



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA
PASCUAL BRAVO®



TRABAJO DE GRADO

INSTRUMENTACIÓN DE UN MOTOGENERADOR ELÉCTRICO BASADO EN UN MOTOR DIESEL PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS

John Jairo Munera Ramírez.
j.munera1082@pascualbravo.edu.co

Juan Sebastián Arias Henao
j.arias@pascualbravo.edu.co

Asesor:
YUHAN ARLEY LENIS RODAS
yuhan.lenis@pascualbravo.edu.co
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

Facultad de Ingeniería
Departamento de Mecánica
Ingeniería Mecánica
junio de 2022



SC 7134-1



Institución Universitaria - Vigilada Mineducación
PBX (+57 4) 448 0520 / FAX: (+57 4) 493 6363
Calle 73 No. 73A - 226, Vía El Volador
Línea gratuita: 01 8000 510944
www.pascualbravo.edu.co



Alcaldía de Medellín

CONTENIDO

1	Introducción	4
1.1	Marco teórico y estado del arte	6
1.1.1	Desempeño del motor de una planta eléctrica al utilizar ACPM o Biodiesel	8
1.2	Ventajas y desventajas de los equipos electrógenos	9
2	Planteamiento del problema.....	11
3	Justificación	11
4	Objetivos del trabajo de grado	13
5	Metodología	14
6	Resultados	18
6.1	Banco de pruebas de motores	19
6.2	Pruebas de desempeño	23
7	Conclusiones	26
	Bibliografía	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grupo electrógeno convencional	6
Figura 2. Diagrama de operación de una planta de corriente alterna. (Castro, 2015)	8
Figura 3. Comparación de curvas de potencia del motor. (Navas, 2005).....	9
Figura 4. Grupo electrógeno Diesel.....	14
Figura 5. Instrumentación del grupo electrógeno	15
Figura 6. Banco de resistencias y su acople con el grupo electrógeno.....	16
Figura 7. Válvulas averiadas. Problema sobre el final del vástago	18
Figura 8. Evidencia del desarme del motor Diésel.....	18
Figura 9. Esquema del sistema diseñado y construido.	19
Figura 10. Fotografía del montaje durante pruebas experimentales.....	19
Figura 11. Indicador de termopar, usado durante las pruebas	20
Figura 12. Equipo para el análisis de gases de escape.....	20
Figura 13. Medición de consumo de combustible, sistema preliminar 1	21
Figura 14. Sistema de resistencias	22
Figura 15. Comparación de potencia 1 y 2 resistencias	25
Figura 16. Comparación de par motor 1 y 2 resistencias	25
Figura 17. Comparación consumo de combustible 1 y 2 resistencias	25
Figura 18. Comparación consumo de combustible 1 y 2 resistencias	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables primarias a medir.....	5
Tabla 2. Parámetros de desempeño energético y ambiental	23
Tabla 3. Cálculo de consumo	24

1 Introducción

Los motores diésel son máquinas térmicas de combustión interna que por más de un siglo han sido una gran alternativa para la industria en la creación de diferentes aplicaciones y han sido usadas por múltiples fabricantes al considerar su versatilidad y bajo costo. Son motores cuyo principio de funcionamiento es la autoignición, que a diferencia de los motores a gasolina no requiere de una bujía (chispa) para hacer la combustión, sino que el inicio de la misma se logra por auto-ignición. Es por esto que, los motores Diesel manejan una relación de compresión superior a los de gasolina y por ende requieren trabajar a presiones y temperaturas más altas.

En cuanto a su funcionamiento, este es muy similar al de los motores a gasolina, manejan 4 tiempos: Admisión, Compresión, Combustión y Escape, sólo presentando variaciones en la combustión como fue mencionado anteriormente.

Entre las principales aplicaciones se encuentran la gran mayoría de maquinaria pesada y agrícola, transporte de carga, propulsión ferroviaria, propulsión marítima, así como también y muy importante, la generación de energía eléctrica. La generación de potencia en centrales térmicas ha sido una buena alternativa para el sector eléctrico, sobre todo en épocas de sequía en nuestro país, donde el nivel de las represas empieza a caer y la energía térmica entra a respaldar y mantener el fluido eléctrico. No se puede negar que este tipo de energía es más costosa y contaminante que la generada a través de caídas de agua o en hidroeléctricas de gran escala. Sin embargo, su carácter de energía de respaldo hace que casi cualquier sistema de generación, considere en su matriz energética la inclusión de este tipo de plantas.

Considerando la alta aplicación de este tipo de plantas, en especial en zonas donde se dificulta el acceso a la energía del Sistema Interconectado Nacional (SIN), en el presente trabajo se busca instrumentar un grupo electrógeno de bajo costo, con el fin de obtener información necesaria para el estudio termodinámico y ambiental de la misma. Para este propósito se busca medir: temperatura de operación, la cual se espera que oscile entre 80 y 100 grados centígrados, el consumo promedio de combustible, el cual se espera que esté entre 0.2 - 0.41 litros/kw-h a 100% de carga. Además, se busca medir la emisión de CO, NO y NO₂.

Un banco de prueba completamente instrumentado, podría alcanzar valores cercanos a 280 millones de pesos, esto hace que no sean de fácil acceso para las instituciones de educación superior, como el caso de la I.U. Pascual Bravo. En la universidad actualmente se está desarrollando un proyecto similar, que consiste en la instalación de equipos de control e instrumentación en un equipo electrógeno para medir variables de temperatura, revoluciones, emisiones de gas, dosado, etc. Sin embargo, dicho equipo se empleará 100% en labores de investigación. Considerando lo anterior, se ve la necesidad del desarrollo de del presente

proyecto, el cual tendrá como pilares la medición de las diferentes variables a un bajo costo, además el equipo será portable, por lo que se podrá llevar a otros lugares, como las subregiones. En la Tabla se resumen las variables primarias a medir, acompañadas de su respectiva justificación:

Tabla 1. Variables primarias a medir

Parámetro	Justificación
Temperatura de operación	Sirve para definir cuando el motor está operando en estado estable, es decir, cuando no hay cambios en el tiempo. Se suele medir en la temperatura del aceite
Consumo de combustible	Es una medida muy relacionada con el rendimiento del motor. Se puede medir de forma simple mediante métodos gravimétricos o mediante sensores de flujo
Potencia	Medida a partir del voltaje y la corriente de generación
Dosado	Es la relación entre el flujo másico de combustible y el de aire. $F = \frac{m_{comb}}{m_{aire}}$
Emisiones contaminantes: CO, CO₂, HC, NO₂ NO	Sirven para definir el impacto ambiental de la planta de generación

1.1 Marco teórico y estado del arte

Las unidades de generación electrógenas han sido una gran alternativa para todos los lugares donde exista una necesidad energética. Pueden ser utilizadas a nivel industrial y doméstico, siendo una gran alternativa para lugares que no cuentan con acceso al sistema intercomunicado de electricidad o el suministro eléctrico es intermitente. Además, son muy útiles en lugares de difícil acceso, a su vez también tiene un extenso rango de usos a nivel industrial por su versatilidad y tamaño. En la gran mayoría de industrias son utilizadas como plantas de respaldo y se manejan como plantas de emergencia, entre otras aplicaciones. Son vitales para la prestación del servicio de hospitales, unidades residenciales e industrias en general. En la Figura 1, se presenta una imagen típica de un grupo electrógeno.



Figura 1. Grupo electrógeno convencional

Esos equipos están compuestos por un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico. El motor de combustión puede ser para trabajar con gasolina, diésel o gas. Su principio es convertir la energía química del combustible en energía mecánica, para después por medio del generador convertir esa energía mecánica en energía eléctrica.

Las plantas eléctricas se pueden encontrar en el mercado con una gran variedad de especificaciones, las más importantes a tener en cuenta:

- Tipo de motor: Se señala el tipo de combustible de operación. También se indica la potencia del motor, normalmente en caballos de fuerza (Hp).
- Tamaño de la carga: Suelen oscilar entre los 8 kW y los 30 kW para sistemas domésticos; y entre 30 kW y 2000 kW para sistemas industriales.
- Numero de fases: Estos sistemas pueden ser monofásicos o también trifásicos. Algunas máquinas se construyen con un número mayor de fases para reducir el rizado y entregar corrientes con mayor precisión.

- Tiempo de duración: Una de las características más importantes al momento de adquirir un equipo electrógeno, es el tiempo de operación a plena carga. También se puede encontrar especificaciones que de acuerdo a estándares de calidad pueden indicar tiempos de trabajo acorde a cargas normales o regulaciones de carga.
- Peso: El peso y las dimensiones del equipo son características importantes a tener en cuenta, van de la mano con el tipo de uso que se le piensa dar y la ubicación.

La portabilidad de dichas plantas permite suplir las necesidades energéticas en los casos en los cuales el suministro de energía a través de la red es insuficiente o inestable, siendo casi indispensables en aquellos lugares de alto consumo energético y que no pueden estar si el suministro continuo de electricidad. Recientemente, las energías renovables y tecnologías como los paneles fotovoltaicos han tomado fuerza y han alcanzado valores de generación competitivos en el campo de generación de energía, sin embargo, la alta inversión inicial sigue siendo una barrera para su masificación. Otros aspectos que han dificultado la implementación de renovables están relacionados con su operación, almacenamiento de energía y mantenimiento. Teniendo en cuenta lo anterior, los grupos electrógenos se han considerado como la opción más asequible, simple y confiable para asistir la demanda energética en lugares donde el suministro por red es insuficiente o donde se requieren unidades de respaldo. Es importante mencionar que, este tipo de alternativas se limitan a la disponibilidad del insumo básico: diésel o gasolina.

En Colombia se conocen como Zonas No Interconectadas (ZNI), aquellas a las cuales no llega un suministro de energía confiable para suplir la demanda, presentándose esta situación principalmente en el sector rural, así como se menciona en "SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA ZONAS RURALES (¿EN EL POSCONFLICTO?)", (Sepúlveda, 2016). En estos escenarios es donde la búsqueda de nuevas alternativas para generar energía se hace vital, pues es imprescindible para el desarrollo debido a que permite suplir las necesidades básicas. El consumo energético de una vivienda urbana es mayor al de una vivienda rural por la cantidad de electrodomésticos y accesorios electrónicos, con 10 kWh/día se puede alimentar 4 o 5 viviendas en la zona rural y una única vivienda en la zona urbana, esto sin tener en cuenta, si estas se encuentran ubicadas en climas extremos donde se hace necesario el uso de calefacción o aire acondicionado que incrementa significativamente el gasto energético.

Las plantas de emergencia diesel son equipos de corriente alterna también conocidos como máquina rotatoria sincrónica o grupo electrógeno. Como se mencionó antes, constan de un acoplamiento motor-generator, en este caso, es un motor de combustión interna. El generador opera a una cierta frecuencia que depende del número de polos que contiene el rotor, y la velocidad a la que gira el motor. Estos motores operan bajo el principio de la Ley

de Faraday¹, en la generación de energía se requiere fundamentalmente de un campo magnético, un conductor y un movimiento, como se evidencia en la siguiente Figura.

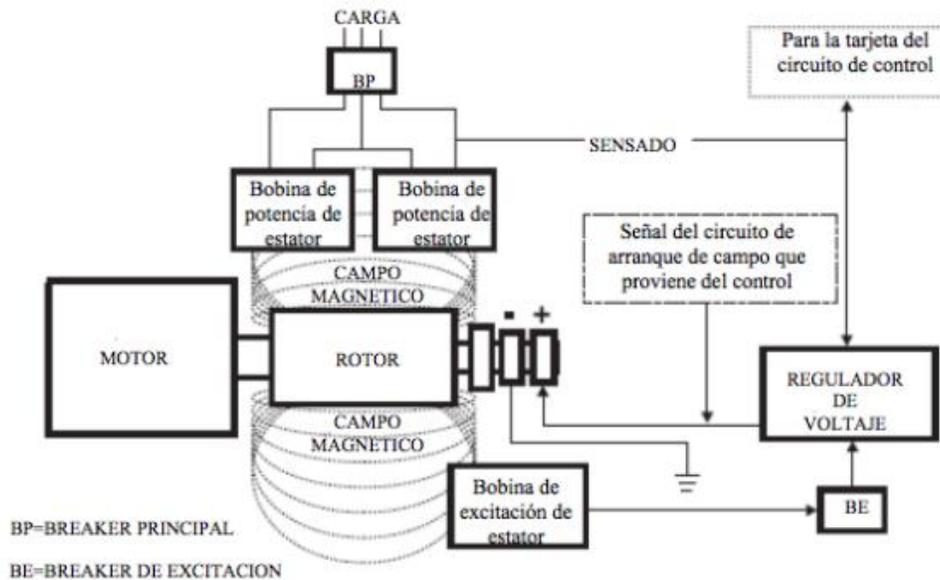


Figura 2. Diagrama de operación de una planta de corriente alterna. (Castro, 2015)

La normativa internacional NFPA 110, establece criterios para definir la confiabilidad en las alternativas de respaldo energético, en ella se establecen los requisitos mínimos para los elementos que componen el sistema de energía de emergencia (EPSS) principalmente en edificaciones que exigen de un uso energético incesante (NFPA, 2016). Se define que, la fuente de energía eléctrica debe ser manejada por un motor. El que se utiliza más comúnmente por su confiabilidad es el de grupo electrógeno compuesto por un motor diésel acoplado a un generador trifásico. Esta normativa define mantenimiento y pruebas requeridas para garantizar la confiabilidad del sistema de suministro de energía de emergencia. Además, existen otros trabajos que presentan los procedimientos de mantenimiento a considerar en este tipo de equipos (Urrego & Ramírez, 2012).

1.1.1 Desempeño del motor de una planta eléctrica al utilizar ACPM o Biodiesel

Teniendo en cuenta que en la práctica de este proyecto el combustible usado es Diesel, existen otro tipo de alternativas más amigables con el medio ambiente como el Biodiesel, sin embargo, este presenta una pérdida de potencia con respecto a los otros combustibles

¹ La ley de inducción electromagnética de Faraday (o simplemente ley de Faraday) establece que la tensión inducida en un circuito cerrado es directamente proporcional a la rapidez con que cambia en el tiempo el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera con el circuito como borde.

“convencionales”. El desempeño de un motor de una planta eléctrica al usar ACPM o biodiesel como combustible puede caracterizarse por sus curvas de torque y potencia, obtenidas según procedimientos estándar de la SAE - Society of Automotive Engineers -. Implementando dinamómetros² de banco, como se utilizaron en el proyecto académico “ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN MOTOGENERADOR AL USAR BIODIESEL COMO COMBUSTIBLE”, se estableció una carga mecánica determinada para que el motor se estabilice en una velocidad de rotación. Una vez se realizaron las pruebas de eficiencia de la planta eléctrica se obtuvo como resultado que la potencia disminuye a medida que se aumenta el porcentaje de biodiesel en la mezcla, como se evidencia en la siguiente Figura.

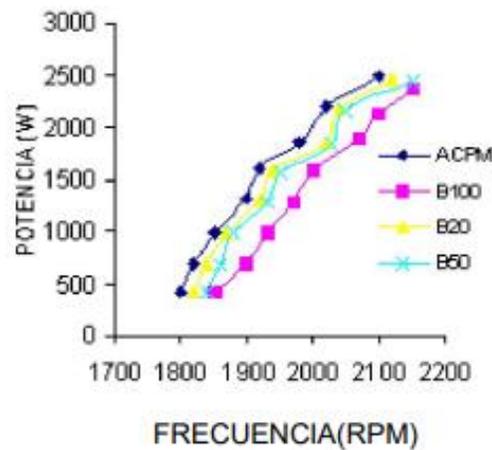


Figura 3. Comparación de curvas de potencia del motor. (Navas, 2005)

1.2 Ventajas y desventajas de los equipos electrógenos

Los equipos generadores de energía eléctrica a base de combustible diésel sobresalen por estar disponibles en amplio rango de potencia y por su óptimo funcionamiento para cualquier aplicación, tanto para un servicio continuo como para una emergencia.

Ventajas

- Buena respuesta a cargas súbitas.
- Rápida disponibilidad de energía eléctrica.
- Buena portabilidad y facilidad de obtención del combustible.

² El dinamómetro es un instrumento utilizado para medir fuerzas o para calcular el peso de los objetos. Los dinamómetros basan su funcionamiento en la elasticidad de un resorte, siguiendo la ley de elasticidad de Hooke.

- Comparado con otros combustibles, el diesel tiene menor inflamabilidad.
- Capacidad para operar en tiempos prolongados.
- Ante fallas en el suministro de electricidad, un equipo electrógeno puede seguir funcionando mientras tenga combustible en el tanque de alimentación.

Desventajas

- Alto costo de operación comparado con los precios de venta del Sistema Interconectado Nacional (SIN).
- Niveles muy altos de ruido, aunque esto se puede resolver adicionando casetas o contenedores acústicos que controlan la contaminación auditiva.
- Poco amigable para el medio ambiente debido a sus emisiones de contaminantes. Generalmente, cuando las plantas son de bajo costo, su nivel de tecnología para el control de emisiones es muy bajo.

2 Planteamiento del problema

La forma en la cual la mayoría de personas de carreras profesionales y tecnológicas aprenden sobre motores de combustión Diesel, es a través de la teoría y de la metodología de enseñanza tradicional. Sin embargo, al momento de realizar pruebas o verificar el funcionamiento de sistemas y subsistemas en su quehacer profesional, se tienen algunas falencias relacionadas con la falta de prácticas durante su etapa lectiva. Una de las formas de verificar la información contenida en el manual y de verificar el funcionamiento de componentes, es por medio de ensayos realizados en un banco de pruebas. Estos son diseñados para la medición de las principales variables de desempeño del motor.

Pese a la importancia de estos equipos, la Institución Universitaria Pascual Bravo no cuenta con un banco de pruebas de funcionamiento del motor bajo diferentes condiciones de prueba, y que sea destinado a labores de docencia. Es por esto que la enseñanza de los principales parámetros que caracterizan el motor, se limita en muchos casos a la fenomenología y las prácticas en este campo son limitadas. A saber, no se dispone de un banco para docencia, que permita medir: dosado, consumo de combustible, temperatura de operación, eficiencia, emisiones, entre otros. La falta de estos equipos, puede derivar en inconvenientes para la aplicación de la teoría en el campo.

Considerando que la falta de un banco de pruebas que permita la medición de parámetros efectivos es una dificultad que debe ser resuelta, en el presente proyecto se plantea la adaptación de un grupo electrógeno diésel para la medición de dichas variables. Equipo que permitirá fortalecer los procesos de enseñanza-aprendizaje principalmente en los programas tecnológicos.

3 Justificación

El trabajo investigativo dentro de las instituciones educativas juega un papel muy importante tanto para la universidad como para los estudiantes, permite ir más allá de los aprendizajes obtenidos durante los procesos formativos y cuestionarnos sobre el cómo y el porqué de las cosas.

Gracias a este tipo de investigaciones, los estudiantes reciben de manera práctica conocimientos útiles e importantes en áreas que son muy comunes en el ámbito laboral y que ayudarán a desenvolverse de una manera más eficiente en la ejecución de actividades relacionadas. La academia permite obtener aprendizaje desde la práctica y la teoría, permitiendo obtener bases sólidas a la hora de desarrollar un proyecto. Las prácticas son tan importantes como la teoría pues brinda herramientas basadas en experiencias reales que los acercan al mundo laboral.

Con la presente investigación relacionada con generadores diésel, se pretende entregar a la Universidad, una herramienta de utilidad para la recopilación y el análisis de información relacionada con el desempeño de motores. En la presente investigación se busca acceder a datos sobre temperatura del aceite, consumo de combustibles, dosado, emisión de gases, eficiencia del motor, etc.

Es importante resaltar que, como se mencionó anteriormente, este tipo de energía presenta desventajas representativas frente a las demás y aún más con las dinámicas actuales, en donde las problemáticas ambientales son un tema neurálgico a nivel mundial y son el foco de la discusión; es por esto que la medición de las emisiones generadas por los motores diésel, es altamente importante y representan un conocimiento de interés dentro de la investigación; la implementación de este tipo de prácticas permiten obtener datos reales y ayudan en la toma de decisiones a la hora de comprar un vehículo por ejemplo o en la elaboración de medidas que permitan reducir riesgos para la población, principalmente las relacionadas con emisiones contaminantes.

En este caso en particular, el equipo autógeno que se va a intervenir es una planta relativamente pequeña, utilizada para generar energía para equipos auxiliares y de consumo moderado. Se trata de una planta LAUNTOP de 3 kW de potencia, 3600 revoluciones por minuto, alimentada por combustible diésel y una autonomía de trabajo de 12 horas continuas con la carga mínima de funcionamiento.

4 Objetivos del trabajo de grado

Considerando la anterior problemática, en el presente proyecto se abordó la solución con el planeamiento de los siguientes objetivos.

Objetivo general

Adaptar un grupo electrógeno diésel para la medición de parámetros efectivos como función del grado de carga

Objetivos específicos

- Evaluar modificaciones necesarias para la toma de datos en un grupo electrógeno diésel.
- Diseñar un sistema de medición de potencia y par efectivos en un motor diésel estacionario.
- Diseñar un sistema que permita la medición de consumo de combustible en un motor diésel estacionario.
- Caracterizar experimentalmente el desempeño del motor mediante la medición de parámetros efectivos con diferentes grados de carga.

5 Metodología

El presente proyecto se desarrolló siguiendo tres fases metodológicas, las cuales parten del diseño y la evaluación de modificaciones en la planta, se implementan dichas modificaciones y finalmente, se desarrollan pruebas de funcionamiento del sistema.

Fase 1. Diseño del banco de pruebas. Esta fase comienza con el diseño preliminar del banco de pruebas, además de la selección de los materiales e instrumentos adecuados para las mediciones. Para el desarrollo de esta fase se cuenta con un grupo electrógeno diésel tal como se muestra en la figura 1.



Figura 4. Grupo electrógeno Diesel

Inicialmente se considera el diseño de una estructura adicional de soporte del motor, sin embargo, procurándola mayor rigidez del banco, se opta por mantener la estructura original del sistema.

La instrumentación requerida para la caracterización del sistema se compone principalmente de cuatro elementos; i) medidores de temperatura (considerando los niveles de temperatura alcanzados en el motor, se opta por termocuplas), ii) elementos para la medición de consumo de combustible (se define como hacerlo por un método gravimétrico), y iii) medición de la potencia (por medio del voltaje y la corriente), iv) análisis de gases, para la cual se debe adaptar el tubo de gases de escape del motor. Ver figura 2.

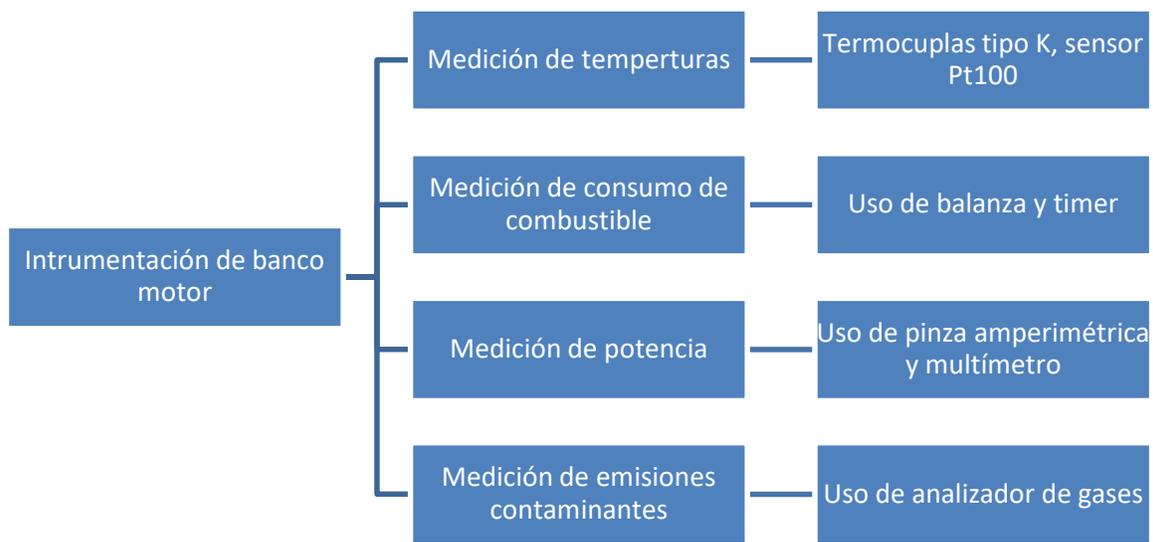


Figura 5. Instrumentación del grupo electrógeno

Fase 2. Definición de componentes. Después de hacer un análisis exhaustivo de los instrumentos ideales para realizar la intervención en el banco de pruebas, se llegó a la conclusión de que la mejor forma de censar la temperatura del motor, es a través de la medición de la temperatura del aceite lubricante del motor, esto se hará a través de una termocupla tipo K que se inserta a través del tapón de la varilla de nivel de aceite del motor, conectada eléctricamente a un visulizador que permitirá visualizar la temperatura censada, con la opción adicional de poder programar un disparo o alarma cuando la temperatura se más elevada de lo normal.

Otra de las variables a tener en cuenta en este proyecto, es la medición del consumo de combustible de la máquina, esto se hará a través de una báscula sobre la que se instalará el tanque de almacenamiento de combustible. Haciendo una relación de peso vs tiempo se puede llegar a saber cuánto es el consumo de combustible y como es su variación cuando la maquina está en vacío y cuando se encuentra a plena carga.

Debido a que el proyecto plantea el desarrollo de un banco que permita variar la condición de carga del motor, se considera el uso de un banco de resistencias como se muestra en la figura 3. Este disipador consta de tres electrodos con sus respectivos suiches. Los electrodos se sumergen en agua. Durante la operación se evapora el agua, por lo que se debe reponer cada vez que sea necesario. Cada electrodo, dispone de un interruptor y de un indicador luminoso, de modo que se pueden emplear diferentes condiciones de carga en el motor.

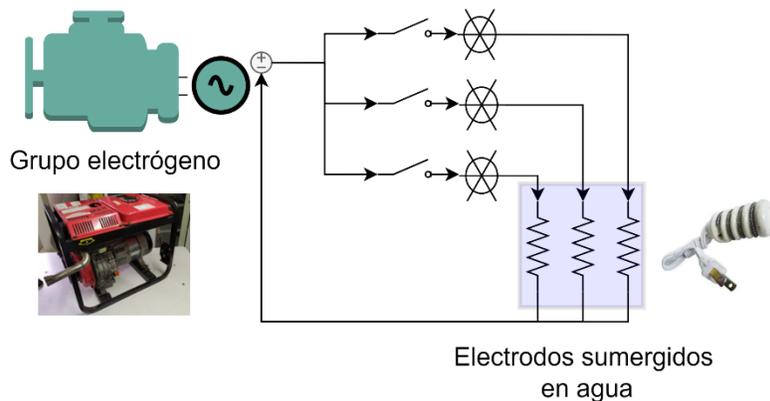


Figura 6. Banco de resistencias y su acople con el grupo electrógeno

Fase 3. Pruebas de desempeño. En esta fase se realizan pruebas de desempeño para comprobar el funcionamiento del banco motor, primero se realiza haciendo uso de banco de bombillos que se encuentra en la institución y posteriormente, con el uso de los electrodos sumergidos en agua. Las pruebas se realizan considerando distintas condiciones de carga.

Por medio del banco de pruebas, se pretende demostrar y analizar los distintos comportamientos de en la planta diésel, como los son, consumo de combustible, análisis de gases y desempeño de la planta ante una carga establecida.

Este banco de pruebas consta de un circuito eléctrico que contiene 3 electrodos de aproximadamente 1000 watts, operando a 110 voltios cada uno. Estos electrodos son encendidos secuencialmente, cuando estén encendidos todos, serán tomado los datos de voltaje y amperaje para carga máxima. A partir de los datos de consumo de combustible y de generación de potencia, es posible establecer el rendimiento de la planta, el consumo específico de combustible, par motor, entre otros.

Mediciones directas:

- Voltaje
- Corriente
- Consumo de combustible
- Temperaturas

Mediciones derivadas

Toda vez que se simula la carga a la planta diésel y se realiza la medición del consumo de combustible, se dispone de información suficiente para determinar los principales parámetros de desempeño del motor. Estos se describen a continuación:

- Potencia efectiva o de generación (N_e). Definida como la cantidad de fuerza aplicada en un cuerpo en relación con su velocidad. Para ello, se hará uso del voltaje y la corriente. Se estima a partir de la generación de la planta, usando:

$$N_e = V * I$$

- RPM: Revoluciones por minuto, se estimará haciendo uso de la frecuencia de generación.

$$\text{RPM} = 60 \times \text{Frecuencia (Hz)} / \text{Número de pares de polos.}$$

- Torque o par motor (M_e): se estima la fuerza de giro que tendrá el banco motor a través de fórmula matemática.

$$M_e (\text{N} - \text{m}) = \frac{N_e (W)}{\omega \left(\frac{\text{rev}}{s} \right) * 2\pi}$$

- Rendimiento efectivo

$$\eta(\%) = \frac{N_e (W) * 10^{-1}}{\dot{m}_{fuel} \left(\frac{\text{kg}}{s} \right) * PCI \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)}$$

- Gases contaminantes: se miden haciendo uso de un analizador de gases para CO, NO, NO2, O2 del cual dispone la Universidad.

Una vez se desarrolla esta última fase se da total cumplimiento a los objetivos planteados en este proyecto.

6 Resultados

El proceso de instrumentación consta de la instalación de un sistema de medición de temperatura de aceite, un medidor de emisiones de gases a la salida de los gases, un sistema para medir el consumo de combustible con respecto al tiempo y un sistema de medición de giro del motor. Además de un sistema para ejercer resistencia al sistema que permita poner a prueba el banco motor y demostrar las capacidades del mismo en diferentes condiciones de carga. Sin embargo, antes de dar inicio al cumplimiento del cronograma se hace un diagnóstico inicial completo a la planta Diésel, encontrando que tenía dificultades para encender. Dicho equipo presentó problemas en las válvulas de admisión y descarga de gases (Figura 4). Sin embargo, es de anotar que para determinar el problema fue necesario el desarme completo de la misma (Figura 5).



Figura 7. Válvulas averiadas. Problema sobre el final del vástago



Figura 8. Evidencia del desarme del motor Diésel

6.1 Banco de pruebas de motores

El esquema del sistema diseñado se presenta en la figura 6, mientras la figura 7 muestra una fotografía del montaje. En él se evidencia el sistema de disipación de carga diseñado y construido en el presente trabajo, el sistema de medición de combustible por medio de balanza, la medición de potencia y la medición de gases de escape.

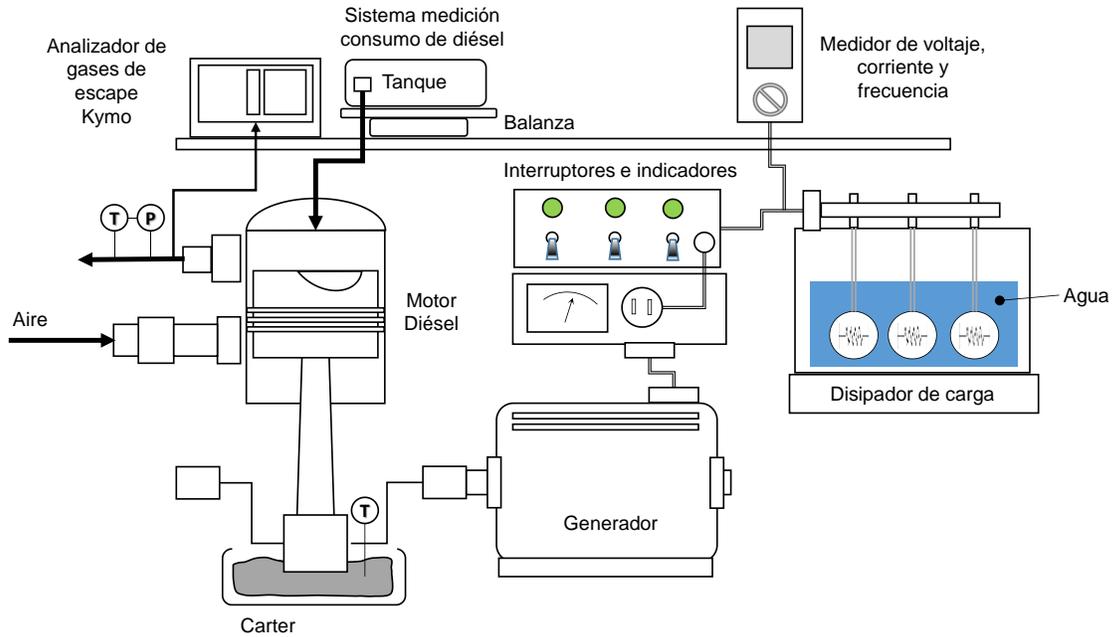


Figura 9. Esquema del sistema diseñado y construido.



Figura 10. Fotografía del montaje durante pruebas experimentales

- Medición de temperatura. Para el sistema de medición de temperatura del aceite se diseña un elemento que incorpora una termocupla la cual reemplazaría el tapón de entrada de aceite, el cual enviaría la información a un panel de control para leer la información.

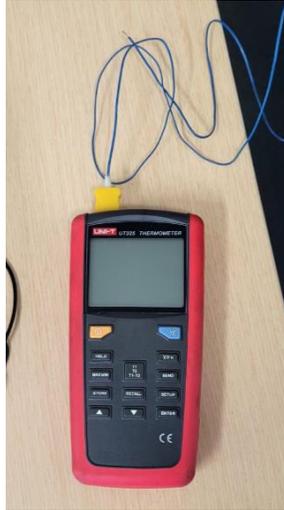


Figura 11. Indicador de termopar, usado durante las pruebas

- Medición de gases de escape. Para el sistema de medida de gases se realiza una adaptación de un medidor de gases KIMO referencia KIGAZ 310 a la salida del sistema de escape del banco motor.



Figura 12. Equipo para el análisis de gases de escape

- Medición de consumo de combustible. Se utiliza una balanza digital que mide el peso en tiempo real. Se lee el peso dado con respecto a un rango de toma de datos y procesado de forma manual (foto). En una segunda etapa del presente proyecto, ás se diseñará un sistema de medición de peso de forma digital y precisa por medio de una celda de carga de 50 kg que enviaría la información recibida en tiempo real para ser leída y procesada en un panel de control.



Figura 13. Medición de consumo de combustible, sistema preliminar 1

- Medición de las rpm del motor. Se realiza de manera indirecta, luego de tomar la información de voltaje y frecuencia de la maquina y programar una fórmula que entregue el valor al panel del control. Es de anotar que el motor solo consta de un par de polos.

$$\eta_s = \frac{120 * f}{2p} * (1 - s)$$

Donde:

- η_s hace referencia a la rotación sincrónica (rpm)
- f es la frecuencia (Hz)
- $2p$ es el número de polos
- s es el deslizamiento

Para finalizar, el sistema que se encarga de emular las diferentes cargas del motor, consta de tres resistencias que están conectadas al sistema eléctrico del banco motor. Se puede hacer uso de una, dos o de las tres resistencias, las cuales serán visible al momento de estar funcionando, porque están sumergidas en un tanque de agua, además de tener un sistema de bombillos que también indica cual está activada (ver figura 12).



Figura 14. Sistema de resistencias

6.2 Pruebas de desempeño

Al realizar las pruebas del banco motor con los elementos instalados, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Parámetros de desempeño energético y ambiental

PARÁMETROS DE DESEMPEÑO		
	Una resistencia	Dos resistencias
Corriente (A)	9,3	17,5
Voltaje (V)	115	112
Frecuencia (Hz)	60	60
Consumo de combustible	Peso inicial: 4951 g Peso final: 4936 g Tiempo: 2 min	Peso inicial: 4928 g Peso final: 4899 g Tiempo: 2 min
Oxígeno, O ₂ (%)	16,3	13,1
Monóxido de carbono, CO (ppm)	605	685
Óxido de nitrógeno, NO (ppm)	246	682
Dioxido de nitrógeno, NO ₂ (ppm)	22	14

Cálculo de parámetros de desempeño

Tabla 3. Cálculo de consumo

	Una Resistencia	Dos Resistencias
RPM	3600	3600
Consumo de combustible (g/s)	0.1250	0.2417
Potencia (kW)	1.0695	1.9600
Par Motor Nm	2.837 Nm	5.199 Nm
Rendimiento (%)	20.4	19.3

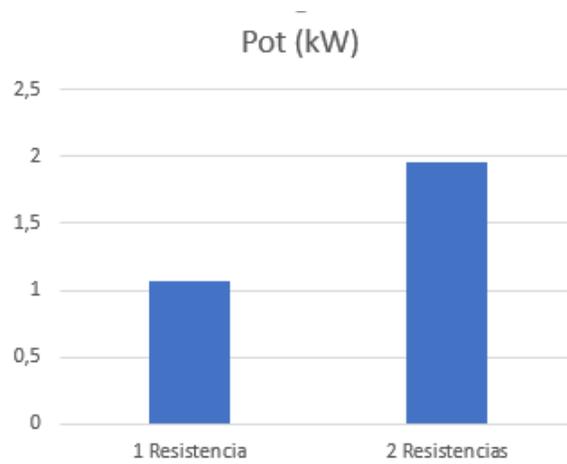


Figura 15. Comparación de potencia 1 y 2 resistencias

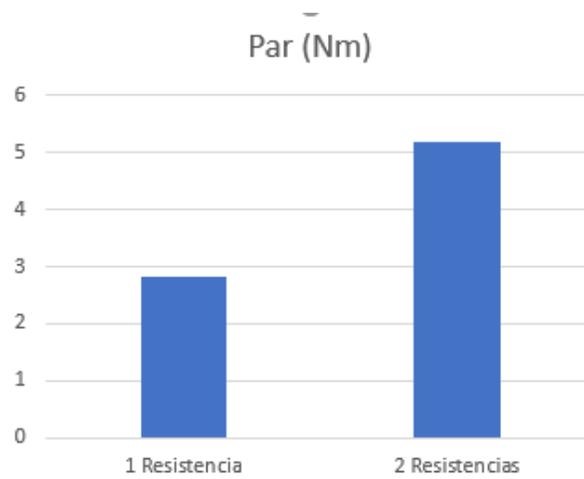


Figura 16. Comparación de par motor 1 y 2 resistencias

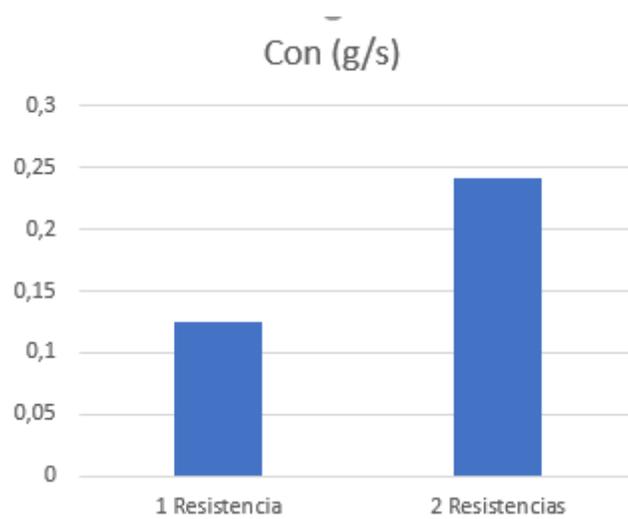


Figura 17. Comparación consumo de combustible 1 y 2 resistencias

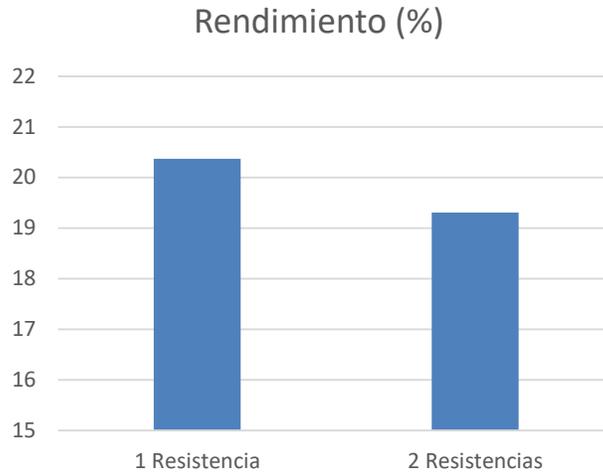


Figura 18. Comparación consumo de combustible 1 y 2 resistencias

Los valores de los parámetros calculados se encuentran acordes a lo esperado para este tipo de plantas. Se evidencia como el consumo de combustible aumenta con el mayor grado de carga mientras la eficiencia disminuye levemente, sin embargo, esta se mantiene alrededor de 20%, estando en el rango esperado para los motores Diésel con bajo nivel de tecnología. Al análisis de resultados no se realiza en detalle, pues se encuentra por fuera de los objetivos de la presente tesis.

7 Conclusiones

Se determina que la instrumentación y puesta a punto del banco de pruebas será beneficiosa para el conocimiento más a detalle del funcionamiento de un sistema de combustión por autoignición a partir de diésel. Por medio de la visualización y el análisis de los datos que arrojó este proyecto nos permite conocer y comparar la información real y la teórica del proceso.

Además de entender que este proceso de instrumentación requiere de conocimientos básicos de diseño mecánico, propiedades de materiales, comportamientos térmicos; los cuales se aplican durante el proyecto para darle solución a cada fase de diseño y aplicación, para que sea un banco funcional a largo plazo.

El consumo de una planta electrógena es directamente proporcional a la carga a la que está sometida y al torque; a mayor carga, aumentan todas estas variables.

Un análisis correcto de las proporciones de los gases puede dar lugar a diagnósticos muy importantes del funcionamiento del motor. Realizando un análisis al aumentar el doble la

carga a la que se somete la planta, se obtienen los siguientes resultados de la prueba de emisión de gases: El oxígeno disminuyó un 20%, el monóxido de carbono aumentó un 13%, el óxido de nitrógeno aumentó un 177% y el dióxido de nitrógeno disminuyó un 36%. Teniendo en cuenta estos valores se puede deducir que los gases más contaminantes aumentan en una gran proporción, los cuales corresponden al monóxido de carbono y el óxido de nitrógeno, como se presenta disminución en la cantidad de oxígeno durante la combustión esto da a lugar a la producción de monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono.

Bibliografía

Castro, R. d. (2015). *ANALISIS, PRUEBAS, Y MANTENIMIENTO ELECTRICO A LA PLANTA DE EMERGENCIA DEL HOSPITAL GENERAL DE TONALA CHIAPAS.*

Navas, O. ., (2005). *Análisis del desempeño de un motogenerador al usar biodiesel como combustible.*

NFPA. (2016). *Norma para sistemas de energía - Reserva y Emergencia.*

Sepúlveda, Á. P. (2016). *SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA ZONAS RURALES (¿EN EL POSCONFLICTO?).*

Urrego, O., & Ramírez, J. W. (2012). *Trabajo de grado: manual de procedimiento para el mantenimiento preventivo a grupos electrógenos.''*