



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD METALURGIA y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Diploma

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Título: Procedimiento para la evaluación de batería de grupos
electrógenos Diesel trabajando en condiciones
climatológicas locales.

Autor: Yosmani Aguilera Rodríguez

Tutor: Ing. Yodelkis Delgado Drubey

Moa 2012

“Año 54 de la Revolución”



DECLARACIÓN DEL AUTOR

Yo: Yosmani Aguilera Rodríguez, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", y de la batería de grupos electrógenos del Municipio Moa, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Yosmani Aguilera Rodríguez
Autor

Ing. Yodelkis Delgado Drubey
Tutor



PENSAMIENTO



“Creo en el milagro de lo que puede hacer el trabajo, de lo que puede hacer la ciencia y de lo que pueden hacer los hombres”.

Fidel Castro Ruz.



AGRADECIMIENTOS

- ❖ Antes que nada debo agradecerle a dios por permitir mi existencia en la tierra y haber permitido estudiar esta carrera que tanto anhelaba.
- ❖ Mis agradecimientos a todos mis familiares y en particular a mi madre Marbelis Rodríguez Ramos, mi padre Fidel Aguilera Rojas y a mi segunda madre Yanelis Quíala Sáname, por darme la ayuda y las fuerzas necesarias para obtener el título de Ingeniero Mecánico.
- ❖ A mis hermanos Yunier Aguilera Rodríguez, Fidel Aguilera Quíala, Yunisleydis Aguilera Quíala y Maikel Melgal Azahares que gracias a su ayuda hoy tengo el título de Ingeniero Mecánico.
- ❖ Al intachable claustro de profesores en especial a: Blanca Marjoris Hernández Serra, Tomás Fernández Columbie, Geovany Ruiz Martínez, Marbelis Lamorú Urgelles, Yoalbys Retirado Mediaceja, Roberto Sierra Perez y Héctor Laurencio Alfonso entre otros, por haberse esmerado tanto para que yo obtuviera este título de ingeniero mecánico.
- ❖ A mi tutor Yodelkis Delgado Drubey por la dedicación que me ha prestado y por darme la ayuda necesaria para obtener este maravilloso título de Ingeniero Mecánico.
- ❖ A mis amigos Segundo Naranjo Rómulo, Julio C. Gainza Domínguez, Arisneysis Rivas Rodríguez, Floriselis Gonzales Cruzata, Yaneris J. Zaldívar Molina, Murphis Pompa Larrasabal y Yurisley Valdez Mariño entre otros, a todos mis compañeros de estudios y en especial a: Marlo Leyva Tarrafa, a una persona que aprecio como si fuera un padre Arístides Alejandro Legra Lobaina, en fin gracias a todos, les ruego disculpa si se me queda alguien. Solo me resta decir que estoy satisfecho por toda la colaboración de todos en la obtención de mi título ya que han sido un pilar muy importante en mi formación profesional.

¡“A TODOS GRACIAS”!



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a mi querida madre Marbelis Rodríguez Ramos, a mi padre Fidel Aguilera Rojas, a mis hermanos Yunier Aguilera Rodríguez, Fidel Aguilera Quíala, Yunieleydis Aguilera Quíala y Maikel Melgal Azahares, a mi tutor Yodelkis Delgado Drubey, por la dedicación que me han prestado y por la ayuda necesaria para lograr este título tan maravilloso de Ingeniero Mecánico.



RESUMEN

En el presente trabajo se tuvieron en cuenta expresiones teóricas, empíricas relacionadas con los métodos estadísticos y de selección y ajuste de motores de combustión interna en condiciones ambientales específicas; obtenidos a partir de la consulta realizada en las bibliografías existentes. Se hizo la caracterización de la batería de grupos electrógenos de Moa, así como el diseño de experimento apoyado en la teoría de Taguchi, además se determinó que los motores de combustión interna constituyen los puestos claves y se propusieron medidas encaminadas al mejoramiento de la eficiencia energética de esta instalación.

Se estableció el procedimiento de análisis para la determinación del rango de normalidad del índice de consumo y su rango de variación para trabajos con densidades variables y constantes, que fueron 227, 65 a 231, 46 g/kWh y 223, 88 a 229, 33 g/kWh respectivamente. Además se analizan el índice de consumo y la potencia de servicio de la batería bajo condiciones climatológicas del sitio. Estas condiciones climatológicas no tienen gran influencia en la variación de la potencia de servicio y el índice de consumo de combustible, ellos están alrededor de 1368, 42 kW y 222, 19 g/kWh para un régimen de explotación de la batería al 75 % de carga. Además, en el motor 8, el rendimiento efectivo aumenta desde 26, 7 % hasta 36, 9 %; el consumo específico efectivo disminuye desde 229, 14 g/kWh hasta 223, 14 g/kWh, como los principales parámetros efectivos.

Finalmente se realizó una valoración económica, que muestra un consumo de 52246,7 barriles de petróleo, en el periodo evaluado. Se analizó el impacto que tienen los motores en el medio ambiente.

**ABSTRACT**

In the presently work was kept in mind theoretical empiric expressions; related with the statistical methods and of selection and adjustment of motors of internal combustion under environmental conditions specify; obtained starting from the consultation carried out in the existent bibliographies. The characterization of the generations set of Moa was made, as well as the experiment design supported in the theory of Taguchi, was also determined that the internal combustion constitute the key positions and they intended measures guided to the improvement of the energy efficiency of this installation.

The analysis procedure settled down for the determination of the range of normality range of the consumption index and its variation range for works with variable and constant densities that were 227, 65 a 231, 46 g/kWh and 223, 88 a 229, 33 g/kWh respectively. The consumption index and the power of service of the battery are also analyzed under climatological conditions of the place. These climatological conditions don't have great influence in the variation of the power of service and the index of consumption of fuel, they are around 1368, 42 kW and 222, 19 g/kWh for a régime of operation from the battery to 75 % load. Also, in the motor 8, the effective yield increases from 26, 7 up to 36, 9%; the consumption specific cash diminishes from 229, 14 up to 223, 14 g/kWh, as the main effective parameters.

Finally was carried out an economic valuation that shows a consumption of 52246, 7 barrels of petroleum, in the period evaluated. The impact was analyzed has the motors to the environment.



INDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1- Introducción.	4
1.2- Revisión bibliográfica.	4
1.2.1- Estado del arte.	4
1.2.2- La generación distribuida.	4
1.2.3- Trabajos precedentes.	5
1.3- Generación distribuida.	8
1.3.1- Beneficios de la generación distribuida.	9
1.3.2- Perspectivas de la generación distribuida.	9
1.4- Generación distribuida sincronizada en la provincia Holguín.	10
1.4.1- Generación distribuida sincronizada en el municipio Moa.	11
1.5- Generalidades de los grupos electrógenos Diesel.	12
1.5.1- Descripción general del funcionamiento de los grupos electrógenos Diesel	12
1.6- Generalidades sobre el diseño y análisis estadístico.	14
1.6.1- Observaciones sobre el diseño de experimento e ingeniería de la calidad.	14
1.6.2- Análisis estadístico.	15
1.7- Conclusiones del capítulo 1.	17
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DEL MUNICIPIO DE MOA	
2.1- Introducción.	18
2.2- Materiales, métodos de medición y control del proceso.	18
2.2.1- Sistema de adquisición de datos SCADA.	19
2.2.2- Método de la tabla de aforo.	20
2.3- Diseño teórico del proceso de medición.	21
2.4- Determinación del índice de consumo de combustible.	23
2.5- Análisis estadístico de la base de datos considerando densidad constante, periodo, enero 2009- enero 2010.	24
2.6- Análisis estadístico base de datos densidad variable.	30
2.7- Datos obtenidos en la instalación.	31
2.7.1- Principales resultados.	32
2.7.2- Principales resultados para base de datos a densidad variable.	33



2.8-	Metodología de cálculo de los parámetros indicados y efectivos.	34
2.9-	Método de prueba en motores según norma ISO 3046-1.	35
2.10-	Metodología para el análisis de las condiciones climatológicas.	36
2.11-	Datos obtenidos en la instalación	37
2.12-	Conclusiones capítulo 2.	38
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		
3.1-	Introducción.	39
3.2-	Análisis de los resultados.	39
3.2.1-	Establecimiento de la estructura del consumo de portadores energéticos.	39
3.2.2-	Determinación de los equipos principales consumidores de portadores energéticos en la instalación.	39
3.2.3-	Análisis del índice de consumo de combustible.	42
3.2.4-	Resultados principales del motor característico de la instalación.	44
3.2.5-	Obtención de las curvas características de carga.	44
3.2.6-	Parámetros principales del batería en su interacción con el medio ambiente.	47
3.3-	Diagnóstico de recorrido.	49
3.4-	Programa de concientización, motivación y capacitación especializada.	49
3.5-	Aplicación de medidas de ahorro viables en corto plazo.	50
3.6-	Valoración económica.	51
3.7-	Impacto medio ambiental de la batería de grupos electrógenos, desde el punto de vista del análisis de los motores de combustión interna.	52
3.7.1-	Formas de acción del MCI sobre el medio ambiente.	52
3.7.2-	Toxicidad de los gases de escape del MCI y formas para reducirla.	53
3.7.3-	Contaminación provocada por el motor Diesel.	54
3.7.4-	Afectaciones ambientales provocadas por los MCI del GE Moa.	56
3.8-	Conclusiones del capítulo 3.	58
	CONCLUSIONES GENERALES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA	62
	ANEXOS	64



INTRODUCCIÓN

En muchos países en vías de desarrollo los grupos electrógenos (GE) son la más difundida fuente de electricidad fiable. Suministran energía a aquellas comunidades que no disponen de medios para conseguirla, mejorando la calidad de vida en muchas de las regiones menos desarrolladas del mundo.

Para llevar a cabo la Revolución Energética en Cuba, fue necesario romper con los esquemas tradicionales en la generación de energía eléctrica; el país contaba con grandes plantas termoeléctricas, algunas construidas luego del triunfo de la Revolución, que en su momento desempeñaron un importante papel; pero se habían convertido en un problema por su alto consumo de combustible e insumos, y además a causa de su mal estado técnico y tecnológico acumulado durante el período especial, sufrían constantes averías y debían salir del sistema electroenergético nacional (SEN). Como las plantas estaban dispersas en puntos distantes de los consumidores, se producían altas pérdidas en la transmisión de electricidad. Así comenzaron a llegar a Cuba baterías de grupos electrógenos Diesel (GED) de alta calidad y eficiencia, y sincronizadas al SEN apoyando actualmente a las termoeléctricas, generando electricidad durante las horas del día en que tiene lugar el pico en la demanda. Hasta la fecha se han incorporado más de 1 100 MW provenientes de los GE situados en 116 de los 169 municipios, lo cual representa más del 40% de la energía necesaria en el territorio cubano en los horarios de máxima demanda.

Se puede apreciar la importancia del esfuerzo inversionista que realiza el gobierno de la República de Cuba en el mejoramiento de la producción y distribución de energía eléctrica, pero más importante aún, son los recursos humanos, materiales y financieros que debe dedicar la sociedad para mantener y reparar los equipos de generación existentes. Por lo que la reducción máxima de los costos con los equipos de generación, acompañado del máximo aprovechamiento de su capacidad de trabajo, es una cuestión de interés para la economía nacional.

Dado el significado estratégico que poseen los GE y teniendo en cuenta que el país no los produce, se considera muy útil el análisis de sus componentes desde el punto de vista funcional.



Situación Problemática

La explotación de la Estación Automata de Generación Distribuida (GD), comprende un complejo sistema cuyo propósito es la generación de energía eléctrica. Abarca el almacenamiento de combustible, su distribución y suministro hasta los motores de combustión interna Diesel (MCID), el cual funciona utilizando la energía química del combustible para transformarla en energía mecánica, utilizada por el árbol del generador sobre el paradigma de la GD.

La experiencia actual muestra algunas ineficiencias y deficiencias en el sistema. El suministro y beneficio del combustible presenta un comportamiento inadecuado debido a que no cumple totalmente con las normas requeridas por el fabricante. Además el inadecuado beneficio (limpieza, separación de las partes más sólidas, o más densas y contaminantes) que entorpece el funcionamiento del MCID, produciendo desgaste de las válvulas, obstrucción de los filtros, calzado de las válvulas, mala combustión.

Es importante también, el análisis de los procesos de enfriamiento y lubricación del motor, dados por el fabricante, considerando las condiciones reales de explotación.

La estimación de la potencia entregada por los MCID y la potencia requerida por el generador en la condición necesaria para que este entregue la potencia eléctrica demandada por el sistema. Al existir irregularidades en el trabajo del motor se afectan todos los índices de consumo nominales dados en las características técnicas del motor. Esto implica afectación de la energía mecánica entregada por los MCID, es decir, del momento torsor y velocidad de rotación del árbol cigüeñal. Estas cuestiones abordadas influyen negativamente en el parámetro más importante de funcionamiento de la batería el índice de consumo de combustible, de ahí que este tenga grandes variaciones en el tiempo evaluado.

A raíz de los elementos antes descritos se declara como **Problema**:

- ***Se desconoce el comportamiento de la potencia, el índice de consumo de combustible de la batería bajo condiciones de climatológicas locales y los parámetros efectivos del motor de combustión interna 8 de la batería de grupos electrógenos de Moa para las condiciones actuales de explotación.***

Como **objeto de estudio** de la investigación se plantea:

- ***Batería de grupos electrógenos del municipio Moa***



Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

- ***El análisis del proceso de producción de energía en la batería a partir de la norma ISO 3604-1, la teoría de los motores de combustión interna, conjugado con los métodos estadísticos existentes, permitirá el establecimiento del rango de variación del índice de consumo de combustible, de la batería de grupos electrógenos de Moa, la obtención de los parámetros de trabajo en las condiciones climatológicas locales, y los parámetros efectivos de motor 8 de dicha instalación.***

En correspondencia con la hipótesis planteada, se define como **objetivo general del trabajo**:

- ***Establecer un rango de variación del índice de consumo de combustible que caracterice el trabajo de la batería de grupos electrógenos del municipio Moa, y los parámetros de trabajo en las condiciones climatológicas locales.***

Objetivos específicos:

- ***Caracterizar la batería de grupos electrógenos del municipio de Moa.***
- ***Analizar estadísticamente el comportamiento del equipamiento existente en la batería y su índice de consumo de combustible.***
- ***Analizar los parámetros de trabajo bajo condiciones climatológicas locales.***

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes **tareas del trabajo**:

- ***Análisis del estado de la generación distribuida y la utilización de motores de combustión interna con este fin.***
- ***Descripción del procedimiento para el análisis estadístico del índice de consumo de combustible y los equipos.***
- ***Análisis del procedimiento de los parámetros de trabajo bajo condiciones climatológicas locales.***
- ***Establecimiento del rango de variación de índices de consumo de combustible.***
- ***Valoración de los resultados y del impacto medioambiental del proceso de generación.***



CAPÍTULO 1.

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1- Introducción

El índice de consumo de combustible es un parámetro que por sus irregularidades y continuas variaciones, por depender de varios parámetros ha sido sometido en varias ocasiones a trabajos de investigación. El mismo representa un pilar importante en el funcionamiento de los GE ya que a través de este se verifica como trabaja el equipo, por tanto el objetivo de este capítulo es *describir la GD como método de producción de energía eléctrica, a través de las diferentes bibliografías consultadas, además de proponer el diseño teórico del proceso de medición.*

1.2- Revisión bibliográfica

1.2.1- Estado del arte

La estadística o los métodos estadísticos como son llamados algunas veces están jugando un papel sumamente importante en casi todas las fases del ser humano. Anteriormente solo trataba los asuntos de estados respondiendo así su nombre, actualmente la influencia de la estadística abarca la agricultura, biología, química, comunicaciones, economía, educación, electrónica, ciencia política, psicología, sociologías y otros campos de la ciencia y la ingeniería (MILLER, 2005).

La teoría de la probabilidades se inicia a principio del SIGLO XVII como resultado de investigaciones sobre diversos juegos de azar realizadas por algunos matemáticos como Huygens, Fermat, Bernoulli y otros. Durante mucho tiempo estos juegos constituyeron la única base concreta para el desarrollo de los conceptos y métodos de las teorías de las probabilidades. Más tarde debido al desarrollo de algunas disciplinas que aplican esta teoría fue necesario fundamentarla y desarrollarla sobre técnicas analíticas más avanzadas. Algunos de los científicos que trabajaron en este sentido fueron: Gauss, Laplace, De Moivre y Poisson, sin embargo no es hasta finales del siglo pasado y principios de este cuando se comienzan a dar pasos para dotar de una estructura matemática sólida a las teorías de las probabilidades.

1.2.2- La generación distribuida

La GD representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada, aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación



eléctrica. La industria eléctrica se fundamentó en la generación en el sitio del consumo, después, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia los esquemas de generación centralizada (GC), precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor. Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con corriente alterna y transformadores, lo que permite llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación.

La GD, aunque no existe una definición como tal, diversos autores han tratado de explicar el concepto, que a grandes rasgos se puede decir que es generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética en lo que respecta a tecnologías disponibles. La capacidad de los sistemas de GD varía de cientos hasta 10 000 kW.

El éxito de la difusión y fomento de la misma radica en la existencia de tecnologías de punta que permiten, para potencias pequeñas, generar energía eléctrica en forma eficiente, confiable y de calidad. Las tecnologías de generación se dividen, a su vez, en convencionales y no convencionales. Las primeras incluyen a las turbinas de gas, motores de combustión interna (MCI) y micro turbinas. Las segundas se refieren a las energías no renovables, como la mini hidráulica, geotérmica y biomasa, las turbinas eólicas, celdas de combustibles y celdas fotovoltaicas. La aplicación de una u otra tecnología depende de los requerimientos particulares del usuario. La mayoría de las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica alcanzan una confiabilidad del 99,9 % o de “tres nueves”, equivalentes a 8,7 h al año fuera de servicio.

1.2.3- Trabajos precedentes

En el desarrollo de la investigación se consultaron diferentes trabajos y estudios, la revisión bibliográfica estuvo dirigida en dos líneas fundamentales: una relacionada con el enfoque teórico-metodológico y la otra con el científico, técnico y práctico.

Los trabajos precedentes están estrechamente vinculados con la explotación de los MCI, ya que estos constituyen el objeto fundamental de la producción de energía a partir de GE.



Reyes et al. (1983) realiza el estudio sobre los problemas principales de la teoría, el funcionamiento óptimo de los MCI y su explotación. Los autores definen con claridad el análisis de los ciclos termodinámicos, el intercambio de gases, los procesos de combustión, expansión y escape. Establecen las metodologías para, el balance térmico y de tensiones y para la determinación de los parámetros principales que caracterizan a los MCI. Explican las particularidades de los sistemas básicos del MCI y finalmente valoran la economía del motor y el impacto causado por este al medio ambiente.

En otra bibliografía consultada el autor realiza descripciones sobre los bancos de prueba enumerando los elementos que los componen, entre los que se puede mencionar el fundamento del banco sobre el que se monta el motor y el freno, los sistemas de alimentación de combustible, de gases de escape, lubricación, enfriamiento y las estructuras complementarias. Menciona los equipamientos principales, los parámetros a medir y termina con ejemplos prácticos de una instalación de prueba. La obra sirve como guía en la realización de prácticas de laboratorio para MCI (Reyes et al., 1987).

El análisis de la construcción y las particularidades del cálculo de los mecanismos y sistemas de un MCI, son el objetivo principal en la obra “Elementos de construcción y cálculo de los MCI” en la que se establece la metodología para el cálculo de los mencionados mecanismos (Choy et al., 1983).

Un aporte importante fue dado por Fernández (1998) al efectuar el estudio sobre la influencia de los combustibles en funcionamiento de los MCI. Señala las cuestiones generales sobre el origen del petróleo y su industria extractiva. Se analizan las diferentes características de los carburantes y su influencia en el trabajo de los motores. Refleja los resultados experimentales de un gran número de investigaciones desarrolladas en el Departamento de Transporte Automotor del “Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría”. En algunos casos los resultados expuestos se definen, sobre la base de los ensayos realizados.

Los lubricantes juegan un papel fundamental en el proceso de desgaste entre las piezas de los MCI. Coello et al. (2005), brinda una breve panorámica acerca de los aceites lubricantes, su obtención y principales características, así como las especificaciones de la calidad y viscosidad necesarias para ser empleadas en los MCI mediante el análisis del contenido de metales de desgaste en los aceites



lubricantes usados. Teniendo en cuenta la evolución que ha tenido el diagnóstico técnico de motores Diesel, se aborda el análisis de laboratorio del aceite, asimismo determinan las causas por las que el aceite se agota y debe salir de servicio. Luego establece la valoración económica y evalúa las afectaciones provocadas por los MCI y los aceites lubricantes al medio ambiente.

Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado "efecto invernadero", provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global. Torres et al. (2004) valora el impacto ambiental del motor de combustión interna como principal fuente energética de los agregados agrícolas, dado por los niveles de emisión de sustancias tóxicas, de los "gases de invernadero" y de ruido durante su funcionamiento. Se ofrecen los métodos de reducción de la toxicidad y el ruido en los motores de encendido por chispa y por compresión, se ofrecen los valores de los niveles de emisión de sustancias tóxicas en los dos principales tipos de MCI, así como los niveles de ruidos alcanzados en firmas de tractores de reconocido prestigio mundial y se valora la situación existente en Cuba en cuanto a estos dos factores con gran influencia ambiental.

Tavarez (2007) realiza un cálculo a los parámetros que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna 7 de la batería de GE de Moa.

También resulta de utilidad la revisión de los trabajos realizados por CEEMA (Centro de estudios de la energía y medio ambiente) de la universidad de Cienfuegos, los cuales están relacionados con la determinación de factores de correlación y un fuerte análisis de la producción equivalente.

Velásquez (2008), posteriormente realiza la valoración y análisis por métodos estadísticos, del comportamiento del índice de consumo de combustible, estableciendo un procedimiento para el análisis estadístico y posterior determinación de un rango de variabilidad del índice de consumo de combustible.

Duran (2009) estableció el procedimiento de análisis índice de consumo y la potencia de servicio de la batería bajo condiciones climatológicas del sitio.



Realizando estos cálculos con valores promedios mensuales durante un periodo determinado. En este análisis se evidencia que las condiciones climatológicas no tienen gran influencia en la variación de la potencia de servicio y el índice de consumo de combustible. Además, incluye un análisis del el motor 3, verificando los parámetros efectivos que caracterizan dicho motor.

Noa (2009) realizó estudio del comportamiento de las diferentes variables que rigen el trabajo de las baterías de GE, a través del empleo de las técnicas heurísticas, (redes neuronales, lógica fuzzy, y algoritmos genéticos).

1.3- Generación distribuida

Uno de los cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética radica en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica (La GD por todo el país). Esta se basa en la instalación de baterías, dispersas a lo largo de todo el territorio nacional, y sincronizados al sistema electroenergético nacional (SEN). Los equipos son de alta disponibilidad y fácil instalación, además niveles de potencia unitaria inferiores a los de las termoeléctrica, por lo que, la salida de funcionamiento de alguno de ellos no crearía nunca una crisis como la ocurrida en el 2004 cuando se averiaron las CTE, “Lidio Fernández Pérez” y “Antonio Guiteras”.

La generación de electricidad a partir de GE Diesel (GED) presenta altos valores de consumo de combustible Diesel de alta calidad, aceite, líquidos refrigerantes, elevados costos de mantenimientos y reparaciones, en tiempos de operación no muy grandes.

Al introducir la GD en el SEN a partir del año 2005, ha sido notable el incremento de la capacidad de generación del país y la salida paulatina de la crisis vivida en el año 2004, logrando actualmente contar con una potencia instalada en el SEN de 4225 MW. La operatividad de los emplazamientos de la GD ha permitido alcanzar mayores valores de disponibilidad e invulnerabilidad del sistema. En el país existen perspectivas de incremento de la potencia instalada para el 2009 en la GD a partir de completar los 161 emplazamientos de consumo de combustible Diesel, instalar paulatinamente 60 emplazamientos de consumo de combustible fuel oil y Generadores Eólicos, logrando de esta forma una potencia instalada en la GD de 3085 MW. A pesar de los logros alcanzados es evidente la necesidad de estudiar a



fondo estos sistemas en función de la eficiencia energética y la efectividad en el servicio.

1.3.1- Beneficios de la generación distribuida

El auge de los sistemas de GD se debe a los beneficios inherentes a la aplicación de esta tecnología, tanto para el usuario como para la red eléctrica. A continuación se listan algunos de los beneficios:

a) Beneficios para el usuario

- Incremento en la confiabilidad.
- Aumento en la calidad de la energía.
- Reducción del número de interrupciones.
- Uso eficiente de la energía.
- Menor costo de la energía (en ambos casos, es decir, cuando se utilizan los vapores de desecho, o por el costo de la energía eléctrica en horas pico).
- Uso de energías renovables.
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.
- Disminución de emisiones contaminantes.

b) Beneficios para el suministrador

- Reducción de pérdidas en transmisión y distribución.
- Abasto en zonas remotas.
- Libera capacidad del sistema.
- Proporciona mayor control de energía reactiva.
- Mayor regulación de tensión.
- Disminución de inversión.
- Menor saturación.
- Reducción del índice de fallas.

1.3.2- Perspectivas de la generación distribuida

Diesel

Los GE de consumo de combustible Diesel, es decir los MTU, GUASCOR, SCANIA, se instalaron en nuestro país con el objetivo de dar una solución rápida a los problemas ocasionados por la crisis energética del año 4004. Representaron el incremento de la generación y el restablecimiento paulatino de la potencia disponible. La generación de electricidad a partir de GED presenta altos valores de



consumo de combustible Diesel de alta calidad, aceite, líquidos refrigerantes, elevados costos de mantenimientos y reparaciones, en tiempos de operación no muy grandes. Todo lo antes expuesto ligado a la existencia de tecnologías aplicables a la GD, que permiten aprovechar el crudo nacional para la generación de electricidad a conllevado a tomar importantes decisiones.

Fuel oíl

La existencia de tecnologías que permiten el aprovechamiento del crudo nacional en la generación de electricidad para la GD, ha sido un aspecto de importantes análisis. Partiendo de las deficiencias de la generación con GED se tiene como perspectiva lograr sistemas estables de generación de energía eléctrica a partir de unidades con consumo de combustible fuel oíl y mantenimientos con cantidad de horas superiores a los GED.

En el país se instalarán 60 Emplazamientos de consumo de combustible fuel oíl de estos, 40 serán tecnologías HYUNDAI con unidades de 1, 7 y 2, 5 MW. Con tecnología MAN B&W serán 20 unidades de 1,4; 1,7; 3,8; 8,7 y 18 MW. Estos emplazamientos tendrán un régimen de funcionamiento de 24 h al día. El ciclo de mantenimiento planificado es de 1000 h para la HYUNDAI Y la MAN & W entre las 1000 y las 2000 h. Las reparaciones capitales se realizarán cada 24000 y 30000 h de funcionamiento, es decir de 34 a 42 meses.

Este tipo de combustible a utilizar para los emplazamientos es de menor calidad del Diesel, pero resulta factible la utilización de este tipo de tecnología debido a que nuestro país puede garantizar el suministro a los emplazamientos, con el crudo de extracción nacional, con un menor costo e índices de consumo comparados con el Diesel.

1.4- Generación distribuida sincronizada en la provincia Holguín

En la provincia de Holguín se encuentran instalados 119 GE MTU de la serie 2000 y 4000 de consumo de combustible Diesel, 31 en subestaciones de distribución aisladas y 88 baterías ubicadas en subestaciones de 220 y 110 kV, distribuidos por sus municipios, los que suman una potencia de 207 MW.

Se instalarán además de la tecnología MAN B&W emplazamientos, de consumo de combustible fuel oíl, que están ubicados en Punta Gorda en el municipio de Moa, este emplazamiento estará compuesto por 20 unidades, cada una de 8,730 MW. Guirabo en el municipio de Holguín compuesto. Por 7 unidades de 3,85 MW cada



una. Mayabe, en el municipio de Holguín, compuesto por 4 unidades de 3,85 MW cada una y Nipe, en el municipio de Mayarí, compuesto por 16 unidades de 1,71 MW cada una. La puesta en marcha de todos estos emplazamientos de la tecnología MAN, suma una potencia de 244 MW, los que estarán disponibles a régimen de generación constante.

En la provincia hay montados 3 estaciones de prueba para medir la velocidad del viento, con equipos instalados a 20, 30 y 50 metros de altura, en las localidades de Gibara, Moa y Pinares de Mayarí.

Para que la utilización de esta tecnología resulte factible, la velocidad mínima de los vientos debe de superar los 6 m/s. Este tipo de tecnología brinda importantes beneficios a la preservación del medio ambiente pues no consume combustible fósil. Las mediciones de viento realizadas en Gibara dieron como resultado que la velocidad mínima de viento en este lugar es de 9 m/s, este resultado conllevó a la realización de proyectos de inversión para la puesta en marcha de tres parques eólicos de prueba, los que estarán ubicados en Punta Bejuquero, Punta Rosa y Punta Goleta con unidades de 850 kW para sumar una potencia de 5,1 MW, para un total de 6 unidades.

1.4.1- Generación distribuida sincronizada en el municipio Moa

La GD del municipio Moa está constituida por 5 emplazamientos los cuales suman 14 GE de la firma MTU, de la serie 2000 y 4000. Estos emplazamientos se encuentran ubicados en Sagua de Tánamo, El Carmen, Frank País, Barredera y Moa.

En el municipio se realizó el montaje de un emplazamiento de consumo de combustible fuel oil, que están ubicado en Punta Gorda. Empleando la tecnología MAN B&W con una potencia de 8,730 MW por unidades y con un total de 20 unidades a instalar, logrando así una potencia total instalada de 174,6 MW a régimen de generación constante. Disponer de este valor de potencia en el municipio y teniendo en cuenta las características de consumo de energía del mismo, implicaría una disminución significativa de la potencia a transmitir por líneas aéreas de larga distancia, aprovechando aun más la potencia instalada y disminuyendo así las pérdidas eléctricas por efecto Joule en dichas líneas.



Con el objetivo de aprovechar el potencial eólico del municipio, se han instalado estaciones de pruebas en varios lugares del territorio y a diferentes alturas con el objetivo de determinar el potencial mínimo de viento que resulte factible para la utilización de esta tecnología.

1.5- Generalidades de los grupos electrógenos Diesel

1.5.1- Descripción general del funcionamiento de los grupos electrógenos Diesel

Los GED están constituidos por un motor de combustión interna y un generador sincrónico trifásico además de una serie de dispositivos que son los encargados del suministro de las materias primas necesarias en el proceso de combustión y generación de electricidad, unido a un número de equipos secundarios necesarios para el funcionamiento eficiente del equipamiento y la distribución de la energía. En el país se encuentran instalados distintos tipos de emplazamientos, en dependencia de la cantidad de GED que presenten, la cual puede variar desde 1 hasta 32 grupos, en dependencia de la demanda que se necesite la zona del emplazamiento, ya que el objetivo de la GD es acercar la fuente al consumidor para asegurar el suministro de energía y disminuir las pérdidas por transmisión.

La batería del municipio Moa (110kV) está constituida por 8 GED serie 16V-4000-G81, suministrados por la firma MTU alemana. El Emplazamiento utiliza 4 Tanques de Recepción (TQ) de $100m^3$ cada uno.

El combustible llega al emplazamiento en carros cisternas los cuales son acopladas a los racores de 3 conectados a dos válvulas para permitir el paso del combustible el cual es succionado por dos bombas de recepción de $60m^3/h$, el combustible pasa por dos filtros MECH 20, de los cuales uno se encuentra en reserva, estos filtros tienen un manómetro antes y después de su conexión para la medición de diferencia de presión y ejecutar la limpieza cuando presente partículas de suciedad. A la salida del filtro, el combustible es impulsado por los impelentes de la bomba de recepción, la cual descarga a través de una válvula hacia el cabezal de entrada de los Tanques de Recepción, el cual esta dividido en dos secciones con válvulas independientes, para alimentar a dos tanques cada sección. Los TQ tienen una toma en su interior a 8 cm del fondo para evitar la absorción de materias asentadas, por gravedad el combustible luego de la apertura de las válvulas es llevado a la succión de las

bombas y la centrífuga donde es sometido a un proceso de limpieza y purificación para eliminar toda partícula sólida, sedimentos y el por ciento de agua que puede contener, el agua y demás sustancias de desecho resultantes de este proceso se evacuan al pozo oleaginoso, donde van todas las líneas de los drenajes de los cubetos y del área de descarga, del pozo oleaginoso succiona una bomba de $2 m^3 / h$ para evacuar el contenido del mismo al TQ 4 para ser tratado posteriormente en la centrífuga y recuperar el combustible que se encuentre en la mezcla. El combustible limpio es impulsado por la centrífuga al Tanque de Operaciones con una presión de $2,5 bar$ a través de una línea de tubería 2, el combustible almacenado se distribuye a todos los GED del emplazamiento por un sistema de válvulas, para facilitar el llenado de los tanques interiores de cada contenedor se conectan las bombas de combustibles de los grupos que están gobernadas por el sistema de control, arrancan automáticamente cuando los tanques se encuentran al 40% de su capacidad, en caso de avería se cuenta con una bomba de accionamiento manual. El sistema de combustible inyecta el Diesel en los cilindros donde ocurren los procesos de admisión, compresión, explosión y escape, transmitiendo esta energía al cigüeñal, produciendo de esta forma el torque necesario para mover el generador trifásico acoplado al motor, creando una corriente inducida y con ella un campo magnético produciendo una potencia eléctrica. A la salida de los GED se encuentran los transformadores elevadores de tensión de $480V/13.8kV$, los cuales tiene sus devanados sumergidos en aceite, los devanados secundarios de estos transformadores se conectan a un transformador de salida de $20MVA$, el cual es el encargado de elevar el voltaje de $13.8kV/33kV$, que es el voltaje de conexión de la batería con el SEN. (Ver la figura 1.1)

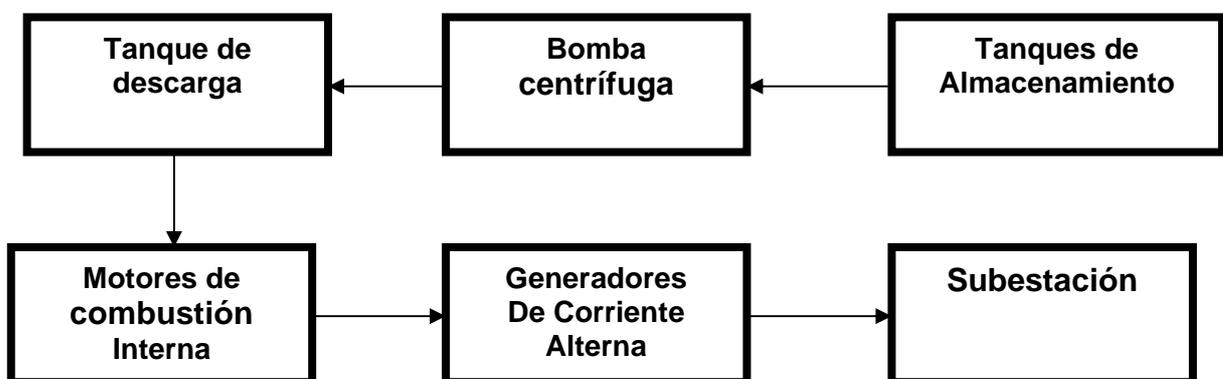


Figura 1.1. Esquema del flujo tecnológico de la batería de GE de Moa.



1.6- Generalidades sobre el diseño y análisis estadístico

1.6.1- Observaciones sobre el diseño de experimento e ingeniería de la calidad

De acuerdo con los criterios de Taguchi es necesario tener en cuenta tres etapas en el desarrollo de un producto o proceso: Diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancia.

En el diseño del sistema, el ingeniero utiliza principios científicos y de ingeniería para determinar la configuración básica. Ejemplo si se desea medir una resistencia desconocida, es posible usar conocimientos previos de circuito eléctricos para determinar que el sistema básico debe configurarse con un puente de Wheatstone.

En la etapa del diseño de parámetro, se determinan los valores específicos para los parámetros del sistema. Esto incluirá la elección de los valores nominales de resistores y fuente de alimentación para el puente de Wheatstone, el número y tipo de máquina colocada de componente para el proceso de montaje de tarjetas de circuitos impresas, etc. Usualmente el objetivo es especificar estos valores nominales de los parámetros de tal modo que se minimice la variabilidad transmitida por variable incontrolable (o ruidos).

El diseño de tolerancia se utiliza con objeto de determinar las mejores tolerancias para los parámetros. Por ejemplo, en el caso del puente de Wheatstone los métodos de diseño de tolerancia revelarían cuales componentes del diseño fueron más sensibles y en que valores deben fijarse las tolerancias. Si un componente no tiene gran efecto sobre el funcionamiento del circuito, puede especificarse con una tolerancia amplia.

Según Taguchi es recomendable el empleo de métodos estadísticos de diseño experimental para auxiliar el mejoramiento de la calidad, en particular durante el diseño de parámetros y el diseño de tolerancias. Pueden emplearse métodos de diseño experimental para hallar un mejor diseño del producto o proceso donde por mejor quiere decirse un producto o proceso que es robusto o insensible a factores incontrolables que influirán en su producto o proceso una vez que se encuentre en funcionamiento normal.

Para realizar la organización de un trabajo estadístico se puede emplear como recurso gráfico el modelo de la caja negra (*figura 1.2*). Este muestra los elementos

fundamentales correlacionar como resultado de la inferencia estadística que se haga.

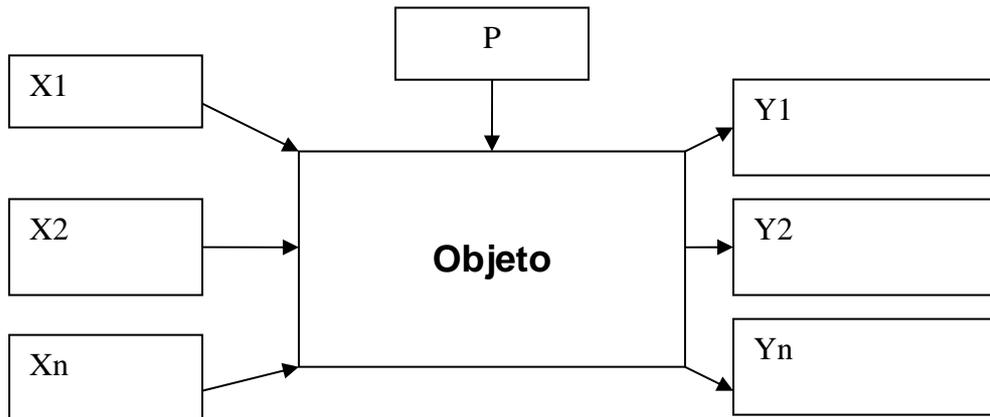


Figura 1.2. Modelo de la caja negra.

Los elementos del modelo de la caja negra son:

- ❖ Variable de entrada
- ❖ Variable de salida
- ❖ Objeto
- ❖ Perturbación

Las variables de entrada son factores que por su incidencia determinan un cambio significativo en las características o propiedades del objeto. Las variables de salida son cambios que se producen en las características del objeto que se modela. El objeto es sobre el que se incide para modificarlo o transformarlo. Y finalmente, las perturbaciones son factores que por sus incidencias no provocan cambios significativos en las propiedades de objeto modelados.

1.6.2- Análisis estadístico

Con el objetivo de obtener un resultado de índice de consumo de combustibles en los GE de Moa se realizan experimentos y cálculos estadísticos. Partiendo del Análisis de Prueba de Hipótesis se puede decir que existen múltiples problemas en los cuales, en vez de estimar el valor de un parámetro, se debe decidir si una afirmación relativa a un parámetro es verdadera o falsa; esto es; probar una hipótesis relativa a un parámetro. Esta verosimilitud es modelada a partir de la probabilidad de que el resultado obtenido sea observado si la hipótesis se cumple. Se puede usar como hipótesis el hecho de que un parámetro θ sea igual a un valor hipotético θ_0 .



Existen dos posibles situaciones:

- la hipótesis nula, que es cuando formulamos que no existe diferencia entre algo que se está analizando ($\theta = \theta_0$).
- la hipótesis alterna, casi siempre específica que la media de la población (o cualquier otro parámetro que pueda ser de interés) no es igual ni mayor o ni menor que el valor supuesto en la hipótesis ($\theta \neq \theta_0$).

En el análisis de varianza se desarrollan métodos para contrastar las diferencias entre las medidas de dos o más poblaciones. Este se apoya en una división en varias partes de la varianza de todas las observaciones, midiendo cada parte la variabilidad atribuible a alguna causa determinada. La frase Análisis de Varianza se refiere a la descomposición de la varianza de la muestra.

En el caso particular del diseño completamente aleatorio o con un criterio de clasificación se basa a partir de los resultados de k , muestras aleatorias independientes, cada una de tamaño n , de k diferentes poblaciones (esto es datos relativos a k tratamientos, k grupos, k métodos de producción) y le interesa probar la hipótesis de que las medidas de esta k poblaciones con medias iguales se realizan varias suposiciones. Con más precisión supondremos estar trabajando con poblaciones normales que tienen variancias iguales.

En cuanto a las comparaciones múltiples, y en específico la prueba del rango múltiple de Duncan las suposiciones básicas son, en esencia, las del análisis de varianza en una dimensión para tamaños de muestras iguales, esta compara el rango de cualquier conjunto de p medida con un apropiado rango de mínima significancia, R_p .



1.7- Conclusiones del capítulo

- ❖ Existen pocos trabajos dedicados al estudio del índice de consumo de combustible de las baterías de GE. Estos trabajos tienen un enfoque de reparación y mantenimiento de partes de los motores, así como la influencia del combustible en la eficiencia del mismo.
- ❖ Quedaron establecidos los fundamentos teóricos, que permiten la caracterización de las baterías de GE de Moa. La que es vital en el suministro de energía eléctrica al municipio.
- ❖ Se establecen los principales elementos del análisis estadístico en la recolección de los datos para su posterior procesamiento y establecimiento del índice de consumo de combustible.

CAPÍTULO 2.

MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DEL MUNICIPIO MOA

2.1- Introducción

La estadística o los métodos estadísticos como son llamados algunas veces, están jugando un papel sumamente importante en casi todas las fases del ser humano. Es una herramienta muy eficiente en la determinación de rangos de variación de parámetros en una base de datos determinada, que posteriormente se podrá tener en cuenta para toma de decisiones por parte del personal a cargo del área donde se está realizando la investigación o estudio.

Los puestos claves desempeñan un papel esencial en el monitoreo y control de la eficiencia energética de cualquier instalación industrial o de servicios. Para cada portador se determina el por ciento que representa su consumo de energía con respecto al total del portador en cuestión. *En tal sentido: este capítulo tiene por objetivos determinar los puestos claves en la batería de grupos electrógenos Moa y establecer el procedimiento para evaluar estadísticamente los índices de consumo de combustible Diesel en dicha instalación.*

2.2- Materiales, métodos de medición y control del proceso

La obtención de datos durante el proceso de trabajo del GE de la batería de Moa se realiza de forma automática; es decir, una computadora presenta a través del software EROS el estado y los valores de los siguientes parámetros:

- Velocidad de rotación del árbol de levas.
- Presión de aceite lubricante.
- Temperatura del líquido refrigerante.
- Temperatura del aceite lubricante.
- Temperatura del aire de sobrealimentación.
- Presión del aire de sobrealimentación.
- Velocidad de rotación del cigüeñal.
- Temperatura y nivel del líquido refrigerante del refrigerador de aire de sobrealimentación.
- Presión de combustible del lado de baja presión.
- Temperatura y presión de combustible del lado de alta presión.

- Nivel de líquido refrigerante del motor.

La computadora se encuentra conectada a un SCADA (sistema de control y supervisión de datos), este a un PLC (controlador lógico programable), el PLC a un bloque y el bloque a los correspondientes grupos como muestra la figura siguiente:

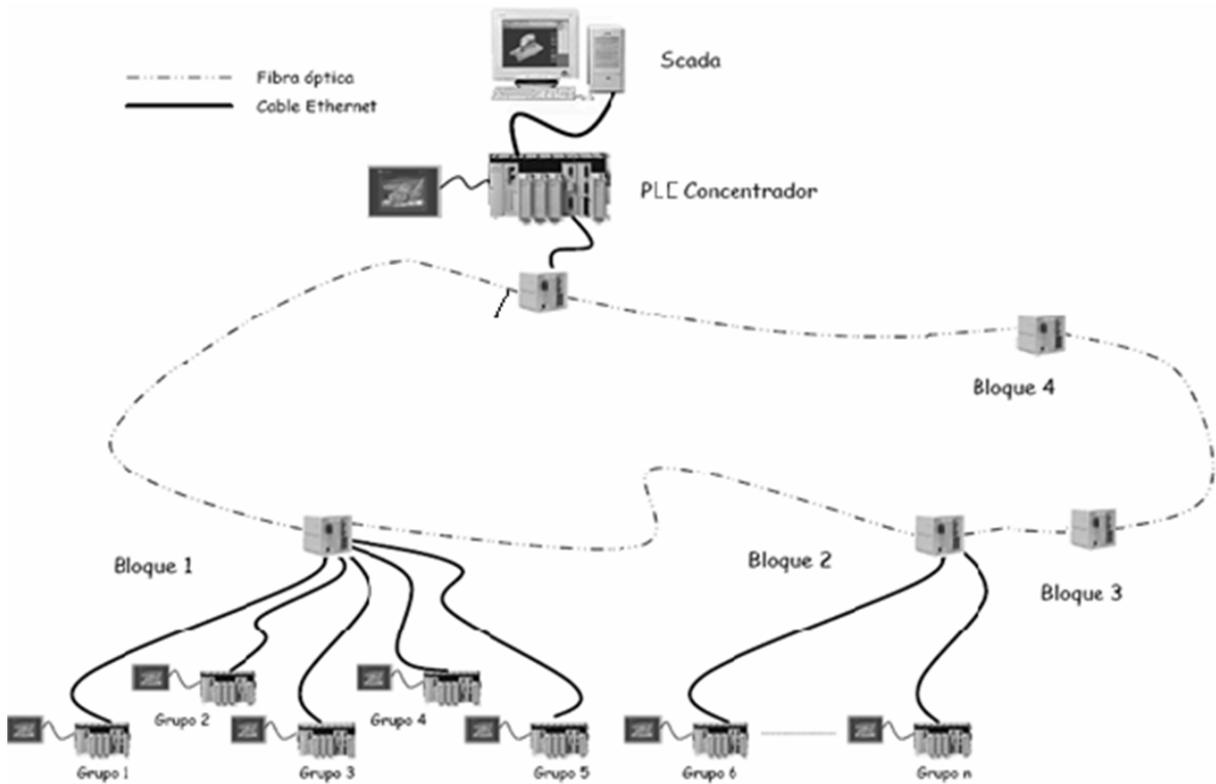


Figura 2.1 Sistema SCADA.

Fuente: catálogo MTU, 2006.

2.2.1- Sistema de adquisición de datos SCADA

El sistema SCADA, acrónimo de supervisory control and data acquisition (en español, control supervisión y adquisición de datos), comprende todas aquellas soluciones de aplicación para referirse a la captura de información de un proceso o planta industrial (aunque no es absolutamente necesario que pertenezca a este ámbito), para que, con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso tales como:

- a) Indicadores sin retroalimentación inherente (no afectan al proceso, sólo al operador)
 - Estado actual del proceso. Valores instantáneos;
 - Desviación o deriva del proceso. Evolución histórica y acumulada;



b) Indicadores con retroalimentación inherente (afectan al proceso, después al operador):

- Generación de alarmas;
- (HMI) Human Machine Interface (Interfaces hombre-máquina);

c) Toma de decisiones:

- Mediante operatoria humana;
- Automática (mediante la utilización de sistemas basados en el conocimiento o sistemas expertos).

El sistema SCADA de la batería de Moa utiliza el software EROS. El EROS es un software de supervisión y control de procesos en el que se pueden encontrar múltiples facilidades para operar y dirigir cualquier industria.

Puede trabajar acoplado con diversos sistemas de colección de datos (autómatas programables, estaciones de adquisición de datos y reguladores autónomos), como elemento único o formando parte de una red industrial teniendo en cuenta todas las características de las variables medidas.

2.2.2- Método de la tabla de aforo

La medición del consumo de combustible se realiza mediante el método de la tabla de aforo. Este consiste en determinar mediante una cinta graduada, la equivalencia centímetros-litros en el depósito de combustible. Para cada valor en centímetros corresponde un valor en litros de combustible. Estos valores se encuentran registrados en un documento denominado tabla de aforo.

Para obtener la cantidad de combustible consumido en un intervalo de tiempo por ejemplo una hora, se procede de la siguiente forma:

- Se realiza con una regla milimetrada una medición inicial de la capacidad del tanque.
- Se registra el valor obtenido y se verifica en la tabla de aforo su correspondiente en litros.
- Al transcurrir una hora, se realiza una segunda medición y se procede de la misma forma.
- Finalmente se halla la diferencia entre el valor de la primera y la segunda medición, y se obtiene el consumo de combustible en una hora.

2.3- Diseño teórico del proceso de medición

*Contribuciones de Tagushi*¹

De acuerdo con los criterios de Tagushi es necesario tener en cuenta tres etapas en el desarrollo de un producto o proceso: Diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancia.

Basado en lo planteado en el capítulo 1 y la idea anterior expuesta, en el caso considerado se tiene que definir lo siguiente:

1. Diseño del sistema de medición;
2. Diseño del parámetro a medir; y
3. Diseño de tolerancia o márgenes para el parámetro medido.

La definición de las etapas anteriores queda establecida cuando se les ha dado respuesta a las siguientes interrogantes:

1. ¿A qué se le realiza la medición? (objeto de medición);
2. ¿Con qué se realiza la medición? (medio de medición);
3. ¿Quién realiza la medición? (operario);
4. ¿Bajo que condiciones ambientales se realiza la medición? (Medio ambiente);
5. ¿Cómo se realiza la medición? (método de medición);
6. ¿Cómo se procesará la medición? (método de cálculo);
7. ¿Qué parámetro será medido? (variable); y
8. ¿Cómo se prevé el control del proceso? (modelo, muestra y tablas)

Las interrogantes del 1 al 6 se corresponden con la primera etapa (diseño del sistema de medición), la 7 con el diseño de parámetro y la 8 con el diseño de tolerancia.

I. Diseño del sistema de medición

El objeto de medición en este trabajo lo constituyen los grupos electrógenos serie 4000. Las mediciones se realizan con la tabla de aforo y el Software EROS, que se encarga de registrar los parámetros de la instalación. Las lecturas realizadas fueron llevadas a cabo por operario. Las observaciones se efectuaron a condiciones estándares ambientales. El método de medición empleado fue el de valoración

inmediata, puesto que el valor de parámetro de interés se obtuvo a partir de la observación directa en una escala y el display de una PC. El método de cálculo empleado se puede clasificar en semiautomático, ya que se empleó calculadoras de bolsillo y los Software de cálculo Microsoft Excel y Math Cad.

II. Diseño del parámetro a medir

El parámetro que se mide indirectamente es el índice de consumo (I_c). La unidad de medida del mismo es g/kWh. La expresión utilizada para el cálculo es:

$$I_c = \frac{G}{N} \cdot \rho \quad (2.1)$$

Donde:

G → Consumo específico de combustible (gr)

N → Generación de potencia (kW)

ρ → Densidad del combustible (gr/m^3)

III. Diseño de tolerancia o márgenes para el parámetro medido

El diseño de tolerancia para el parámetro tiene que ver con la definición de los aspectos que se pueden asociar con el modelo de la caja negra, el tamaño de la muestra y las tablas para la recogida de la información.

Modelo de la caja negra: El modelo de la caja negra ajustado al caso particular que ocupa este trabajo queda como sigue (*figura 2.2.*)

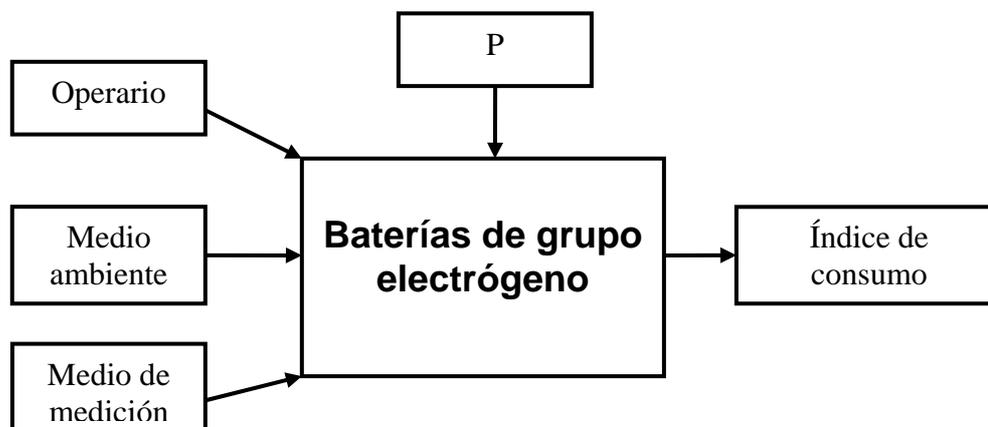


Figura 2.2. Modelo de la caja negra

Tamaño de la muestra:

El tamaño de la muestra se selecciona teniendo en cuenta los criterios;

- a. Mayor representatividad;
- b. Menor costo
- c. Mayor productividad

El tamaño de la muestra se determino tomando como referencia el siguiente cálculo:

$$n = \left(Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{E} \right)^2 \quad (2.2)$$

Donde:

Considerando las siguientes aproximaciones,

$$\sigma = E;$$

$$\text{y } Z_{\alpha/2} = 2.575$$

Es decir un error máximo de estimación (E) igual a la desviación típica (σ) y un nivel de confianza del 99 %, se decide:

$$n = \left(Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{E} \right)^2 = (2.575)^2 = 7$$

Tabla para la recogida de datos de índice de consumo de combustible

Con vista a recoger en orden lógico los datos que servirán como punto de partida al procesamiento estadístico se elaboraron las *tablas* 1 y 2 que se muestran en el *anexo 1*.

2.4- Determinación del índice de consumo de combustible

Se entiende por índice de consumo o consumo específico de energía la cantidad de energía por unidad de producción o servicios, medidos en términos físicos (productos o servicios prestados).

En un índice de consumo, el numerador será el portador energético, primario o secundario, que se consume en el puesto en un determinado periodo, expresado en una unidad de medida de energía, (kW, Ton fuel oil, Ton de vapor, TEP, etc.). El denominador reflejará el nivel de producción realizada o de servicio prestado en el puesto en el periodo dado, (Ec. 2.1) expresado en la unidad de medida que

corresponda (unidades, toneladas, habitación día ocupada, comensales, pacientes atendidos, etc.).

$$\text{Indice.Consumo} = \frac{\text{consumo.portador}}{\text{Producción.Re.alizada.(servicio.prestado)}}$$

Para el caso en estudio; batería de grupos electrógenos de Moa, el índice de consumo se calcula por:

$$Ic = \frac{C}{G} \cdot \rho \quad g/kW \cdot h \quad (2.3)$$

Donde;

$C \Rightarrow$ Consumo de combustible en kg/h

$G \Rightarrow$ Generación en $kW \cdot h$

$\rho \Rightarrow$ Densidad del combustible en g/cm^3

2.5- Análisis estadístico de la base de datos considerando densidad constante

➤ Pasos metodológicos generales para la prueba de hipótesis referida al análisis de varianza

El objetivo de esta prueba es determinar si existen diferencias significativas entre los valores del índice de consumo correspondiente a cada bloque (cada grupo electrógeno) y tratamientos (periodo de evaluación).

Descripción de los pasos metodológicos:

1- Definición de la hipótesis:

- hipótesis nula: H_0
- hipótesis alterna: H_1

2- Definición del nivel de significancia: α

3- Definición de la condición para el estadístico de la prueba:

La hipótesis nula se rechaza si:

- $F > F_{\alpha} (a-1) \text{ y } (a-1) (b-1)$ grados de libertad para los tratamientos.
- $F > F_{\alpha} (b-1) \text{ y } (b-1) (a-1)$ grados de libertad para los bloques.

Nota: a y b; niveles de las fuentes de variación para bloques y tratamientos respectivamente

Nota: F_{α} se obtiene en la *tabla 6* según Miller et, al. (2005), con el nivel de significancia y el grado de libertad.

4- Cálculo para el estadístico de la prueba.

Para el cálculo del estadístico de la prueba se utilizan las siguientes formulas:

$$C = \frac{T^2}{k \cdot n} \quad (2.4)$$

Donde:

$T^2 \Rightarrow$ Gran total de las observaciones.

$k \Rightarrow$ Número de muestras (i).

$n \Rightarrow$ Tamaño de muestras (j).

$C \Rightarrow$ Término de corrección.

Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño.

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - C \quad (2.5)$$

Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño de los Tratamientos.

$$SS_{(TR)} = \sum_{i=1}^a T_i^2 / y_{ij}^2 - C \quad (2.6)$$

Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño de los Bloques.

$$SS_{(BL)} = \sum_{j=1}^b T^2 j / a - C \quad (2.7)$$

Siendo:

$T_i \Rightarrow$ Número total de n observaciones

$T \Rightarrow$ Gran total de las kn observaciones

5- Toma de decisiones

La decisión se toma sobre la base del criterio establecido para el estadístico de la prueba. Por ejemplo, si el, valor estadístico calculado es mayor que el valor estadístico crítico, la hipótesis nula se rechaza y en el caso en que el estadístico crítico sea menor que estadístico calculado, la hipótesis nula no se debe rechazar; al nivel de significancia establecido.

Nota: Los resultados obtenidos al analizar la suma total de cuadrados en componentes son resumidos de manera conveniente por medio de la siguiente tabla y el desarrollo de cálculo se puede observar en *anexo 2*.

Tabla 2.1. Resultados obtenidos del análisis de la suma total de los componentes

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F
Tratamientos	k-1	SS _(TR)	MS _(TR) = SS _(TR) /(k-1)	MS _(TR) /MSE
Error	K(n-1)	SSE	MSE= SSE/K(n-1)	
Total	nk-1	SST		

MSE \Rightarrow Media de los cuadrados del error en el análisis de varianza.

➤ Pasos metodológicos para la prueba de Duncan (comparaciones múltiples)

El objetivo que se cumple con la realización de la prueba de Duncan es el de agrupar el conjunto de bloques y tratamientos que no muestran diferencias significativas entre si, al nivel de significancia seleccionado.

Descripción de los pasos metodológicos:

1- Ordenamiento de forma ascendente de las medias.

Para el ordenamiento de las medias, es necesaria la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.8)$$

2- Calculo del valor del error estándar de la media (S_x)

$$S_x = \sqrt{MSE / n} \quad (2.9)$$

3- Determinación de los valores de las diferencias adyacentes (R_p)

$$R_p = S_x \cdot r_p \quad (2.10)$$

$S_x \Rightarrow$ Error estándar de la media

$R_p \Rightarrow$ Rango mínima significancia

$r_p \Rightarrow$ Depende del nivel de significancia y del número de grados de libertad correspondiente la MSE.

Nota: Para obtener los valores de r_p , según el nivel de significancia y grados de libertad establecido se utiliza la *Tabla 12 b* (Miller et al., 2005).

4 - Determinación de r_p para cada conjunto.

- R_p para cada conjunto se multiplica el valor que se obtiene de r_p con el valor de S_x (error estándar de la media).

5 - Agrupación de los términos semejantes.

- La agrupación de los términos semejantes se realiza según el resultado obtenido de las medias en forma ascendente.

El *anexo 3* se refleja el resultado obtenido a partir de la aplicación del procedimiento descrito con anterioridad y también al final de este apartado se muestra en las *tablas 2.3 y 2.4* un resumen.

➤ Pasos metodológicos para la prueba de Normalidad Ji- Cuadrado

La prueba de la normalidad basada en el criterio de X^2 es con el objetivo de detectar si en la base de datos existe algún valor que no es representativo del comportamiento normal de la variable que fue objeto de observación. Esto asegura la validez de los cálculos a realizar posteriormente.

Descripción de los pasos metodológicos:

- Hipótesis.

- Nula:

El índice de consumo posee un comportamiento normal.

- Alternativa:

El índice de consumo no posee un comportamiento normal.

1- Nivel de significancia: $\alpha = 0.01$

2- Criterio de Ji- Cuadrado:

- Se rechaza la hipótesis nula si $X^2 > X_{0.001}^2$,

Nota: $X_{0.01}^2 = 11.34$ *Tabla 10* (Miller et al 2005), con el grado de libertad y el nivel de significancia.

3- Cálculos:

$$X^2 = \sum_{i=1}^K \left[\frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i} \right] \quad (2.11)$$

Dónde:

$\theta_i \Rightarrow$ Frecuencia observada absoluta

$e_i \Rightarrow$ Probabilidad de que la variable tome valores en el correspondiente intervalo.

$X^2 \Rightarrow$ Estadístico de Ji- Cuadrado

Nota: El *anexo 4* refleja los resultados obtenidos durante la realización de la prueba y al final de este capítulo puede verse una *tabla 2.5*.

Pasos metodológicos para la comprobación de la normalidad

Esta prueba se realiza para eliminar los valores anormales presentes en la base de datos, es decir establecer un intervalo de confianza de valores normales. Además, esto permite estimar un intervalo dentro del cual se prevé encontrar valores puntuales de la variable observada, con un determinado nivel de significancia.

Criterio de Gauss

Descripción de los pasos metodológicos

1. Determinación de la media aritmética de la muestra.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.12)$$

2. Determinación de la desviación típica de la muestra.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.13)$$

3. Establecimiento del rango de normalidad.

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot S < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot S \quad (2.14)$$

En la *tabla 2.6* y se muestra el intervalo de valores normales calculados según el criterio de Gauss.

➤ Pasos metodológicos para la prueba de Hipótesis referidos al valor estándar establecido por el Fabricante

El propósito de esta prueba consiste en verificar si los valores del índice de consumo observado (medido) están en correspondencia con lo establecido por el fabricante, dentro de un cierto margen de error.

Descripción de los pasos metodológicos

1- Hipótesis

- Nula:

$$Ic = \mu_0$$

- Alterna:

$$I_c > \mu_0$$

2- nivel de significancia: α

3- Criterio

Se rechaza la hipótesis nula si $Z > Z_\alpha$

Nota: $Z_{0,01} = 1.96$ *Tabla 4* Libro de Texto “Probabilidad y Estadística para Ingenieros 2da parte”

4- Cálculo:

Determinación de Z:

$$Z = \frac{\bar{X} - I_c}{S / \sqrt{n}} \quad (2.15)$$

Donde:

$Z \Rightarrow$ Estadístico de Gauss

$\bar{X} \Rightarrow$ Media aritmética de la muestra.

$S \Rightarrow$ Desviación típica de la muestra.

$I_c \Rightarrow$ Valor esperado.

$n \Rightarrow$ Número de muestra observada en la instalación.

5- Decisión:

Aquí se compara el valor de Z con el valor de $Z_{\alpha/2}$ para así dar un resultado.

El *anexo 6* se muestra los resultados obtenidos de desarrollo de la metodología descrita, y un resumen en la *tabla 2.7*.

➤ Pasos metodológicos para el establecimiento intervalo de confianza del índice de consumo

La finalidad del establecimiento del índice de consumo es poder disponer de un rango de valores dentro del cual se prevé encontrar el valor medio del referido parámetro, con un determinado margen de confianza.

Descripción de los pasos metodológicos:

1. Determinación de la media y la desviación típica normales;

2. Establecimiento del índice de consumo al nivel de confianza seleccionado

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} < Ic < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2.16)$$

El *anexo 7* refleja los resultados obtenidos y al final de capítulo se muestra en una tabla el resumen.

2.6- Análisis estadístico base de datos densidad variable.

➤ Pasos metodológicos para la prueba de Hipótesis de comparación normalizada de ambas bases de datos.

El objetivo de la realización de esta prueba es determinar si existe diferencias significativas entre las media de las dos bases de datos, es decir entre el valor promedio del índice de consumo para cuando la densidad se considera constante y para cuando la densidad se considera variable.

Criterio de T- Students para el análisis de la base de datos

Este criterio se aplica con el propósito de asegurar la normalidad de las observaciones contenidas en la base de datos.

Descripción del procedimiento

1. Determinación de la media aritmética de la muestra:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2.17)$$

2. Determinación de la desviación típica de la muestra:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.18)$$

Establecimiento del rango:

$$\bar{X} - t_{\alpha/2} \cdot S < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2} \cdot S \quad (2.19)$$

En el *anexo 7* se muestra los resultados obtenidos por medio de la aplicación del procedimiento anterior y al final de este capítulo se muestra también las *tablas 2.8 y 2.9* con un resumen.

Prueba de Hipótesis para la comparación de las dos medias

1- Hipótesis

- nula:

$$\mu_0 - \mu_1 = 0$$

- alterna:

$$\mu_0 - \mu_1 \neq 0$$

2- Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.01$$

3- Criterio para realizar la hipótesis nula:

- la hipótesis nula se realiza si $Z_{Cal} < -Z_{\alpha/2}$ ó $Z_{Cal} > Z_{\alpha/2}$.

Nota: El parámetro $Z_{\alpha/2} = Z_{0.005} = 2.575$ se busca en la tabla 3 L/T *Estadística y Probabilidades para Ingeniero 1^{ra} Parte*.

4- Cálculo del estadístico de Gauss:

$$Z = \frac{\overline{X_2} - \overline{X_1}}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n_1 + n_2}}} \quad (2.20)$$

5- Decisión:

Aquí se compara el resultado del cálculo obtenido de Z_{Cal} con el de $Z_{\alpha/2}$ y a raíz de esto se emite un criterio que influirá en la toma de decisiones para ver si se puede realizar otra prueba o es suficiente con la misma.

El *anexo 8* muestra el resultado de la prueba realizada; y en el presente capítulo, al final se recoge la *tabla 2.12*, los principales resultados obtenidos.

2.7- Datos obtenidos en la instalación

A través de búsquedas y con la realización de mediciones por los métodos anteriormente descritos, se han obtenido los valores representados en la *tabla 3*. (*Anexo 1*). Para densidad constante, $857,2 \text{ g/m}^3$

Del mismo modo se obtuvo los datos de la *tabla 4* (*Anexo 1*), en este caso con una densidad variable, de $842,27$ a $864,91 \text{ g/m}^3$.

En esta instalación objeto de estudio el acceso a los datos se dificulta, por el nivel de seguridad de dicha entidad; en este caso para el estudio se utilizaron bases de datos de años anteriores para uno y otro caso de trabajo, [cuando el combustible

cumplió con las características de densidad variable (2007-2008) y constante (2009-2010)], lo cual no influye significativamente en los resultados obtenidos pues el comportamiento es similar en la actualidad.

En todos los casos utilizando la *ecuación 2.1*

2.7.1- Principales resultados

Con la aplicación del procedimiento antes descrito, teniendo en cuenta los datos anteriores y utilizando para el cálculo el software MathCAD (*anexo 2*), y Microsoft Excel se resume las siguientes tablas con los resultados obtenidos.

Tabla 2.2. Resultados del análisis de varianza utilizando la densidad constante

Parámetro	Bloque (GED)	Tratamientos (Meses)	Ec.
Tamaño de muestra	$n = 8$	$n = 12$	-
Término de correlación	$C = 4873628.033$		2.4
Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño	$SST = 105058.454$		2.5
Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño	$SST_{(BL)} = 17681.01$	$SST_{(TR)} = 3685.86$	2.6 – 2.7

Tabla 2.3. Resumen de los resultados obtenidos del análisis de la suma total de los componentes

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F_{cal}	$F_{tab.}$
Tratamientos	11	17681,01	1607.37	1.47	2.485
Bloque	7	3685,86	526.55	0.48	2.90
Error	77	83691.58	1086.90		
Total	95	105058.45			

Nota: El llenado de esta tabla se hace apoyándose en las fórmulas contenidas en la *tabla 2.1*

Tabla 2.4. Resultados prueba de Duncan

Parámetro	Bloque	Ec
Error estándar de la media	$S_{\bar{x}} = 11.656$	2.9
Rango mínima significancia para bloques	$R_p = 43.94 - 51.40$	2.10

Tabla 2.5. Resultados prueba de Normalidad (X^2) para la base datos completa

Parámetros	valor	Ec.
Rango de la clase	55	Ver anexo 4
Cantidad de Probabilidades	6	
Estadístico de Ji- Cuadrado Critico	$X^2 = 11.34$	-
Estadístico de Ji- Cuadrado	$X^2 = 9275.53$	2.11

Criterio de Gauss

Tabla 2.6. Principales resultados

Parámetro	Valores	Ec.
Media aritmética	225.32	2.12
Desviación típica	33.25	2.13
Rango de normalidad	160.15 – 290.49	2.14

Tabla 2.7. Prueba de hipótesis para el valor establecido

Parámetro	valor	Ec
Nivel de significancia	$\alpha = 0.01$	-
Estadístico de Gauss critico	$Z_{0.005} = 1.96$	-
Estadístico de Gauss calculado	$Z = 4.54$	2.20
Rango del Índice de Consumo	223.88 – 229.33	2.16

2.7.2. Principales resultados para base de datos a densidad variable

Prueba de normalidad para la base de datos. (Tabla 4, Anexo 1)

Tabla 2.8. Resultados criterio de t-students

Parámetro	Valor	Ec.
Media aritmética	229.56	2.17
Desviación típica	2.58	2.18
Rango de normalidad	221.91 – 237.18	2.19

Tabla 2.9. Establecimiento del índice de consumo

Parámetro	valor	Ec
Nivel de significancia	$\alpha = 0.01$	-
Estadístico de t-students	$t_{0.005} = 2.947$	-
Rango del Índice de Consumo	227.65 – 231.46	2.16

Prueba de Hipótesis para la comparación de las dos bases de datos

Tabla 2.10. Comparación de las poblaciones (bases de datos).

Parámetro	valor	Ec
Nivel de significancia	$\alpha = 0.01$	-
Estadístico de Gauss (tabla)	$Z_{0.005} = 2.575$	-
Estadístico de Gauss calculado	$Z = 0.951$	2.20

2.8- Metodología de cálculo de los parámetros indicados y efectivos

Para elaborar la metodología de cálculo, se utilizaron las expresiones contenidas en (Reyes et, al., 1983).

Parámetros indicados y efectivos

La **presión media indicada** pmi se calcula por:

$$pmi = \frac{N_i}{Z \cdot V \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2}} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.21)$$

Siendo:

N_i : Potencia indicada del motor en (kW).

Z : Número de cilindros del motor.

V : cilindrada en (m^3).

n : Número de revoluciones del cigüeñal en (rev/min).

Para el cálculo de la **Presión media efectiva** pme :

$$pme = \frac{N_e}{Z \cdot V \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2}} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.22)$$

Dónde:

N_e : Potencia efectiva del motor (kW).

Se puede obtener el **trabajo indicado** Wi :

$$Wi = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot C \cdot pmi \quad (J) \quad (2.23)$$

D : Diámetro del cilindro (m).

C : Carrera del pistón (m).

La ecuación para el **trabajo efectivo** We es:



$$W_e = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot C \cdot p_{me} \quad (J) \quad (2.24)$$

El **consumo indicado** g_i y **efectivo de combustible** g_e se determina por las siguientes expresiones:

$$g_i = \frac{G_t}{N_i} \cdot 10^3 \quad \left(\frac{g}{kW \cdot h} \right) \quad (2.25)$$

Donde:

G_t : Gasto horario de combustible $\left(\frac{kg}{h} \right)$.

$$g_e = \frac{G_t}{N_e} \cdot 10^3 \quad \left(\frac{g}{kW \cdot h} \right) \quad (2.26)$$

El **Rendimiento indicado** η_i se obtiene:

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.27)$$

Dónde:

H_u : Valor calórico bajo del combustible $\left(\frac{kJ}{kg} \right)$.

Rendimiento mecánico η_m :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.28)$$

Rendimiento efectivo η_e :

$$\eta_e = \frac{\eta_i \cdot \eta_m}{100} \quad (\%) \quad (2.29)$$

2.9- Método de prueba en motores según norma ISO 3046-1

Ajuste de potencia

Por ajuste de la potencia declarada de servicio desde condiciones ambientales del sitio hasta la potencia bajo las condiciones ambientales de prueba.

A partir de la *tabla 2.11* para el ajuste de potencia

Tabla 2.11. Valores para el ajuste de potencia para el tipo de motor

Tipo de motor	Motor Diesel con doble ignición por compresión operando con combustible líquido	Fórmula de referencia	Factor a	exponentes		
				m	n	s
Combustible	Diesel	D	0	0.7	1.2	1
Condiciones	Turbocargado con enfriamiento del aire Baja y media velocidad de los 4 tiempos del motor					

2.10- Metodología para el análisis de las condiciones climatológicas

Ajuste de potencia para condiciones ambientales.

Cuando se requiere que el motor sea operado bajo condiciones diferentes de las condiciones de referencias estándar dadas, y se requiere que la potencia de salida sea ajustada hasta o desde condiciones estándar de referencia de las siguientes ecuaciones pueden ser usadas si otro método no son establecido por el fabricante (ver la nota 1).

$$P_x = \alpha * P_r \quad (2.30)$$

$P_x \Rightarrow$ Potencia estándar de servicio (kW)

$P_r \Rightarrow$ Potencia de referencia estándar ISO (kW)

Donde el factor de ajuste de potencia esta dado por:

$$\alpha = k - 0.7(1-k) * \left(\frac{1}{\eta_m} - 1\right) \quad (2.31)$$

$k \Rightarrow$ La razón de potencia indicada es:

$$k = \left(\frac{P_x - a\phi_x * p_{sx}}{P_r - a\phi_r * p_{sr}}\right)^m * \left(\frac{T_r}{T_x}\right)^n * \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}}\right)^s \quad (2.32)$$

Siendo;

$$\left(\frac{P_x - a\phi_x * p_{sx}}{P_r - a\phi_r * p_{sr}}\right) \Rightarrow \text{Relación de presión del aire seco; Tabla B.2 Norma ISO 3046-1}$$

$T_r \Rightarrow$ Temperatura media nacional. (° C)

$T_x \Rightarrow$ Temperatura del sitio. (° C)

$T_{cr} \Rightarrow$ Temperatura de referencia estándar ISO. (° C)

$T_{cx} \Rightarrow$ Temperatura de entrada del aire. (° C)

Nota 1: Cuando la prueba o condiciones ambientales del sitio son más favorables que la referencia estándar o las condiciones de referencia sustitutas, la potencia declarada bajo la prueba o condiciones ambientales de sitio podría estar limitada por el fabricante, hasta la potencia declarada bajo condiciones de referencia estándar o condiciones de referencia sustitutas.

Recalculo del índice consumo de combustible en prueba o condiciones ambientales del sitio para motores ajustado

Cuando se requiere que el motor sea operado bajo prueba o condiciones ambientales del sitio, desde las condiciones de referencias estándar dadas. El consumo específico de combustible va a diferir del declarado para las condiciones de referencia estándar y podría ser calculada desde las condiciones de referencia estándar.

La siguiente ecuación podría ser utilizada si otros métodos no son declarados por el fabricante:

$$b_x = \beta * b_r \quad (g/kWh) \quad (2.33)$$

Siendo;

$b_x \Rightarrow$ Consumo específico de combustible de servicio

$b_r \Rightarrow$ Consumo específico de combustible de referencia

$\beta \Rightarrow$ Factor de ajuste de consumo

$$\beta = \frac{k}{\alpha} \quad (2.34)$$

2.11- Datos obtenidos en la instalación

A través de búsquedas y con la realización de mediciones en el motor 8 por los métodos anteriormente descritos, se han obtenido los valores presentados en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Datos obtenidos en la instalación.

Magnitud	Unidad	Carga (%)			
		75	80	90	100
Potencia indicada	(kW)	1990			
Potencia efectiva	(kW)	1366	1444	1636	1898
Gasto de combustible	(kg/h)	313.08	330.5	370.9	431.3
Valor calórico inferior	(kJ/kg)	42700			
Diámetro del cilindro	(m)	0.165			
Número de cilindros	-	16			
Número de revoluciones nominales	(rev/min)	1800			
Número de tiempos del motor	-	4			
Cilindrada	(m ³)	0.00406			
Carrera	(m)	0.190			
Velocidad media del embolo	(m/s)	11.4			

Datos del clima y el trabajo de la batería de grupos electrógenos puede verse en los *anexos 11 y 12*

Condiciones estándar de referencia según la norma ISO 3046-1

$p_r = 100 \text{ kPa} \Rightarrow$ Presión estándar

$T_{cr} = 298 \text{ K} \Rightarrow$ Temperatura

$h_r = 30 \% \Rightarrow$ Humedad relativa

2.12- Conclusiones capítulo

- ❖ Quedaron establecidos los materiales y métodos empleados para la realización del trabajo, precisando el método de medición y el diseño teórico del proceso de medición y el procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros que caracterizan el motor. Así como el método de ajuste de potencia y consumo de combustible de estos motores en la batería, según la norma ISO 3046-1.
- ❖ Existen dos métodos principales de mediciones, digital a partir de un sistema SCADA y manual con el método de la tabla de aforo. Las variables meteorológicas se obtuvieron en bases de datos recogidas con anterioridad.
- ❖ La prueba de hipótesis referida al índice de consumo estándar (220 g/kWh), indica que el valor medio observado de este está por encima del normal o esperado, al nivel de significancia del 0,01. También la prueba de hipótesis referida a las dos medias, indican que no existen diferencias significativas en el valor medio correspondiente a cada base de datos, al mismo nivel de significancia.
- ❖ El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre los valores del índice de consumo, correspondientes a bloques y tratamientos al nivel de significancia del 0,01; y la prueba de Duncan confirma el resultado del referido análisis de varianza.
- ❖ En este caso se requiere que el motor sea operado bajo condiciones ambientales diferentes de las condiciones de referencias estándar dadas, y se requiere que la potencia de salida sea ajustada hasta o desde condiciones estándar de referencia, y también el consumo de combustible.

CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1- Introducción

El total conocimiento los factores subjetivos que influyen el buen desempeño del proceso productivo, así como la implementación de estrategias para mejorar la cultura energética de directivos y operadores de instalaciones industriales o de servicios y además de que; el diagnóstico energético es vital en una instalación productora y consumidora de energía; mediante el mismo se puede analizar el grado de eficiencia en la utilización de los equipos que componen dicha instalación.

Por tanto los objetivos de este capítulo son *analizar el comportamiento del índice de consumo de combustible y los principales portadores energéticos, de las principales manifestaciones de los motores de combustión interna sobre el medio ambiente, además de proponer medidas para el mejoramiento de las actividades energéticas en la batería de grupos electrógenos del municipio de Moa.*

3.2- Análisis de los resultados

3.2.1- Establecimiento de la estructura del consumo de portadores energéticos

La batería de Moa (110kV) sincronizó con el SEN en el mes de Febrero de 2006 con una potencia instalada de 15,2MW en 8 GED de la serie 16V-4000-G81. A continuación se muestra *figura 3.1* el comportamiento de la generación de electricidad durante febrero 2007-2008.

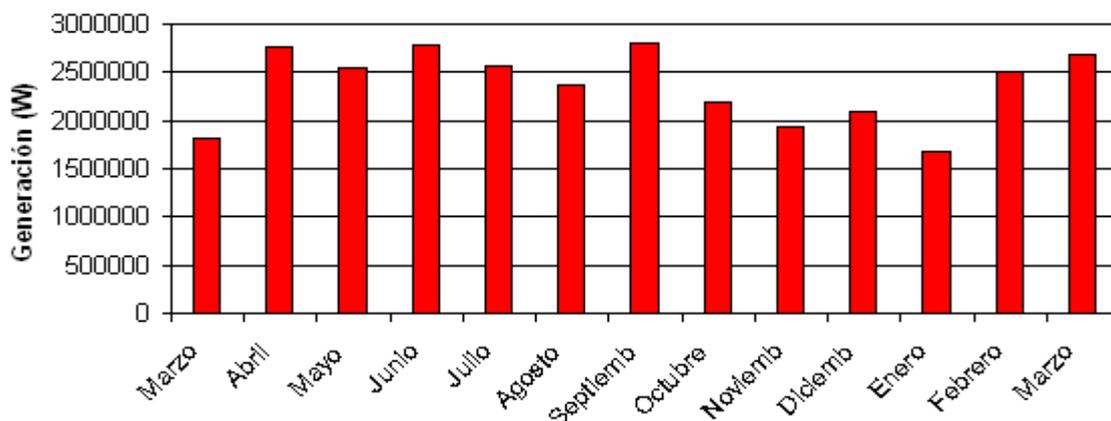


Figura. 3.1. Gráfico de generación típico de un año

3.2.2- Determinación de los equipos principales consumidores de portadores energéticos en la instalación

De acuerdo a la información estadística oficial establecida por el Ministerio de Economía y Planificación (MEP) para cada centro, se establece la estructura de

consumo de portadores energéticos en el período analizado para la posterior definición de los puestos claves.

Para ello, se convierten cada uno de los consumos de portadores energéticos a toneladas equivalente de petróleo (TEP), a partir de los factores de conversión *anexo 9*. Durante el análisis del consumo de portadores energéticos, es necesario realizar un diagrama de Pareto que ilustre su comportamiento.

A continuación se muestra los consumos de portadores energéticos en la instalación objeto de análisis *tabla 3.1* y *3.2*.

Tabla 3.1. Consumo de portadores energéticos.

Nº.	Portador	U.M.	Consumo	F. Conversión	TEP
1	Aceite	t	27,565	1,000	27,565
2	Electricidad	MW	30,735	0,375	11,514
3	Diesel	t	8036,447	1,053	8465,593
4	Refrigerante	t	2,363	1,000	2,363
5	Gasolina	t	1,460	1,3541	1,977
Total					8507,034

Tabla 3.2 Portadores ordenados de acuerdo al % que representan.

Nº.	Portador	TEP	%	% Acumulado
1	Diesel	8465.593	99.513	88.490
2	Aceite	27.565	0.324	99.837
3	Electricidad Consumida	11.514	0.135	99.972
4	Refrigerante	2.363	0.028	99.988
5	Gasolina	1,977	0.02	100

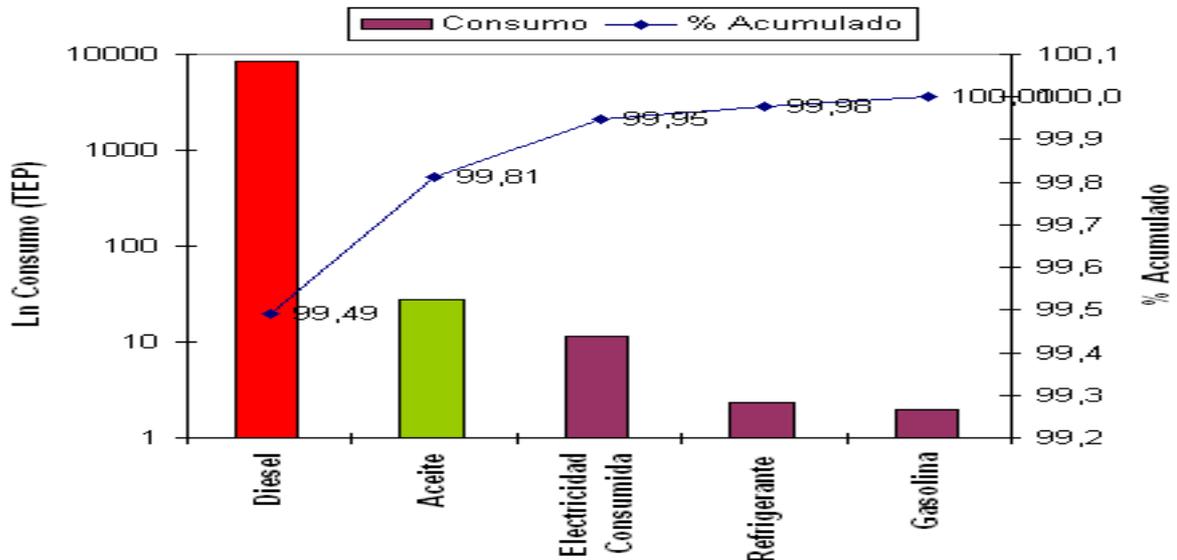


Figura. 3.2. Consumo de portadores energéticos.

En la *figura 3.2* muestra el principal portador energético que se consume en la instalación que es el combustible Diesel.

Apoyándose en los datos de la *tabla 3.3* expuesta a continuación se elabora el gráfico de Pareto *figura 3.3* para determinar cuáles equipos constituyen los principales consumidores en la instalación.

Tabla. 3.3. Consumo por equipos en TEP ordenados

Nº	Equipo	TEP	%	% Acumulado
1	Motor Diesel	8507,034	77,05	77,05
2	Lámparas	1372,1664	12,42	89,47
3	Computadora	801,7152	7,26	96,73
4	Bombas	358,01216	3,24	99,98
5	Motos	1,976986	0,017	100

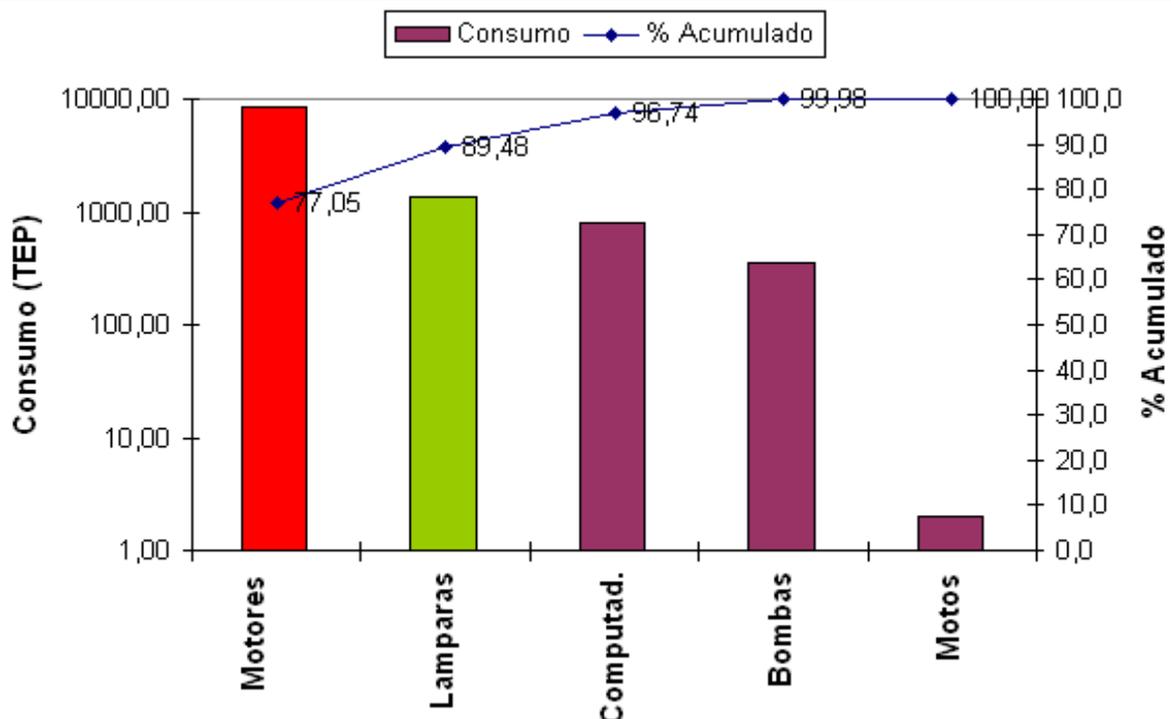


Figura. 3.3. Equipos consumidores de energía.

A partir del análisis del gráfico en la *figura 3.3*, es evidente que los motores de combustión interna, son los principales consumidores de energía en la batería, debido a que ocupan el 77,05 % de toda la energía gastada en la instalación, puesto que son ellos los que consumen una variedad de portadores energéticos (Diesel, refrigerante, aceite). A continuación se procede a la determinación por medio del método del diagrama de Pareto cuál es el portador energético que tiene mayor incidencia en el consumo de energía de los motores de combustión interna a partir de datos recogidos en la batería durante el período evaluado.

Como se observa en las tablas y gráficos anteriores, en el proceso de generación de electricidad a través de los GED, los MCI constituyen el principal puesto clave y

dentro de este consumo Diesel constituye el principal portador energético consumido. Se procede a la realización de una estratificación en el mismo.

Tabla 3.4. Portadores energéticos en el MCID

Portador	TEP	%	%Acumulado
Diesel	8465,593	99,64772025	99,65
Aceite	27,565	0,324465092	99,97
Refrigerante	2,363	0,027814657	100
Total	8495,521		

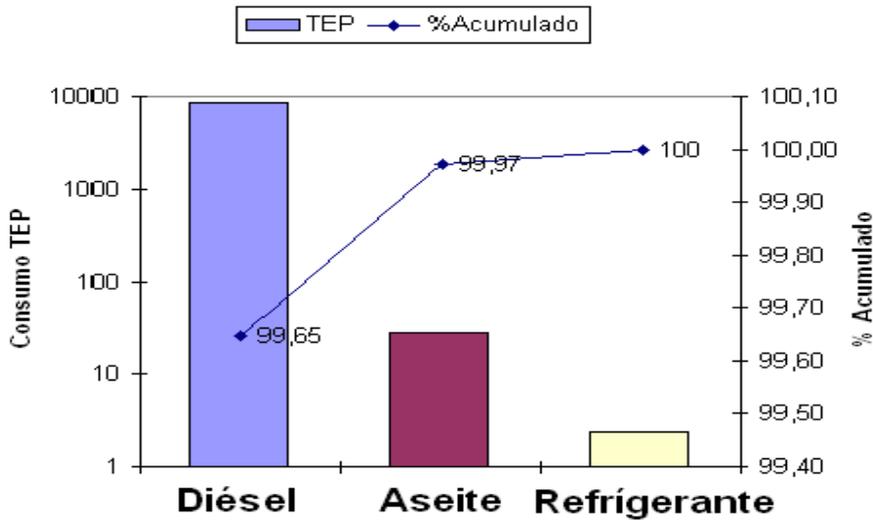


Figura 3.4. Pareto de los motores de combustión interna Diesel (MCID)

En este caso, el portador sobre el cual se deben concentrar las acciones es el Diesel, lo que significa el 98,27 % del consumo total de energía consumida por el motor. El aceite representa el 0,324 %, la electricidad 0,135 % y el refrigerante un 0,028 % de la energía consumida por el motor.

3.2.3- Análisis del índice de consumo de combustible

A partir del procedimiento de cálculo estadístico descrito en anterior capítulo. Durante el período analizado de la media aritmética del índice de consumo de combustible para los bloques grupos electrógenos fue de 224,96 g/kWh. Utilizando Diesel con las mismas características ($\rho = 860,5 \text{ g/m}^3$).

El rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el periodo anteriormente referido es de 223,88 a 229,33 g/kWh. Todo estos resultados se comprobaron a partir análisis de varianza que indica que no existe diferencias significativas entre los valores del índice de consumo, correspondientes a bloques de grupos electrógenos y tratamientos del tiempo en el cual se evaluó la estación, al nivel de significancia del 0,01; y la prueba de Duncan confirma los resultado del

referido análisis de varianza, apoyándose en el criterio de Gauss y Ji - Cuadrado, para el establecimiento del rango de normalidad, oscila entre 160,15 y 290,49 g/kWh.

De la misma manera, utilizando el periodo de explotación determinado. Durante el cual la media aritmética del índice de consumo de combustible en la batería fue de 228,56 g/kWh. Utilizando Diesel con variación de sus propiedades de densidad, ver *figura 3.5*. El rango de índice de consumo de combustible para el periodo anteriormente referido fue de 227,65 a 231,46 g/kWh. Todo esto obtenido a partir del análisis de varianza al nivel de confianza de 99 % y utilizando criterios de estadísticos de t-students, donde el rango de normalidad se encuentra entre 221,91 y 233,18 g/kWh.

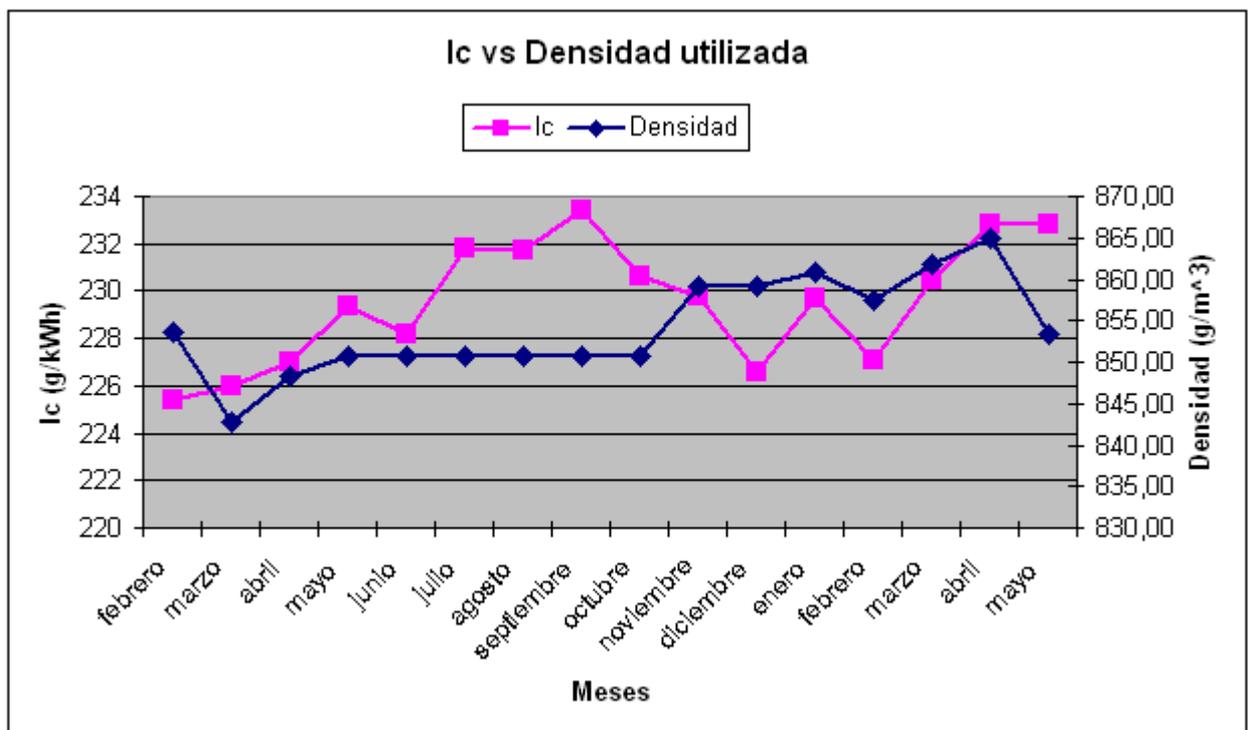


Figura 3.5. Comportamiento del índice de combustible con respecto a la densidad.

Apoyándose en la prueba de hipótesis referida al índice de consumo estándar de 220 g/kWh, indica que el valor medio observado de este, está por encima de normal o esperado, al nivel de significancia del 0,01. También la prueba de hipótesis referida a las dos medias indica que no existen diferencias significativas en el valor medio correspondiente a cada base de datos, al mismo nivel de significancia en la *figura 3.6*.

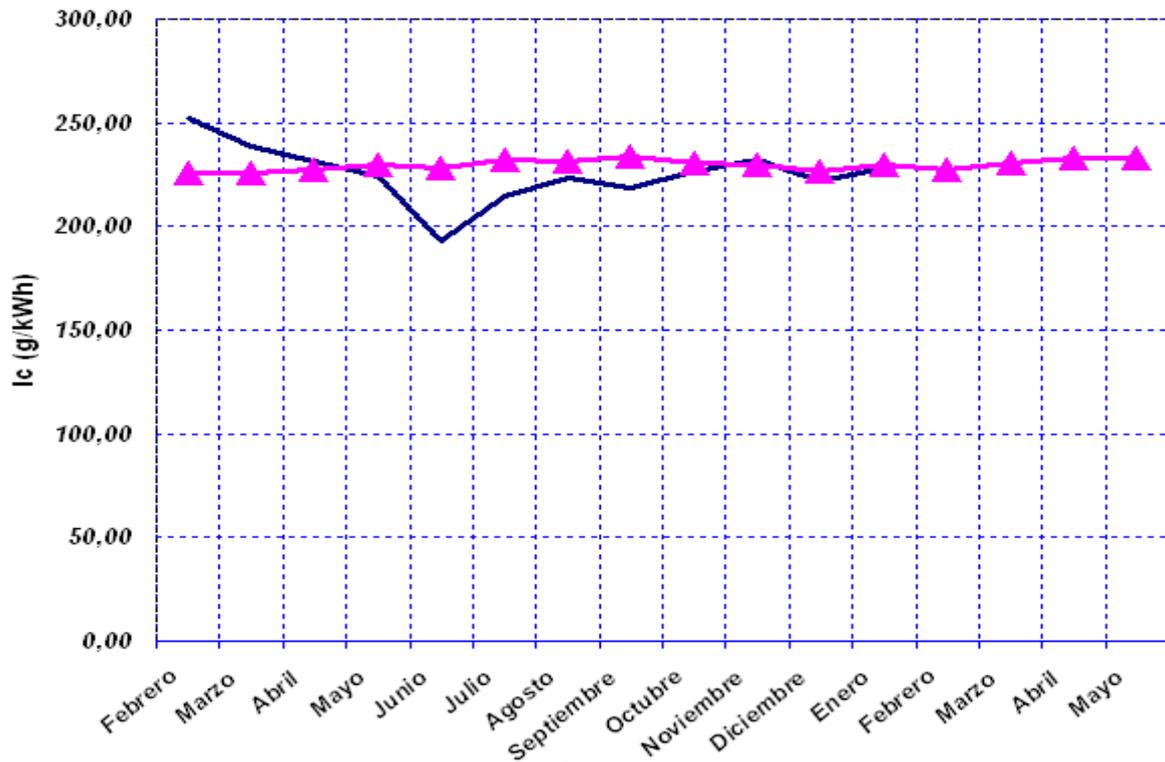


Figura 3.6. Comportamiento de ambos Índices de consumo

3.2.4- Resultados principales del motor característico de la instalación

Con la aplicación de la metodología descrita en el capítulo 2 (epígrafe 2.8 al 2.9) y teniendo en cuenta los datos contenidos en la tabla 2.11 y 2.12 del referido capítulo, se ofrece en la *tabla 3.5* los resultados obtenidos en los cálculos. Para ver desarrollo del cálculo para un caso ver *anexos 13 y 14*.

Tabla 3.5. Resultados obtenidos en los cálculos.

Parámetro	Unidad	Ecuación	% de carga del motor			
			75	80	90	100
p_{me}	MPa	2.22	1.402	1.482	1.679	1.938
W_e	kJ	2.24	5.695	6.021	6.821	7.872
g_e	g/kW. hr	2.26	229.14	228.88	226.71	223.14
η_e	%	2.29	26.7	28.2	32	36.9
η_m	%	2.28	68.6	72.6	82.2	94.9

3.2.5- Obtención de las curvas características de carga

Posterior al cálculo de los parámetros se procede a la obtención de las curvas características de carga, en estas se incluye la curva de consumo horario y consumo



específico efectivo de combustible, rendimiento efectivo y presión media efectiva del motor. Para ello se utiliza la tabla 3.6 de datos.

Tabla 3.6. Datos para la construcción de los gráficos de carga.

Carga (%)	Potencia efectiva (kW)	Consumo horario (kg/h)	Consumo específico (g/kWh)	Rendimiento efectivo (%)	Presión media efectiva (MPa)
75	1366	313.8	229.14	26.7	1.402
80	1444	330.5	228.88	28.2	1.482
90	1636	370.9	226.71	32	1.679
100	1888	421.3	223.14	36.9	1.938

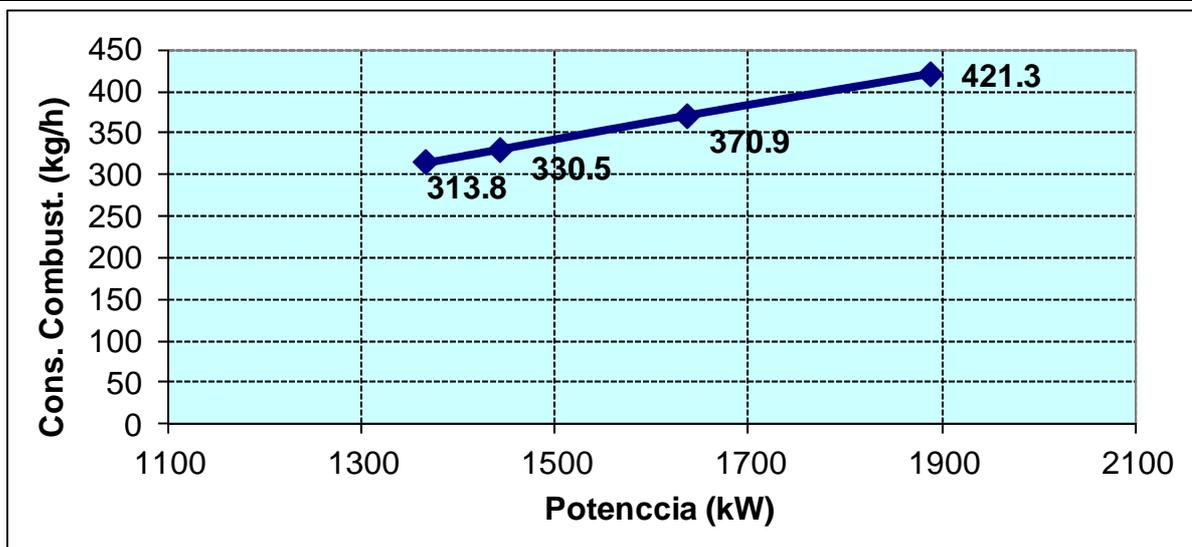


Figura 3.7. Variación del consumo horario con respecto a la potencia efectiva.

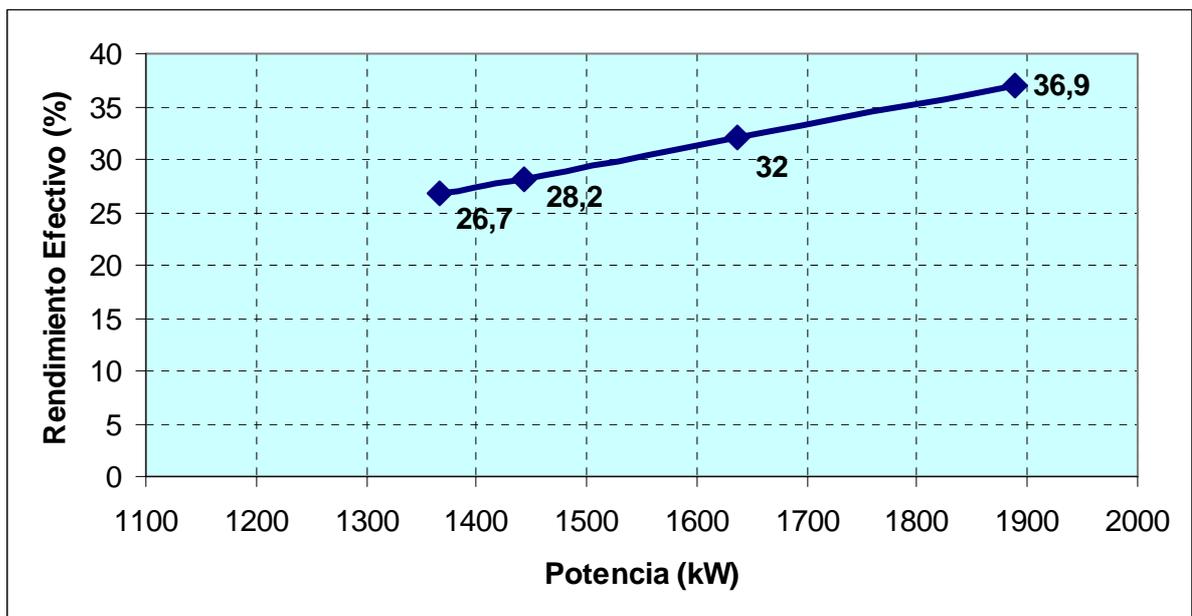


Figura 3.8. Variación del rendimiento con respecto a la potencia efectiva.

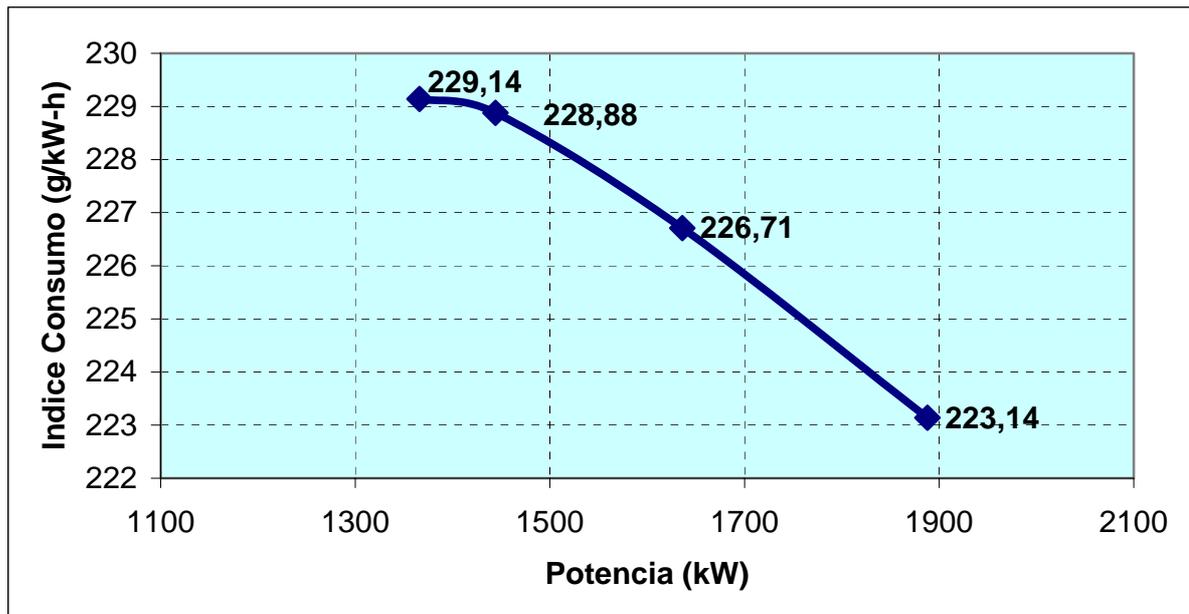


Figura 3.9. Variación del índice de consumo efectivo de combustible con respecto a la potencia efectiva.

En las figuras 3.7 y 3.8 se muestra un aumento de los parámetros relacionados en cada caso; el consumo horario de combustible y el rendimiento efectivo con respecto al incremento de la carga del motor. El rendimiento efectivo aumenta con respecto a la carga y el consumo específico efectivo disminuye, (*índice de consumo, figura 3.9*), (en ambos hasta aproximadamente el 80 y 85 % de la carga máxima), el momento en el cual alcanzan sus valores óptimos. Para valores superiores de carga el proceso de combustión se empeora a causa de la imperfección con que se forma la mezcla. A consecuencia de esto, el rendimiento indicado disminuye más bruscamente y esta disminución suya no se compensa con la elevación del rendimiento mecánico, lo que ocasiona un aumento del consumo específico.

Como indica la figura 3.7, el consumo horario de combustible es mayor a medida que aumenta el por ciento de carga. Para la carga de 75 % corresponde el menor consumo de combustible, 313,8 kg/h; mientras que al 100 % de carga, el consumo aumenta en 421 kg/h. Eso está condicionado porque para aumentar el por ciento de carga del motor se debe introducir una mayor cantidad de combustible para la combustión.

En todo lo anteriormente descrito está presente con su influencia la densidad del combustible. Ella depende, del crudo de origen y del tratamiento de refinería. Sin embargo, en los motores relativamente rápido que consumen gas oíl, la densidad tiene repercusión sobre la potencia y el consumo. Una división de reglaje de la

bomba de inyección, corresponde a un cierto volumen de combustible inyectado por el ciclo, y por consiguiente a mayor densidad, la energía introducida al motor con el combustible es superior (el valor calórico se expresa en cal/kg de combustible). La densidad interviene aquí por su acción sobre el poder calórico por litro y puede haber interés sobre todo cuando la contabilidad del combustible se realiza sobre la base del precio unitario por volumen de utilizar un combustible suficientemente denso (lógicamente dentro de los límites permisibles para el tipo de combustible utilizado).

En la *tabla 3.5*, el aumento de la presión media efectiva, es el resultado de quemar más combustible por cada ciclo, el aumento de este parámetro no es significativo para el caso del motor 8, ya que este cuenta con un sistema de sobrealimentación, encargado de bombear aire a la culata de cada cilindro, lo que implica una menor cantidad de combustible inyectado y un crecimiento de coeficiente de exceso de aire (Reyes, 1983).

3.2.6- Parámetros principales de la batería en su interacción con el medio ambiente

Apoyándose en la metodología anteriormente descrita y teniendo en cuenta los datos que se ofrecen del clima y la explotación de la instalación, se ofrece en la *tabla 3.7*, con resultados obtenidos en los cálculos.

Tabla 3.7. Resumen de la batería según la norma ISO y SCADA

Mes/Año 2007	Batería de grupos electrógenos.			
	Normas ISO 3046-1		SCADA	
meses	Potencia (kW)	Ic. Consumo (g/kWh)	Potencia (kW)	Ic. Consumo (g/kWh)
marzo	1421	221,22	1413,90	226,00
abril	1380	221,97	1377,50	227,00
mayo	1353	222,49	1369,70	228,04
junio	1358	222,40	1362,30	228,80
julio	1355	222,45	1348,97	231,20
agosto	1354	222,46	1341,40	231,80

Nota: La potencia y el índice de consumo según norma ISO 3046-1, por las fórmulas 2.30 y 2.33 contenidas en el capítulo 2. En el caso de lo resultado obtenidos a partir del sistema SCADA, se determinaron en el panel de control y la fórmula 2.3, también del capítulo 2, respectivamente.

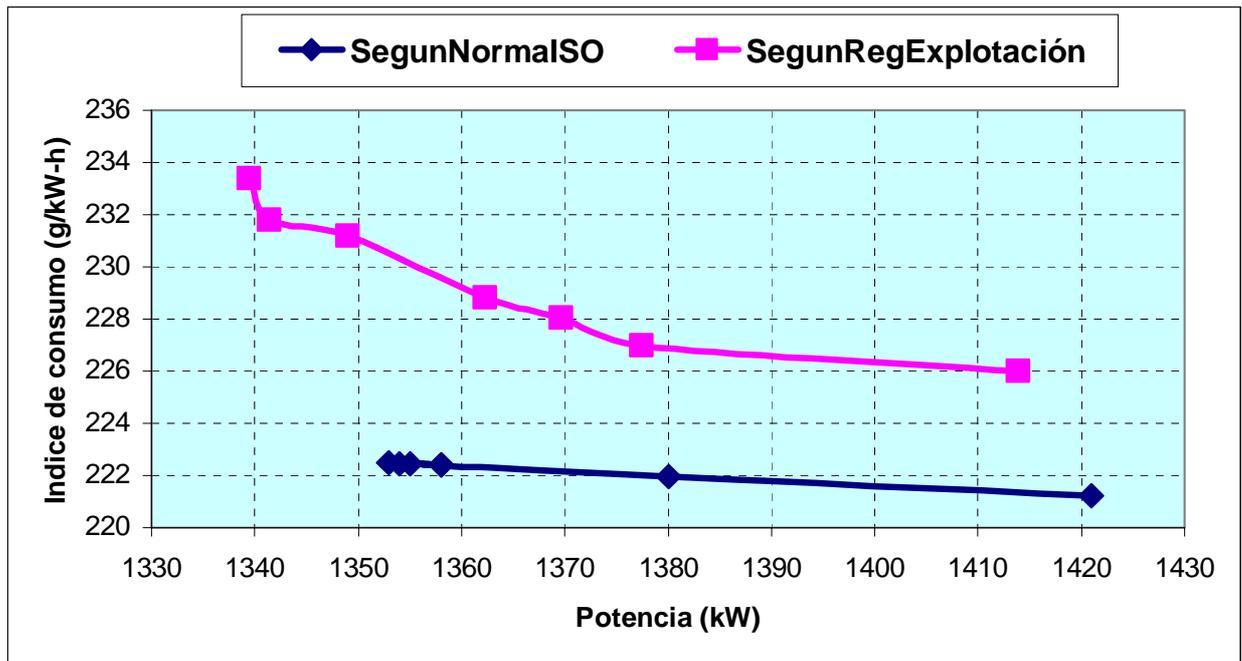


Figura 3.10. Comportamiento de los índices de consumo de combustible en la batería con respecto a la potencia.

En la figura 3.10 existe una tendencia del índice de consumo de combustible a ir disminuyendo a medida que aumenta la carga de motor (potencia de servicio), lo cual es producto a la influencia que tiene la calidad del combustible, condicionada esta última por su densidad, y contenido de azufre que proporcionan una mejor combustión y aprovechamiento de la energía que porta el combustible.

La curva que muestra el comportamiento del índice de consumo corregido según la norma ISO 3046-1, tiene una leve tendencia a la disminución entre los valores de 221,22 y 222,49 g/kWh, esto es porque está bajo la influencia de parámetros climatológicos como son la presión atmosférica (promedio de 101,556 kPa), humedad relativa (promedio 78,57 %) y temperatura del aire (promedio 26,27 °C); por no existir una gran dispersión de los valores se comporta como una recta. Cuando se analiza la interacción de estos parámetros con el trabajo del motor, están directamente relacionados con el rendimiento mecánica del motor (η_m); a medida que aumenta el % de carga del motor, aumenta el rendimiento mecánica por ende disminuye el índice de consumo del motor, debido al acercamiento cada vez mayor de la potencia de servicio a la potencia declarada estándar.

En el caso del comportamiento del índice de consumo sin considerar los efectos del medio ambiente, en el intervalo de meses evaluado (abril–septiembre de 2007), este tiene una dependencia total de la calidad del combustible (densidad), y de la carga



de trabajo. La curva que lo representa tiene una marcada variación, en función de ir disminuyendo con el aumento de la potencia efectiva, aquí existe la posibilidad de incurrir en errores de medición y recogida de datos por parte del operador, o marcha sin carga del motor, etc.

3.3- Diagnóstico de recorrido

Consiste en una inspección visual de las instalaciones energéticas de la planta, en la observación de parámetros de operación, en el análisis de los registros de operación y mantenimiento, así como de la información estadística global de consumos y facturaciones por concepto de electricidad, combustibles y agua. Con este diagnóstico se obtiene un panorama global generalizado del estado energético y una idea preliminar de los potenciales de ahorros energéticos y económicos. De este tipo de diagnóstico se derivan medidas de ahorro o de incremento de eficiencia energética de aplicación inmediata y con inversiones marginales, y se obtiene una idea preliminar sobre otras posibles medidas de ahorro.

En resumen estas son algunas de las principales deficiencias detectadas, que afectan la eficiencia de los GED y con la realización previa del diagnóstico realizado, podemos citar.

- ❖ La utilización de combustibles con diferentes densidades y poder calórico del que dicta el fabricante.
- ❖ La sobreexplotación de las máquinas lo que provoca la violación del tiempo establecido para el mantenimiento.
- ❖ Irregularidades en los mantenimientos a las máquinas.
- ❖ Falta de instrumentos de medición para la determinación exacta del índice de consumo y el consumo de combustible.
- ❖ Errores cometidos a la hora de la realización de las lecturas y los cálculos de los parámetros que indican la eficiencia.
- ❖ El incumplimiento con los procedimientos a la hora de la descarga de combustible.
- ❖ La falta de capacitación del personal en materia de Gestión Energética.

3.4- Programa de concientización, motivación y capacitación especializada

Como parte de las acciones encaminadas a mejorar la eficiencia de la instalación; la concientización y capacitación del personal en materia de ahorro energético juega



papel fundamental. La Dirección Territorial se ha dado a la tarea de lograr una mejor preparación en los trabajadores, por lo que se ha establecido un programa de capacitación de nuevos operarios, donde las clases las imparten los trabajadores del emplazamiento con el objetivo de puntualizar sus conocimientos y transmitirles las experiencias a los nuevos operarios. El Jefe de Emplazamiento ha recibido una capacitación especial para lograr aclarar cualquier duda en la preparación de los obreros. Las discusiones sobre los parámetros que se incumplen y el análisis en las reuniones que se realizan sobre las afectaciones que provoca un mal funcionamiento de los GED, tanto sobre el Medio Ambiente como sobre la persona se ha hecho algo cotidiano.

La lectura de las Reflexiones del Comandante en Jefe y los Tabloides que abordan el tema del Ahorro Energético y la Preservación y Cuidado del Medio Ambiente es algo cotidiano en los trabajadores, enriqueciendo significativamente la cultura en estos aspectos. El cumplimiento de las normas de ahorro de energía es algo por lo que vela cada trabajador, enfatizando fundamentalmente en la Hora Pico. En el Territorio se han dado algunos pasos para mejorar la Gestión Energética en el centro, pero por la dirección de GD estar localizada en la cabecera provincial, se hace necesario la orientación y capacitación de personal capacitado de la Empresa, ya que en el municipio se han sentado las bases para una mejor preparación de los trabajadores y la implantación de un Sistema Total y Eficiente de la Gestión Energética.

3.5- Aplicación de medidas de ahorro viables en corto plazo

Debido a que no existen equipos de medición de los consumos de combustible de refrigerante y agua en cada uno de los diferentes en la instalación, no ha sido posible el establecimiento de índices de consumo de la misma.

A partir del estudio realizado en la instalación se detectaron diferentes áreas de oportunidad para reducir los consumos y costos de energía en la batería de grupos electrógenos del municipio Moa, como son:

1. Mejoramiento de las normas de entrega y recepción de combustible.
2. Instalar un sistema de medición en el tanque oleaginoso para determinar el volumen del mismo.
3. Se instalen y calibren los flujómetros a la entrada de cada estación de combustible y a la salida del tanque de operaciones.



4. Lograr un mejor desempeño a la hora de la realización de la descarga de aceite y líquidos refrigerante para evitar rupturas en los tanques y la pérdida por salideros.
5. Estudiar posibles desplazamientos de actividades (centrifugado de combustible) para reducir el consumo en horario pico aumentarlo durante la madrugada.
6. Lograr un acuerdo a nivel de Empresa para la evacuación del aceite quemado utilizado en los motores.
7. Tomar las medidas correspondientes para evitar el desbordamiento del pozo oleaginoso y lograr que con el agua contaminada se haga una gestión adecuada para su posterior tratamiento.
8. Mejorar la capacitación y concientización de los trabajadores en materia de Gestión Energética.
9. Potenciar la acción del movimiento del FORUM de Ciencia y Técnica en la Empresa en función del ahorro de energía y agua, establecer otros mecanismos que incentiven la creatividad e iniciativa de los trabajadores en dicho campo.
10. Mejorar la hermeticidad de los locales climatizados.

La aplicación correcta de estas medidas posibilitará en un corto plazo mejorar la eficiencia de los GED instalados en la batería de grupos electrógenos de Moa y lograr una mayor concientización y preparación del personal, acorde con los principios de la Revolución Energética que se desarrolla en nuestro país.

3.6- Valoración económica

La economía de la batería de GED se aprecia principalmente por la cantidad de combustible que consume. Este consumo se determinó a partir de los datos recogidos en la instalación.

Para obtener el valor del costo por consumo, se multiplica el precio del producto por la cantidad consumida en el periodo que se evalúa. Por lo tanto se obtienen los siguientes valores para el consumo de combustible.

Tabla 3.8. Costo consumo de combustible total

Carga (%)	Precio del barril (CUC)	Cantidad total consumidos	Costo total (CUC)
		barriles	
75	68.8	30819,1682	2120358,77

Con una carga de 75 % y para un total de 12974 h trabajadas, la batería consume 30819,1682 barriles de combustible, que representa un costo de 2120358,77 CUC.



3.7- Impacto medio ambiental de la batería de GED, desde el punto de vista del análisis de los MCI

La energía mecánica indispensable para poner en acción diferentes máquinas se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. En la actualidad la que más se utiliza es la energía térmica obtenida de los combustibles de naturaleza orgánica. Los equipos energéticos que más aceptación han tenido son los MCI, a ellos corresponde más de un 80 % de la totalidad de la energía producida en el mundo.

El impacto ambiental del MCI está estrechamente relacionado con un problema social surgido por la utilización creciente del mismo; la reducción de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los llamados "gases de invernadero" y la reducción de los niveles de ruido.

Las discusiones internacionales acerca de las causas e implicaciones para la humanidad del llamado "efecto invernadero", provocado por las crecientes emisiones a la atmósfera de gases tales como: CO₂, metano, óxido nitroso y los cloro-fluorocarbonatos, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y del desarrollo, así como la necesidad de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global.

3.7.1- Formas de acción del MCI sobre el medio ambiente

Las formas más importantes de acción del motor sobre el medio ambiente son:

- Agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante el funcionamiento de los MCI.
- Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
- Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
- Emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.
- Consumo de agua potable.
- Emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera que disminuye el rendimiento de los trabajadores y ocasiona molestias en sentido general.



El Dióxido de Carbono y demás partículas nocivas emitidas por los tubos de escape de los vehículos con motor de combustión contribuyen en gran manera, al ser tan elevado su número. Contribuye al Efecto Invernadero, a la Lluvia Ácida y la capa de Ozono (esta en muy poca medida):

Efecto Invernadero: La quema de combustibles fósiles aumenta la cantidad de Dióxido de Carbono en la atmósfera, que atrapa calor extra. Si continua así subirá la temperatura de la Tierra ocasionando muchos problemas.

Lluvia Ácida: Causada principalmente por el nitrógeno despedido por los tubos de escape. Cuando esta contaminación se mezcla con el vapor de agua y el oxígeno de la atmósfera, se producen ácido nítrico y sulfúrico. Esta mezcla cae con la lluvia incrementando la acidez de lagos, ríos y sustrato en general, incluyendo plantas y animales.

Ruidos del MCI: Se entiende por ruido del MCI la emisión acústica que éste produce durante el trabajo. Los principales componentes del ruido del motor son: el ruido de admisión; el ruido por la deformación de las paredes de la cámara de combustión durante la compresión, combustión y expansión; el ruido durante la combustión; el ruido provocado por las oscilaciones del motor sobre la suspensión; el ruido por golpes durante el trabajo de los mecanismos; el ruido por el funcionamiento de agregados del motor y el ruido durante el escape de los gases.

3.7.2- Toxicidad de los gases de escape del MCI y formas para reducirla

Se llaman sustancias tóxicas a las que ejercen influencia nociva sobre el organismo humano y el medio ambiente. Durante el trabajo de los MCI se desprenden las siguientes sustancias tóxicas principales: óxidos de nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, aldehídos, sustancias cancerígenas (bencipireno), compuestos de azufre y plomo. Además de los gases de escape de los MCI, otras fuentes de toxicidad son también los gases del cárter y la evaporación del combustible a la atmósfera. Incluso en un motor bien regulado la cantidad de componentes tóxicos que se expulsan durante su funcionamiento puede alcanzar los siguientes valores:

Tabla 3.9. Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión

Monóxido de carbono, %	Motores Diesel	Motores de carburador
Óxidos de nitrógeno. %	0.2	6
Hidrocarburos, %	0.35	0.45
Dióxido de azufre, %	0.04	0.4
Hollín/ mg/l	0.04	0.007

De este modo, la toxicidad de los motores Diesel depende en lo principal del contenido de los óxidos de nitrógeno y el hollín. La toxicidad de los motores de encendido por chispa y carburador depende en gran medida de la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno.

3.7.3- Contaminación provocada por el motor Diesel

Convertidos en la "bestia negra de los ecologistas" , los motores Diesel tienen mucha menos responsabilidad en la contaminación ambiental de la que se les imputa normalmente lo que se puede observar al remitirnos a la tabla ofrecida anteriormente; aunque su contaminación se ve más por la típica emisión de humo negro formado por partículas microscópicas que no son tóxicas pero si molestas. Además, estudios realizados demuestran que los niveles de emisión de dióxido de carbono en el motor Diesel son claramente más bajos que un motor de gasolina de igual potencia.

Los motores de combustión interna tienen gran responsabilidad en los niveles de emisión de sustancias que provocan el "efecto invernadero", fundamentalmente del dióxido de carbono y los óxidos nitrosos.

De acuerdo con estimaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos; de mantenerse las actuales tendencias en las emisiones de "gases del efecto invernadero", la temperatura media global aumentaría a un ritmo de 0,3 °C por década. Consecuentemente, se producirán incrementos en el nivel del mar que pudiera ser entre 20 y 50 cm para el año 2005 y de alrededor de 1 m para el año 2100.

Los métodos de reducción de la toxicidad y el humeado de los MCI pueden ser divididos en dos grupos: los constructivos y los explotativos. Entre los métodos constructivos podemos citar: la recirculación de los gases de escape y la



neutralización de los mismos. Dentro los métodos explotativos se encuentran: el estado técnico del MCI y su correcta regulación, perfeccionamiento de los procesos de formación de la mezcla y de combustión, la correcta selección de los combustibles y sus aditivos, y la utilización de los biocombustibles.

Para la neutralización de los gases de escape desde hace años se habla de catalizadores de tres vías, de catalizadores de oxidación, de sondas Lambda o de válvulas ERG (exhaust gas recirculación).

El sensor que proporciona al sistema la capacidad de mantener la estequiometría es el sensor o sonda "Lambda". Se coloca atornillada en el colector de escape, suministra a la computadora información sobre el contenido de oxígeno de los gases residuales que se escapan de los cilindros. Esencialmente es una pila seca, ya que produce voltaje del potencial eléctrico entre dos sustancias, en este caso, el aire ambiental y el escape; cuanto más oxígeno hay en el escape (lo cual corresponde a una condición de mezcla pobre) menor será el potencial y el voltaje producido, pero cuando hay menos oxígeno (como en una mezcla rica) mayor será el potencial y el voltaje creado.

El índice de aire y combustible "estequiométrico" (o sea, una relación aire a combustible por peso de 14,6:1) en los motores de encendido por chispa asegura que todo el combustible que entra en la cámara de combustión tenga la cantidad adecuada de oxígeno para combinarse logrando un quemado completo, reduciendo de esta manera las emisiones de HC (hidrocarburos) y de CO (monóxido de carbono). El convertidor catalítico de oxidación de doble vía puede limpiar una gran cantidad de HC y CO después de dejar los cilindros; un contaminante más difícil de eliminar son los NO_x (óxidos de nitrógeno, un ingrediente del smog fotoquímico). Si bien la EGR realiza una tarea razonablemente buena en mantener baja la formación de NO_x reduciendo las temperaturas máximas de combustión, no puede hacer lo suficiente para satisfacer los requisitos de algunos países. El convertidor catalítico de tres vías tiene una sección de oxidación que utiliza platino y paladio, más una sección de reducción que utiliza rodio para reducir los NO_x a nitrógeno y oxígeno inocuos, sin embargo esta reacción de reducción sólo se puede mantener si hay una relación estequiométrica de aire y combustible.



El catalizador de tres vías se instala en la mayoría de los coches modernos acompañado de la sonda Lambda, mientras que en los motores Diesel para tractores y autos pesados el más empleado es el catalizador de oxidación.

Los biocombustibles son uno de los combustibles alternativos que disfrutan de unas ventajas más claras y que se obtienen a partir de productos agrícolas, no contienen azufre y por lo tanto no forman el anhídrido sulfuroso, uno de los principales causantes de la lluvia ácida, ni incrementan la cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera. Los análisis realizados, tanto en bancos de pruebas como en experiencias piloto, dejan bien claro que la utilización de los biocombustibles ofrece ventajas medioambientales en comparación con los combustibles convencionales como el gasoil.

En Cuba por el momento no se realiza ningún control de los niveles de emisión de sustancias tóxicas y de los "gases de invernadero". Es muy común ver en las carreteras como circulan vehículos con MCID arrojando una gran cantidad de humo negro y MCI de encendido por chispa que al pasar no sólo humean sino que también dejan un fuerte olor a gasolina que incluso es irritante para nuestros ojos, evidencias estas no solo de una elevada cantidad de gases tóxicos sino también de mala regulación del sistema de alimentación de estos vehículos. Por lo que se deduce que de elevar las exigencias al personal técnico responsabilizado por la explotación de estos equipos y a los propios conductores se puede disminuir no solo la contaminación ambiental sino también dar mejor uso al combustible disponible, pues un sistema de alimentación en mal estado trae aparejado también un consumo de combustible elevado.

3.7.4- Afectaciones ambientales provocadas por los MCI de los grupos electrógenos de Moa

Las principales manifestaciones de los MCI de los grupos electrógenos de Moa, son los impactos sobre el suelo, la calidad del aire y los recursos hídricos (*ver la figura 3.11*).

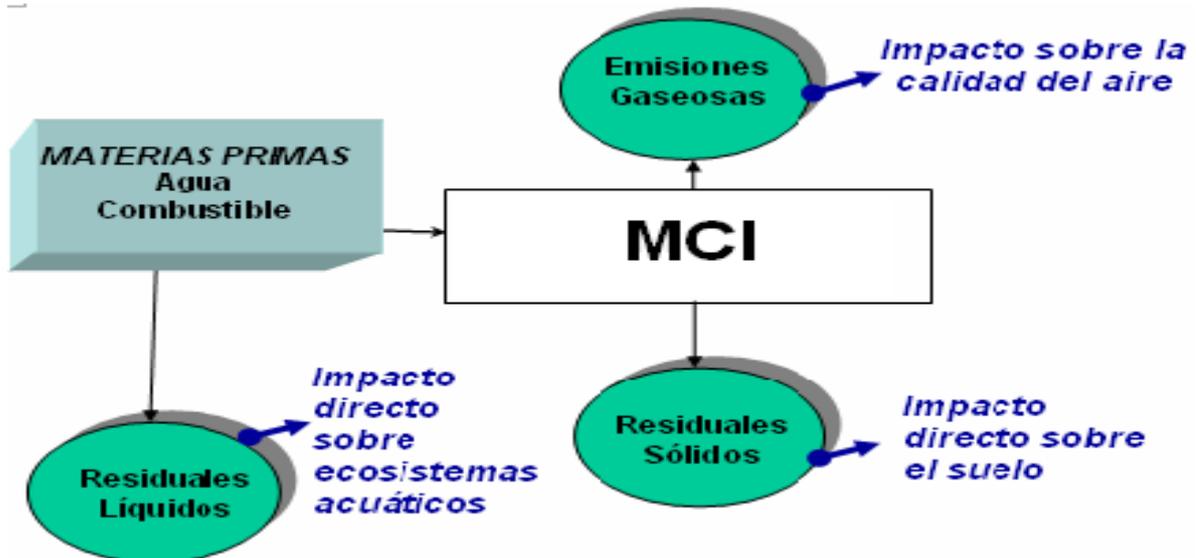


Figura 3.11. Impacto ambiental del MCI en grupos electrógenos de Moa.

Impactos sobre el suelo

Contaminación física, química y térmica de aguas superficiales con los consiguientes efectos secundarios sobre los ecosistemas acuáticos y el hombre.

Calidad del aire

Contaminación del aire con gases tóxicos y partículas, causantes de afecciones respiratorias y daños al ecosistema.

Recursos hídricos

Contaminación del suelo con el consiguiente deterioro de sus propiedades, destruyendo la vegetación.

Entre los tipos de accidentes más probables en el emplazamiento se encuentran:

1. Impactos asociados a situaciones de accidente o contingencia

- Incendios.
- Explosiones.
- Derrumbes.
- Derrames de combustible.
- Otros.

2. Impactos esperados

- Contaminación de las aguas.



- Contaminación del suelo.
- Contaminación del aire.
- Destrucción y deterioro de instalaciones y equipos.
- Interrupciones del servicio.
- Daños a la salud.

3.8- Conclusiones del capítulo

1. El análisis del índice de consumo es similar gráficamente y estadísticamente quedó en el capítulo 2 demostrado que no hay diferencias significativas.
2. El análisis de los resultados, basado en los parámetros efectivos del motor muestra que el rendimiento efectivo aumenta con respecto a la carga debido a que se produce un mayor aprovechamiento de la energía que porta el combustible.
3. Los motores de la instalación pueden operar a 4 regímenes de carga (75; 80; 90 y 100 %), para la evaluación del sistema se realizó en base 75 % que es generalmente a la que operan, a partir de este régimen se realiza la valoración económica del costo total por consumo de combustible.
4. Los parámetros climatológicos anteriormente referidos no tienen gran influencia, en la variación de la potencia de servicio y el índice de consumo de combustible, ellos están alrededor de 1368,42 kW y 222,19 g/kWh.
5. En la instalación no se disponen de equipos para el control de afectaciones al medio ambiente que producen los motores de combustión interna. El principal equipo contaminador del medio ambiente son los motores de combustión interna.

CONCLUSIONES GENERALES

- Para los análisis se tomó un nivel de significancia 99% en todos los criterios, el análisis de varianza indica que no existe diferencias significativas entre los valores del índice de consumo correspondientes a bloques (cada grupo electrógeno) y tratamientos (tiempo en el que se evalúa la instalación); y la prueba de Duncan confirma los resultado del referido análisis de varianza.
- El comportamiento del índice de consumo es similar gráficamente al resultado que ofrece el análisis estadístico, además muestra que no hay diferencias significativas entre las medias de las dos bases de datos; que son 224,96 y 228,56 g/kWh.
- El rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el período que se utiliza petróleo con densidades iguales es 223,88 a 229,33 g/kWh, y para el período de evaluación a diferentes valores de densidad el rango del índice de consumo fue de 227,65 a 231,46 g/kWh, estos rangos se comprobaron que a pesar de estar ambos por encima de lo que establece el fabricante, no tienen diferencias significativas.
- Entre los parámetros efectivos del motor el rendimiento aumenta desde (26,7 hasta 36,9 %) con respecto a la carga debido a que se produce un mayor aprovechamiento de la energía que porta el combustible. El consumo específico efectivo disminuye (229,14 hasta 223,14 g/kWh), en la misma medida que va aumentando la potencia efectiva del motor. En el caso del consumo horario del combustible aumenta considerablemente a con el aumento de la potencia, debido a que se necesita inyectar a la cámara de combustión una mayor cantidad de combustible.
- Al analizar la variación de la potencia de servicio y el índice de consumo de combustible, ellos están alrededor de 1368,42 kW y 222,19 g/kWh. Estos dos valores están cercano al comportamiento de la batería en cada mes evaluado, esto se debe, principalmente, al poco cambio de las condiciones meteorológicas en la localidad, y además por el sistema de sobre alimentación con que cuentan estos motores.



- Para la carga, a la que generalmente operan los motores (75%), el costo total por consumo de combustible en el período evaluado, es de 30819 barriles, lo que asciende a un total de 2120358.77 CUC.
- Los principales agentes contaminantes provienen de la explotación de los motores de la instalación que provocan daños al aire, al suelo y al agua. Para el control de estos daños no se cuentan con los dispositivos y equipos correspondientes en dicha instalación.



RECOMENDACIONES

1. Utilizar el procedimiento descrito en el cuerpo del presente material, como herramienta para la evaluación y control de los parámetros fundamentales de la instalación, incluyendo al índice de consumo y los parámetros de los que este depende.
2. Aplicar otras metodologías estadísticas existentes para analizar y organizar el mantenimiento de la instalación en general, y de cada parte del sistema en particular.
3. Automatizar la metodología de cálculo con vista al incremento de la eficiencia y eficacia en la realización de los mismos.
4. Aplicar las principales medidas de ahorro expuestas en el presente trabajo.



1. COELLO PUPO, L. *Comportamiento del desgaste de los motores de combustión interna de los camiones articulados Volvo A35C, mediante el diagnostico del lubricante*. Tesis en opción al título de ingeniero Mecánico. Instituto superior minero metalúrgico de Moa, 2005.50h.
2. Duran, Y. *Evaluación de la batería de grupos electrógenos de Moa trabajando bajo condiciones medioambientales locales*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2009
3. Enciclopedia Microsoft Encarta, 2007. *Motor de combustión interna*. 2006.
4. Empresa eléctrica (Cuba). *Manual de medio ambiente*.2006.
5. Empresa eléctrica (Cuba). *Manual del motor de combustión interna*. 2006.
6. *El motor de combustión interna y su impacto ambiental*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: <http://www.monografia.com/trabajos14/impacto-ambiental/impacto-ambiental.shtml>.
7. Faires, V. *Termodinámica*. La Habana: Edición Revolucionaria, 1991. 807p.
8. Fernández, E. *Termodinámica Técnica*. La Habana: Editorial "Felix Varela", 1994. Tomo I, II y III.
9. Isachenko. V.; V. Osipova.; A. Sukomel. *Transmisión del calor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, 1979. 566p.
10. *Instalados en Cuba mil 156 grupos electrógenos de emergencia*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en http://www.tiempo21.islagrande.cu/Cuba/septiembre06/grupos_eletrogenos.htm.
11. Llamo Medina, E.; Collado Acosta, J. *Diagnóstico Energético de Segundo Nivel en la Refinería "Hnos. Díaz" y CUBALUB*. XV Forum de Ciencia y Técnica DIP-PAEC, Santiago de Cuba 2003
12. *Los motores de combustión interna*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: http://html.rincondelvago.com/motores-de-combustion-interna_1.html.
13. Miller R., John E. Freun, Richar Jonson. *Probabilidad y Estadística Para Ingeniero*. Editorial Félix Varela. La Habana Cuba 2005. Tomo I y II.
14. MILLER, I; Freund, John. *Probabilidades y Estadísticas para Ingenieros*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.407p.



15. Monteagudo Yanes, J.; Borroto Nordelo, A. *La "Producción Equivalente". Un método para elevar la efectividad de los Índices Energéticos*. III Taller caribeño de energía y medio ambiente. CEEMA, UCF. Cuba 2004.
16. *Motor de combustión interna alternativo*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna_alternativo. Technical documentation.
17. *Motores térmicos*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/~napsu/documentos/MOTORES%20TERMICOS.html>.
18. Nora, A. *Comportamiento de las diferentes variables que rigen el trabajo de las baterías de grupos de electrógenos, a través del empleo de las técnicas heurísticas*. Tesis de Maestría. ISMM, 2009
19. Pérez, Garay. L.: *Generadores de Vapor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1972.
20. REYES, J. L. G, I. P. Alcove. *Problemas de Teoría de los motores de combustión interna*. La Habana: Departamento de ediciones del ISPJAE, 1985. 230p.
21. REYES, J. L. G. *Prácticas de laboratorio de motores de combustión interna de pistón*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.141p.
22. Reyes, J. L. G, Pérez, R. C. y Morozov, K. *Teoría de los motores de combustión interna*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.407p.
23. Rizhkin, Y. V. *Centrales termoeléctricas*. Primera y segunda parte. Editorial pueblo y educación. Ciudad de La Habana. 1985.
24. Rodríguez, Y. *Análisis del petróleo crudo nacional empleado en la empresa Ernesto Guevara*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2001.
25. Tavarez, J. *Determinación de los parámetros de trabajos del motor 7 de la batería de grupos electrógenos de Moa*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2007
26. Velásquez, D. *Establecimiento del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrógenos de Moa*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2008
27. Vukalovitch. *Propiedades Termodinámicas del agua y el vapor*. Editorial. Revolucionaria 1958.



ANEXOS

**ANEXO 1****Tabla 1.** Datos considerando la densidad constante.

MESES	GED-1	GED-2	GED-3	GED-4	GED-5	GED-6	GED-7	GED-8
Febrero								
Marzo								
Abril								
Mayo								
Junio								
Julio								
Agosto								
Septiembre								
Octubre								
Noviembre								
Diciembre								
Enero								

Tabla 2. Datos considerando la densidad variable.

MESES	Ic	Densidad Utilizada
febrero		
marzo		
abril		
mayo		
junio		
julio		
agosto		
septiembre		
octubre		
noviembre		
diciembre		
enero		

Tabla 3. Datos obtenidos durante, enero 2009 - enero 2010 (Utilizando diesel con las mismas características de densidad)

MESES	GED-1	GED-2	GED-3	GED-4	GED-5	GED-6	GED-7	GED-8
Febrero	233,19	307,74	246,00	245,46	245,98	245,99	246,00	246,00
Marzo	233,72	291,19	241,28	221,36	230,63	232,80	229,57	229,57
Abril	218,65	209,17	330,00	218,89	218,94	216,12	220,40	220,40
Mayo	219,14	218,58	218,57	218,54	240,80	219,97	228,35	228,35
Junio	219,38	219,36	0,00	204,39	219,41	219,36	230,61	230,61
Julio	285,84	222,31	225,57	225,82	222,42	222,51	97,55	217,89
Agosto	225,60	224,37	211,29	225,62	221,08	225,72	226,79	226,79



Septiembre	215,75	222,07	221,74	226,91	226,81	177,61	228,28	228,28
Octubre	224,76	224,37	222,47	227,17	222,30	222,64	233,02	233,02
Noviembre	228,80	238,40	236,55	228,67	228,92	236,19	228,71	228,70
Diciembre	228,00	227,77	228,08	163,29	240,84	228,16	228,19	228,19
Enero	227,87	228,23	228,60	227,95	227,78	227,98	227,76	227,76

Tabla 4. Datos obtenidos período evaluado, febrero 2007- mayo 2008. (Utilizando diesel diferentes características de densidad)

MESES	lc g/kWh	ρ (g/m³)
febrero	225,4	853,61
marzo	226	842,81
abril	227	848,36
mayo	229,4	850,70
junio	228,2	850,70
julio	231,8	850,70
agosto	231,7	850,70
septiembre	233,4	850,70
octubre	230,6	850,70
noviembre	229,8	859,10
diciembre	226,6	859,10
enero	229,7	860,93

ANEXO 2

Cálculos Estadísticos

Prueba de hipótesis referida al análisis de varianza.

1- Hipótesis:

- hipótesis nula: H_0 al cambiar la batería no varia el índice de consumo
- hipótesis alterna: H_1 al cambiar la batería varia el índice de consumo

2- nivel de significancia: $\alpha = 0.01$

Fisher de la base de datos para el nivel de significancia anterior F de tratamientos y F de los bloques Tabla.

3- Definición de la condición para el estadístico de la prueba:

La hipótesis nula se rechaza si:

- $F > F_{0.01} (8-1) \text{ y } (8-1) (12-1)$ grados de libertad para los tratamientos.
- $F > F_{0.01} (12-1) \text{ y } (12-1) (8-1)$ grados de libertad para los bloques.

4- Calculo para el estadístico de la prueba.

Cálculos utilizando en Math Cad

Termino de Corrección

$$t := \sum (A^T)^{(12)}$$

$$a := 12$$

$$b := 8$$

$$C := \frac{t^2}{a \cdot b}$$

$$C = 4873628.033$$

Suma total de cuadrados

$$SST := \sum_{i=0}^{11} \sum_{j=0}^7 (A_{i,j})^2 - C$$

$$SST = 105058.454$$



Suma de cuadrados para tratamientos

$$SS_{Tr} := \frac{\sum_{i=0}^{11} (A_{i,8})^2}{b} - C$$

$$SS_{Tr} = 17681.013$$

Suma de cuadrados para bloques

$$SS_{Bl} := \frac{\sum_{j=0}^7 (A_{12,j})^2}{a} - C$$

$$SS_{Bl} = 3685.86$$

Suma de Cuadrado del error

$$SSE := SST - SS_{Tr} - SS_{Bl}$$

$$SSE = 83691.581$$

Para llenado de tabla del análisis de variancia

Antes calculados los demás parámetros

Cuadrados medios

Para Tratamientos

$$MS_{Tr} := \frac{SS_{Tr}}{a - 1}$$

$$MS_{Tr} = 1607.365$$

Para bloques

$$MS_{Bl} := \frac{SS_{Bl}}{b - 1}$$

$$MS_{Bl} = 526.551$$

Para el error

$$MSE := \frac{SSE}{(a - 1) \cdot (b - 1)}$$

$$MSE = 1086.904$$



Calculo de Fisher

Para tratamientos

$$F_{Tr} := \frac{MS_{Tr}}{MSE}$$

$$F_{Tr} = 1.479$$

Para Bloques

$$F_{Bl} := \frac{MS_{Bl}}{MSE}$$

$$F_{Bl} = 0.484$$

5- Toma de decisiones.

La hipótesis nula no se rechaza

ANEXO 3**Prueba de Duncan para bloques**

Rango de mínima significancia

$$Rp = S_{\bar{x}} * rp$$

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

Para:

$$MSE = 1086.90$$

Nota: Este valor se toma del análisis de varianza

$$n = 8$$

$$S_{\bar{x}} = 11.656$$

Tabla 5. Datos de índice de consumo para el análisis de la prueba de Duncan

236,13	230,06	228,83	228,80	222,92	219,51	218,77	217,51
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabla 6. Valores de rp que depende del nivel de significancia y del número de grados de libertad correspondiente la MSE (tabla 12b Estadística y probabilidades para Ingenieros 2^{da} Parte).

P	2	3	4	5	6	7	8
rp	3.77	3.93	4.04	4.12	4.19	4.27	4.41

Tabla 7. Resumen de los resultados de rango de Rp obtenido de la multiplicación a partir de la ecuación 2.7 reflejada.

P	2	3	4	5	6	7	8
Rp	43.94	45.80	47.09	48.02	48.83	49.77	51.40

Nota: se puede observar que la diferencia máxima entre los bloques es de 18.62 el cual es menor que el menor rango de mínima significancia, esto indica que no hay diferencias significativas entre los bloques.

ANEXO 4**Prueba de Ji- Cuadrado**

Calculo de Ji- Cuadrado

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

Tabla 8. Límite de la Clase

Limite de la clase		θ_i	$e_i [P(a < x < b)]$	$e_{i(ac)}$
a	b			
0.00	55	1	0.0000	0.0000
55	110	1	0.0003	0.0003
110	165	1	0.0348	0.0351
165	220	19	0.4013	0.4364
220	275	70	0.4955	0.9319
275	330	4	0.0673	0.9992

Siendo:

 $\theta_i \Rightarrow$ Frecuencia observada absoluta $e_i [P(a < x < b)] \Rightarrow$ Probabilidad que la variable tome valores en el correspondiente intervalo. $e_{i(ac)} \Rightarrow$ Frecuencia esperada acumulada

$$X^2 = \frac{(1-0)^2}{0} + \frac{(1-0.0003)^2}{0.0003} + \frac{(1-0.0351)^2}{0.0351} + \frac{(19-0.4364)^2}{0.4364} + \frac{(70-0.9319)^2}{0.9319} + \frac{(4-0.9992)^2}{0.9992}$$

$$X^2 = 9275.53 > 11.34$$

Nota: La variable no muestra un comportamiento normal



ANEXO 5

Prueba de Gauss

Calculo de Gauss:

$$\bar{X} = 225.32$$

$$S = 33.25$$

Nota: Estos valores se obtienen del análisis estadístico realizado a la tabla 2.1.

$Z_{\frac{\alpha}{2}} = Z_{0.005} = 2.575$ Según tabla 3 de Est. Prob. Para Ing. 1^{ra} Parte.

Rango de normalidad

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot S < \mu < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot S$$

$$225.32 - 2.575 \cdot 33.25 < \mu < 225.32 + 2.575 \cdot 33.25$$

$$139.70 < \mu < 310.94$$

Nota: Hay 3 valores anormales.



ANEXO 6

Calculo de la Prueba de Hipótesis

Para:

$$\bar{X} = 227.99$$

$$S = 16.92$$

$$Ic = 220$$

$$n = 93$$

$$Z = \frac{\bar{X} - Ic}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$Z = 4.54$$

**ANEXO 7****Establecimiento del rango del índice de consumo**

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} < Ic < \bar{X} + Z_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Para:

$$\bar{X} = 227.99$$

$$S = 16.92$$

$$Z_{0.005} = 2.575$$

Nota: Para valores de densidad constante normalizados.

$$227.99 - 2.575 \frac{19.92}{\sqrt{93}} < \mathbf{Ic} < 227.99 + 2.575 \frac{19.92}{\sqrt{93}}$$

Rango del índice de consumo

$$223.47 < \mathbf{Ic} < 232.52$$

ANEXO 8

Calculo de la prueba t- students para la nueva data

Determinación del índice de consumo de cada mes promedio

Siendo:

$$\bar{X}_2 = 229.55$$

$$S_2 = 2.59$$

Rango de comparación:

$$\bar{X} - t_{\alpha/2} \cdot S < \mu < \bar{X} + t_{\alpha/2} \cdot S$$

$$229.55 - 2.947 * 2.59 < \mu < 229.55 + 2.947 * 2.59$$

$$221.95 < \mu < 237.16 \text{ no hay valores anormales}$$

Establecimiento del rango del índice de consumo

$$\bar{X} - t_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} < Ic < \bar{X} + t_{\alpha/2} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Para:

$$\bar{X} = 229.56$$

$$S = 2.58$$

$$t_{0.005} = 2.947$$

Nota: Para valores de densidad variable normalizados.

$$229.56 - 2.947 \frac{2.58}{\sqrt{16}} < Ic < 229.56 + 2.947 \frac{2.58}{\sqrt{16}}$$

Rango del índice de consumo

$$227.65 < Ic < 231.46$$

Comparación de ambas bases de datos.

Calculo del estadístico de Gauss

Para:

$$\bar{X}_2 = 229.55$$

$$S_2 = 2.59$$

$$n_2 = 16$$



$$\bar{X}_1 = 226.99 \quad S_1 = 16.192 \quad n_1 = 93$$

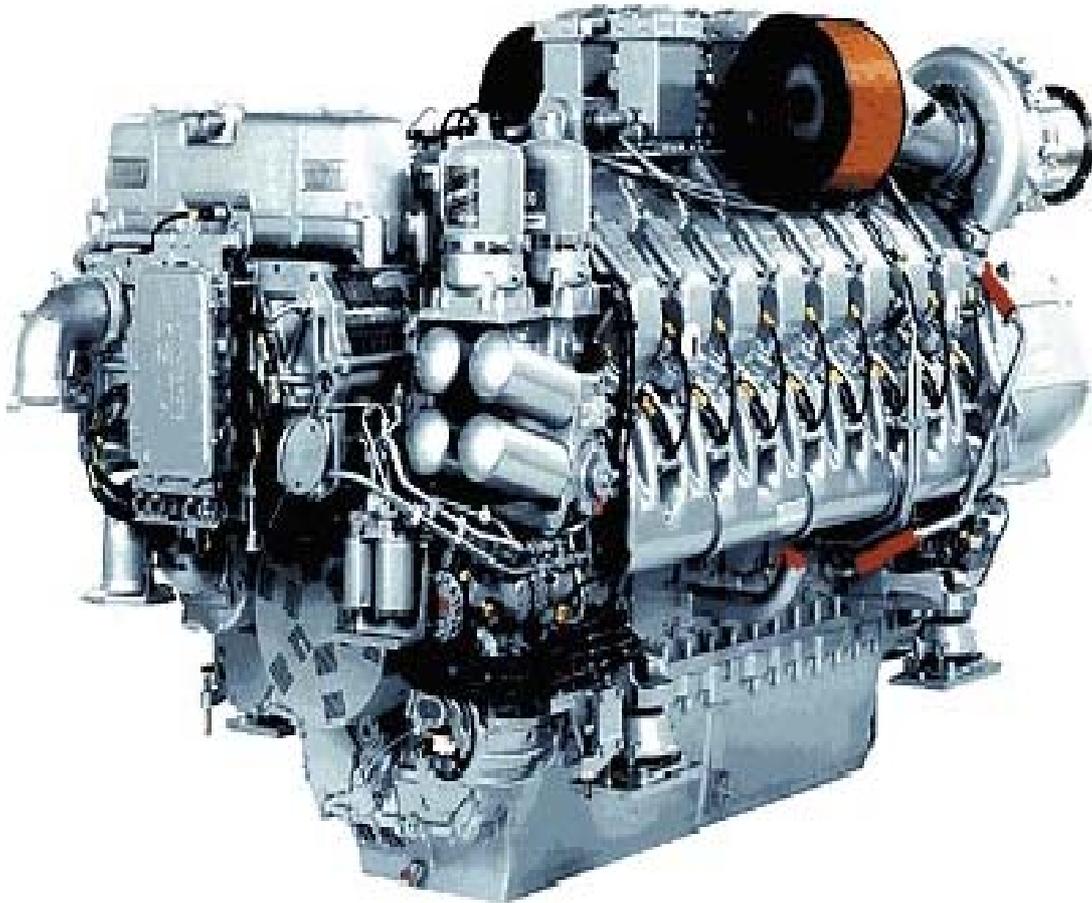
$$Z = \frac{\bar{X}_2 - \bar{X}_1}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n_1 + n_2}}} \quad Z = 0.951$$

Nota: No existen diferencias significativas entre la medias

**ANEXO 9****Tabla 9. Factores de Conversión**

PORTADOR	Lts/Ton	TEP/Ton
Gas Licuado Petróleo	1833,38	1,1631
Nafta Especial B	1441,34	1,0971
Nafta Industrial B	1484,780	1,0971
Gasolina Regular	1367,240	1,3541
Gasolina Especial	1360,910	1,3576
Kerosina	1252,510	1,0709
Diesel	1178,550	1,0534
Petróleo Combustible	1019,820	0,9903
Crudo Cubano 650	1023,020	0,9903
Crudo Cubano 1400	1010,920	0,9903
Alcohol Desnaturalizado	1221,150	0,6311
Aceites Lubricantes	1119,590	1,0000
Grasas	-	1,0000
Bagazo	-	0,2400
Leña	-	3592,0000
Carbón Vegetal	-	0,7600
Asfalto	1078,280	0,9903
Paja de Caña	-	0,1500
Cáscara de Arroz	-	0,3498
Aserrío de Madera	-	0,1020
Afrecho de Café	-	0,1516

Anexo 10



Motor MTU16V 4000 G81.

**Anexo 11****Datos régimen climatológico de Moa (marzo a septiembre del año 2007).**

(ta) temperatura del aire ambiente (° C)

(hr) humedad relativa %

(p) presión atmosférica kPa

marzo				abril			
ta	hr	p		ta	hr	p	
23,35	58,87	1018		25,0259375	79,5279167	1015,54167	
20,51	58,08	1019		25,4190625	77,1915625	1017,33333	
19,3	64,67	1017		24,7520833	66,2964583	1017,23958	
18,28	55,9	1015		24,6491667	67,6690625	1015,27083	
18,47	62,05	1015		24,4816667	75,0439583	1014,86458	
18,85	62,16	1015		25,2196875	75,1765625	1016,625	
18,36	53,52	1016		25,3442708	77,878125	1016,26042	
18,26	53,35	1017		25,5819792	80,1089583	1015,45833	
22,06	58,92	1016		25,2792708	78,4959375	1016,54167	
20,18	64,26	1016		25,9794792	77,2125	1017,65625	
20,69	63,7	1017		25,7020833	79,0020833	1018,5	
22,75	66,14	1017		25,8235417	74,8329167	1019,03125	
19,71	67,75	1016		25,5135417	74,8119792	1017,72917	
19,16	69,02	1016		24,6230208	83,6885417	1016,125	
22,9	65,19	1015		25,1733333	83,171875	1017,26042	
23,88	69,18	1015		25,0151042	81,853125	1017,65625	
23,39	67,78	1016		24,225	82,6239583	1016	
23,05	72,4	1016		24,8836458	79,0014583	1014,73958	
20,71	74,3	1015		25,370625	77,179375	1014,92708	
23,4	73	1012		25,9864583	76,7048958	1015,90625	
20,91	70,9	1013		25,4065625	78,5989583	1014,58333	
22,57	62,9	1014		24,9434375	79,8278125	1012,77083	
19,7	54,01	1014		25,77	77,5930208	1013,64583	
18,83	50,37	1011		25,6513542	81,4509375	1014,88542	
19,94	51,47	1011		26,2225	82,9164583	1015,3125	
20,5	60,26	1014		25,96625	78,545625	1015,65625	
21,54	58,48	1014		25,9310417	78,8204167	1016,01042	
19,98	53,81	1011		26,0684375	81,458125	1016,15625	
20,34	59,77	1011		25,7842708	81,0697917	1016,45833	
19,93	59,19	1013		26,0757292	76,7444792	1016	
20,51	70,8	1012		25,3956181	78,1498958	1016,07153	
21,52	66,16	1013		25,3956181	78,1498958	1016,07153	
20,7353125	62,44875	1014,6875					



mayo			junio		
ta	hr	p	ta	hr	p
28,51	90,8	1017	25,8239583	79,4489583	1018,01042
27,78	94,5	1016	27,2115625	81,853125	1017,77083
27,29	94,7	1017	27,0182292	78,1458333	1016,875
26,26	95,7	1017	27,090625	83,809375	1016,52083
27,27	92,1	1018	26,9932292	81,7489583	1016,39583
26,65	89,6	1018	27,2727083	83,1864583	1016,77083
27,01	87	1017	26,7669792	83,5614583	1016,375
26,99	88,8	1017	27,0784375	81,5729167	1016,17708
27,46	87,2	1017	26,5952083	82,8010417	1016,40625
28,38	87,2	1017	26,6294792	82,759375	1016,75
29,19	90,3	1018	27,5632292	80,0479167	1017,20833
28,29	85,3	1016	27,5904167	76,6677083	1017,57292
27,83	83,8	1016	27,6317708	77,6447917	1017,04167
27,81	81,2	1017	27,2172917	81,6416667	1016,72917
27,75	88,9	1016	27,4464583	79,7270833	1015,4375
27,74	86,7	1017	27,6358333	77,0557292	1015,72917
27,55	89,4	1018	27,7310417	80,875	1017,57292
28,11	84,9	1020	27,9133333	81,8832292	1019,0625
27,25	82,3	1019	27,55375	83,05	1020,04167
26,53	75,8	1018	27,3565625	78,0833333	1018,48958
26,98	78,3	1019	27,0825	79,2708333	1017,13542
27,71	88,5	1018	26,8857292	82,1625	1016,71875
28,5	89,7	1017	26,71625	84,5197917	1016,8125
28,63	88,2	1018	27,5723958	81,7791667	1017,65625
28,48	87,6	1017	27,2528125	78,5283333	1016,83333
28,14	88	1017	26,6325	82,6677083	1015,71875
28,58	87,6	1017	27,5909375	82,9791667	1017
28,41	83,9	1016	27,8238542	80,7020833	1017,28125
28,22	87,9	1014	27,6425	80,2895833	1016,92708
30,03	88,1	1016	27,505625	78,0744792	1016,23958
30,31	88,6	1019	27,2275069	80,8845868	1017,04201
27,923871	87,5032258	1017,22581			

**JULIO**

ta	hr	p
27,469375	77,6520833	1015,63542
27,4651042	80,4791667	1015,05208
27,6472917	79,9380208	1016,01042
27,5183333	78,9425	1015,45833
26,1275	81,7504167	1014,75
25,4646875	84,1698958	1014,84375
25,9007292	81,7707292	1015,45833
27,3992708	79,5239583	1016,70833
27,8592708	79,253125	1016,83333
27,76625	80,6333333	1016,66667
27,8983333	77,4751042	1016,15625
27,77625	78,546875	1016,52083
27,8520833	80,5885417	1016,63542
28,0927083	79,7470833	1016,21875
28,309375	76,4672917	1015,82292
28,15	81,1380208	1016,88542
28,4909375	77,5146875	1017,69792
28,2479167	75,9619792	1017,08333
27,9728125	76,0260417	1016,83333
27,971875	77,2552083	1015,55208
27,8961458	80,0104167	1015,20833
28,3339583	78,5152083	1016,41667
27,8473958	78,1239583	1016,39583
27,3334375	82,0745833	1015,19792
27,8697917	78,821875	1014,73958
28,0011458	80,5385417	1015,46875
28,3535417	79,7083333	1015,5
27,4970833	81,8083333	1014,88542
28,1842708	76,8288542	1015,09375
27,6627083	79,5895833	1014,77083
26,1669792	80,7104167	1016,94792
27,6298891	79,4052957	1015,91767

AGOSTO

ta	hr	p
28,4251042	77,2741667	1016,32292
28,0640625	76,6927083	1015,52083
28,3977083	76,8489583	1015,9375
27,939375	82,221875	1016
27,8627083	81,375	1015,71875
28,4711458	77,0992708	1016,16667
28,0758333	77,578125	1015,82292
27,569375	80,1635417	1014,85417
27,50625	81,296875	1015,29167
27,616875	81,89375	1016,35417
28,3939583	75,9830208	1016,48958
28,0097917	76,0825	1015,73958
28,1002083	78,3091667	1016,14583
28,600625	77,4770833	1017,42708
28,365	76,378125	1017,22917
27,9257292	79,3833333	1015,73958
27,145625	77,6553125	1014,86458
28,1189583	80,1208333	1015,58333
28,2707292	77,1979167	1016,03125
28,1665625	76,9916667	1015,79167
28,3851042	79,9395833	1015,64583
28,5360417	80,3744792	1014,91667
27,9070833	81,075	1013,5
25,6339583	85,9270833	1014,34375
27,0253125	83,5822917	1013,92708
26,4030208	85,4604167	1013,22917
27,0721875	83,1645833	1013,26042
27,1907292	82,4945833	1013,96875
27,0816667	80,5340625	1013,375
27,0361458	82,8677083	1013,85417
28,1135417	82,021875	1014,67708
27,7874328	79,8537063	1015,28159

**septiembre**

ta	hr	p
27,846875	81,7375	1014,52083
27,2735417	80,4322917	1012,17708
26,8828125	81,1521875	1010,54167
<u>27,3317708</u>	<u>79,0348958</u>	<u>1011,66667</u>
27,654375	76,4684375	1013,1875
27,9045833	81,3083333	1013,98958
28,0740625	82,4010417	1012,8125
27,5504167	82,33125	1011,23958
27,496875	83,1416667	1011,63542
27,7647917	81,140625	1012,60417
27,2472917	82,330625	1012,625
26,4644792	86,0420833	1012,59375
25,5576042	87,6458333	1013,63542
26,82125	83,2427083	1013,4375
27,4919792	80,6179167	1012,91667
28,1214583	78,759375	1013,08333
28,11125	81,0947917	1013,54167
28,5211458	80,428125	1013,22917
27,8219792	80,7063542	1014,47917
28,2608333	77,8854167	1013,97917
27,6372917	82,959375	1013,20833
27,8292708	82,15625	1013,76042
27,3769792	83,9958333	1013,02083
27,3416667	80,23125	1011,3125
26,5135417	79,8167708	1012,76042
25,5801042	84,3958333	1014,10417
25,9698958	81,0997917	1013,125
25,8339583	83,6360417	1011,1875
25,9041667	85,8416667	1010,92708
<u>26,3073958</u>	<u>81,9672917</u>	<u>1011,22917</u>
<u>27,2164549</u>	<u>81,8000521</u>	<u>1012,75104</u>

**Anexo12**

Tabla 10. Trabajo de la batería durante del período determinado.

Mes	Generación (kW)	Consumo (kg)	Índice (g/kW·h)	Horas trabajadas (h)	Densidad (g/cm³)
Marzo	2567760	688548	226	1816	842,81
Abril	3162196	846124	227	2335	848,36
Mayo	3057910	823822	229,4	2244	851,50
Junio	3536528	947803	228,2	2583	851,48
Julio	2084171	568259	231,8	1545	850,16
Agosto	1745364	475857	231,7	1305	849,84
Septiembre	1535060	421627	233,4	1146	849,76

Anexo 13

Metodología de cálculo de los parámetros indicados, medios y efectivos (75%).

parámetros indicados y efectivos.

presión media indicada P_{mi}

$$N_i := 1990 \cdot \text{kW}$$

$$z := 16$$

$$v := 0.00406 \cdot \text{m}^3$$

$$n := 1800 \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$P_{mi} := \frac{120 \cdot N_i}{z \cdot v \cdot n}$$

$$P_{mi} = 2.042 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Presión media efectiva P_{me}

$$N_e := 1366 \cdot \text{kW}$$

$$P_{me} := \frac{120 \cdot N_e}{z \cdot v \cdot n}$$

$$P_{me} = 1.402 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Trabajo indicado

$$W_i := z \cdot v \cdot P_{mi}$$

$$W_i = 1.327 \times 10^5 \text{ J}$$

Trabajo efectivo

$$c := 0.190 \cdot \text{m}$$

$$D := 0.165 \cdot \text{m}$$

$$W_e := \frac{D^2 \cdot P_{me} \cdot c \cdot \pi}{4}$$

$$W_e = 5.695 \times 10^3 \text{ J}$$

Consumo específico indicado de combustible

$$G_{ti} := 431.3 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$g_i := \frac{G_{ti}}{N_i}$$

$$g_i = 0.217 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

Consumo específico efectivo de combustible

$$G_{te} := 313.8 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

$$g_e := \frac{G_{te}}{N_e}$$

$$g_e = 0.23 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

Rendimiento indicado

$$H_u := 42700000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$CT := 3600 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

$$\eta_i := \frac{CT}{H_u \cdot g_i}$$

$$\eta_i = 0.389$$

Rendimiento mecánico

$$\eta_m := \frac{N_e}{N_i}$$

$$\eta_m = 0.686$$

Rendimiento efectivo

$$\eta_e := \eta_i \cdot \eta_m$$

$$\eta_e = 0.267$$

Anexo 14

Metodología para el análisis de las condiciones climatológicas (marzo)

Razón de potencia(k)

$$n := 1.2 \quad s_{ww} := 1$$

$$m := 0.7$$
$$\left[\frac{(P_x - a \cdot \Phi_x \cdot P_{sx})}{(P_r - a \cdot \Phi_r \cdot P_{sr})} \right] := A$$

$$A_{ww} := 1.01$$

$$T_r := 305 \cdot K$$

$$T_x := 293.7 K$$

$$T_{cr} := 298 K$$

$$T_{cx} := 328 K$$

$$k := A^m \cdot \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \cdot \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^s$$

$$k = 0.957$$

Factor de ajuste de potencia (α)

$$n_m := 0.85$$

$$\alpha := k - \left[0.7 \cdot (1 - k) \left(\frac{1}{n_m} - 1 \right) \right]$$

$$\alpha = 0.952$$

potencia

$$P_t := 1492.5 \text{ kW}$$

$$P_x := \alpha \cdot P_t$$

$$P_x = 1.421 \times 10^3 \cdot \text{kW}$$

consumo especifico de combustible

$$\beta := \frac{k}{\alpha}$$

$$\beta = 1.006$$

$$b_r := 220 \frac{\text{gm}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

$$b_x := \beta \cdot b_r$$

$$b_x = 221.219 \cdot \frac{\text{gm}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$