

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica

Laboratorio de Maquinas Térmicas Motores de Combustión  
Interna Ensayo de un Grupo Electrónico.

Versión original: Profesor Juan Rene Roncagliolo

Versión actual: Profesor Cristóbal Galleguillos Ketterer

Ayudantes: Eduardo Suazo Campillay (docs)

Ignacio Ramos Vera (lab)

Versión: 20200928 2

Estudiante: Javier Sanhueza Sandoval

Fecha : 03/10/2020

## Tabla de contenido

Resumen:.....	2
1 Introducción. ....	3
Objetivo general.....	3
2 Esquema general de la instalación. ....	3
3 Desarrollo de la experiencia.....	4
4 Grafique, comente y explique: .....	6
5 Conclusión: .....	9
Anexo .....	10

## Resumen:

Se realiza la medición de distintas variables características del funcionamiento de una central electrógena que funciona quemando diesel, este dispositivo cuenta con un sistema intercambiador de calor que refrigera el motor, se tabula la Intensidad, Voltaje y la frecuencia para determinar el rendimiento del dispositivo electrogeno.

Con estos datos de referencia se compara el rendimiento de nuestra unidad con un generador moderno, la diferencia en su desempeño es enorme. Se toma conocimiento del estado de la unidad de pruebas y su avanzado desgaste, dada la antigüedad del dispositivo su rendimiento merma drásticamente debido tanto a la pérdida de propiedades de elementos claves como imanes y el aumento de la fricción.

Comparando el precio del combustible y la capacidad de potencia de los generadores respecto al precio de la electricidad de generadora eléctrica queda evidenciado que estos sistemas electrógenos sirven principalmente de apoyo en emergencias o para uso puntual dado su mayor costo de operación respecto al precio de la generadora eléctrica.

# 1 Introducción.

## Objetivo general.

Analizar el comportamiento de un motor de combustión interna en aplicación a un grupo electrógeno.

## 1.2 Objetivos específicos:

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

# 2 Esquema general de la instalación.

## 2.1 Esquema de la instalación.

La obtención de potencia del motor se realiza de acuerdo al esquema presentado en la siguiente Ilustración 2-1:

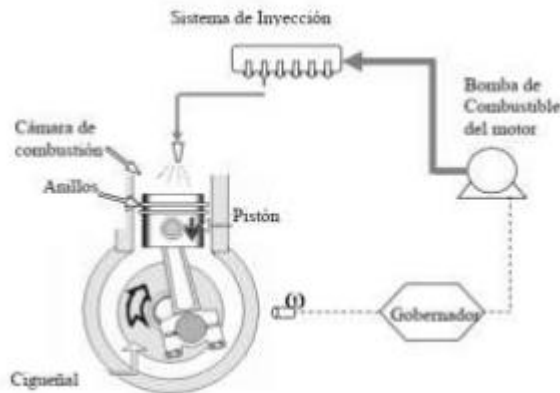


Ilustración 2-1 Detalle de la instalación. Fuente (Giangrandi, 2011)

El diagrama del generador se presenta en:

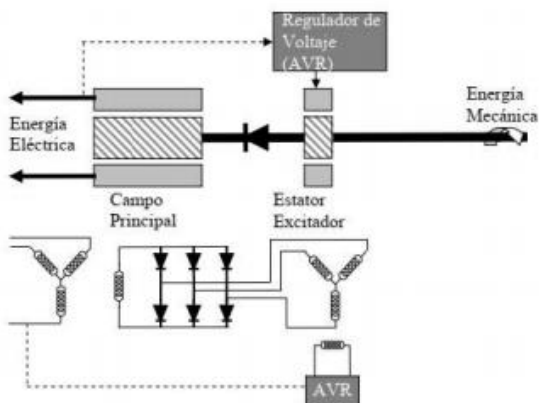


Ilustración 2-2 Esquema de un generador tipo Fuente: (Giangrandi, 2011)

### 3 Desarrollo de la experiencia.

Los parámetros a calcular serán los siguientes:

$P_{el}$  = Potencia eléctrica en los bornes del alternador.

$b_{el}$  = Consumo específico en los bornes del alternador.

$\dot{Q}_{cb}$  = Caudal volumétrico de combustible.

$C_{kWh}$  = Costo del  $kWh$  generado.

#### 3.1 Reconocimiento de la instalación.

Realice un reconocimiento de la instalación, identifique el motor Bedford (GM inglesa) y el alternador AEG.

Identifique las resistencias disipadoras de calor, los bornes para medir la corriente y los dispositivos para medir el voltaje y la frecuencia.

Anote los valores placa de los equipos y regístrelos para integrarlos como anexo a su informe.

#### 3.2 Procedimiento de trabajo.

##### 1.1.1 Datos previos.

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

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

#### 3.3 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 o la ebullición del agua en la resistencia hidráulica muy violenta. 4

### 3.4 Tabla de valores medidos.

Registre los datos de acuerdo al siguiente esquema, tabule y grafique (sea coherente con las unidades).

- Número de medición.
- Volumen de combustible [Vc ].
- Tiempo de medición del consumo de combustible.
- Corrientes.
- Voltaje.

### 3.5 Formulas y ecuaciones empíricas.

Corriente media:

$$I_m = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} [A] \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Tensión media:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} [V] \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Potencia eléctrica:

$$P_{el} = \cos \varphi * V_m * I_m [W] \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Consumo específico en bornes alternador:

$$b_{el} = \rho_c * \frac{\dot{Q}_{cb}}{P_{el}} \left[ \frac{kg}{kWh} \right] \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Costo del Kwh generado:

$$C_{kWh} = \frac{\dot{Q}_{cb} * c}{P_{el}} \left[ \frac{\$}{kWh} \right] \quad \text{Ecuación 3.5}$$

#### 4 Grafique, comente y explique:

- Tabule todos los datos calculados.

Variables eléctricas							Combustible		
#	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	V2 [V]	V2 [V]	V3 [V]	f [Hz]	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

Tabla 1. Datos obtenidos experimentalmente.

#	Im [A]	Vm [V]	P el [kW]	P ef [kW]	Mcb/s [KG/s]	b el [kg/kWh]	\$/h	C kwh [Pesos/Kwh]	C kwh ef [Pesos/Kwh]
1	26,3333333	404	8,51093333	4,913789651	0,002125	0,89884384	3870	454,7092367	787,5795007
2	28,6666667	402	9,2192	5,322707602	0,002183219	0,852523976	3976,0274	431,276835	746,9933904
3	38,3333333	400	12,2666667	7,082163302	0,002414773	0,7086833	4397,72727	358,5103755	620,9581854
4	42	400	13,44	7,759587618	0,00255	0,683035714	4644	345,5357143	598,485413
5	45,8333333	399,9	14,663	8,465686997	0,00265625	0,652151674	4837,5	329,9120235	571,4243867

Tabla 2. Datos calculados.



**Comisión Nacional de Energía**  
Gobierno de Chile

**SISTEMA DE INFORMACIÓN EN LÍNEA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES EN ESTACIONES DE SERVICIO**  
\*Los precios publicados en el presente sitio web son de exclusiva responsabilidad de las estaciones de servicio informantes. Los precios presentarán un desfase máximo de 15 minutos de antelación respecto de los precios publicados en la paleta de la respectiva estación de servicio.

**Listado de precios**  
Región: Valparaíso    Combustible: Petroleo Diesel    Orden Precios: Menor a mayor  
Servicentro: Todos  
Comuna:

☐ Algarrobo   ☐ Cabildo   ☐ Calera   ☐ Calle Larga   ☐ Cartagena   ☐ Casablanca   ☐ Catemu   ☐ Concón   ☐ El Quisco  
☐ El Tabo   ☐ Hijuelas   ☐ Isla de Pascua   ☐ Juan Fernández   ☐ La Cruz   ☐ La Ligua   ☐ Limache   ☐ Llaillay   ☐ Los Andes  
☐ Nogales   ☐ Olmué   ☐ Panquehue   ☐ Papudo   ☐ Petorca   ☐ Puchuncaví   ☐ Putaendo   ☐ Quillota   ☐ Quilpué  
☐ Quintero   ☐ Rinconada   ☐ San Antonio   ☐ San Esteban   ☐ San Felipe   ☐ Santa María   ☐ Santo Domingo   ☐ Valparaíso   ☐ Villa Alemana  
☐ Viña del Mar   ☐ Zapallar

Ver reporte

Precio mínimo: \$430    Precio máximo: \$668    Promedio: \$476

Servicentro	Autoservicio	Precio
Del Sol Combustibles Av. Federico Santa María 1838, Valparaíso	Autoservicio	430,0

Imagen 1. Precios Diesel en Valparaíso.

Utilizamos el menor precio de Diesel disponible, equivalente a 506 pesos por kilogramo de combustible.

- ¿Existe alguna fórmula que relacione las RPM con la frecuencia, si es así a cuantas RPM funcionó el motor?

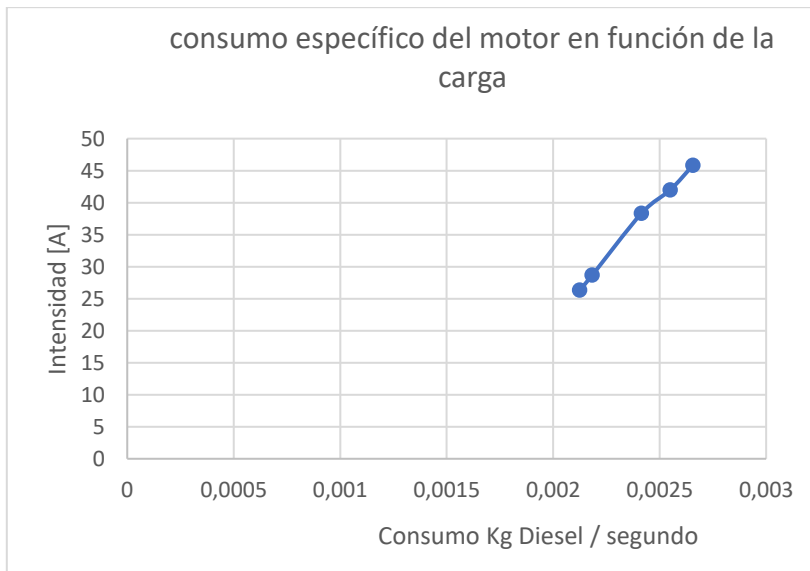
$$rpm_{rotor} = f * \frac{60}{\text{pares de polos}} [rpm] \quad EQ. 4.1$$

Ecuación 4.1

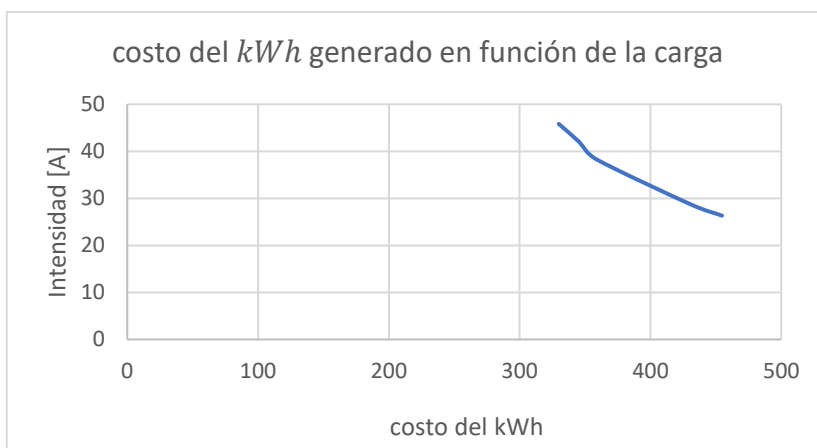
$$rpm_{rotor} = 1500 [rpm] \quad EQ. 4.2$$

Ecuación 4.2

- 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



Del gráfico es evidente que el punto óptimo de operación se alcanza con una intensidad cercana a los 46 [A]



- Comparar y comentar el costo del *kWh* generado en el punto óptimo con el respecto a la mejor tarifa industrial de CHILQUINTA.

Cargos por Tarifas y Zonas de aplicación	Comuna Valparaíso SUBTERRÁNEA Sct. Barón ZS1 en \$
<b>TARIFA BT-1 (caso "a")</b>	
Cargo fijo (\$/mes)	1,284.907
Energía base (\$/kWh)	145.540
Energía adicional de invierno (\$/kWh)	202.823
Cargo único por uso del sistema troncal (\$/kWh)	1.479
<b>TARIFA BT-2 y BT-3</b>	
Cargo fijo BT-2 (\$/mes)	1,284.907
Cargo fijo BT-3 (\$/mes)	2,179.352
Energía (\$/kWh)	88.256
Cargo mensual por potencia (\$/kW-mes)	
a) Parcialmente presente en punta	11,860.325
b) Presente en punta	17,350.025
Cargo único por uso del sistema troncal (\$/kWh)	1.479
<b>TARIFAS BT-4.1, BT-4.2 y BT-4.3</b>	
Cargo fijo mensual, tarifa BT-4.1	1,284.907
Cargo fijo mensual, tarifa BT-4.2	2,179.352
Cargo fijo mensual, tarifa BT-4.3	2,268.936
Energía (\$/kWh)	88.256
Cargo mensual por potencia (\$/kW-mes)	
Contratada o suministrada, por kW	3,001.557
Contratada o demanda máxima leída, en horas de punta, por kW.	14,348.468
Cargo único por uso del sistema troncal (\$/kWh)	1.479
<b>TARIFA AT-2 y AT-3</b>	
Cargo fijo AT-2 (\$/mes)	1,284.907
Cargo fijo AT-3 (\$/mes)	2,179.352
Energía (\$/kWh)	83.237
Cargo mensual por potencia (\$/kW-mes)	
a) Parcialmente presente en punta	10,934.730
b) Presente en punta	11,325.345
Cargo único por uso del sistema troncal (\$/kWh)	1.479
<b>TARIFAS AT-4.1, AT-4.2 y AT-4.3</b>	
Cargo fijo mensual, tarifa AT-4.1	1,284.907
Cargo fijo mensual, tarifa AT-4.2	2,179.352
Cargo fijo mensual, tarifa AT-4.3	2,268.936
Energía (\$/kWh)	83.237
Cargo mensual por potencia (\$/kW-mes)	
Contratada o suministrada, por kW.	3,383.661
Contratada o demanda máxima leída, en horas de punta, por kW.	7,941.684
Cargo único por uso del sistema troncal (\$/kWh)	1.479
Los valores indicados incluyen el 19% correspondiente a impuesto al valor agregado. Las condiciones de aplicación de las tarifas son las establecidas en el citado Decreto N° 1T de 2012.	

La mejor tarifa es de 83.237 pesos por kWh.

El punto optimo de operación ronda los 330 pesos por kWh.

Es evidente que los sistemas electrógenos basados en motores térmicos (MCI) son un sistema auxiliar de respaldo en plantas que no pueden quedar sin suministro eléctrico y su función no es suministrar electricidad de forma permanente.

El costo de operar generando electricidad por medio de MCI es casi 4 veces superior respecto a comprar electricidad a CHILQUINTA.

- Discutir a cuánto podría bajar el costo del *kWh* generado si se ocupara un grupo electrógeno de la misma potencia, pero última generación.

El sistema CAT DE55EO ofrece una potencia de 40 kW operando en modo “prime” y un consumo de 11.6 litros por cada hora de operación en el mismo modo.

$$\frac{\text{pesos}}{\text{kWh}_{\text{prime}}} = \frac{11.6 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} * 430 \frac{\text{pesos}}{\text{litro}}}{40 \text{ kW}} \left[ \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} \right] = 124.7 \left[ \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} \right] \quad \text{EQ. 4.3}$$

Ecuación 4.3

$$\frac{\text{pesos}}{\text{kWh}_{\text{generador ensayo}}} = \frac{11.25 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} * 430 \frac{\text{pesos}}{\text{litro}}}{14.663 \text{ kW}} \left[ \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} \right] = 329.91 \left[ \frac{\text{pesos}}{\text{kWh}} \right] \quad \text{EQ. 4.4}$$

Ecuación 4.4

Los costos se reducen considerablemente, sin embargo el precio de kWh ofrecido por la generadora sigue siendo mas interesante desde la perspectiva de económica.

## 5 Conclusión:

Dado los datos obtenidos de forma empírica podemos afirmar que:

- El consumo específico de combustible aumenta de manera proporcional a la Intensidad.
- Trabajar a intensidades inferiores de 45-46 A disminuye la eficiencia del sistema.
- Dado que el motor trabaja a 1000 RPM constantes restringidas por la frecuencia requerida en la red, trabajar a cargas [A] inferiores al optimo implica desperdiciar potencia disponible.
- El sistema electrógeno ensayado presenta un avanzado desgaste y ofrece una operación poco eficiente pero efectiva que permite su utilización en situaciones puntuales como este ensayo.

Considerando un consumo de 9.56 Kg de combustible en una hora y una potencia entregada de 52786.8 kJ o comparamos la potencia entregada respecto al PCI del diésel (43100 KJ/Kg) para conocer el rendimiento global de nuestro equipo electrógeno.

- Sistema electrógeno capaz de entregar 5521.63 kJ de 1 Kg de combustible .
- La eficiencia global del sistema electrógeno ronda el 12.8%.

## 6 Bibliografía.

Giangrandi, L. (2011). Aspectos tecnico economicos para evaluacion de proyectos de cogeneración en base a grupos generadores diesel. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

## Anexo



Anexo 1. Placa generador AEG.

## DIESEL GENERATOR SET



**DE55EO**

Image shown may not reflect actual package

Output Ratings		
Generator Set Model - 3 Phase	Prime*	Standby*
400/230 V, 50 Hz	50.0 kVA 40.0 kW	55.0 kVA 44.0 kW
480/277 V, 60 Hz	56.3 kVA 45.0 kW	62.5 kVA 50.0 kW

\* Refer to ratings definitions on page 4.  
Ratings at 0.8 power factor.

Anexo 2. Especificaciones generador DE55EO