



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**FACULTAD METALURGIA- ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

*En opción al título
de Ingeniero Mecánico*

Título: Establecimiento del rango del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrógenos de Moa.

Autor: Dionnys Velázquez Planche

**Tutores: Ing. Yodelkis Delgado Drubey
Ing. Benigno Leyva de la Cruz**

***Moa, Julio 2008
“Año 50 de la Revolución”***



Declaración del autor

Yo, Dionnys Velázquez Planche, autor de este trabajo de diploma, certifico 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.

Dionnys Velázquez Planche
Autor

Ing. Yodelkis Delgado Drubey
Tutor

Ing. Benigno Leyva de la Cruz
Tutor



PENSAMIENTOS

Emplearse en lo estéril cuando se puede hacer lo útil; ocuparse en lo fácil cuando se tiene bríos para intentar lo difícil, es despojar de su dignidad al talento.

*José Martí Pérez
Apóstol nacional de Cuba*

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

*José Martí Pérez
Apóstol nacional de Cuba*

“Ten siempre todas las cosas presentes de cuyos cambios han sido testigo. El universo es puro cambio y la vida es comprenderlo”.

Marco Aurelio

“Después de saber cuándo debemos aprovechar una oportunidad, lo más importante es saber cuándo debemos renunciar a una ventaja.”

-Benjamin Disraeli

Agradecimientos

Antes que nada debo agradecerle a Dios por permitir mi existencia en la tierra y haber permitido estudiar esta carrera que tanto anhelaba.

Gracias en primer lugar a nuestro invicto Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz por haber luchado tanto para que de una forma u otra todas las personas estudien y sean alguien en la vida, mis agradecimientos a todos mis familiares y en particular a mi madre Mirian , mi padre Jorge que gracias a su ayuda hoy tengo el título de Ingeniero Mecánico, a mi hermana Yenislav, mi hermano Nelson, mi abuelo- Padre Pablo, al intachable claustro de profesores por haberse esmerado tanto para que obtuviéramos este título de ingeniero mecánico, a mis tutores Yodelkis Delgado Drubey y Benigno Leyva de la Cruz, a mis amigos de barrio Osiel Brooks, Ovis Jiménez, a todos mis compañeros de estudios y en especial Yunier y Luis Felipe , a mi novia Yaraisy Martínez Savón; en fin gracias a todos, les ruego que me disculpen si se me queda alguien. Solo me resta decir que estoy satisfecho por toda la colaboración de todos en la obtención de mi título ya que han sido un pilar muy importante en mi formación profesional.

¡“A TODOS GRACIAS” i



Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a mi querida abuela- madre Mirian Anache Anache, a mi madre Odalis Planche Anache, a mi hermana Yenislav Velásquez Planche, mi tía Lourdes a mis tutores Yodelkis Delgado Drubey y Benigno Leyva de la Cruz, por la dedicación que me ha prestado y en especial a quien estimo como a un padre; Jorge Pérez Escalona.

RESUMEN

En momentos en que el país esta 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 batería de grupos electrógenos están siendo ampliamente usados 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 estadísticos obtenidos a partir de la consulta realizada en las bibliografías existentes. También esta consulta permitió la caracterización de la batería de grupos electrógenos en Moa, así como se diseño del experimento apoyado en la teoría de Taguchi.

Se estableció el procedimiento de análisis para la determinación del rango de normalidad del índice de consumo y su rango de variación para trabajos con densidades variables y constantes, que fueron **227.65 – 231.46** y **223.88 – 229.33 g/kWh** respectivamente.

Finalmente se realizó una valoración económica, que muestra un consumo de 52246,7 barriles de petróleo, en el periodo que se evalúa. Y se analizó el impacto que tiene los motores al medio ambiente.

SUMMARY

In moments when our country is immersed in the an energetic revolution, starting from lighting and electro domestic substitution until improvement of power supply lines and electric energy production units modernization; the batteries of the electro generation groups are being widely used. In this architecture it is important to evaluate these to verify their behavior during the exploitation of those that are subjected to it.

For the development of this work, taken in account were theoretical empirical expressions related with the statistical methods obtained from the consultation done in the existing bibliography. This consultation also permitted the characterization of the batteries of the electro generation groups in Moa not forgetting the design of the experiment supported by the Taguchi theory.

An analysis procedure was established for determining the consumption index normality range and its variation range for variable density work and constants, that were 227.65 – 231.46 and 223.88 – 229.33 g/kWh respectively.

Finally an economic evaluation was done, that shows the consumption of 52246,7 petrol barrels, in the period when it is evaluated and the impact of motors over the environment was analyzed.



INDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. Marco teórico de la investigación	
1.1- Introducción	4
1.2- Revisión Bibliográfica	4
1.2.1- Estado del Arte	4
1.2.2- La Generación Distribuida	5
1.2.3- Trabajos Precedentes	6
1.3- Generación Distribuida	8
1.3.1- Beneficios de la generación distribuida	9
1.3.2- Perspectivas de la Generación Distribuida	10
1.4- Generación Distribuida sincronizada en la Provincia Holguín	11
1.4.1- Generación Distribuida sincronizada en el Municipio Moa	12
1.5- Generalidades de los Grupos Electrónicos Dese	12
1.5.1- Descripción General del funcionamiento de los Grupos Electrónicos Diesel	12
1.5.2- Principales problemas en la Batería de Grupos Electrónico	14
1.6- Generalidades sobre el diseño y análisis estadístico	15
1.6.1- Observaciones sobre el diseño de experimento e ingeniería de la calidad	15
1.6.2- Análisis estadístico	17
1.7- Conclusiones del capítulo	19
CAPÍTULO 2. Materiales y Métodos	
2.1- Introducción	20
2.2- Materiales, métodos de medición y control del proceso	20
2.2.1- Sistema de adquisición de datos SCADA	21
2.2.2- Método de la tabla de aforo	22
2.3- Diseño Teórico del Proceso de Medición	23
2.4- Determinación del índice de consumo de combustible	27
2.5- Tratamiento de la primera base de datos	27
2.5.1- Pasos metodológicos generales para la prueba de hipótesis referida al análisis de varianza.	27
2.5.2- Pasos metodológicos para la Prueba de Duncan (comparaciones múltiples)	29
2.5.3- Pasos metodológicos para la prueba de Normalidad Ji- Cuadrado	31
2.5.4- Pasos metodológicos par la comprobación de la normalidad	32
2.5.5- Pasos metodológicos para la Prueba de Hipótesis referidos al valor estándar establecido por el Fabricante	32
2.5.6- Pasos metodológicos para el establecimiento intervalo de confianza del índice de consumo	33
2.6- Tratamiento de la segunda base de datos	34
2.6.1- Pasos metodológicos para la Prueba de Hipótesis de comparación normalizada de ambas bases de datos.	34



2.6.1.1-	Criterio de T- Students para el análisis de la base de datos	34
2.7-	Datos obtenidos en la instalación	36
2.8-	Principales resultados	36
2.8.1-	Principales resultados para base de datos a densidad variable	37
2.8.2-	Prueba de Hipótesis para la comparación de las dos poblaciones	38
2.9 -	Conclusiones capítulo 2	38
CAPÍTULO 3. Análisis de los resultados, valoración económica e impacto medio ambiental		
3.1	Introducción	39
3.2-	Análisis de los resultados	39
3.3-	Valoración económica	41
3.4-	Impacto medio ambiental de la batería de grupos electrógenos, desde el punto de vista del análisis de los motores de combustión interna.	42
3.4.1-	Formas de acción del MCI sobre el medio ambiente	43
3.4.2-	Toxicidad de los gases de escape del MCI y formas para reducirla	44
3.4.3-	Contaminación provocada por el motor Diésel	44
3.5-	Afectaciones ambientales provocadas por los MCI del GE Moa	47
3.6-	Conclusiones del capítulo 3	49
	CONCLUSIONES GENERALES	50
	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFIA	52
	ANEXOS	53

INTRODUCCIÓN

El inestable valor del índice de consumo de combustible en las Baterías de Grupos Electrónicos constituye un parámetro de vital importancia en estos momentos, ya que nos permite observar diversos problemas que afectan los costos y la calidad del mismo, y aún más en un país como Cuba bloqueado económicamente por el poder norteamericano, decretado contra la isla desde 1961 y arremetido en los años 90, la cual ha tomado represaría varias veces con nuestro país particularmente con el combustible, ya que este (E.U) tiene gran influencia en el Mercado Mundial y cada día que pasa el valor de este importante líquido aumenta.

Ante la crisis que sufrió en 2004 el Sistema Electro energético Nacional (SEN), apoyado entonces en grandes plantas con elevados índices de consumo de combustibles y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico, surgieron las ideas del nuevo programa. Este consiste en un sistema basado en el uso de grupos electrógenos dislocados por casi todo el archipiélago y el empleo de medidas concretas para el ahorro de portadores energéticos. Se trata de un esquema de generación eléctrica mediante la instalación de baterías de esos grupos electrógenos, que operan con diesel o fuel oil, sincronizados al SEN, lo cual constituye uno de los más profundos cambios conceptuales en la esfera. Es decir, equipos con bajo consumo energético, alta disponibilidad, facilidad para su instalación y niveles de potencia utilitaria inferiores a las termoeléctricas.

El Sistema Eléctrico Nacional juega un papel determinante dentro de la economía nacional. Insertada en esta rama, los Grupos Electrónicos se han convertido en uno de los pilares más importantes en la generación de electricidad en nuestro país, a raíz de la irregularidad de energía eléctrica que existía debido a que las principales termoeléctricas del país confrontaban serios problemas de averías constantemente y tenían que salir de la Red Nacional. Hasta la fecha se han incorporado más de 1 100 MW provenientes de los GE situados en 116 de los 169 municipios, lo cual representa más del 40% de la energía necesaria en el territorio cubano en los horarios de máxima demanda.

Situación Problemática:

La explotación de las Estación Automata de Generación Distribuida, 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.

La experiencia actual muestra algunas deficiencias en el sistema. El suministro y beneficio del combustible presenta un comportamiento inadecuado con respecto a lo esperado en estos sistemas. Han surgido fenómenos que afectan el buen funcionamiento del suministro del combustible, que de no controlarse puede surgir graves averías producto de la cavitación. Además el inadecuado beneficio (limpieza, separación de las partes más sólidas, o más densas y contaminantes) que entorpece el funcionamiento del motor de combustión interna diesel (MCID), produciendo desgaste de las válvulas, obstrucción de los filtros, calzado de las válvulas, mala combustión.

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.

A partir de las deficiencias antes expuestas se declara como **problema**:

- ❖ Variabilidad del índice de consumo de combustible en la Batería de grupos electrógenos de Moa.

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

- ❖ Batería de grupos electrógenos de Moa

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

- ❖ Es posible el establecimiento del índice de consumo de combustible, de la batería de grupos electrógenos de Moa, realizando un análisis estadístico a los valores obtenidos en dicha instalación.

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

- ❖ Establecer un rango de variación del índice de consumo de combustible que caracterice el trabajo de la Batería de Grupos Electrógenos de Moa.

Objetivos específicos:

- ❖ Caracterizar la Batería de Grupos Electrógenos de Moa;
- ❖ Analizar la variabilidad del índice de consumo; y
- ❖ Establecer el índice de consumo de combustible.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes

tareas del trabajo:

- ❖ Establecimiento del estado de la generación distribuida y la utilización de motores de combustión interna con este fin;
- ❖ Procesamiento de la base de datos para el establecimiento del índice de consumo de combustible; y
- ❖ Análisis y valoración de los resultados, el impacto económico y medioambiental del proceso de generación bajo las condiciones de operación.

Los resultados esperados son:

- ❖ El estado del arte sobre la temática tratada;
- ❖ Procedimiento estadístico de análisis del índice de consumo de combustible en la batería de Moa;
- ❖ El índice de consumo de combustible en dicha instalación; y
- ❖ La valoración técnico-económica del proceso y las afectaciones provocadas al medio ambiente.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1- Introducción

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

1.2- Revisión Bibliográfica

1.2.1- Estado del Arte

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

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

1.2.2- 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.

1.2.3- Trabajos Precedentes

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

Los trabajos precedentes están estrechamente vinculados con la explotación de los 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 MCI y su explotación. Los autores definen con claridad el análisis de los ciclos termodinámicos, el intercambio de gases, los procesos de combustión, expansión y escape. Establecen las metodologías para, el balance térmico y de tensiones y para la determinación de los parámetros principales que caracterizan a los MCI. Explican las particularidades de los sistemas básicos del MCI y finalmente valoran la economía del motor y el impacto causado por este al medio ambiente.

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

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

Un aporte importante fue dado por Fernández (1998) al efectuar el estudio sobre la influencia de los combustibles en funcionamiento de los MCI. Señala las cuestiones generales sobre el origen del petróleo y su industria extractiva. Se analizan las

diferentes características de los carburantes y su influencia en el trabajo de los motores. Refleja los resultados experimentales de un gran número de investigaciones desarrolladas en el Departamento de Transporte Automotor del "Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría". En algunos casos los resultados expuestos se definen, sobre la base de los ensayos realizados.

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

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.

1.3- Generación Distribuida

Uno de los cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética radica en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica (La 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 electroenergético nacional (SEN). Los equipos son de alta disponibilidad y fácil instalación, además niveles de potencia unitaria inferiores a los de las termoeléctrica, por lo que, la salida de funcionamiento de alguno de ellos no crearía nunca una crisis como la ocurrida en el 2004 cuando se averiaron las 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.

1.3.1- Beneficios de la generación distribuida

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

a) Beneficios para el usuario

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

b) Beneficios para el suministrador

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

1.3.2- Perspectivas de la Generación Distribuida

Diesel

Los 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 4004. 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- 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.

1.4.1- 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- Generalidades de los Grupos Electrónicos Diesel

1.5.1- Descripción General del funcionamiento de los Grupos Electrónicos Diesel

Los Grupos Electrónicos 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 Electrónicos Diesel serie 16V-4000-G81, suministrados por la firma MTU alemana. El Emplazamiento utiliza 4 Tanques de Recepción (TQ) de $100m^3$ cada uno.

El combustible llega al emplazamiento en carros cisternas los cuales son acopladas a los racores de 3 conectados a dos válvulas para permitir el paso del combustible el cual es succionado por dos bombas de recepción de $60m^3/h$, el combustible pasa por dos filtros MECH 20, de los cuales uno se encuentra en reserva, estos filtros tienen un manómetro antes y después de su conexión para la medición de diferencia de presión y ejecutar la limpieza cuando presente partículas de suciedad. A la salida del filtro, el combustible es impulsado por los impelentes de la bomba de recepción, la cual descarga a través de una válvula hacia el cabezal de entrada de los Tanques de Recepción, el cual esta dividido en dos secciones con válvulas independientes, para alimentar a dos tanques cada sección. Los TQ tienen una toma en su interior a 8 cm del fondo para evitar la absorción de materias asentadas, por gravedad el combustible luego de la apertura de las válvulas es llevado a la succión de las bombas y la centrífuga donde es sometido a un proceso de limpieza y purificación para eliminar toda partícula sólida, sedimentos y el % 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 $2m^3/h$ para evacuar el contenido del mismo al TQ 4 para ser tratado posteriormente en la centrífuga y recuperar el combustible que se encuentre en la mezcla. El combustible limpio es impulsado por la centrífuga al Tanque de Operaciones con una presión de $2,5\text{ bar}$ a través de una línea de tubería 2, el combustible almacenado se distribuye a todos los GED del emplazamiento por un sistema de válvulas, para facilitar el llenado de los tanques interiores de cada contenedor se conectan las bombas de combustibles de los grupos que están gobernadas por el sistema de control, arrancan automáticamente cuando los tanques se encuentran al 40% de su capacidad, en caso de avería se cuenta con una bomba de

accionamiento manual. El sistema de combustible inyecta el diesel en los cilindros donde ocurren los procesos de admisión, compresión, explosión y escape, transmitiendo esta energía al cigüeñal, produciendo de esta forma el torque necesario para mover el generador trifásico acoplado al motor, creando una corriente inducida y con ella un campo magnético produciendo una potencia eléctrica. A la salida de los GED se encuentran los transformadores elevadores de tensión de $480V/13.8kV$, los cuales tiene sus devanados sumergidos en aceite, los devanados secundarios de estos transformadores se conectan a un transformador de salida de $20MVA$, el cual es el encargado de elevar el voltaje de $13.8kV/33kV$, que es el voltaje de conexión de la Batería con el SEN. (Ver figura 1.1)

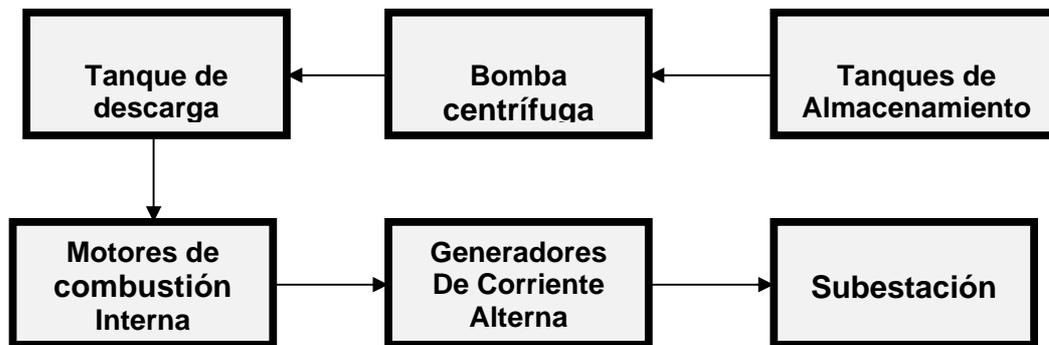


Figura 1.1. Esquema del flujo tecnológico de la batería de GE Moa.

1.5.2- 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, mas 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 deposito 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.

1.6- Generalidades sobre el diseño y análisis estadístico

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

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

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

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

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

Según Taguchi es recomendable el empleo de métodos estadísticos de diseño experimental para auxiliar el mejoramiento de la calidad, en particular durante el diseño de parámetros y el diseño de tolerancias. Pueden emplearse métodos de diseño experimental para hallar un mejor diseño del producto o proceso donde por mejor quiere decirse un producto o proceso que es robusto o insensible a factores incontrolables que influirán en su producto o proceso una vez que se encuentre en funcionamiento normal. Para realizar la organización de un trabajo estadístico se puede emplear como recurso gráfico el modelo de la caja negra (figura 1.2). Este muestra los elementos fundamentales correlacionar como resultado de la inferencia estadística que se haga.

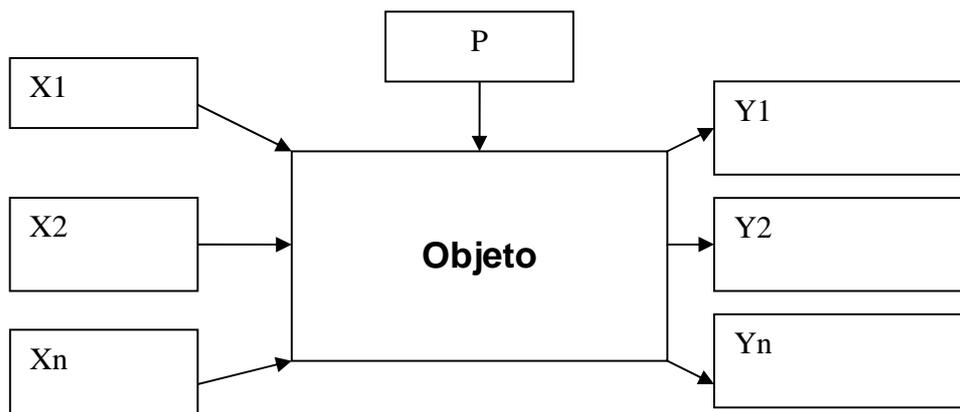


Figura 1.2. Modelo de la caja negra

Los elementos del modelo de la caja negra son:

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

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

1.6.2- Análisis estadístico

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

Existen dos posibles situaciones:

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

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

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

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

1.7- Conclusiones del capítulo

- ❖ Existen pocos trabajos dedicados al estudio del índice de consumo de combustible de las Baterías de Grupos Electrógenos. Estos trabajos tienen un enfoque de reparación y mantenimiento de partes de los motores, así como la influencia del combustible en la eficiencia del mismo. En ninguno de los casos se analizan los motores correspondientes a la batería de grupos electrógenos Moa.
- ❖ Quedaron establecidos los fundamentos teóricos, que permiten la caracterización de las Batería de Grupos Electrógenos Moa. La que es vital en el suministro de energía eléctrica al municipio.
- ❖ Se establece los principales elementos del análisis estadístico en la recolección de los datos para su posterior procesamiento y establecimiento del índice de consumo combustible.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Introducción

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

En este contexto el presente capítulo tiene como objetivo establecer el procedimiento de cálculo para el análisis de los valores del índice de consumo de la Batería de Grupos Electrónicos de Moa.

2.2- Materiales, métodos de medición y control del proceso

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

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

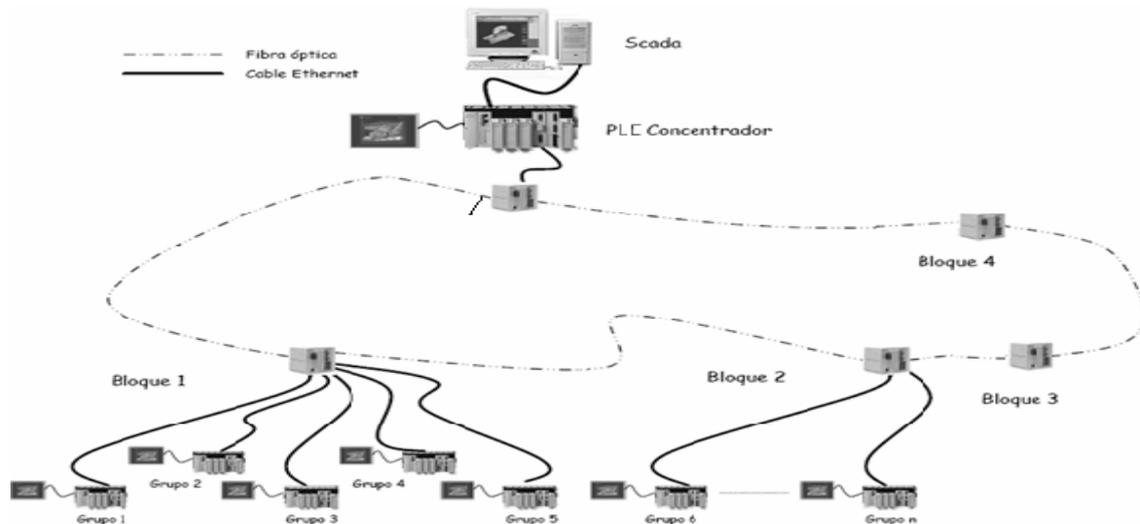


Figura 2.1- Sistema SCADA.

Fuente: catálogo MTU, 2006.

2.2.1-Sistema de adquisición de datos SCADA

El sistema SCADA, acrónimo de Supervisory Control and Data Adquisition (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 y realizando un potente tratamiento estadístico y determinístico de las mismas.

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:

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

2.3- Diseño Teórico del Proceso de Medición

Contribuciones de Tagushi

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

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

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

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

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

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

I. Diseño del sistema de medición

El objeto de medición en este trabajo lo constituyen los Grupos Electrónicos Serie 4000. Las mediciones se realizan con la tabla de aforo y el Software Eros, que se encarga de registrar los parámetros de la instalación. Las lecturas realizadas fueron

llevadas a cabo por el técnico. Las observaciones se efectuaron a condiciones estándares ambientales. El método de medición empleado fue el de valoración inmediata, puesto que el valor de parámetro de interés se obtuvo a partir de la observación directa en una escala y el display de una PC. El método de cálculo empleado se puede calificar en semiautomático, ya que se empleó calculadoras de bolsillo y los Software de cálculo Microsoft Excel y Math Cad.

II. Diseño del parámetro a medir

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

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

Donde:

G – El consumo específico de combustible (G)

N – La generación de potencia (KW)

ρ – La densidad del combustible (g/m^3)

III. Diseño de tolerancia o márgenes para el parámetro medido

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

Modelo de la caja negra:

El modelo de la caja negra ajustado al caso particular que ocupa este trabajo queda como sigue (Figura 2.1.):

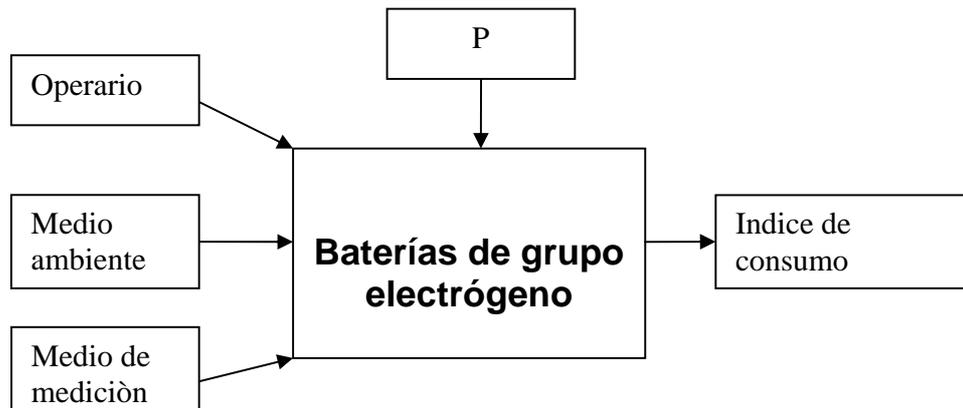


Figura 2.2. Modelo de la caja negra

Tamaño de la muestra:

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

- Mayor representatividad;
- Menor costo
- Mayor productividad

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

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

Donde:

Considerando las siguientes aproximaciones,

$$\sigma = E$$

$$Y Z_{\alpha/1} = 2.575$$

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

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

Tabla para la recogida de información

Con vista a recoger en orden lógico los datos que servirán como punto de partida al procesamiento estadístico se elaboraron las tablas que se muestran a continuación:

Tabla 2.1. Datos considerando la densidad constante Período, enero 2006- enero 2007

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

Tabla 2.2. Datos considerando la densidad variable Período, febrero 2007- mayo 2008

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

2.4- Determinación del índice de consumo de combustible

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

En un índice de consumo, el numerador será el portador energético, primario o secundario, que se consume en el puesto en un determinado periodo, expresado en una unidad de medida de energía, (kW., Ton Fuel Oil, Ton de vapor, TEP, etc.). El denominador reflejará el nivel de producción realizada o de servicio prestado en el puesto en el periodo dado, (**Ec. 2.1**) expresado en la unidad de medida que corresponda (unidades, toneladas, habitación día ocupada, comensales, pacientes atendidos, etc.).

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

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

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

Donde;

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

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

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

2.5- Tratamiento de la primera base de datos

2.5.1- Pasos metodológicos generales para la prueba de hipótesis referida al análisis de varianza.

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

Descripción de los pasos metodológicos:

1- Definición de la hipótesis:

- hipótesis nula: H_0
- hipótesis alterna: H_1

2- Definición del nivel de significancia: α

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

La hipótesis nula se rechaza si:

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

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

Nota: F_{α} se obtiene en la tabla 6 Libro de Texto “Probabilidad y Estadística para Ingenieros 2da parte”, con el nivel de significancia y el grado de libertad.

4- Calculo para el estadístico de la prueba.

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

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

Donde:

$T^2 \Rightarrow$ Es gran total de las observaciones.

$k \Rightarrow$ Número de muestras (i)

$n \Rightarrow$ Tamaño de muestras (j)

$C \Rightarrow$ Término de corrección

Suma de los cuadrados en muestras de igual tamaño.

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

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

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

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

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

Siendo:

$T_i \Rightarrow$ Numero total de n observaciones

$T \Rightarrow$ Gran total de las kn observaciones

5- Toma de decisiones.

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

Nota: Los resultados obtenidos al analizar la suma total de cuadrados en componentes son resumidos de manera conveniente por medio de la siguiente tabla y el desarrollo de cálculo se puede observar en anexo 2. Además al final de este capítulo se muestra la tabla 2.4 con los mismos.

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

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F
Tratamientos	$k-1$	$SS_{(TR)}$	$MS_{(TR)} = SS_{(TR)} / (k-1)$	$MS_{(TR)} / MSE$
Error	$K(n-1)$	SSE	$MSE = SSE / K(n-1)$	
Total	$nk-1$	SST		

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

2.5.2- Pasos metodológicos para la Prueba de Duncan (comparaciones múltiples)

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

Descripción de los pasos metodológicos:

- 1- Ordenamiento de forma ascendente de las medias.

Para el ordenamiento de las medias es necesario la siguiente ecuación, de la misma depende el orden:

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

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

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

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

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

$S_x \Rightarrow$ Error estándar de la media

$R_p \Rightarrow$ Rango mínima significancia

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

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

Nota: Para obtener los valores de r_p , según el nivel de significancia y grados de libertad establecido se utiliza la Tabla 12 b Libro de Texto “Probabilidad y Estadística para Ingenieros 2da parte”

4 - Determinación de r_p para cada conjunto.

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

5 - Agrupación de los términos semejantes.

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

El anexo 3 se refleja el resultado obtenido a partir de la aplicación del procedimiento descrito con anterioridad y también al final de este apartado se muestra en la tabla 2.6 un resumen.

2.5.3- Pasos metodológicos para la prueba de Normalidad Ji- Cuadrado

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

Descripción de los pasos metodológicos

1- Hipótesis

- Nula:

El índice de consumo posee un comportamiento normal.

- Alterna:

El índice de consumo no posee un comportamiento normal.

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

3- Criterio de Ji- Cuadrado:

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

Nota: $X_{0.01}^2 = 11.34$. Tabla 10 Libro de Texto “Probabilidad y Estadística para Ingenieros 2da parte”, con el grado de libertad y el nivel de significancia.

4- Cálculos:

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

Donde:

$\theta_i \Rightarrow$ Frecuencia observada absoluta

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

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

Nota: El anexo 4 refleja los resultados obtenidos durante la realización de la prueba y al final de este capítulo puede verse una tabla 6.

2.5.4- Pasos metodológicos par la comprobación de la normalidad

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

Criterio de Gauss

Descripción de los pasos metodológicos

1. Determinación de la media aritmética de la muestra.

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

2. Determinación de la desviación típica de la muestra.

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

3. Establecimiento del rango de normalidad.

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

En la tabla 2.8 se muestra el intervalo de valores normales calculados según el criterio de Gauss.

2.5.5- Pasos metodológicos para la Prueba de Hipótesis referidos al valor estándar establecido por el Fabricante

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

Descripción de los pasos metodológicos

1- Hipótesis

- Nula:

$$Ic = \mu_0$$

- Alterna:

$$Ic > \mu_0$$

2- nivel de significancia: α

3- Criterio

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

Nota: $Z_{0.01} = 1.96$ Tabla 4 Libro de Texto “Probabilidad y Estadística para Ingenieros 2da parte”

4- Cálculo:

Determinación de Z:

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

Donde:

$Z \Rightarrow$ Estadístico de Gauss

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

$S \Rightarrow$ Desviación típica de la muestra.

$Ic \Rightarrow$ Valor esperado.

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

5- Decisión:

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

El anexo 6 se muestra los resultados obtenidos de desarrollo de la metodología descrita.

2.5.6- Pasos metodológicos para el establecimiento intervalo de confianza del índice de consumo

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

Descripción de los pasos metodológicos

1. Determinación de la media y la desviación típica normales;
2. Establecimiento del índice de consumo al nivel de confianza seleccionado

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

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

2.6- Tratamiento de la segunda base de datos

2.6.1- Pasos metodológicos para la Prueba de Hipótesis de comparación normalizada de ambas bases de datos.

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

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

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

Descripción del procedimiento

1. Determinación de la media aritmética de la muestra:

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

2. Determinación de la desviación típica de la muestra:

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

Establecimiento del rango:

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

En el anexo 7 se muestra los resultados obtenidos por medio de la aplicación del procedimiento anterior y al final de este capítulo se muestra también una tabla resumen.

Prueba de hipótesis para la comparación de las dos medias

1- Hipótesis

- nula:

$$\mu_0 - \mu_1 = 0$$

- alterna:

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

2- Nivel de significancia:

- $\alpha = 0.01$

3- Criterio para realizar la hipótesis nula:

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

Norta: El parámetro $Z_{\alpha/2} = Z_{0.005} = 2.575$ se busca en la tabla 3 L/T Estadística y

Probabilidades para Ingeniero 1^{ra} Parte.

4- Calculo del estadístico de Gauss:

$$Z = \frac{\overline{X}_2 - \overline{X}_1}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n_1 + n_2}}} \quad (2.20)$$

5- Decisión:

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

El anexo 7 muestra el resultado de la prueba relizada y en capítulo presente, al final, se recoge la tabla 2.12 tabla los principales resultados obtenidos.

2.7- Datos obtenidos en la instalación

A través de búsquedas y con la realización de mediciones por los métodos anteriormente descritos, se han obtenido los valores representados en la tabla 1. (Ver anexo 1). Para densidad constante, 857.2 g/m^3

Del mismo modo se obtuvo los datos de la tabla 2 (Ver Anexo 1), en este caso con una densidad variable, $842.27 - 864.91 \text{ g/m}^3$.

En todos los casos utilizando la fórmula 2.1

2.8- Principales resultados

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

Tabla 2.4. Resultados del análisis de varianza utilizando la densidad constante

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

Tabla 2.5. Resumen de los resultados obtenidos del análisis de la suma total de los componentes

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

Nota: El llenado de esta tabla se hace apoyándose en las fórmulas contenidas en la tabla 2.3

Tabla 2.6. Resultados prueba de Duncan

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

Tabla 2.7. Resultados prueba de Normalidad (X^2) para la base datos completa

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

Criterio de Gauss

Tabla 2.8. Principales Resultados

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

Tabla 2.9. Prueba de hipótesis para el valor establecido

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

2.8.1- Principales resultados para base de datos a densidad variable

Prueba de normalidad para la base de datos. (Tabla 2, Anexo 1)

Tabla 2.10. Resultados Criterio de t-students

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

Tabla 2.11. Establecimiento del índice de consumo

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

2.8.2- Prueba de Hipótesis para la comparación de las dos poblaciones

Tabla 2.12. Comparación de las poblaciones.

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

2.9 - Conclusiones capítulo 2

- ❖ Quedaron establecidos los materiales y métodos empleados para la realización del trabajo, precisando el método de medición y el diseño teórico del proceso de medición.
- ❖ El análisis de varianza indica que no existen diferencias significativas entre los valores del índice de consumo, correspondientes a bloques y tratamientos, al nivel de significancia del 0.01; y la prueba de Duncan confirma los resultado del referido análisis de varianza.
- ❖ La prueba basada en el criterio de Ji – Cuadrado (X^2) muestra que el índice de consumo no muestra un comportamiento normal al nivel de significancia 0.01.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, VALORACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO MEDIO AMBIENTAL

3.1- Introducción

La aplicación de un procedimiento de cálculo estadístico, requiere luego todo un análisis que contribuye sobre manera en la toma de decisiones por parte de directivos radicados en la empresa en cuestión, esto también relaciona un análisis económico y medioambiental. Por tanto, este capítulo tiene como objetivo realizar un análisis; de los resultados, del impacto económico y de las principales afectaciones de la Batería de Grupos Electrógenos sobre el medio ambiente.

3.2- Análisis de los resultados

Durante el período de Febrero de 2006 a Enero de 2007 la media aritmética del índice de consumo de combustible para los bloques (grupos electrógenos) fue de 225.32 g/kWh. Utilizando diesel con las mismas características ($\rho = 857.2 \text{ g / m}^3$).

El rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el periodo anteriormente referido es de **223.88 – 229.33** g/kWh. Todo estos resultados se comprobaron a partir análisis de varianza indica que no existe diferencias significativas entre los valores del índice de consumo, correspondientes a bloques (grupos electrógenos) y tratamientos (tiempo en el cual se evaluó la estación), al nivel de significancia de 0.01; y la prueba de Duncan confirma los resultado del referido análisis de varianza, apoyándose en el criterio de Gauss y Ji - Cuadrado, para el establecimiento del rango de normalidad, que oscila entre 160.15 – 290.49 g/kWh.

De la misma manera, utilizando el periodo de explotación comprendido entre febrero de 2007 hasta mayo del 2008 Durante el cual la media aritmética del índice de consumo de combustible en la batería fue de 229.56 g/kWh. Utilizando diesel con variación de sus propiedades (densidad) (ver figura 3.1). El rango de índice de consumo de combustible para el periodo anteriormente referido fue de **227.65 – 231.46** g/kWh. Todo esto obtenido a partir del análisis de varianza al nivel de confianza de 99% y utilizando criterios de estadísticos de t-students, donde el rango de normalidad se encuentra entre 221.91 – 237.18 g/kWh.

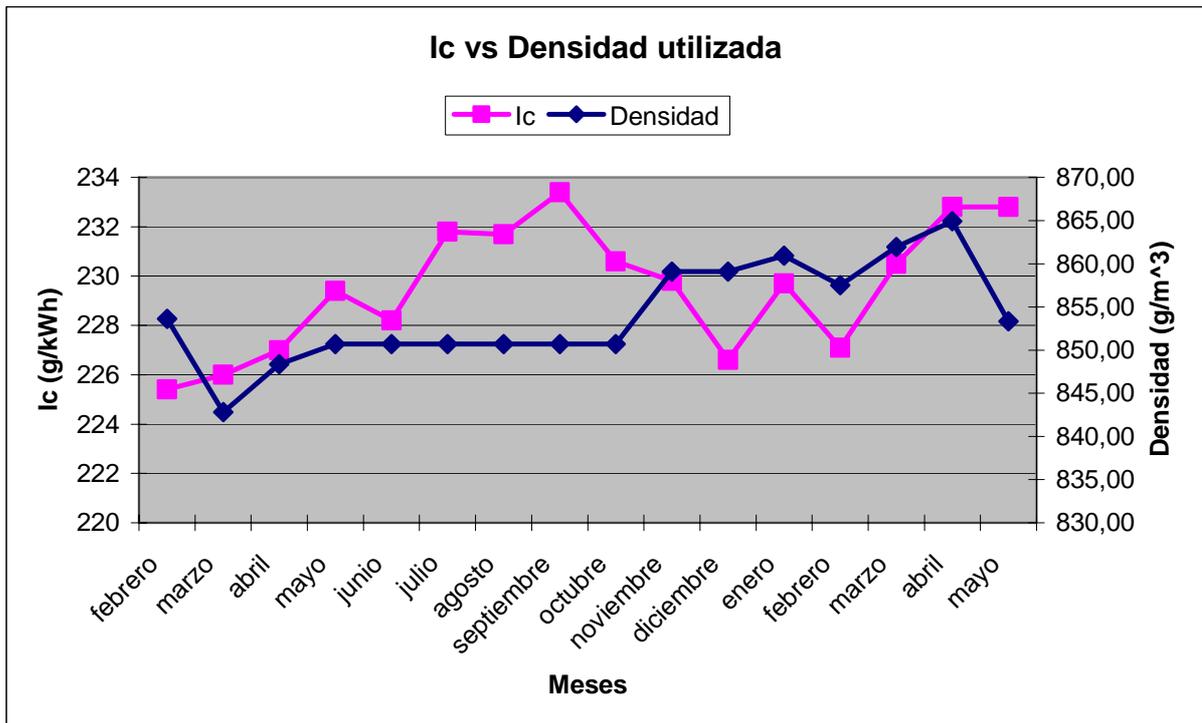


Figura 3.1. Grafico de comportamiento del índice de combustible frente a la densidad.

Apoyándose en la prueba de hipótesis referida a el índice de consumo estándar (220 g/kWh), indica que el valor medio observado de este esta por encima de normal o esperado, al nivel de significancia del 0.01. También la prueba de hipótesis referida a las dos medias indica que no existen diferencias significativas en el valor medio correspondiente a cada base de datos, al mismo nivel de significancia. Ver figura 3.2

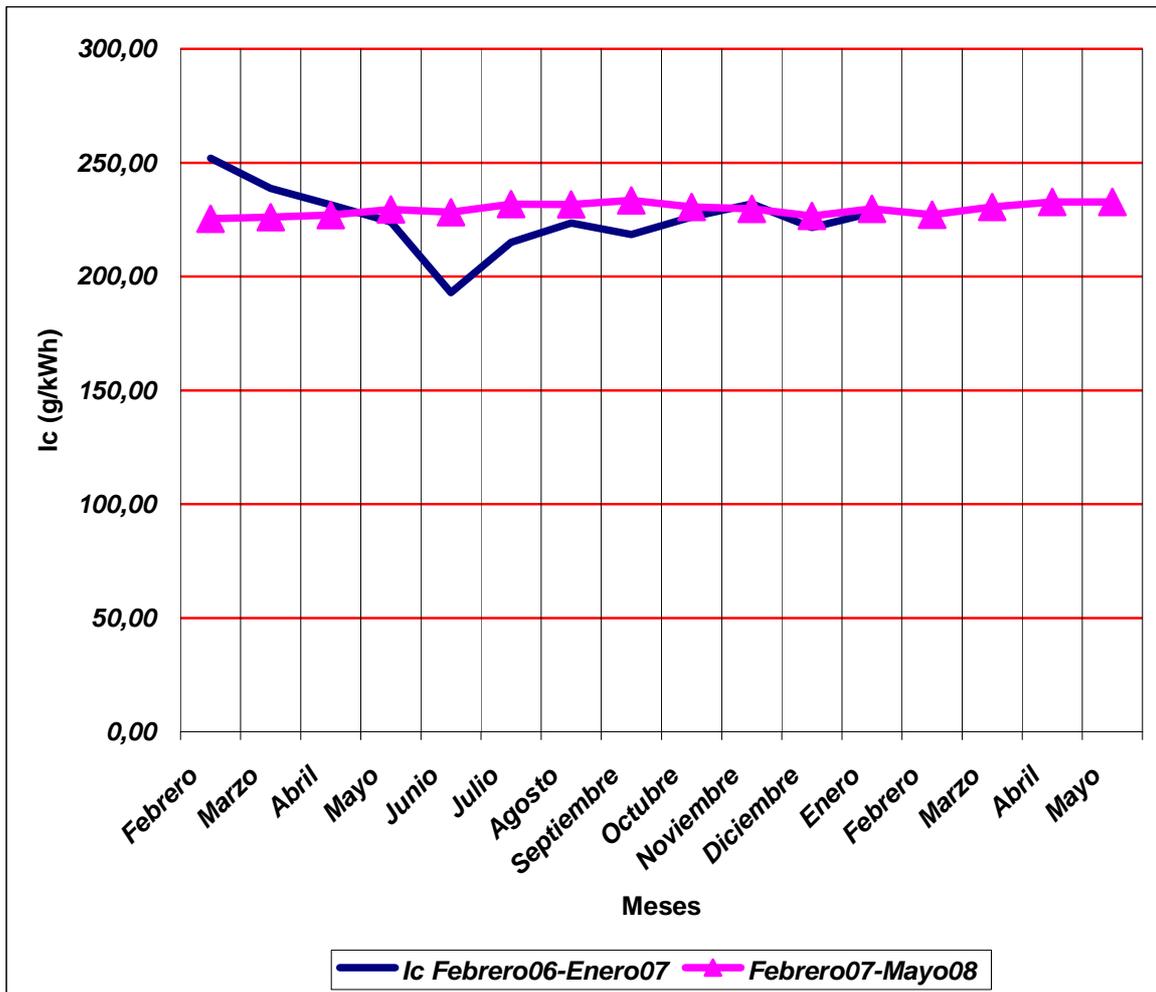


Figura 3.2. Comportamiento de ambos Índices de consumo

3.3- Valoración económica

La economía de la Batería de Grupos Electrógenos se aprecia principalmente por la cantidad de combustible que consume. El consumo de combustible 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 3.1-Costos por consumo de combustible

Carga (%)	Precio (CUC)	Cantidad consumida (l/hr)	Costo total (CUC)
75	0.42	401,5212	168,63

Tabla 3.2- Costo consumo de combustible total

Carga (%)	Precio del barril (CUC)	Cantidad total de barriles consumidos	Costo total (CUC)
75	108	52246,7	18212.04

Con una carga de 75% y para un total de 43325 horas trabajadas, la batería consume 52246,7 barriles de combustible, que representa un costo de 18212.04 CUC.

3.4- 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.

3.4.1- Formas de acción del MCI sobre el medio ambiente

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

- ❖ Agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante el funcionamiento de los MCI.
- ❖ Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
- ❖ Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
- ❖ Emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.
- ❖ Consumo de agua potable.

Emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera que disminuye el rendimiento de los trabajadores y ocasiona molestias en sentido general.

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

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

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

Ruidos del MCI: Se entiende por ruido del MCI la emisión acústica que éste produce durante el trabajo. Los principales componentes del ruido del motor son: el ruido de admisión; el ruido por la deformación de las paredes de la cámara de combustión durante la compresión, combustión y expansión; el ruido durante la combustión; el ruido

provocado por las oscilaciones del motor sobre la suspensión; el ruido por golpes durante el trabajo de los mecanismos; el ruido por el funcionamiento de agregados del motor y el ruido durante el escape de los gases.

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

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

Tabla 3.3. 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.

3.4.3- 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 2050 y de alrededor de un metro 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 nuestros ojos, evidencias estas no

solo de una elevada cantidad de gases tóxicos sino también de mala regulación del sistema de alimentación de estos vehículos. Por lo que se deduce que de elevar las exigencias al personal técnico responsabilizado por la explotación de estos equipos y a los propios conductores se puede disminuir no solo la contaminación ambiental sino también dar mejor uso al combustible disponible, pues un sistema de alimentación en mal estado trae aparejado también un consumo de combustible elevado.

3.5- Afectaciones ambientales provocadas por los MCI del GE Moa

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

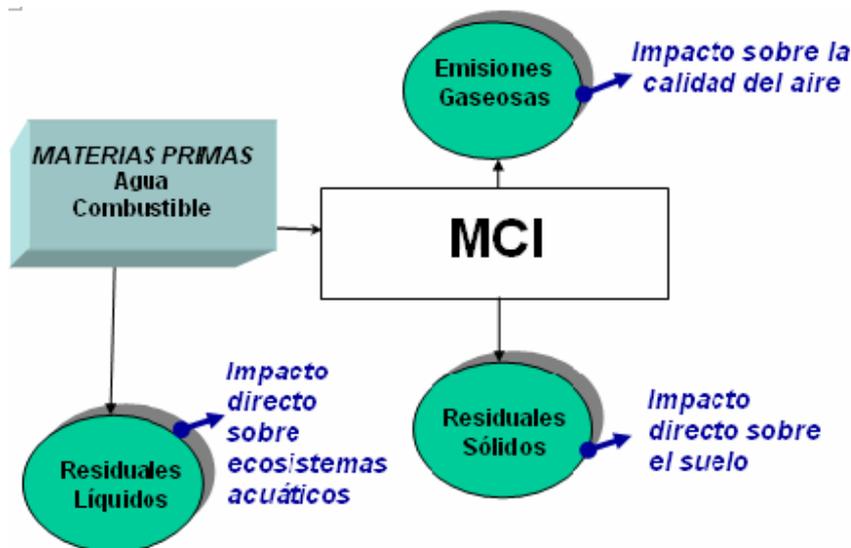


Figura 3.3. Esquema de impacto ambiental del MCI en GE de Moa.

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.

3.6- Conclusiones del capítulo 3

- ❖ El comportamiento de los parámetros del índice de consumo es similar gráficamente a al resultado que ofrece el análisis estadístico. También este análisis muestra que no hay diferencia significativas entre los valores calculados y el que establece fabricante, además muestra que hay diferencias significativas entre las medias de las dos bases de datos; que son 225.32 y 229.56 g/kWh. Para ambas bases de datos.
- ❖ El rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el período que se utiliza petróleo con densidades iguales es **223.88 – 229.33** g/kWh. Y para el período de evaluación a diferentes valores de densidad el rango del índice de consumo fue de **227.65 – 231.46** g/kWh.
- ❖ Para la carga, a la que generalmente operan los motores (75%), el costo total por consumo de combustible en los dos periodos evaluados, es de 52246,7 barriles, lo que asciende a un total de 18212.04 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

- ❖ Existen pocos trabajos dedicados al estudio del índice de consumo de combustible de las Baterías de Grupos Electrógenos en nuestro país. Estos trabajos tienen un enfoque de reparación y mantenimiento de partes de los motores, así como la influencia del combustible en la eficiencia del mismo. Debido al poco tiempo de explotación que tienen estos equipos.
- ❖ Para los análisis se tomó un nivel de significancia 99% en todos los criterios, el análisis de varianza indica que no existe diferencias significativas entre los valores del índice de consumo correspondientes a bloques (cada grupo electrógeno) y tratamientos (tiempo en el que se evalúa la instalación); y la prueba de Duncan confirma los resultado del referido análisis de varianza.
- ❖ El comportamiento del índice de consumo es similar gráficamente al resultado que ofrece el análisis estadístico. También este análisis muestra que hay diferencia significativas entre los valores calculados y el que establece fabricante, además muestra que no hay diferencias significativas entre las medias de las dos bases de datos; que son 225.32 y 229.56 g/kWh.
- ❖ El rango establecido estadísticamente de índice de consumo de combustible para el período que se utiliza petróleo con densidades iguales es **223.88 – 229.33** g/kWh. Y para el período de evaluación a diferentes valores de densidad el rango del índice de consumo fue de **227.65 – 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.
- ❖ El impacto económico en la estación esta relacionado con su elevado consumo de combustible, que ronda los 52246,7 barriles lo que asciende a un total de 18212.04 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.

Recomendaciones

- ❖ Utilizar el procedimiento descrito en el cuerpo del presente material, como herramienta para la evaluación y control de los parámetros fundamentales de la instalación, incluyendo al índice de consumo y los parámetros de los que este depende.
- ❖ Aplicar otras metodologías estadísticas existentes para analizar y organizar el mantenimiento de la instalación en general, y de cada parte del sistema en particular.
- ❖ Automatizar la metodología de cálculo con vista al incremento de la eficiencia y eficacia en la realización de los mismos.
- ❖ Evaluar la posibilidad del diseño de una chimenea para la evacuación de los gases a una mayor altura que la actual.
- ❖ Utilizar el contenido expuesto en el material como documento complementario de asignaturas de pregrado y postgrado como por ejemplo; Intercambiabilidad y Mediciones Técnicas, Estadística I y II; y Metrología y Control de la Calidad.

- ❖ COELLO PUPO, L. *Comportamiento del desgaste de los motores de combustión interna de los camiones articulados Volvo A35C, mediante el diagnostico del lubricante*. Ricardo Rodríguez. Tesis en opción al título de ingeniero Mecánico. Instituto superior minero metalúrgico de Moa, 2005.50h.
- ❖ Enciclopedia Microsoft Encarta, 2007. *Motor de combustión interna*. 2006.
- ❖ Empresa eléctrica (Cuba). *Manual de medio ambiente*.2006.
- ❖ Empresa eléctrica (Cuba). *Manual del motor de combustión interna*. 2006.
- ❖ *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>.
- ❖ Faires, V. *Termodinámica*. La Habana: Edición Revolucionaria, 1991. 807p.
- ❖ Fernández, E. *Termodinámica Técnica*. La Habana: Editorial "Felix Varela, 1994. Tomo I, II y III.
- ❖ Isachenko. V.; V. Osipova.; A. Sukomel. *Transmisión del calor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana, 1979. 566p.
- ❖ *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.
- ❖ *Los motores de combustión interna*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: http://html.rincondelvago.com/motores-de-combustion-interna_1.html.
- ❖ MILLER, I; Freund, John. *Probabilidades y Estadísticas para Ingenieros*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.407p.
- ❖ *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.
- ❖ *Motores térmicos*. [En línea]. [2007/04/20]. Disponible en: <http://orbita.starmedia.com/~napsu/documentos/MOTORES%20TERMICOS.html>.
- ❖ Pérez, Garay. L.: *Generadores de Vapor*. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 1972.



- ❖ 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.
- ❖ REYES, J. L. G. *Prácticas de laboratorio de motores de combustión interna de pistón*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.141p.
- ❖ Reyes, J. L. G, R. C. Pérez. y K. Morozov. *Teoría de los motores de combustión interna*. La Habana: Editorial pueblo y educación, 1983.407p.
- ❖ Rizhkin, Y. V. *Centrales termoeléctricas. Primera y segunda parte*. Editorial pueblo y educación. Ciudad de La Habana. 1985.
- ❖ Rodríguez, Y. *Análisis del petróleo crudo nacional empleado en la empresa Ernesto Guevara*. Trabajo de Diploma. ISMM, 2001.
- ❖ Vukalovitch. *Propiedades Termodinámicas del agua y el vapor*. Editorial. Revolucionaria 1958.

Anexo 1

Tabla 1. Datos obtenidos durante, enero 2006- enero 2007

MESES	GED-1	GED-2	GED-3	GED-4	GED-5	GED-6	GED-7	GED-8
Febrero	233,19	307,74	246,00	245,46	245,98	245,99	246,00	246,00
Marzo	233,72	291,19	241,28	221,36	230,63	232,80	229,57	229,57
Abril	218,65	209,17	330,00	218,89	218,94	216,12	220,40	220,40
Mayo	219,14	218,58	218,57	218,54	240,80	219,97	228,35	228,35
Junio	219,38	219,36	0,00	204,39	219,41	219,36	230,61	230,61
Julio	285,84	222,31	225,57	225,82	222,42	222,51	97,55	217,89
Agosto	225,60	224,37	211,29	225,62	221,08	225,72	226,79	226,79
Septiembre	215,75	222,07	221,74	226,91	226,81	177,61	228,28	228,28
Octubre	224,76	224,37	222,47	227,17	222,30	222,64	233,02	233,02
Noviembre	228,80	238,40	236,55	228,67	228,92	236,19	228,71	228,70
Diciembre	228,00	227,77	228,08	163,29	240,84	228,16	228,19	228,19
Enero	227,87	228,23	228,60	227,95	227,78	227,98	227,76	227,76

Tabla 2. Datos obtenidos durante, febrero 2007- mayo 2008

MESES	lc g/kWh	ρ (g/m³)
febrero	225,4	853,61
marzo	226	842,81
abril	227	848,36
mayo	229,4	850,70
junio	228,2	850,70
julio	231,8	850,70
agosto	231,7	850,70
septiembre	233,4	850,70

octubre	230,6	850,70
noviembre	229,8	859,10
diciembre	226,6	859,10
enero	229,7	860,93
febrero	227,1	857,50
marzo	230,5	861,92
abril	232,8	864,91
mayo	232,8	853,34

Anexo 2

Prueba de hipótesis referida al análisis de varianza.

1- Hipótesis:

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

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

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

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

La hipótesis nula se rechaza si:

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

4- Calculo para el estadístico de la prueba.

Cálculos utilizando en Math Cad

Termino de Corrección

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

$$a := 12$$

$$b := 8$$

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

$$C = 4873628.033$$

Suma total de cuadrados

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

$$SST = 105058.454$$

Suma de cuadrados para tratamientos

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

$$SS_{Tr} = 17681.013$$

Suma de cuadrados para bloques

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

$$SS_{Bl} = 3685.86$$

Suma de Cuadrado del error

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

$$SSE = 83691.581$$

Para llenado de tabla del análisis de variancia

Antes calculados los demás parámetros

Cuadrados medios

Para Tratamientos

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

$$MS_{Tr} = 1607.365$$

Para bloques

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

$$MS_{Bl} = 526.551$$

Para el error

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

$$MSE = 1086.904$$

Calculo de Fisher

Para tratamientos

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

$$F_{Tr} = 1.479$$

Para Bloques

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

$$F_{Bl} = 0.484$$

5- Toma de decisiones.

La hipótesis nula no se rechaza

Anexo 3

Prueba de Duncan para bloques

Rango de mínima significancia

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

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

Para:

$$MSE = 1086.90 \quad \text{Nota: Este valor se toma del análisis de varianza}$$

$$n = 8$$

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

Tabla 3. Datos de índice de consumo para el análisis de la prueba de Duncan

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

Tabla 4. Valores de rp que depende del nivel de significancia y del número de grados de libertad correspondiente la MSE (tabla 12b Estadística y probabilidades para Ingenieros 2^{da} Parte).

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

Tabla 5. Resumen de los resultados de rango de Rp obtenido de la multiplicación a partir de la ecuación 2.7 reflejada.

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

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

Anexo 4

Prueba de Ji- Cuadrado

Calculo de Ji- Cuadrado

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

Tabla 6. Límite de la Clase

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

Siendo:

$\theta_i \Rightarrow$ Frecuencia observada absoluta

$e_i[P(a < x < b)] \Rightarrow$ Probabilidad que la variable tome valores en el correspondiente intervalo.

$e_{i(ac)} \Rightarrow$ Frecuencia esperada acumulada

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

$$X^2 = 9275.53 > 11.34$$

Nota: La variable no muestra un comportamiento normal

Anexo 5

Prueba de Gauss

Calculo de Gauss:

$$\bar{X} = 225.32$$

$$S = 33.25$$

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

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

Rango de normalidad

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

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

$$139.70 < \mu < 310.94$$

Nota: Hay 3 valores anormales.

Anexo 6

Calculo de la Prueba de Hipótesis

Para:

$$\bar{X} = 227.99$$

$$S = 16.92$$

$$Ic = 220$$

$$n = 93$$

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

$$Z = 4.54$$

Anexo 7

Establecimiento del Rango del índice de consumo

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

Para:

$$\bar{X} = 227.99$$

$$S = 16.92$$

$$Z_{0.005} = 2.575$$

Nota: Para valores de densidad constante normalizados.

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

Rango del índice de consumo

$$223.47 < Ic < 232.52$$

Anexo 8

Calculo de la prueba t- students para la nueva data

Determinación del índice de consumo de cada mes promedio

Siendo:

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

$$S_2 = 2.59$$

Rango de comparación:

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

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

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

Establecimiento del Rango del índice de consumo

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

Para:

$$\bar{X} = 229.56$$

$$S = 2.58$$

$$t_{0.005} = 2.947$$

Nota: Para valores de densidad variable normalizados.

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

Rango del índice de consumo

$$227.65 < Ic < 231.46$$

Comparación de ambas bases de datos.

Calculo del estadístico de Gauss

Para:

$$\bar{X}_2 = 229.55 \quad S_2 = 2.59 \quad n_2 = 16$$

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

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

Nota: No existen diferencias significativas entre la medias