



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

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de

INGENIERO MECÁNICO

TITULO: Evaluación de la batería de grupos electrógenos de Moa
bajo condiciones medio ambientales locales.

AUTOR: Yanier Durán Leyva

TUTORES: Ing. Yodelkis Delgado Drubey
Dra. C. Mayda Ulloa Carcacés

“Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

Moa, Julio 2009



Declaración del autor

Yo, Yanier Durán Leyva, autor del Trabajo de Diploma titulado: **Evaluación de la batería de grupos electrógenos de Moa bajo condiciones medio ambientales locales**; y los tutores Ing. Yodelkis Delgado Drubey y Dra. C. Mayda Ulloa Carcacés certificamos su propiedad intelectual a favor del Instituto superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", y a la Batería de Grupos electrógenos de Moa, los cuales podrán hacer uso del mismo con la finalidad que estimen conveniente.

Yanier Durán Leyva
Autor

Ing. Yodelkis Delgado Drubey
Tutor

Dra. C. Mayda Ulloa Carcacés
Tutor



PENSAMIENTOS

“Ver después no vale, lo que vale es ver antes y estar preparado”.

José Martí Pérez
Apóstol nacional de Cuba

“El porvenir del país está ligado directamente al desarrollo de la ciencia y la técnica. Nunca podemos caminar con nuestros propios pies, mientras no tengamos una tecnología avanzada, basada en una técnica propia, en una ciencia propia. Por ello, la tarea de crear ingenieros es importante...”

Ernesto Che Guevara

“Como mismo la naturaleza le reveló parte de sus secretos a un conjunto de hombres en un tiempo, así se lo revelará a otros en otro tiempo, solo basta que se hagan las preguntas adecuadas...”

Albert Einstein



Agradecimientos

Ofrezco mis más sinceros agradecimientos a la Revolución, por haberme forjado como **Ingeniero Mecánico**. A todos mis familiares, en particular a mi madre Zenaida Leyva Jiménez, mi padre Erasmo Duran Llorente a mi hermana Yadanis Duran Leyva, al íntegro claustro de profesores por su dedicación en el transcurso de estos años como estudiante universitario, a mi tutores Yodelkis Delgado Drubey y Mayda Ulloa Carcacés por su completa dedicación y esmero, a mis amigos, a todos mis compañeros de estudios, a mi novia Yunislaydis Pérez Ramírez; en fin gracias a todos los que de una forma u otra me han brindado su ayuda desinteresadamente siendo un pilar muy importante en mi formación profesional, les ruego que me disculpen si se me queda alguien.

¡“ATODOS GRACIAS”!



Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a mi querida madre Zenaida Leyva Jiménez, a mi hermana Yadanis Duran Leyva, a mis familiares, a mi novia Yunislaydis Pérez Ramírez, mi tutor Yodelkis Delgado Drubey por la dedicación que me ha prestado, a mis vecinos y en especial a mi padre Erasmo Duran Llorente el que no esta presente físicamente pero siempre estará en mi mente y mi corazón brindándome apoyo.

RESUMEN

En momentos en que el país está inmerso en una Revolución Energética, que va desde la sustitución de luminarias y equipos electrodomésticos hasta el mejoramiento de las líneas de suministro y modernización de las unidades de producción de energía eléctrica; las baterías de grupos electrógenos están siendo ampliamente usadas con este fin. En este ámbito es importante la evaluación de estos para verificar su comportamiento durante la explotación a lo que son sometidos.

Para el desarrollo del trabajo se tuvieron en cuenta expresiones teóricas, empíricas relacionadas con los métodos de selección y ajuste de motores de combustión interna en condiciones ambientales específicas; obtenidos a partir de la consulta realizada en las bibliografías existentes, principalmente la norma ISO 3604-1. También esta consulta permite la caracterización de la batería de grupos electrógenos en Moa.

Se estableció el procedimiento de análisis 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/kW-h para un régimen de explotación de la batería al 75 % de carga. Además, en el motor 3, el rendimiento efectivo aumenta desde 26.7 hasta 36.9 %; el consumo específico efectivo disminuye desde 229.14 hasta 223.14 g/kW-h, como los principales parámetros efectivos.

Finalmente se realizó una valoración económica, que muestra un consumo de 30819 barriles de petróleo, en el periodo de marzo a septiembre de 2007. Se analizó el impacto que tiene los motores al medio ambiente.

SUMMARY

In moments in that our country are inside in an Energy Revolution, that goes from the substitution of stars, and teams appliances to the improvement of the supply lines and modernization of the units of electric power production; the battery of generating sets, is being broadly used with this end. In this environment it is important the evaluations of these to verify their behaviour during the exploitation to what it are subjected.

For the development of the work they were kept in mind theoretical, empiric expressions related with the selection and adjustment methods of internal combustion engines under specify environmental conditions; obtained starting from the consultation carried out in the existent bibliographies, mainly the norm ISO 3604-1. This consultation also allows the characterization of the battery of generating sets in Moa.

The analysis procedure was established for consumption index of fuel and the service power on of generating sets under climatological conditions. These climatological conditions do not have great influence in the fuel variation of consumption and service power, they sit around of, 1368,42 kW and 222,19 g/kW·h, to an exploitation regime to the 75 %. Besides, the actual performance increases from 26.7 to 36.9 %; the specific consumption effective decrease from 229.14 to 223.14 g/kW·h, as the main effective parameters.

Finally was carried out an economic valuation that shows a consumption of 30819 barrels of fuel, in the period from March to September 2007. It was examined the impact that he has the engines to the environment.

ÍNDICE		Pág.
INTRODUCCIÓN		1
CAPÍTULO 1. Marco teórico de la investigación		
1.1-	Introducción	4
1.2-	Evolución de los motores de combustión interna	4
1.3-	Trabajos precedentes	6
1.4-	La Generación distribuida	9
1.4.1-	Generación Distribuida en Cuba	10
1.4.2-	Beneficios de la generación distribuida	11
1.4.3-	Perspectivas de la Generación Distribuida	12
1.4.4-	Generación Distribuida sincronizada en la Provincia Holguín	13
1.4.5-	Generación Distribuida sincronizada en el Municipio Moa	14
1.5-	Descripción general del funcionamiento de los Grupos Electrónicos Diesel	14
1.6-	Principales problemas en la Batería de Grupos Electrónico	16
1.7-	Descripción del motor que interviene en el proceso	17
1.7.1-	Características técnicas	18
1.7.2-	Fases del ciclo de los motores Diesel	20
1.7.3-	Característica del sistema de inyección	21
1.9-	Normas ISO 3046 - 1	22
1.10	Clima y meteorología de Moa	23
1.11-	Conclusiones del capítulo 1	24
CAPÍTULO 2. Materiales y Métodos		
2.1-	Introducción	25
2.2-	Materiales, métodos de medición y control del proceso	25
2.2.1-	Sistema de adquisición de datos SCADA	26
2.2.2-	Método de la tabla de aforo	27
2.3-	Metodología de cálculo de los parámetros indicados y efectivos	28
2.4-	Índice de Generación de la batería	29
2.5-	Método de prueba en motores según norma ISO 3046-1	30
2.6-	Metodología para el análisis de las condiciones climatológicas	31
2.7-	Datos obtenidos en la instalación	32
2.8-	Conclusiones capítulo 2	34
CAPÍTULO 3. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medio ambiental		
3.1-	Introducción	35
3.2-	Parámetros principales del motor	35
3.3-	Obtención de las curvas características de carga	36
3.4-	Parámetros principales del batería en su interacción con el medio ambiente	38
3.5 -	Valoración económica	40
3.6-	Impacto medio ambiental de la batería de grupos electrógenos, desde el punto de vista del análisis de los motores de combustión interna	41



3.6.1-	Formas de acción de los motores de combustión interna sobre el medio ambiente	42
3.6.2-	Toxicidad de los gases de escape de los motores de combustión interna y formas para reducirla	43
3.6.3-	Contaminación provocada por el motor Diesel	44
3.7-	Afectaciones ambientales provocadas por los MCI del GE Moa	46
3.8-	Conclusiones del capítulo 3	48
	CONCLUSIONES GENERALES	49
	RECOMENDACIONES	50
	BIBLIOGRAFIA	51
	ANEXOS	54

INTRODUCCIÓN

En muchos países en vías de desarrollo los grupos electrógenos (GE) son la única 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 que se habían convertido en un problema por su alto consumo de combustible e insumos, y porque 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 GE de alta calidad y eficiencia, de Diésel, que sincronizadas al SEN apoyan 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 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.

En el caso de la batería de grupos electrógenos que apoya a la subestación en el municipio de Moa, 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, 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 generación distribuida. Cuenta con 8 grupos electrógenos diesel de aproximadamente 1,4 kW de potencia cada uno.

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

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 Motores de Combustión Interna Diesel, 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.

Se plantea el siguiente **Problema**:

- Necesidad de determinar el comportamiento de la batería de grupos electrógenos Moa, atendiendo al clima presente en la zona y los parámetros efectivos que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna 3.

Como **objeto en la Investigación** se tiene:

- Parámetros efectivos y de servicio de los grupos electrógenos bajo condiciones climatológicas locales.

Por lo que el **Campo de acción**:

- Batería de grupos electrógenos Moa.

Se establece como **Hipótesis**:

- Mediante el estudio teórico y la aplicación del procedimiento de cálculo establecido en las normas ISO 3604-1 para la selección y ajuste de motores de combustión interna; es posible la obtención del comportamiento de la batería de grupos electrógenos bajo las condiciones medioambientales locales; y los parámetros efectivos del motor 3 de dicha instalación.

El Objetivo General de la investigación es:

- Determinar el comportamiento de los principales parámetros de la batería de grupos electrógenos de Moa teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas locales, y los parámetros efectivos que caracterizan el trabajo de los motor 3 en dicha batería.

Para el cumplimiento del objetivo se deben ejecutar las **Tareas** que siguen:

- Establecimiento del estado de arte sobre la temática tratada y el estado actual de la misma en el municipio de Moa.
- Conformación del procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros de trabajo del motor en estudio y la batería de grupos electrógenos.
- Obtención del comportamiento de la batería de grupos electrógenos bajo la influencia del clima de Moa y los parámetros efectivos que caracterizan el motor de combustión interna 3.
- Análisis los resultados obtenidos, valoración del impacto económico y ambiental asociado en la evaluación de los motores de combustión interna y la batería de grupos electrógenos en Moa.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1- Introducción

El trabajo de los grupos electrógenos en la generación de energía eléctrica, depende en gran medida de los motores de combustión interna, éstos están bajo la influencia fundamentalmente, de las condiciones de explotación: variables climatológicas, calidad de la materia prima utilizada en la producción de energía, del ciclo de mantenimiento, etc.; por depender de los elementos anteriormente citados ha sido sometido en varias ocasiones a trabajos de investigación.

Los mismos representa un pilar importante en el funcionamiento de los grupos electrógenos ya que a través de este se verifica como trabaja la instalación, por tanto el objetivo de este capítulo es describir los motores de combustión interna y la generación distribuida como método de producción de energía eléctrica, a través de las diferentes bibliografías consultadas.

1.2- Evolución de los motores de combustión interna

Desde el siglo XVII comenzaron las alternativas para la construcción de motores de combustión. El primer intento se realizó tratando de obtener trabajo útil de la inflamación de la pólvora dentro de un cilindro con un pistón.

En 1857, los italianos Barsanti y Matteucci construyeron un motor que funcionaba gracias a la inflamación del gas de alumbrado, producto de una chispa eléctrica. Debido a una serie de desventajas que presentaba no encontró aplicación.

No es hasta finales del siglo XVIII que se consigue, a partir de una máquina, trabajo mecánico en escala considerable. En la realidad era un motor de combustión externa, trabajaba mediante el vapor producido por la combustión del carbón; pero aceleró las investigaciones en busca de un MCI.

En 1860 el mecánico francés, Lenoir, construyó un motor de gas (máquina de fuego), la cual funcionaba con gas de alumbrado sin compresión, produciendo una potencia de hasta 12 caballos de fuerza, con un rendimiento efectivo entre 4% y 5%.

Es Beau de Rochas quien en 1862 por primera vez propuso un motor con compresión de la mezcla. La construcción racional del mismo fue realizada por Otto y Langen en

1867, consiguiéndose con este un progreso importante al ciclo de trabajo. En él se realizaba el ciclo de trabajo en cuatro tiempos, lográndose rendimientos efectivos de hasta 10-12%.

Al adoptar la compresión de la mezcla, quedaba ya perfilado, en lo fundamental, el ciclo de trabajo sobre el que se ha realizado todo el programa posterior en la construcción de los motores.

Con la construcción del motor Diésel en 1899 se logra una reducción en el consumo de combustible, llegándose a obtener un rendimiento efectivo de hasta un 40 %.

Posteriormente, en países desarrollados como: Inglaterra, Francia, la antigua URSS, Alemania y Estados Unidos; se sucedieron a ritmos violentos toda una serie de mejoras en los MCI.

El diseño y la fabricación, ayudado en los últimos años por la computación, motorizó grandes cambios, siempre orientados a la obtención de mejores rendimientos. El avance más popularizado en los motores modernos es la inyección electrónica trabajando conjuntamente con dispositivos como la sonda Lambda y los catalizadores.

Se lograron aumentos de rendimientos volumétricos y mecánicos con la introducción del Turbo con intercooler y sistemas de inyección indirecta. Más recientemente aparecen, las tapas de cilindros multiválvulas y los nuevos aceites lubricantes.

La constante investigación sobre el mejoramiento del rendimiento de los motores (carburación y Diésel) fue llevándolos a aumentar la relación de compresión y a bajar el volumen y consumo. Todas estas características variaron en forma considerable, obteniendo mayor potencia por litro de combustible quemado.

Se han desarrollado automóviles eléctricos (en versión “pura” o en versión “híbrida”), dotados de baterías recargables. Numerosas investigaciones se han llevado a cabo y aún continúan en este sentido, logrando avances significativos. Circulan hoy en día diversas flotas de vehículos nacidos de este concepto. No obstante, esta generación del automóvil completamente eléctrico, especialmente apropiada para la lucha contra la polución en el medio urbano, tiene problemas en cuanto a los límites de su autonomía y las dificultades relacionadas con las operaciones de recarga. Por lo tanto, se da una mayor preferencia a los vehículos híbridos, que son interesantes en muchos aspectos,

pero que sólo pueden disminuir (y no suprimir) la dependencia para con los combustibles petroleros.

Con respecto a los acumuladores recargables, la pila de combustible se ha afianzado desde entonces como una alternativa muy atractiva. El hidrógeno, combinado con el oxígeno del aire ambiente, produce una corriente capaz de alimentar el motor de un vehículo. En lugar de los gases de escape de los motores de combustión interna, el residuo es agua y un poco de calor. La tasa de emisión teórica de CO₂ y de otros contaminantes nocivos para el medio ambiente y la salud es cero. Estas pilas concilian otras dos ventajas apreciables: un alto rendimiento energético y la ausencia de nocividad sonora.

1.3- 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 motores de combustión interna, ya que estos constituyen el objeto fundamental de la producción de energía a partir de grupos electrógenos.

Reyes et al. (1983) realiza el estudio sobre los problemas principales de la teoría, el funcionamiento óptimo de los motores de combustión interna 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 motores de combustión interna. 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 Diésel, 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.

La enciclopedia Encarta (2007), ofrece una caracterización de los MCI. Describe el principio de funcionamiento de los motores Diésel, Otto, Rotatorio y el de carga estratificada, destacando en los dos primeros, las particularidades de sus procesos de combustión, sus principales diferencias y semejanzas y realizando comparaciones relativas sus rendimientos. Asevera que la eficiencia de los motores Diésel, que en general depende de los mismos factores que los motores Otto, es mayor que en cualquier motor de gasolina, llegando a superar el 40% y que la eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25% o sea, que sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

MARTÍNEZ (2007) realizó la evaluación de la contaminación atmosférica en el área seleccionada, mediante un estudio descriptivo del comportamiento de las concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mediante un muestreo instantáneo de dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

Tavarez (2007) realiza un cálculo a los parámetros que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna 7 de la batería de grupos electrógenos Moa. Obteniendo las curvas características de carga del mismo motor, demostrando que el consumo de combustible en régimen de carga del 75 % es perjudicial con respecto a su nivel de operación al 100 % de carga, debido al bajo nivel de aprovechamiento de la potencia entregada por el motor.

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. Su estudio arrojó los siguientes

resultados: el rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el período que se utiliza petróleo con densidades iguales está entre 223.88 y 229.33 g/kWh. Mientras que para el período de evaluación a diferentes valores de densidad el rango del índice de consumo se encuentra 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.

1.4 - La Generación distribuida

La Generación Distribuida (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 podemos 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 de kW hasta diez mil 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 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 hora al año fuera de servicio.

1.4.1- Generación distribuida en Cuba

Uno de los cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética radica en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica (La Generación Distribuida 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 electro energético 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 centrales, Lidio Fernández Pérez y Antonio Guiteras.

La generación de electricidad a partir de grupos electrógenos Diesel 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 2008 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.

1.4.2- 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.

1.4.3- Perspectivas de la Generación Distribuida

Diesel

Los grupos electrógenos 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 2004. Representaron el incremento de la generación y el restablecimiento paulatino de la potencia disponible. La generación de electricidad a partir de grupos electrógenos Diesel 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. Según pronósticos de grupos de regímenes de la Unión Eléctrica, para los años 2008, 2009 y en lo adelante, la generación eléctrica con grupos electrógenos Diesel se realizará solo para cubrir los picos de la demanda con tiempos de trabajos limitados por día, y de esta forma disminuir en el año los gastos que los aspectos antes planteados implican.

Fuel Oil

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 grupos electrógenos de consumo de combustible Diesel se tiene como perspectiva lograr sistemas estables de generación de energía eléctrica a partir de unidades con consumo de combustible Fuel Oil y mantenimientos con cantidad de horas superiores a los grupos electrógenos Diesel.

En el país se instalarán 60 Emplazamientos de consumo de combustible Fuel Oil 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.

1.4.4- Generación Distribuida sincronizada en la Provincia Holguín

En la provincia de Holguín se encuentran instalados 119 grupos electrógenos 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 OIL, los que estarán ubicados en Punta Gorda, en el municipio de Moa, este emplazamiento estará compuesto por 20 unidades, cada una de 8.730MW. 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, suman 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 9m/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.

1.4.5- Generación Distribuida sincronizada en el Municipio Moa

La Generación Distribuida del municipio de Moa esta constituida por 5 emplazamientos los cuales suman 14 grupos electrógenos 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 realizará el montaje de un emplazamiento de consumo de combustible FUEL OIL, el que estará ubicado en Punta Gorda. Empleando la tecnología MAN & 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- Descripción General del funcionamiento de los Grupos Electrógenos Diesel

Los Grupos Electrógenos Diesel (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 Generación Distribuida es acercar la fuente al consumidor para asegurar el suministro de energía y disminuir las pérdidas por transmisión.

La Batería Moa (110kV) está constituida por 8 Grupos Electrógenos Diesel serie 16V-4000-G81, suministrados por la firma MTU alemana. El Emplazamiento utiliza 4 Tanques de Recepción (TQ) de 100 m³ 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 60 m³ / 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 % 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 m³ / 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 grupos electrógenos diesel 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 figura 1.1)

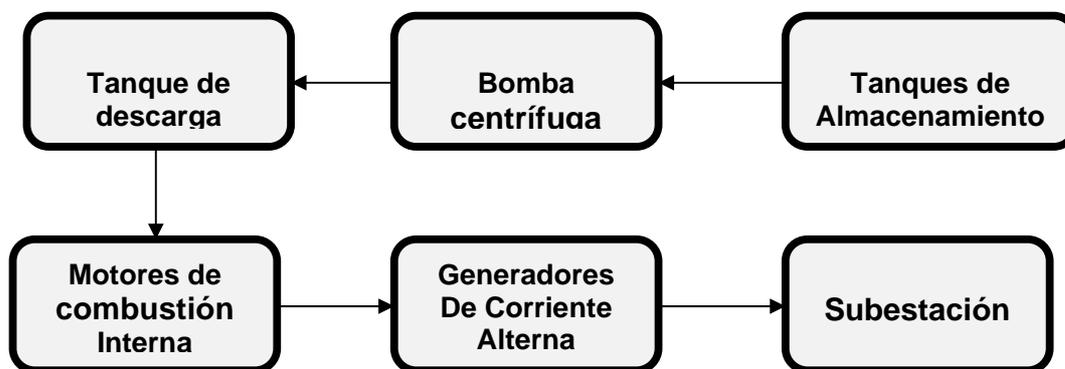


Figura 1.1. Esquema del flujo tecnológico de la batería de grupos electrógenos de Moa.

1.6- Principales problemas en la Batería de Grupos Electrógenos

1. **Duración de los Filtros de Combustible:** Llegó a constituir una de las principales dificultades que se presentaron, ya que la documentación técnica indica que deben ser sustituidos cada 350 horas.
2. **Elevado consumo de Aceite:** En los motores de la serie 16V 4000 G81 las características del aceite prácticamente no varían con las horas de trabajo debido fundamentalmente a los altos niveles de reposición de las máquinas.
3. **Elevado consumo de Refrigerantes:** al igual que el aceite el líquido refrigerante es indispensable para el funcionamiento del motor de combustión interna, siendo el encargado de mantener los parámetros de temperatura en todo el sistema de enfriamiento.
4. **Sistema de Medición Deficiente:** Para la evaluación de los índices de consumo que representa el análisis más importante en cuanto a la eficiencia del

equipamiento respecta, no se cuenta con un dispositivo calibrado y normado (Flujómetro) para realizar este tipo de prueba. Actualmente se realizan pruebas de índices de consumo utilizando métodos aproximados. A la salida de los racores existen las condiciones necesarias para la instalación de este equipamiento, del mismo modo ocurren en la salida del Tanque de Operaciones y en los Tanques de los GED (dentro de los contenedores), influyendo negativamente en la exactitud de las mediciones y en la información brindada.

5. **Elevado consumo de combustible:** este es el problema fundamental que presentan los GED, más acentuado debido a que las mediciones se realizan con deficiencias las mediciones, con el tiempo de explotación de las máquinas el consumo de combustible se comporta de forma ascendente. En relación con el combustible.
6. **Deficiente Gestión para Tratamiento de Agua Residual:** luego del proceso de filtrado del combustible el agua presente en el mismo se lleva al pozo oleaginoso, del mismo modo, todo el combustible que escurre en el embarcadero producto al trasiego y salideros es llevado a través de un sistema de conductos al tanque oleaginoso. El nivel de este depósito debe ser chequeado consecutivamente para evitar que sobrepase los niveles límites. Esta mezcla contaminante en determinadas situaciones (crecidas de ríos, precipitaciones abundantes) es expulsada a la red fluvial con sus irreversibles consecuencias sobre la flora y la fauna. Por lo que se deben tomar todas las medidas necesarias para una gestión adecuada de este residuo.

1.7- Descripción del motor que interviene en el proceso

En la batería de Grupo Electrónico de Moa se encuentran en servicio un total de ocho MCI de marca MTU16V 4000 G81 (Ver anexo 1) de fabricación alemana; su función es proporcionar la potencia necesaria en el generador eléctrico para la producción de energía eléctrica.

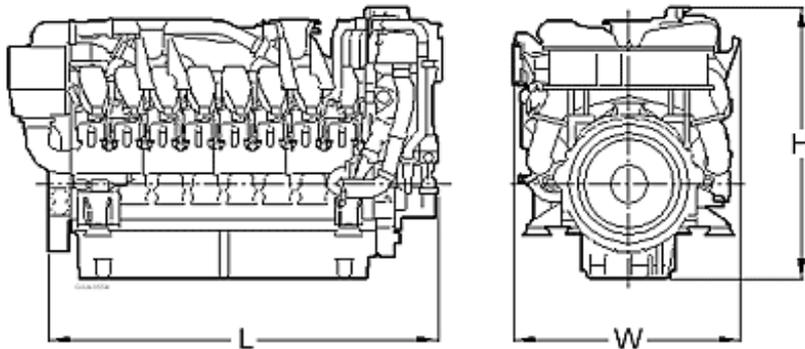


Figura 1.2- Dimensiones del MTU 16V 4000 G81

Fuente: *Catálogo Motores de combustión interna MTU, 2006*

Longitud (L = 2880 mm)

Ancho (W = 1550 mm)

Alto (H = 1760 mm)

1.7.1- Características técnicas

En la batería de GE Moa se encuentran en servicio un total de ocho MCI Diésel marca MTU, de los cuales se tienen los siguientes datos técnicos:

Tabla 1.1. Características técnicas

Denominación del motor	16V 4000 G81
País de fabricación	Alemania
Número de cilindros	16
Temperatura del aire de aspiración	25°C
Temperatura del líquido refrigerante del aire de carga	55°C
Número de revoluciones nominal del motor	1800 rev/min
Potencia continua, con sobrecarga de un 10 % de la potencia de diseño	1990 kW
Consumo de Lubricantes	0.5% del consumo de combustible por hora

Datos referidos al tipo de motor según su construcción

Motor con turbo, sobrealimentación por gases de escape, refrigeración del aire de carga, conductos de escape no refrigerados y el ciclo de trabajo es de 4 tiempos, combustible Diésel, de simple efecto, con inyección directa.

Tabla 1.2. Datos referidos al tipo de motor según su construcción

Refrigerante	Agua tratada
El sentido de giro (visto sobre el lado de accionamiento)	A la izquierda
Disposición de los cilindros	Angulo en V a 90°.
Diámetro de cada cilindro	165 mm.
Carrera	190 mm
Cilindrada unitaria	4.06 L.
Cilindrada total	65 L
Relación de compresión	15.5
Culatas	Culatas individuales
Camisas del cilindro	Húmedas
Número de válvulas de admisión por	2
Número de válvulas de escape por cilindro	2
Presión del aire de carga antes del cilindro	3.2 bar

Tabla.1.3. Capacidades

Líquido refrigerante del motor, zona motor (sin equipo de refrigeración), es un valor de referencia	175 L.
Líquido refrigerante del aire de carga, zona motor, es un valor de referencia	40 L.
Aceite total del motor, en la primera carga (sistema de aceite estándar), es un valor de referencia	290 L.
Capacidad del cárter de aceite, marca mínima por la sonda de nivel (sistema estándar de aceite)	160 L
Capacidad del cárter de aceite, marca máxima por la sonda de nivel (sistema estándar de aceite)	230 L
Capacidad del tanque de combustible de uso diario	2000 L

Peso del motor

Tiene un valor de referencia de 6950 kg.

Ruido del motor

Ruidos de escape no atenuados, es un valor de referencia a potencia continua 129 db.

1.7.2- Fases del ciclo de los motores Diésel

Desde el punto de vista mecánico, el ciclo del motor Diésel de cuatro tiempos consta de las siguientes fases:

Admisión: con el pistón posicionado en el punto muerto superior (PMS) comienza la carrera descendente y al mismo tiempo se abre la válvula de admisión para llenar de aire limpio aspirado o forzado por un turbocompresor el cilindro, terminando este ciclo cuando el pistón llega al punto muerto inferior (PMI) la válvula de admisión se cierra nuevamente.

Compresión: el pistón está en el PMI y empieza su carrera de ascenso, comprimiendo el aire contenido en el cilindro y logrando de esa forma un núcleo de aire caliente en la cámara de combustión por el efecto adiabático.

Trabajo: cuando el pistón está a punto de llegar al PMS se inicia la inyección de combustible a alta presión. En este momento se mezclan las partículas de gasóleo pulverizado con el núcleo de aire caliente y se produce el encendido y la consiguiente expansión de gases por la combustión del gasóleo, moviendo el pistón desde el PMS hacia el PMI y generando trabajo.

Escape: concluida la fase de trabajo y habiendo llegado el pistón al PMI, se abre la válvula de escape al mismo tiempo que el pistón empieza su carrera hacia el PMS y envía hacia el conducto de escape los gases producidos por la combustión en el cilindro.

De esta forma se puede apreciar que el ciclo Diésel está conformado por cuatro tiempos.

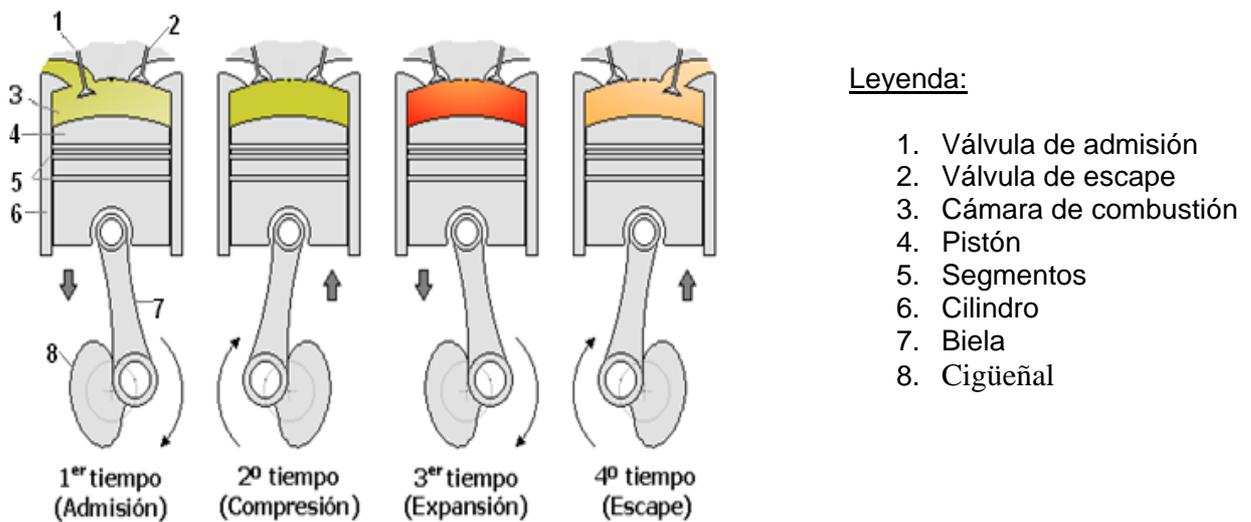


Figura 1.3. Tiempos del motor Diésel.

Fuente: Catalogo Motores de combustión interna MTU, 2006

1.7.3- Característica del sistema de inyección

El sistema de common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónica para motores diésel en el que el gasóleo es aspirado directamente del depósito de combustible a un conducto común a todos los inyectores y enviado a alta presión al cilindro. Este sistema fue desarrollado por el fabricante de automóviles italiano Fiat y por Bosch.

Funcionamiento

El gasóleo almacenado en el depósito de combustible a baja presión es aspirado por una bomba de transferencia y enviado a un conducto común a todos los inyectores. Una segunda bomba de alta presión inyecta el combustible a entre 150 y 1600 bares al cilindro.

La bomba de transferencia puede ir montada en la propia bomba de alta presión o accionada por el mecanismo de distribución. El conducto común es una tubería o "rampa" de la que parte una ramificación de tuberías para cada el inyector de cada cilindro.

La principal ventaja de este sistema es que nos permite controlar electrónicamente el suministro de combustible permitiéndonos así realizar hasta 5 pre-inyecciones antes de la inyección principal con lo que conseguimos preparar la mezcla para una óptima

combustión. Esto genera un nivel sonoro mucho más bajo y un mejor rendimiento del motor.

Ventajas del common-rail

La principal ventaja de este sistema es que la presión con que trabaja es casi independiente del régimen (velocidad del motor) y de su carga; es decir, aunque el conductor no acelere a fondo y el motor gire despacio, es posible inyectar el gasóleo a una presión muy alta y casi constante durante todo el proceso de inyección.

La óptima atomización del combustible por parte de los inyectores electrónicos, controlados por una centralita de inyección electrónica, y la alta presión a la que trabaja el sistema hacen que se aumente potencia en todo el rango de revoluciones, se reduzca el consumo de combustible y se disminuya la cantidad las emisiones contaminantes, en especial los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos sin quemar.

Al no haber un mecanismo mecánico que rijá cuándo se debe inyectar el combustible se puede elegir libremente cuándo inyectar, incluso realizar varias inyecciones en un mismo ciclo. Esto permite la pre-inyección que se produce justo antes de la principal, aumentando la presión y temperatura dentro del cilindro, lo que mejora la combustión y disminuye el ruido característico de los diésel.

1.9- Norma ISO 3046-1

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) es una federación mundial de estándares nacionales. El trabajo de preparación de los estándares nacionales es normalmente llevado a cabo a través del comité técnico de la ISO, cada miembro interesado en un asunto; para el cual el comité técnico ha sido establecido, tiene el derecho de estar representado en este comité.

La norma ISO 3046-1 bajo el título general de **Funcionamiento de los motores de combustión interna recíprocos**, consta de las siguientes partes:

1ra parte; Declaración de potencia consumo de combustible y lubricante y método de prueba.

2da parte; Requerimientos adicionales para el uso general de los motores.

3ra parte; Prueba de mediciones.

4ta parte; Redimen de velocidad;

5ta parte; Vibraciones Torsionales

6ta parte; Protección a la sobrevelocidad

1.10- Clima y meteorología de Moa

Según el ATLAS NACIONAL DE CUBA (1970), la temperatura media anual es de 24 – 26 °C con máximas entre 34 – 36 °C y mínimas alrededor de los 12 °C . El área presenta una insolación constante todo el año, siendo la frecuencia de días despejados en el período seco de 60 días/año y la insolación anual es mayor de 2900 horas luz/año, la radiación global media anual es de 17 MJ/m² (suma diaria). La distribución estacional es irregular determinada por una significativa disminución de las precipitaciones dentro del período lluvioso y una tendencia general a la ocurrencia de láminas máximas al final del mismo. Presenta dos máximos, uno principal de Octubre – Noviembre y otro secundario Mayo – Junio. Así mismo presenta dos mínimos, el principal Febrero – Marzo y uno secundario Julio – Agosto. La cantidad de días al año con lluvias mayor que 1 mm es de 40 – 80 y un promedio anual de 800 – 1000 mm . La humedad relativa media anual para las 7.30 horas es de 85 – 90 % y para las 13.00 horas 70 – 75 %. El sistema local de vientos refleja una ocurrencia mayoritaria de los vientos alisios reforzados por las brisas marinas, y contrarrestados por el terral. Estos alisios soplan sobre la zona oriental procedentes del Noreste durante los meses de Octubre a Enero; del Estenordeste durante el período Febrero – Mayo; y del Este durante el período Junio – Septiembre. En tierra son perturbados frecuentemente por la brisa marina que refuerza su velocidad, en esta zona el curso medio de las líneas de flujo tanto de la brisa como del terral son del Noreste. La velocidad promedio de la brisa es en general de 5 – 15 km/h y mantiene una frecuencia de 180 días al año. Se puede afirmar que el reinante en la zona es la combinación alisios – brisa marina con una frecuencia mayor que el 64 %. Generalmente el reinante es el viento de mayor velocidad promedio anual que en la zona es de 3.9 – 4.4 m/s. El total de días con calmas es de 41 como promedio anual.

1.11- Conclusiones del capítulo 1

- Solo dos trabajos realizados desde el punto de vista de explotación en la batería de grupos electrógenos de Moa. Estas investigaciones y otras tienen un enfoque de reparación y mantenimiento de partes de los motores, la influencia del combustible en la eficiencia del mismo así como el análisis del índice de consumo de combustible del motor y la batería. En ninguno de los casos se analizan la influencia de las variables climatológicas en explotación de los grupos electrógenos de Moa.
- Quedaron establecidos los fundamentos teóricos, que permiten la caracterización de las Batería de Grupos Electrógenos Moa y sus motores de combustión interna. La que es vital en el suministro de energía eléctrica al municipio.
- La norma ISO 3046-1 del 2002; establece los fundamentos para el análisis de la potencia y el consumo de combustible de las instalaciones de generación distribuida bajo condiciones atmosférica locales.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Introducción

Las condiciones meteorológicas, donde se incluyen principalmente las variables meteorológicas (temperatura promedio del aire, humedad relativa, presión atmosférica, etc.) son elementos importantes para el funcionamiento eficiente de maquinas térmicas, debido a que las mismas tienen en su teoría formulaciones matemáticas que incluyen cada una de las variables anteriormente mencionadas. Los motores de combustión interna de la batería de grupos electrógenos, esta influenciada directamente por las condiciones meteorológicas de Moa.

En los materiales y métodos utilizados durante el desarrollo de la investigación se combinan los aspectos teóricos y prácticos de la ingeniería, electrónica, teoría de la información, matemáticas, lógica y comportamiento humano. Se utiliza el software EROS que registra en tiempo real los parámetros de funcionamiento de cada motor y de la instalación en general. Por lo tanto este capítulo tiene por objetivo establecer el procedimiento de cálculo para la evaluación de los parámetros efectivos de los motores de combustión interna de la batería de grupos electrógenos Moa e incluyendo método de ajuste de potencia a partir de la influencia del medio ambiente.

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:

- 1) Velocidad de rotación del árbol de levas.
- 2) Presión de aceite lubricante.
- 3) Temperatura del líquido refrigerante.
- 4) Temperatura del aceite lubricante.
- 5) Temperatura del aire de sobrealimentación.
- 6) Presión del aire de sobrealimentación.
- 7) Velocidad de rotación del cigüeñal.
- 8) Temperatura del líquido refrigerante del refrigerador de aire de sobrealimentación.

- 9) Presión de combustible del lado de baja presión.
- 10) Nivel de líquido refrigerante del refrigerador del aire de sobrealimentación.
- 11) Temperatura de combustible del lado de alta presión.
- 12) Presión de combustible del lado de alta presión.
- 13) Nivel del líquido refrigerante del motor.

La computadora se encuentra contactada 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:

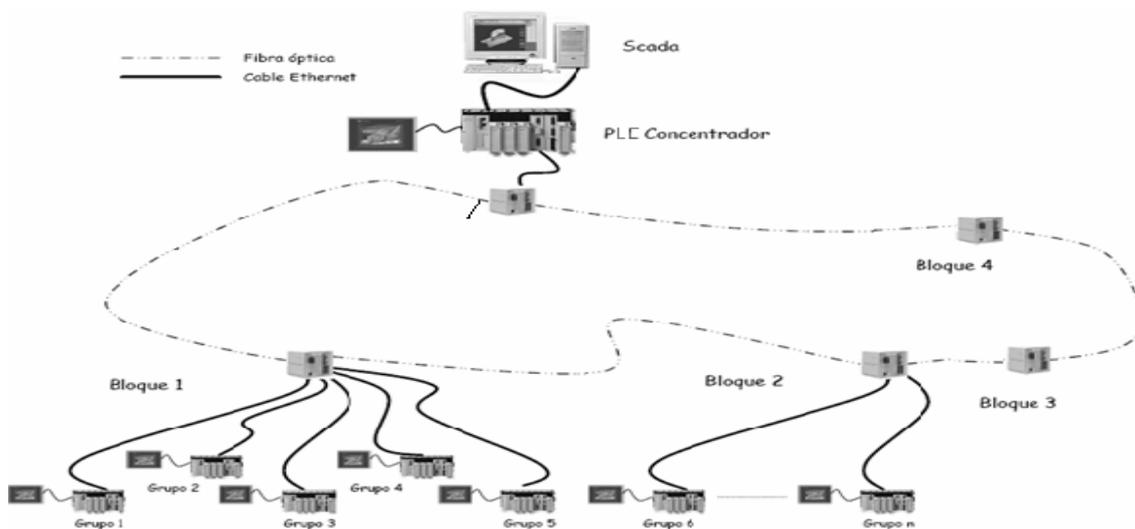


Figura 2.1- Sistema SCADA.

Fuente: catálogo MTU, 2006.

Variables meteorológicas

Los datos de las variables meteorológicas se tomaron de la estación meteorológica de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ver anexo 2).

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 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:

- a. Se realiza con una regla milimetrada una medición inicial de la capacidad del tanque.
- b. Se registra el valor obtenido y se verifica en la tabla de aforo su correspondiente en litros.

- c. Al transcurrir una hora, se realiza una segunda medición y se procede de la misma forma.
- d. 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- 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** p_{mi} se calcula por:

$$p_{mi} = \frac{N_i}{Z \cdot V \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2}} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.1)$$

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** p_{me} :

$$p_{me} = \frac{N_e}{Z \cdot V \cdot \frac{n}{60} \cdot \frac{1}{2}} \quad \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.2)$$

Donde:

N_e : Potencia efectiva del motor (kW).

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

$$W_i = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot C \cdot p_{mi} \quad (J) \quad (2.3)$$

D : Diámetro del cilindro (m).

C : Carrera del pistón (m).

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

$$W_e = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot C \cdot p_{me} \quad (J) \quad (2.4)$$

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

$$g_i = \frac{G_t}{N_i} \cdot 10^3 \quad \left(\frac{g}{kW \cdot h} \right) \quad (2.5)$$

donde:

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

$$g_e = \frac{G_t}{N_e} \cdot 10^3 \quad \left(\frac{g}{kW \cdot h} \right) \quad (2.6)$$

El **Rendimiento indicado** η_i se obtiene:

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.7)$$

donde:

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

Rendimiento mecánico η_m :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2.8)$$

Rendimiento efectivo η_e :

$$\eta_e = \frac{\eta_i \cdot \eta_m}{100} \quad (\%) \quad (2.9)$$

2.4- Índice de Generación de la batería

Determinación del índice de consumo de combustible de la batería

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.).

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

Para el caso en estudio; Batería de Grupos Electrógenos de Moa, el índice de consumo se calcula por:

$$Ic = \frac{C}{G} \cdot \rho \quad g/kW \cdot h \quad (2.10)$$

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- 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 para el ajuste de potencia

Tabla 2.1. 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	Formula 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					

2.6- 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, las siguientes ecuaciones pueden ser usadas; si otros métodos no son establecido por el fabricante (Ver nota 1).

$$P_x = \alpha \cdot P_r \quad (2.11)$$

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

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

Donde el factor de ajuste de potencia esta dado por:

$$\alpha = k - 0.7(1 - k) \cdot \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (2.12)$$

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

$$k = \left(\frac{P_x - a\phi_x \cdot p_{sx}}{P_r - a\phi_r \cdot p_{sr}} \right)^m \cdot \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \cdot \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^s \quad (2.13)$$

Siendo;

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

$T_r \Rightarrow$ 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 mas 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.

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

Cuando se requiere que el motor sea operado bajo condiciones de prueba o 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 recalculado desde las condiciones de referencia estándar.

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

$$b_x = \beta \cdot b_r \quad (g/kW \cdot h) \quad (2.14)$$

Siendo;

$b_x \Rightarrow$ Consumo específico de combustible de servicio estándar

$b_r \Rightarrow$ Consumo específico de combustible de servicio

$\beta \Rightarrow$ Factor de ajuste de consumo

$$\beta = \frac{k}{\alpha} \quad (2.15)$$

2.7- Datos obtenidos en la instalación

A través de búsquedas y con la realización de mediciones en el motor 3 por los métodos anteriormente descritos, se han obtenido los valores presentados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1- 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	330.50	370.90	431.30
Valor calórico inferior	(kJ/kg)	42700			
Diámetro del cilindro	(m)	0.165			
Número de cilindros	-	16			
Número de revoluciones	(rev/min)	1800			



nominales		
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 2 y 3

Condiciones estándar de referencia según ISO 3046-1

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

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

$h_r = 30\% \Rightarrow$ Humedad relativa

2.8- Conclusiones capítulo 2

- 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.
- Quedó establecido 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.
- 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, VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

3.1- Introducción

En la actualidad las investigaciones que se desarrollan en Cuba deben considerar tres aspectos esenciales, ellas deben ser técnicamente racionales, económicamente factibles y ambientalmente viables, es por ello que todos los trabajos investigativos ejecutados deben considerar el análisis de los resultados fundamentales basados en estos criterios.

Producto a la crisis energética mundial, el problema principal hoy en día de los motores de combustión interna es el logro de una mayor economía y una disminución en los niveles de contaminación. Además del cálculo de la economía del motor que se realiza sobre la base del consumo de combustible, siendo este equipo fundamental en el funcionamiento de la batería de grupos electrógenos, en tal sentido este capítulo tiene como objetivos el análisis de los resultados, la realización de valoración económica y de las principales manifestaciones de los motores de combustión interna sobre el medio ambiente.

3.2- Parámetros principales del motor

Con la aplicación de la metodología antes descrita y teniendo en cuenta los datos anteriores, se ofrece en la tabla 3.1 los resultados obtenidos en los cálculos. Para ver desarrollo del cálculo ver anexos 4y 5.

Tabla 3.1- Resultados obtenidos en los cálculos.

Parámetro	Unidad	Ecuación	% de carga del motor			
			75	80	90	100
p_{me}	MPa	2.2	1.402	1.482	1.679	1.938
W_e	kJ	2.4	5.695	6.021	6.821	7.872
g_e	g/kW. hr	2.6	229.14	228.88	226.71	223.14
η_e	%	2.9	26.7	28.2	32	36.9
η_m	%	2.8	68.6	72.6	82.2	94.9

3.3- 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 siguiente tabla de datos.

Tabla 3.2. Datos para la construcción de los gráficos de carga.

Carga (%)	Potencia efectiva (kW)	Consumo horario (kg/h)	Consumo específico (g/kW·h)	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

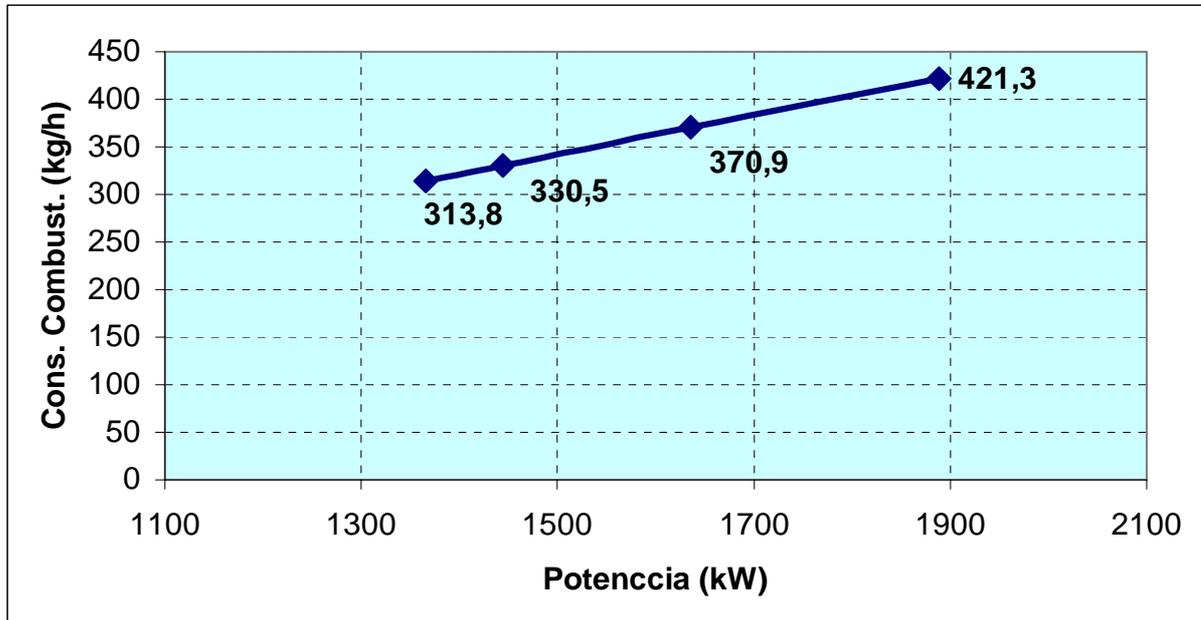


Figura 3.1. Variación del consumo horario con respecto a la potencia efectiva.

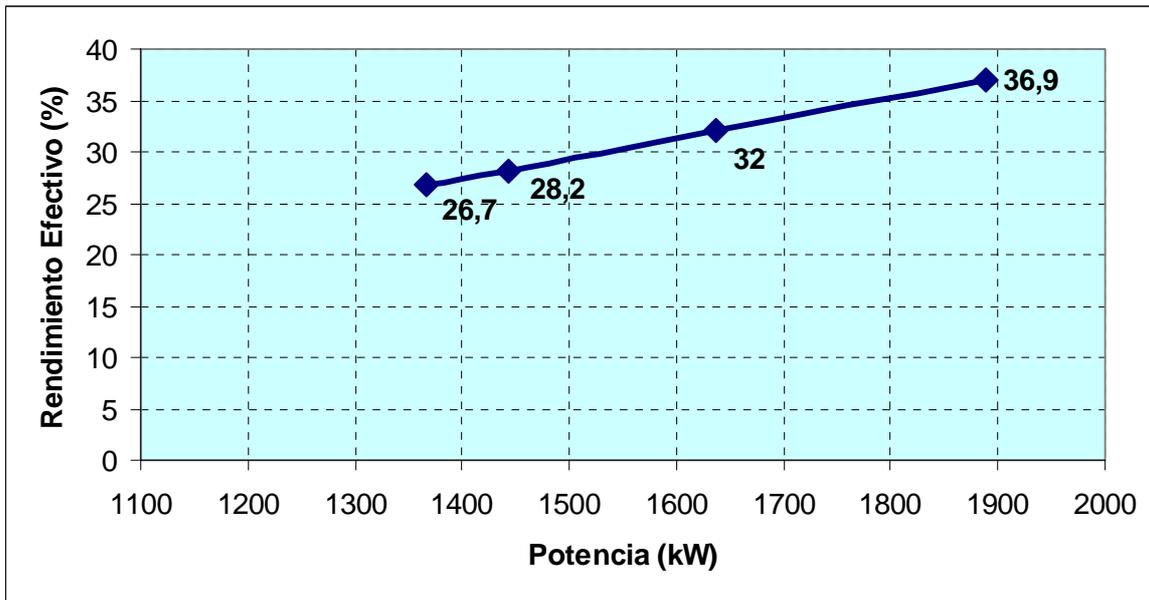


Figura 3.2. Variación del rendimiento con respecto a la potencia efectiva.

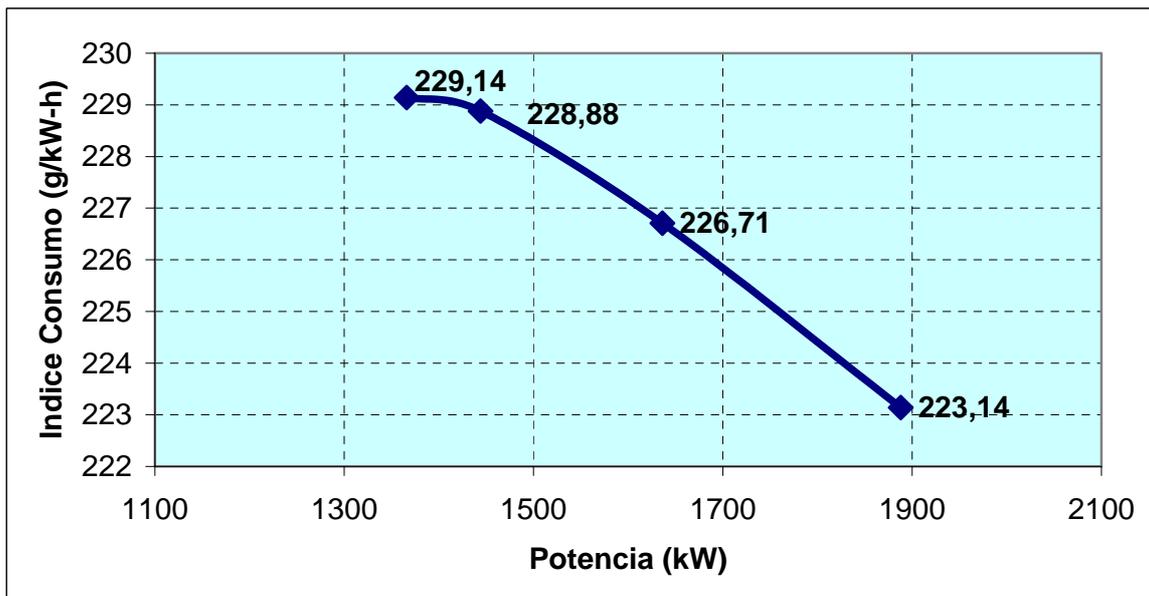


Figura 3.3. Variación específico efectivo de combustible con respecto a la potencia efectiva.

En las figuras 3.1 y 3.2 se muestra un aumento de los parámetros relacionados en cada caso (consumo horario de combustible, 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 (Fig. 3.3), (ambos hasta aproximadamente el 80-85% de la carga máxima) momento 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 3.1, 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 esta 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-oil, 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 3.1, 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 3, 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).

3.4- Parámetros principales del 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 3.2, los resultados obtenidos en los cálculos.

Tabla 3.2. Resumen de la batería según la norma ISO, y SCADA

Mes/ Año-2007	Batería de G E.			
	Normas ISO 3046-1		SCADA	
meses	Potencia	Ic. Consumo	Potencia	Ic. Consumo
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 1: la potencia y el índice de consumo según norma ISO 3046-1, por las formulas 2.11 y 2.14. En el caso de lo resultado obtenidos a partir del sistema SCADA, se determinaron en el panel de control y la formula 2.10, respectivamente.

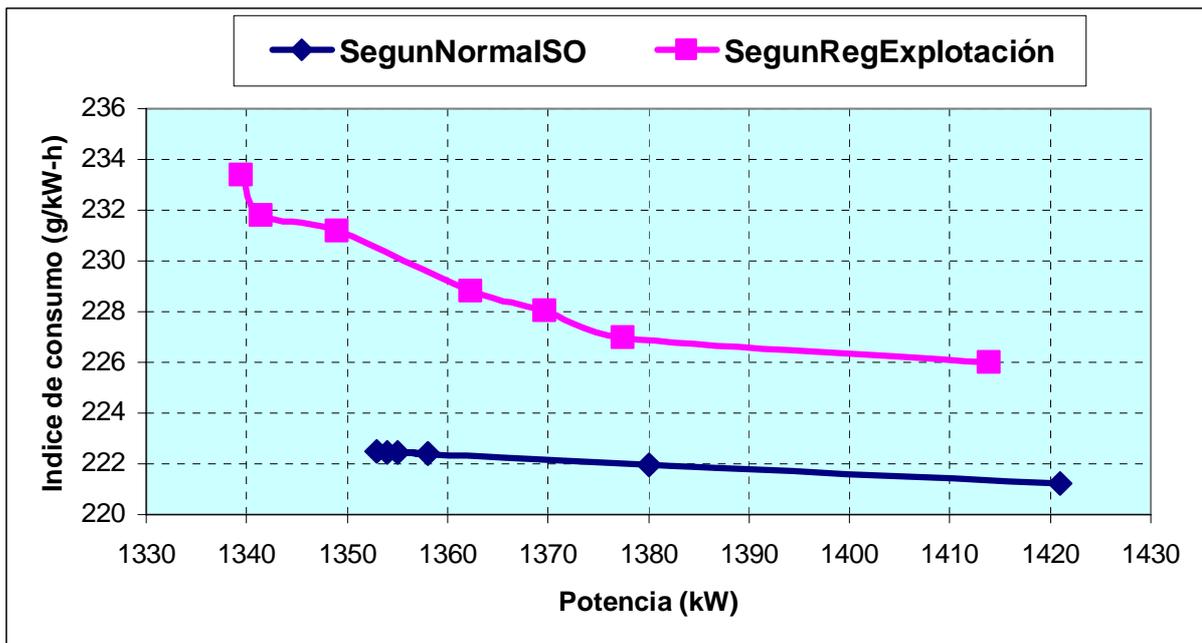


Figura 3.4. Comportamiento de los índices de consumo de combustible en la batería con respecto a la potencia (abril-septiembre de 2007)

En la figura 3.4 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/kW-h, esto es porque esta 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 lo 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.

3.5- Valoración económica

La economía de la Batería de Grupos Electrónicos 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 3.3. 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 horas trabajadas, la batería consume 30819,1682 barriles de combustible, que representa un costo de 2120358,77 CUC.

3.6- Impacto medio ambiental de la batería de grupos electrógenos, desde el punto de vista del análisis de los motores de combustión interna.

La energía mecánica, indispensable para poner en acción diferentes máquinas se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. 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.

3.6.1- Formas de acción de los motores de combustión interna 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.

3.6.2- Toxicidad de los gases de escape de los motores de combustión interna 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 3.4. Compuestos emitidos al medio ambiente durante la combustión

Monóxido de carbono, %	Motores Diésel	Motores de carburador
Oxidos 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 Diésel 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.

3.6.3- Contaminación provocada por el motor Diésel

Convertidos en la "bestia negra de los ecologistas" , los motores Diésel 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 Diésel 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 Diésel 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 MCI Diésel 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 los 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- Afectaciones ambientales provocadas por los motores de combustión interna del GE Moa

Las principales manifestaciones de los motores de combustión interna de la batería de Moa, son los impactos sobre el suelo, la calidad del aire y los recursos hídricos (Figura 3.3).

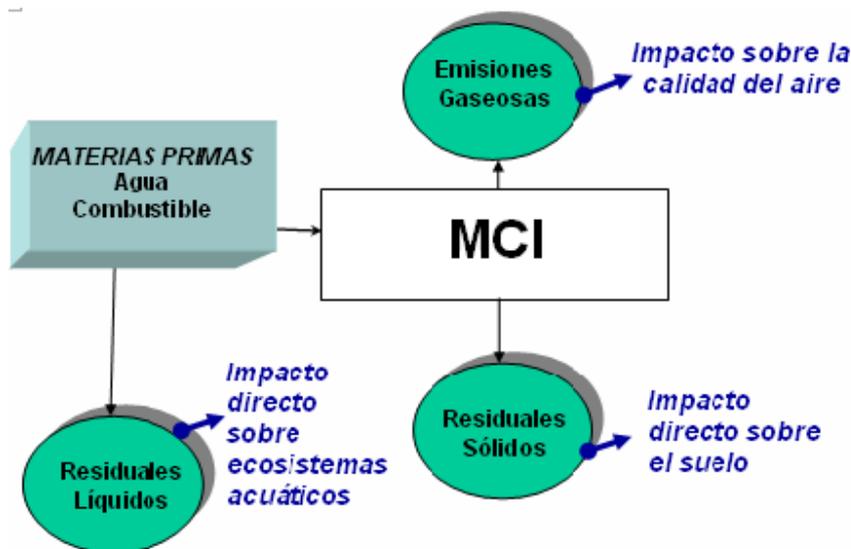


Figura 3.5. Esquema de impacto ambiental del MCI en GE de Moa.

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 3

- El análisis de los resultados, basado en los parámetros efectivos del motor muestra que el rendimiento efectivo aumenta (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/kW-h), 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,
- 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/kW-h. Estos dos valores están cercanos 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.
- 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

- Solo dos trabajos realizados desde el punto de vista de explotación en la batería de grupos electrógenos de Moa.
- El análisis de los resultados, basado en los parámetros efectivos del motor muestra que el rendimiento efectivo aumenta (26.7 hasta 36.9%) con respecto a la carga. El consumo específico efectivo disminuye (229.14 hasta 223.14 g/kW-h), en la misma medida que va aumentando la potencia efectiva del motor.
- 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/kW-h.
- 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 equipos contaminadores del medio ambiente en la batería de grupos electrógenos, son los motores de combustión interna. En esta instalación no se disponen de equipos para el control de afectaciones al medio ambiente que producen los motores de combustión interna.

RECOMENDACIONES

- A los departamentos de MECÁNICA y ELÉCTRICA de ISMM; profundizar en el estudio de la temática por la importancia que esta reviste para Cuba convirtiéndose este trabajo en un material de consulta; haciendo énfasis en la aplicación de la metodología descrita al resto de los motores de combustión interna de la batería de grupos electrógenos Moa, evaluando cada uno por separado.
- A la OBE; utilizar un sistema de medición mas eficaz para determinar el consumo de combustible debido que con el método existente se puede incurrir en errores.
- A la OBE; desarrollar cursos de capacitación, en conjunto con el ISMM, relacionado con el ahorro de energía, y la importancia del cuidado del medio ambiente.

Bibliografía

1. Choy, R.; R. C. y Morozov, K. *Elementos de construcción y cálculo de motores de combustión interna*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.141p.
2. Coello Pupo, L. *Comportamiento del desgaste de los motores de combustión interna de los camiones articulados Volvo A35C, mediante el diagnóstico del lubricante*. Tesis en opción al título de ingeniero Mecánico. Instituto superior minero metalúrgico de Moa, 2005.50h.
3. Colectivo de autores: *Atlas nacional de Cuba*. Editora N^o 2 de la URSS. Septiembre de 1970.
4. Enciclopedia Microsoft Encarta, 2007. *Motor de combustión interna*. 2006.
5. Empresa eléctrica (Cuba). *Manual de medio ambiente*.2006.
6. Empresa eléctrica (Cuba). *Manual del motor de combustión interna*. 2006.
7. *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>.
8. Faires, V. *Termodinámica*. La Habana: Edición Revolucionaria, 1991. 807p.
9. Fernández, E. *Termodinámica Técnica*. La Habana: Editorial "Felix Varela", 1994. Tomo I, II y III.
10. Fernández, J. *Influencia de los combustibles en el funcionamiento de los motores de combustión interna*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1998.161p.
11. Isachenko. V.; V. Osipova.; A. Sukomel. *Transmisión del calor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, 1979. 566p.
12. *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.
13. 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

14. *Los motores de combustión interna*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: http://html.rincondelvago.com/motores-de-combustion-interna_1.html.
15. Marrero, R. S: *Diagnóstico energético ambiental hospital "Isidro Ayora"*. Informe Energético. Loja Octubre 2004.
16. Martínez, M; . *Grupos electrógenos y su impacto ambiental*. Revista Higiene y Sanidad Ambiental 7:212-217. 2007.
17. Miller R.; John E. Freun, Richar Jonson. *Probabilidad y Estadística Para Ingeniero*. Editorial Félix Varela. La Habana Cuba 2005. Tomo I y II.
18. Miller, I; Freund, John. *Probabilidades y Estadísticas para Ingenieros*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.407p.
19. 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.
20. *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.
21. *Motores térmicos*. [En línea].[2007/04/20]. Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/~napsu/documentos/MOTORES%20TERMICOS.html>.
22. Norma ISO. Reciprocating internal combustion engines – Performance-. 3046-1. Fifth edition. Switzerland: ISO 2002.
23. Pérez, Garay. L.: *Generadores de Vapor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1972.
24. 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.
25. Reyes, J. L. G. *Prácticas de laboratorio de motores de combustión interna de pistón*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1987.141p.
26. 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.
27. Rizhkin, Y. V. *Centrales termoeléctricas*. Primera y segunda parte. Editorial pueblo y educación. Ciudad de La Habana. 1985.



28. Rodríguez, Y. *Análisis del petróleo crudo nacional empleado en la empresa Ernesto Guevara*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2001.
29. Tavares, H, J. *Cálculo de los parámetros que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna 7 de la batería de grupos electrógenos Moa*. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, 2007.50h.
30. Velázquez, P, D. *Establecimiento del rango del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrógenos de Moa*. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, 2007.50h.
31. Vukalovitch. *Propiedades Termodinámicas del agua y el vapor*. Editorial. Revolucionaria 1958.



ANEXOS

Anexo 1



Motor MTU16V 4000 G81.

Anexo 2

Datos Régimen climatológico de Moa.

(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	
<u>20,7353125</u>	<u>62,44875</u>	<u>1014,6875</u>					

mayo

ta	hr	p	
28,51	90,8	1017	
27,78	94,5	1016	
27,29	94,7	1017	
26,26	95,7	1017	
27,27	92,1	1018	
26,65	89,6	1018	
27,01	87	1017	
26,99	88,8	1017	
27,46	87,2	1017	
28,38	87,2	1017	
29,19	90,3	1018	
28,29	85,3	1016	
27,83	83,8	1016	
27,81	81,2	1017	
27,75	88,9	1016	
27,74	86,7	1017	
27,55	89,4	1018	
28,11	84,9	1020	
27,25	82,3	1019	
26,53	75,8	1018	
26,98	78,3	1019	
27,71	88,5	1018	
28,5	89,7	1017	
28,63	88,2	1018	
28,48	87,6	1017	
28,14	88	1017	
28,58	87,6	1017	
28,41	83,9	1016	
28,22	87,9	1014	
30,03	88,1	1016	
30,31	88,6	1019	

27,923871 87,5032258 1017,22581

junio

ta	hr	p	
25,8239583	79,4489583	1018,01042	
27,2115625	81,853125	1017,77083	
27,0182292	78,1458333	1016,875	
27,090625	83,809375	1016,52083	
26,9932292	81,7489583	1016,39583	
27,2727083	83,1864583	1016,77083	
26,7669792	83,5614583	1016,375	
27,0784375	81,5729167	1016,17708	
26,5952083	82,8010417	1016,40625	
26,6294792	82,759375	1016,75	
27,5632292	80,0479167	1017,20833	
27,5904167	76,6677083	1017,57292	
27,6317708	77,6447917	1017,04167	
27,2172917	81,6416667	1016,72917	
27,4464583	79,7270833	1015,4375	
27,6358333	77,0557292	1015,72917	
27,7310417	80,875	1017,57292	
27,9133333	81,8832292	1019,0625	
27,55375	83,05	1020,04167	
27,3565625	78,0833333	1018,48958	
27,0825	79,2708333	1017,13542	
26,8857292	82,1625	1016,71875	
26,71625	84,5197917	1016,8125	
27,5723958	81,7791667	1017,65625	
27,2528125	78,5283333	1016,83333	
26,6325	82,6677083	1015,71875	
27,5909375	82,9791667	1017	
27,8238542	80,7020833	1017,28125	
27,6425	80,2895833	1016,92708	
27,505625	78,0744792	1016,23958	
27,2275069	80,8845868	1017,04201	

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>

Anexo 3

Tabla 1. Trabajo de la batería durante del período marzo-septiembre de 2007

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 4

Metodología de cálculo de los parámetros indicados, medios y efectivos (80%).

parámetros indicados y efectivos.

presión media indicada

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

$$z := 16$$

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

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

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

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

Presión media efectiva

$$N_e := 1444 \cdot \text{kW}$$

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

$$P_{me} = 1.482 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Trabajo indicado

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

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

Trabajo efectivo

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

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

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

$$W_e = 6.021 \times 10^3 \text{ J}$$

Consumo específico indicado de combustible

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

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

1

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

Consumo específico efectivo de combustible

$$G_{te} := 330.5 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

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

$$g_e = 228.878 \frac{\text{gm}}{\text{kW}\cdot\text{hr}}$$

Rendimiento indicado

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

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

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

$$n_i = 0.389$$

Rendimiento mecánico

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

$$n_m = 0.726$$

Rendimiento efectivo

$$n_e := n_i \cdot n_m$$

$$n_e = 0.282$$

Nota: La metodología de cálculo es la misma para el resto de los % de carga.

Anexo 5

Metodología para el análisis de las condiciones climatológicas(marzo)

Razon de potencia(k)

$$m := 0.7 \quad n := 1.2 \quad s := 1$$

$$\left[\frac{(p_x - a \cdot \Phi_x \cdot p_{sx})}{(p_r - a \cdot \Phi_r \cdot p_{sr})} \right] := A$$

$$A := 1.01$$

$$T_r := 305 \cdot K$$

$$T_x := 293.7 K$$

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

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

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

$$k = 0.957$$

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

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

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

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

Consumo específico de combustible

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

$$\beta = 1.006$$

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

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

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

Nota: La metodología de cálculo es la misma para el resto de los meses.