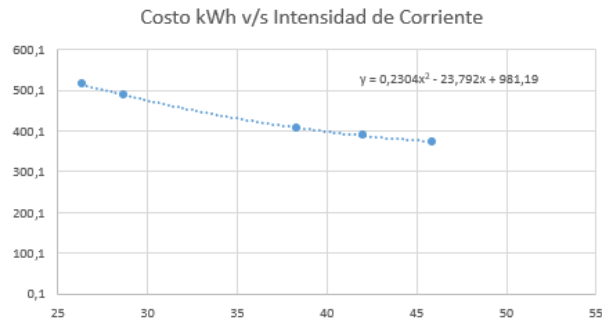


Figura 10: Gráfico del Costo de kWh por Intensidad de Corriente Media

2.6. Tarifas Chilquinta

Las tarifas de Chilquinta en este último tiempo (aproximadamente un año) establecen un valor bastante interesante respecto al valor producido por el grupo electrógeno, pero primero necesitamos calcular el costo aproximado por hora de producción de electricidad. Para el cálculo, se ocupó la tarifa para un servicio normal o común, BT1.

	Costo CHQ	Costos por servicio superado en invierno
Cargo fijo mensual por Hora	1,83943056	
Cargo por uso sistema de transmisión	19,154	
Cargo por servicio público	0,492	
Cargo por energía	89,263	
Cargo por potencia	17,237	34,474
Cargo por tramo	37,379	74,758
Total	165,364431	219,980431

Figura 11: Suma de los Costos de la Tarifa de Chilquinta

Los costos sumados, exceptuando el cargo por tramo y por potencia adicional, son equivalente, por lo que en invierno se produce un aumento según se sobrepase la tarifa límite definida mediante un aumento de los costos en ese par de cargos.

Los costos totales ascienden a 165,36 pesos por kWh producido en tarifa normal, y en tarifa excedida a 220 pesos aproximadamente.

2.7. Análisis de Valores y eficiencia de Grupos Electrónicos de Última Generación

Es un hecho de que la tecnología produzca generadores mejores y de mejor eficiencia, lo que nos lleva a tener mejores prestaciones a menores consumos de combustible, algo que agradece el medio ambiente. Este consumo se puede ver reflejado como un punto óptimo a mejores o mas altas intensidades de funcionamiento, lo que nos hace imaginar que estos nuevos grupos se ven potenciados aún mas debido a este efecto.

Model				GJP88
Group	Power Power Factor 0.8	Stand By	kVA	88
		Prime	kW	70
			kVA	80
			kW	64
Diesel Engine	Brand			PERKINS
	Model			1104A-44TG2
	Type			Direct Injection
	Power, 1500 rpm		kWm	71,9
	Cylinder Volume		Liter	4,4
	Aspiration and Cooling			Turbo Charge
	Engine RPM		rpm	1500
	Bore and Stroke		mm x mm	105 x 127
	Compression Ratio			17.25:1
	Governor Class			Mechanic
	Fuel Consumption at Full Load		lt. / hour	18,7
	Fuel Tank Capacity		Liter	260
	Number of Cylinders			4
	Order of Cylinders			Line
	Brand			Maranello
	Output Voltage		Hz	231 / 400

Figura 12: Especificaciones del Grupo Electrónico Elegido

Para el generador se eligió un Maranello modelo GJP88, consistente en un gran motor de gran capacidad de generación eléctrica, aunque eso es lo de menos puesto que se va a comparar en terminos de costo por energía producida, parámetro importante para establecer similes respecto a ambos sistemas.

Potencia [kW]	Caudal [m3/H]	Costo [\$ / L]
57,52	0,0187	161,056676

Figura 13: Valores Esenciales del Grupo Electrónico Escogido

El cálculo de la potencia se efectuó con un factor de servicio de 0,8 [-] como se puede observar en las especificaciones, lo que nos resulta en un valor de 57,52 [kW] de potencia efectiva para 1500 RPM, lo que es un punto importante debido a que se compararán en una velocidad que establece un funcionamiento específico mutuo. Para el caudal, se hace un cambio de unidades lo que deviene de un caudal de 18,7 Litros/Hora a máxima carga, a metro cúbico por hora, siendo este 0,0187. El costo se calcula según la fórmula estipulada al inicio del informe, en la sección de cálculo, con lo cuál se establece un valor de 161 [\$ / L], algo bastante bueno en comparación a los valores de chilquinta, ya que, aunque ambos comparten valores similares en sus temporadas de menor consumo, esto es muy positivo para un sistema que se basa en producir energía a cualquier coste, debido a que lo importante no es obtener una gran eficiencia puesto que se prioriza obtener energía para casos de emergencia o para el uso que se requiera, que generalmente es en situaciones de escasez.

3. Conclusión

Observando al sistema electrógeno, es posible encontrar que es preferible obtener momentos o funcionamientos bajo regimenes de gran intensidad media, puesto a que esto baja el coste, aumentando la eficiencia y la potencia eléctrica generada, aunque tambien aumenta el consumo del motor, pero se entiende que se realiza a menor costo.

El funcionamiento máximo se obtiene a plena carga y a grandes corrientes, aunque parezca evidente, y se puede observar que es la misma conclusión que se puede obtener del análisis del motor Deutz, puesto a que ambos son motores Diésel, solo que con fines diferentes, pero sometidos a las mismas curvas características.

Las comparativas que se establecieron respecto a los valores nos permiten observar que los generadores antiguos pueden ser ineficientes y que, actualmente, hay opciones que pueden ser tan rentables e incluso mejores que la distribución por servicio eléctrico público, siendo así una gran opción para los establecimientos que requieren de electricidad en momentos críticos y para comunidades que deseen situarse en lugares de difícil acceso a la electricidad.

Referencias

- [1] GlobalPetrolPrices: Precios de Combustibles Fósiles,
https://es.globalpetrolprices.com/Chile/diesel_prices/