



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE METALURGIA- ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma en Opción al Título Ingeniero Eléctrico.

*Título: Diagnóstico Energético en la Bateria de Grupos Electrógenos
Diesel de Moa.*

Autor: José Antonio Pino Morales.

Tutor(a): Ing. Aliniuská Noa Ramírez.

Consultantes: Dr. Secundino Marrero Ramírez.

MSc. Reineris Montero Laurencio.

Moa 2009

“Año 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

Título Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.

Diplomante: José Antonio Pino Morales.

DEDICATORIA

A mis hermanas Bárbara y Beatriz.

RESUMEN

En el presente trabajo se implementan las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en la Batería de Grupos Electrónicos Diesel de Moa. Se realiza una búsqueda bibliográfica de los temas relacionados con eficiencia energética en los sistemas industriales y de servicio, se exponen los fundamentos teóricos de las herramientas a aplicar en la investigación, también se analiza el estado actual de la gestión energética en la batería, se establece la estructura de consumo de los portadores energéticos y a través de las herramientas se estudia el comportamiento de estos indicadores. Se identifican las áreas y equipos de mayor consumo de portadores energéticos con el fin de establecer los puestos claves. Se determinan las deficiencias que afectan el proceso productivo y se proponen las medidas de conservación y ahorro de energía en el uso de los portadores energéticos.

SUMMARY

In this work the tools for the Total Efficient Technological Management of the Energy at the Battery Diesel Generators in Moa has being implemented. A bibliographical search was done on the topics related to energy efficiency in industrial systems and in service systems too, the investigation are exhibited; and also the actual states of the energy management of the group is analyzed, the structure of the consumption of fuel is established and through the tools the behaviour of these indicators are studied. The areas and equipment of major fuel consumption are identified with the aim of establishing the key posts. The deficiencies that affect the productive process are determined and the means of energy conservation and savings in the use of fuel are proposed.

INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO- INVESTIGATIVO	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Estado del arte de las metodologías aplicadas a la eficiencia energética en sistemas industriales y de servicio.....	4
1.3 Métodos normalizados para la estimación de la eficiencia operacional de los grupos electrógenos diesel.	9
1.4 Herramientas computacionales aplicadas en la batería de grupos electrógenos diesel.....	13
1.5 Generalidades sobre las funciones de la TGTEE.....	14
1. 6 Indicadores Energéticos	21
1. 7 Conclusiones del Capítulo 1	23
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL DE MOA.	25
2.1 Introducción.....	25
2.2 Descripción de la Batería de Grupos Electrógenos Diesel de Moa.	25
2.2.1 Estructura técnica de la Batería.	28
2.3 Impacto de los portadores energéticos en los costos totales de la batería.	31
2.4 Estructura de Consumo de Portadores Energéticos.....	33
2.4.1 Relación de los Portadores Energéticos.	33
2.4.2 Determinación de los Principales Portadores Energéticos.....	34
2.5 Estado de la batería en materia de gestión energética.	35
2.6 Comportamiento energético de la instalación en el año 2008. Análisis de tendencias.....	38
2.6.1 Consumo de Electricidad	38
2.6.1.1 Levantamiento de las cargas instaladas.....	41
2.6.2 Consumo de Aceite.....	42
2.6.3 Consumo de Diesel.....	47
2.6.4 Análisis del comportamiento de la Generación Eléctrica	52

2.7 Análisis del comportamiento del índice de consumo específico de combustible mediante el Método de Regresión Múltiple.....	55
2.7.1 Modelo de Regresión Múltiple del consumo de diesel, generación eléctrica, densidad del combustible vs. índice de consumo específico de combustible.	55
2.7.2 Modelo de Regresión Múltiple del consumo de diesel, generación eléctrica vs. índice de consumo específico de combustible	56
2.8 Conclusiones del Capítulo 2	58
CAPÍTULO 3. POTENCIALIDADES Y MEDIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL DE MOA.	61
3.1 Introducción	61
3.2 Personal y Puestos claves en la eficiencia energética de la batería.	61
3.2.1 Identificación de los operarios que inciden en la eficiencia energética.	61
3.2.2 Determinación de los puestos claves.....	62
3.2.2.1 Establecimiento de Índices de consumos en cada puesto clave.	63
3.3 Identificación de las deficiencias del proceso productivo de la batería.....	65
3.4 Análisis de las deficiencias detectadas en la Instalación.....	73
3.5 Secuencias de mejoras.	75
3.5.1 Organización para la mejora.....	76
3.6 Propuestas de mejora para la eficiencia energética en la batería.	77
3.7 Conclusiones del Capítulo 3	79
CONCLUSIONES GENERALES	80
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	82

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los Grupos Electrónicos Diesel (GED) constituyen un importante componente en el actual Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Para la explotación de estos sistemas se utilizan varios productos y servicios energético, actualmente el encarecimiento sufrido en estos, ha convertido la gestión de los mismos en una preocupación prioritaria de los técnicos y económicos de la Unión Nacional Eléctrica para la Generación Distribuida (UNE-GD).

La explotación eficiente de estos GED, requiere de herramientas que enfoquen la solución de los sobreconsumos y exceso de pérdidas desde el punto de vista técnico-económico. Por otra parte las diferentes soluciones y medidas a implantar han de estar basadas en un análisis integral que se corresponda con las características específicas de los consumidores de la red de distribución a los cuales alimentan.

Todo programa de ahorro de energía tiene como punto de partida, el conocimiento de los consumos y el estado energético de todos los equipos consumidores de energía de la instalación. Es por ello que resulta necesario partir de esas características, su problemática de operación, la explotación de procesos, equipos y el conocimiento de los factores que inciden en los excesos de consumos y pérdidas de energía, con vista a su eliminación y establecer un control efectivo.

El diagnóstico y la evaluación tecnológica de los procesos de la batería contribuyen a mejorar la eficiencia y la competitividad de la misma, por lo que es necesario la introducción de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) que permita encontrar soluciones viables para abordar el problema en su profundidad, de forma ininterrumpida y creando una cultura técnica que permite el autodesarrollo de la competencia alcanzada por la entidad y sus recursos humanos.

Situación problemática.

Como es conocido en el marco de la Revolución Energética las baterías de GED garantizaron el suministro de energía a los consumidores residenciales, estas entidades en estos momentos debido a su sobreexplotación, la utilización de combustibles de diferentes densidades a las recomendadas por el fabricante, la inestabilidad y el incumplimiento de los tiempos de mantenimientos; y al desconocimiento en materia de eficiencia energética por parte de los operadores son ineficientes, aspectos que generan la necesidad de buscar soluciones viables que ayuden a determinar las causas de la ineficiencia energética y facilite la toma de decisiones en la explotación de los grupos electrógenos diesel. Este problema afecta los costos de la generación distribuida del país por lo que es necesario un análisis de las oportunidades para el incremento de la eficiencia energética de los grupos electrógenos a partir de la implementación de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía.

Problema Científico.

Insuficiente conocimiento de las oportunidades para el incremento de la eficiencia energética de los grupos electrógenos a partir de la implementación de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en la batería de Moa.

Hipótesis científica.

Si se aplican las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en la batería de Moa entonces se podrán establecer estrategias para mejorar los regímenes de explotación eficiente de los Grupos Electrógenos Diesel.

Objeto: Batería de Grupos Electrógenos Diesel.

Objetivo General.

Evaluar las oportunidades de ahorro en la generación de los grupos electrógenos mediante la implementación de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total y Eficiente de la Energía en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar la información energética de la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.
2. Aplicación de las herramientas de gestión energética que faciliten la explotación eficiente de la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.
3. Establecer la estructura de consumo por portadores energéticos de la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.
4. Analizar el comportamiento energético de la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.
5. Establecer medidas de conservación y ahorro de energía en el uso de los portadores energéticos de la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.

Tareas de la investigación.

1. Recopilación de información y datos.
2. Diagnóstico de recorrido en las instalaciones de la entidad.
3. Entrevistas a dirigentes, técnico, operadores y obreros de la entidad.
4. Procesamiento de la información.
5. Elaboración del informe final.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO- INVESTIGATIVO

1.1 Introducción.

El uso racional y eficiente de la energía en los sistemas de Generación Distribuida (GD), ha sido un tema intensamente investigado en el marco de la Revolución Energética, entre estos sistemas, se encuentra los Grupos Electrógenos Diesel conectados a las redes de distribución.

En el presente capítulo se realiza un análisis de los diferentes aspectos relacionados con los temas que son discutidos en la bibliografía consultada, con el fin de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo. Serán tratados temas relacionados con la eficiencia energética de los sistemas industriales y de servicio, las normas para la eficiencia operacional de los GED, las principales características de la herramienta computacional (EROS), las funciones de la Tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía, y las características de los indicadores energéticos analizado en la evaluación de la eficiencia energética de los GED

Los objetivos específicos de este capítulo son los siguientes:

1. Analizar los trabajos precedentes relacionados con la eficiencia energética en sistemas industriales y de servicio.
2. Exponer los fundamentos teóricos de la TGTEE.
3. Enunciar los indicadores energéticos de los GED.

1.2 Estado del arte de las metodologías aplicadas a la eficiencia energética en sistemas industriales y de servicio.

El uso eficiente de la energía representa una serie de importantes beneficios para el país, ya que permite mejorar la competitividad de las industrias, al aumentar la eficiencia de sus procesos y disminuir sus actuales consumos de energía logrando ahorros y reducción de costos de producción, por otra parte, al utilizar en forma más

eficiente la energía, se reduce el consumo de combustibles fósiles, se utilizan de mejor forma los recursos renovables y se generan menores emisiones de gases de efecto invernadero.

Al crecer los costos de la energía y a medida que el suministro y el uso de la misma requieren un esfuerzo de planificación a medio plazo, se comprende la necesidad de establecer mecanismos de gestión energética. Es decir, es preciso conocer los consumos y usos de las distintas fuentes energéticas. En este campo de estudio, **Gómez, Santos y Campos (1999)** [10], proponen las herramientas básicas y procedimientos para programas de control y mejoramiento de la eficiencia energética en empresas de producción y servicios. En este estudio se define que lo más importante para lograr la eficiencia energética de una empresa es la implementación de un sistema de gestión energética, que garantice un plan de ahorro de energía que sea renovado cada vez que sea necesario.

Relacionado con este tema, **Marrero (2000)** [10], hace un análisis de la gestión energética en el sector industrial y de los servicios aplicando las nuevas tecnologías para el uso eficiente de la energía y **González (2001)** [10], propone una metodología para la gestión de la energía en pequeñas y medianas empresas. Básicamente el alcance de estas investigaciones de gestión energética consiste en realizar, conjuntamente con el cliente, un análisis de la situación energética de la planta industrial, a manera de diagnóstico (cuánta energía se consume, dónde se consume, qué cantidad de ella se desperdicia, etc.), con el objetivo de identificar oportunidades evidentes de ahorro que se traduzcan en beneficios económicos directos.

Un análisis de esta naturaleza, cuyos principales indicadores son el índice energético y el potencial de ahorro de energía, puede conducir a la introducción de mejoras que aumentarán la eficiencia energética en las instalaciones industriales.

Un buen suministro eléctrico está caracterizado por la continuidad y la calidad de la energía eléctrica, teniendo como premisa esta afirmación, **de Armas (2007)** [7] con el trabajo “Temas especiales de Sistemas Eléctricos Industriales” elaboraron una

serie de medidas que contribuyen al ahorro en sistemas eléctrico de empresas industriales o de servicios. Se tratan los elementos básicos de aquellas medidas relacionadas con los medios de control de la demanda y del consumo de energía, de la mejora del factor de potencia y con la detección y reducción de los problemas vinculados a la calidad de la energía eléctrica en estos sistemas.

Estos estudios en los momentos han cobrado gran importancia ante el creciente desarrollo tecnológico y altos costos de los recursos que interviene en los procesos productivos, resultados que tributan a mejorar la eficiencia energética en estas empresas. A partir del año 2006, con la Revolución Energética se introdujo un nuevo paradigma de generación eléctrica (Generación Distribuida) lo que conllevó a que se trazaran nuevas estrategias que atendieron el ahorro de la energía en las entidades de servicios (Batería de Grupos Electrónicos Diesel).

Debido a la importancia de este nuevo paradigma y la temática analizada, en nuestro país existen instituciones encargadas de llevar a cabo la política del ahorro de la energía; y otras proponen la implementación del sistema de la gestión energética tanto en empresas industriales como de servicios, tales como: el grupo CETA, los grupos de Energía de la Universidad de Cienfuegos y el ISMMM de Moa. En esta última **Ponce (2001)**, **Figueroa (2002)** [10], **Ochoa y Gutiérrez (2005)** [22]; realizan un estudio de los portadores energéticos y proponen un sistema de gestión energética. Relacionado con este tema en el evento CEMMA del 2008 desarrollado en la Universidad de Cienfuegos, **Linferral** [15] hace un análisis de Gestión Energética Actual en la empresa de envases “Rafael Trejo” para identificar las áreas de mayor consumo de portadores energéticos y dentro de los mismos se identifican los equipos que representan el mayor por ciento del consumo de portadores con el fin de establecer los puestos claves y **Perellada** [25] en la empresa Conformadora de Aluminios “Vladimir I. Lenin” establece la estructura de consumo de la empresa, identifica la electricidad como portador de mayor incidencia en la entidad así como el área más consumidora (taller de extrusión), se identifican los puestos claves en la misma y sus índices de consumo, se elabora el diagnóstico energético preliminar.

Paso previo a la propuesta de implementación de la Tecnología de Gestión Total y Eficiente en esa empresa. La investigación de **Borroto et al. (2007)** [2] con el título “Gestión y Economía Energética” presentan los principios fundamentales y los procedimientos para la evaluación, el diagnóstico, la organización, la ejecución y la supervisión de la gestión energética en las empresas. Se presentan en particular los principios y herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía, usado en el diplomado de amplio acceso de eficiencia energética del ISMM donde **Cobos (2006)** [4] con la publicación “Implantación de la Gestión Total Eficiente de la Energía en la Batería de Grupos Electrógenos Diesel de Nicaro 110 kV” analiza una etapa intermedia en el logro de metas para el establecimiento real del índice de consumo de los GED y la implantación de la Gestión Total y Eficiente de la energía en la Batería, por lo que constituye un punto de partida para el estudio de todos los factores que influyen en el sobreconsumo de combustible de los GED y por ende en el deterioro de los índices de combustibles establecidos.

Un aporte importante relacionado con el índice de consumo fue el obtenido por **Tavares (2007)** [26] con el trabajo “ Cálculo de los parámetros que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna # 7 de la batería de grupos electrógenos Moa “, donde establece un procedimiento de cálculo para la determinación de los parámetros que caracterizan el motor de combustión interna, metodología con la cual se analizó las condiciones de explotación del motor desde el 75 % al 100 % obteniendo un consumo específico efectivo de 225,18 g/kWh hasta 214 g/kWh. También en este tema **Velásquez (2008)** [28] mediante métodos estadístico establece que el rango de normalidad del índice de consumo con densidades variables y constantes es de 227, 65 - 231,46 y 223,88 - 229,33 g/kWh respectivamente.

Esta línea de investigación que tiene que ver con los sistemas de grupos electrógenos diesel en batería fue abordada por **de Armas** en el trabajo [8] que el cual estudiaba las características operacionales y el despacho económico, partiendo de la determinación de los índices de consumo de las unidades de GED, validando

los resultados obtenidos para condiciones reales de explotación, para ello diseño una red neuronal, entrenada para obtener los resultados esperados, para un factor de potencia de 0,8 y niveles de carga que oscilaron entre el 75 y el 100% en cada grupo con rango de variación de 210,28-208,39 g/kWh respectivamente, esta investigación simuló que para la explotación sin carga de estos sistemas los GE son eficientes ya que disminuye el índice de consumo en un batería de GED. De manera similar en [19] **Montero (2007)** evaluaron para los mismos porcentos de carga con ayuda del Excel, el comportamiento de algunos parámetros del motor, obteniendo igual comportamiento en el índice de consumo que [8] aún con mediciones de menos precisión en la Batería Grupos Electrógénos Diesel Moa 110 kV. Para este caso la variación del índice fue de 224-213,6 g/kWh. En esta instalación **Noa (2007)** [21] determinaron las características operacionales y comportamiento energético de la generación distribuida en Moa en Isla.

Todos estos estudios demostraron que el comportamiento del índice de consumo disminuye a medida que aumenta el porcentaje de carga de los grupos electrógenos, pero en ninguna de las investigaciones se establece para el 75% de la carga (régimen de trabajo óptimo dado por el fabricante para el motor de combustión interna) el rango de variación que debe presentar este indicador, aspecto necesario a determinar teniendo en cuenta que la densidad del combustible utilizado en la explotación de los grupos es diferente al normalizado por el fabricante.

En los estudios realizados en el año 2008 encaminados en la búsqueda de soluciones para disminuir el creciente sobreconsumo de combustibles que viene registrando el país en la generación eléctrica, investigadores de vasta experiencia se dieron a la tarea de buscar alternativas a través del tratamiento magnético en el diesel de los grupos electrógenos obteniendo resultados satisfactorios como lo mostramos a continuación:

García (2008) [24] realiza un estudio con magnetizadores en 12 motores Mercedes Benz, donde se obtiene una reducción del consumo específico de 220 a 215 gramos diesel por cada kilowatt-hora generado (g/kWh). La prueba comprendió todo el año 2008, y tal disminución arrojó que solamente en el motor # 8, donde fue colocado un flujómetro de alta presión para medir el diesel, se consumieron 3,8 toneladas menos en un mes, en comparación con el valor medio utilizado para producir igual cantidad de energía eléctrica en semejante periodo del bienio 2006-2007.

Acometió un trabajo similar **Vidal (2008)** [24] de EMPRESTUR, en un motor de grupo electrógeno de otro modelo, con explotación permanente en el polo turístico Jardines del Rey, y tras 89 días de aplicación se obtuvo un ahorro del 13,8 % en el consumo diesel.

Otro resultado fue el que obtuvo **Castro (2008)** [24] al instalar magnetizadores en 107 grupos electrógenos de tres tecnologías diferentes, acoplados al Sistema Eléctrico Nacional en la Habana, con el cual se decidió proponer a la empresa Eléctrica Nacional su generalización en todos los grupos electrógenos diesel del país.

En todos estos estudios se tuvieron en cuenta que los GED son sistemas que presentan distintos regímenes de explotación, aspecto que hay que analizar si se desea mejorar la eficiencia energética. Teniendo en cuenta lo planteado, es necesario conocer las características operacionales en estas instalaciones por lo que se consultaron las normas internacionales que rigen el funcionamiento de las mismas.

1.3 Métodos normalizados para la estimación de la eficiencia operacional de los grupos electrógenos diesel.

Con estos métodos se evalúa la eficiencia operacional en los motores de combustión interna (MCI) y los generadores sincrónicos (GS) que conforman los GE. De estas

normas las principales y que fueron objeto de estudio son: **ISO 8258-1, 8258-3 y 3046-1, DIN 6271-2 y NEMA MG1-22.**

La **ISO 8528-1** [12] editada por la “Internacional Organization for Standardization”, es extensamente aplicada en el mundo. Los métodos recomendados por esta clasifican como directos, pues se basan en la determinación de la potencia de salida del grupo electrógeno y con ella estimar la eficiencia operacional. Esta se determina para tres regímenes de explotación: (a) **operación continua (COP)** (es la potencia que se entrega continuamente al 100 % de su capacidad nominal durante una cantidad ilimitada de horas al año, entre los períodos de mantenimiento declarados) esta se obtiene de la suma de los productos de la potencia de cada máquina, (b) **potencia principal (PRP)** (es la potencia máxima disponible para un rango de potencia variable que se puede entregar durante un número ilimitado de horas al año y al 100% de su capacidad nominal para un número limitado de horas al año, teniendo en cuenta los ciclos de mantenimiento) se calcula como la potencia media de las potencias ponderadas según el tiempo y (c) **potencia de emergencia** (es la potencia máxima que la máquina puede entregar durante un tiempo limitado, generalmente menos de 500 horas al año). Para cada uno de estos estados de operación se asume un valor fijo para regulación (10% capacidad de sobrecarga durante 1 hora en un periodo de 12 horas de funcionamiento). En los métodos enunciados para determinar la potencia de salida, no se tienen en cuenta para los cálculos, los tiempos de parada de las máquinas. Con esta norma ISO armoniza la norma nacional **DIN 6271-2** [9] aplicada en Alemania, en la que solo difiere en cuanto a la declaración de la potencia.

En todos los regímenes mencionados, para el cálculo de la potencia de salida, se deben tener en cuenta las condiciones ambientales normalizadas (presión barométrica total, humedad relativa temperatura del aire, temperatura del aire aspirado, altura sobre el nivel del mar), las condiciones ambientales del lugar donde se montará el GE, y además se debe cumplir con las normas **ISO 3046-1** [14], **ISO 8528-3** y la **IEC 34-1** está última desarrollada por la “Internacional Electrotechnical

Comision” aplicada especialmente en los países europeos. En la que se señala según [13] que en dependencia del tipo de servicio de trabajo (S1 o S10) y la clase de aislamiento del generador así se corregirán los valores de la temperatura en el GS (los valores de incremento de temperatura están referidos a una temperatura del ambiente de 40° C), aspectos que coinciden con la norma nacional **NEMA MG1-22** [20] utilizada en los EEUU, aunque los valores obtenidos bajo esta norma arrojan resultados inferiores a los obtenidos en la ISO.

En la **ISO 3046-1** se establece un método directo para el ajuste de consumo de combustible y dos métodos para calcular el ajuste de potencia de salida en las máquinas primarias de los GE, para ello se cuenta con diez fórmulas referenciadas (métodos basados en los requerimientos definidos en ISO 15550) en cada una se definen cuatro coeficientes con los que se determina la potencia salida, de estas las denominadas **A, B, C y D** son para motores diesel de inyección directa con bomba de inyección lineal y bomba de inyección rotatoria, las seis restantes son para motores fuel oil.

El método A se emplea solo en motores diesel sin sobre-alimentación con una potencia limitada por la relación aire-combustible.

El método B también puede ser utilizado en motores diesel sin sobre-alimentación pero en este caso la potencia esta limitada por una carga térmica.

Los métodos C y D a diferencia de A y B se utilizan en motores diesel sobre-alimentados, sin enfriamiento o con refrigeración por aire, respectivamente. En ambos casos los motores son de cuatro tiempos con velocidades media y baja.

Además especifica las diferentes pruebas a realizar para el ajuste de potencia del motor, en la que es imprescindible la aplicación de estos métodos, si las condiciones ambientales del sitio son diferentes a las referenciadas. Se debe tener presente que ante un ajuste de potencia es necesario el ajuste del consumo de combustible en el motor, el cual también depende de las condiciones ambientales.

El método que se utiliza para el ajuste de la potencia de salida depende de las condiciones ambientales del sitio donde se instalará; si estas son diferentes a las referenciadas en ISO 15550 y si el fabricante no propone otro método. En la que se tiene en cuenta el procedimiento que debe cumplir por el fabricante para el ajuste de potencia, el cual consta de cuatros incisos, aplicables solamente a motores turbocargadores.

$P_x = \alpha * P_r$ } es el valor de la potencia ajustada a las condiciones ambientales del lugar donde se instalará (1.1)

donde:

$\alpha = k - 0,7(1 - k) \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right)$ } es un factor de ajuste de potencia (1.2)

donde

$k = \left(\frac{P_x - a \phi_x P_{sx}}{P_r - a \phi_x P_{sx}} \right)^m \left(\frac{T_r}{T_x} \right)^n \left(\frac{T_{cr}}{T_{cx}} \right)^s$ } es la razón de potencia indicada (1.3)

En el caso de que en el motorturbocargador no se alcance la temperatura y la presión de combustión máxima, para las condiciones ambientales referenciadas, entonces estos son ajustados por el fabricante dadas las condiciones ambientales del sitio.

$P_x = \alpha * P_r a$ } es el valor de la potencia ajustada a las condiciones ambientales del lugar donde se instalará (1.4)

$P_r a = P_r \left(\frac{r_r}{r_{r,\max}} \right)$ } potencia ajustada de acuerdo a la presión barométrica del sitio (1.5)

donde k se obtiene al sustituir en (1.3) la presión de aire referenciada, por la presión barométrica

$$k = \left(\frac{P_x}{P_r} \right)^m \left(\frac{T_{ra}}{T_x} \right)^n \left(\frac{T_{cra}}{T_{cx}} \right)^s \} \text{ es la razón de potencia indicada} \quad (1.6)$$

En esta norma además se define el ajuste de consumo de combustible aspecto que también varia con las condiciones ambientales del lugar del montaje.

Se ajusta el consumo de combustible para operar el motor en condiciones diferentes a las condiciones referenciadas y si no se declara otro método por el fabricante.

$$b_x = \beta b_r \} \text{ es el valor consumo ajustado a las condiciones ambientales del sitio} \quad (1.7)$$

$$\text{para } \beta = \frac{k}{\alpha} \} \text{ es un factor composición de combustible} \quad (1.8)$$

El correcto cálculo de la potencia efectiva y el consumo de específico efectivo determinan la eficiencia del motor de combustión interna, es por ello que estas normas permitieron a los especialistas determinar el impacto que tiene sobre estas máquinas la eficiencia energética, ya que de la explotación de las mismas depende el ahorro de combustible.

Para evaluar el comportamiento de estos sistemas se utilizan en el país herramientas computacionales, a través de las cuales se conocen el estado de operación de los equipos.

1.4 Herramientas computacionales aplicadas en la batería de grupos electrógenos diesel.

Entre las herramientas computacionales implementadas en la batería se encuentran el **Sistema de Supervisión y Control de Procesos (Eros)** [17], es un sistema de adquisición de datos y supervisión (SCADA_ Supervision Control and Data Acquisition) que realiza un potente tratamiento estadístico y determinístico de las variables medidas, trabaja acoplado con diversos sistemas de colección de datos y se comunica con los dispositivos de medición mediante manejadores de

comunicación (drivers), posee alarmas que notifican las fallas en la explotación y mantenimiento garantizando la seguridad de la toma de dato al operar individual los grupos o la instalación (emplazamiento o batería) en modo de manual o automático. El histórico que almacena los parámetros de explotación esta limitado por la capacidad de la memoria de la computadora por tanto, en la mayoría de los estudios no se tiene acceso a todos los datos necesarios y los datos almacenados no permiten un análisis detallado de la eficiencia de los grupos. Anterior a este SCADA se tenía el **MVision** [6] [23] con características muy parecidas, censaba más parámetros, pero a diferencia de este no guardaba un histórico por lo que no era factible para el estudio de la eficiencia.

Este SCADA permite al usuario entrar datos de mediciones opcionales, tal como el índice de consumo, de aceite, de líquido refrigerante, consumo de combustible del motor pero no tiene incorporado estadígrafos para el análisis de estos indicadores por lo que dificulta la toma de decisiones que posibilite el mejoramiento continuo de la eficiencia y la reducción de los costos energéticos.

Teniendo en cuenta la contribución de las metodologías consultadas al uso racional de la energía, se asume que todavía son insuficientes en materia de eficiencia energética, es por ello que se debe aplicar las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía que permitan mejorar los regímenes de explotación eficiente de los grupos electrógenos diesel de Moa.

1.5 Generalidades sobre las funciones de la TGTEE.

Debido a la importancia de buscar soluciones a esta problemática debemos tener definidos algunos conceptos que nos permitirán tener una idea clara del camino a seguir; entre ellos se encuentra la **Eficiencia**, que no es más que la optimización de los recursos utilizados para la obtención de los resultados u objetivos previstos y por tanto la **Eficacia** es la contribución de los resultados obtenidos al cumplimiento de los objetivos trazados, de aquí que **Efectividad** sea la generación sistemática de resultados consistentes integrando eficacia y eficiencia.

Para lograr la Eficiencia Energética de forma sistemática es necesario la aplicación apropiada de un conjunto de conocimientos y métodos que garanticen esta práctica. Ellos son aplicados a los medios de trabajo, los recursos humanos, los procesos, la organización del trabajo, los métodos de dirección, control y planificación, y se constituyen en una Tecnología.

La Tecnología para lograr la Eficiencia Energética permite, a diferencia de las medidas aisladas, abordar el problema en su máxima profundidad, con concepto de sistema, de forma ininterrumpida y creando una cultura técnica que permite el autodesarrollo de la competencia alcanzada por la empresa y sus recursos humanos. *La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía consiste en un paquete de procedimientos, herramientas y software especializado, que aplicadas de forma continua, con la filosofía de la gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro y conservación de la energía y a la reducción de los costos energéticos y la contaminación ambiental asociada en una empresa [2].* Su objetivo no es sólo diagnosticar y dejar un programa sino persigue elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa y reducir sus costos energéticos.

Para determinar el basamento teórico necesario que sustentará la investigación pretendemos dejar definidos algunos de los principales conceptos acerca de las herramientas de trabajo que conforman la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía.

Las herramientas de trabajo son aquellas que nos permiten implementar las secuencias de mejora. Por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas. Las básicas son aquellas que debe conocer todo miembro de un círculo o grupo de calidad y se basan en métodos estadísticos que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular detectando las causas de los problemas. También permiten realizar una serie de

observaciones de un mismo problema como diferentes ángulos fotográficos que crea una visión más completa del mismo. Las medias y de avanzada deben ser conocidas por los equipos y grupos de gestión de mejora ya que requieren un nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación [3].

La selección de las herramientas de trabajo para abordar un determinado problema de mejora puede ser determinante en el éxito de su solución, por ello hay que prestar especial cuidado en esto para no invertir tiempo y recursos en obtener resultados erróneos por mala selección o utilización de las herramientas.

El empleo de estas herramientas sigue el principio de Pareto, de ahí que unas pocas de ellas (herramientas básicas) permiten resolver la mayor parte de los problemas.

Las herramientas básicas fundamentalmente que se utilizarán son las siguientes:

- Diagrama de Pareto.
- Histogramas.
- Diagrama causa y efecto.
- Diagrama de dispersión.
- Estratificación.
- Gráficos de control.
- Gráficos de Tendencia o de Sumas Acumulativas (CUSUM).

Diagrama de Pareto: Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total [3].

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

Es una gráfica en forma de barras que clasifica en forma descendente factores que se analizan en función de su frecuencia, importancia absoluta o relativa. Adicionalmente permite observar en forma acumulada la incidencia total del factor en estudio.

Está inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles o Ley 80-20, que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20%) que generan la mayor parte del efecto (80%). En otras palabras, del total de problemas que causan la baja o no deseada eficiencia energética de una empresa, sólo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad; y del total de causas de un problema, sólo pocas de ellas son determinantes de gran parte del mismo.

Aplicando el principio de Pareto para resolver el problema del ahorro de energía, el primer paso que se debe dar es localizar prioridades, es decir, en qué energético (electricidad, gas, combustibles) se genera un mayor gasto. Esta localización se hace estratificando el consumo de energía por tipo de energético y representándolo a través del diagrama de Pareto.

Histograma: Es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confecciona mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical. Generalmente se presenta en forma de barras o rectángulos cuyas bases son dadas por los intervalos de clases y las alturas por las frecuencias de aparición de las mismas. Las marcas en la escala horizontal pueden ser los valores límites reales o valores arbitrarios claves. Para que sea más legible, generalmente es mejor indicar los valores límites de las anotaciones aunque las bases de los rectángulos se extienden en realidad desde un valor limite real al siguiente más próximo [3]

El Histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupan el mayor número de observaciones y con frecuencias decrecientes a ambos lados del mismo. Este diagrama es definido como “distribución normal”. La distribución normal es aquella que descubre la variabilidad de un hecho cuando interviene solamente la aleatoriedad.

El Histograma es una instantánea de la capacidad del proceso y revela tres características del mismo:

- 1 Centrado: media de los valores obtenidos.
- 2 Distribución: dispersión de las medidas.
- 3 Forma: tipo de distribución.

El Histograma se usa para:

- 1 Obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema.
- 2 Mostrar el resultado de un cambio del sistema.
- 3 Identificar anomalías examinando la forma.
- 4 Comparar la variabilidad con los límites de especificación.

El Diagrama causa y efecto: Se conoce también con el nombre de Ishikawa por ser quien lo diseñó en 1953, o diagrama de espina de pescado. Su valor principal es que representa de forma ordenada todos los factores causales que pueden originar un efecto específico.

El principio del diagrama consiste en establecer que el origen o causa del efecto puede encontrarse en: los materiales, el método, el equipo o la mano de obra. Si algún elemento fundamental no puede clasificarse dentro de estas cuatro categorías, deberá añadirse por separado. A su vez cada uno de estos factores es afectado por otros. Por ejemplo el factor mano de obra es afectado por: número de trabajadores, capacitación, supervisión, condiciones ambientales. También cada uno de ellos está influido por otros y algunos de estos por otros más. El diagrama puede llegar a ser

muy complejo, lo que significa una mayor comprensión del problema por las personas que participen en su elaboración [3].

Aunque puede efectuarse alguna variación, el orden más eficaz para hacer el análisis de las causas con el Diagrama de Ishikawa requiere de 5 pasos:

1. Definir el efecto: Significa que sea claro, preciso y medible. Es importante no confundir causas (origen), problemas (enfermedad) y efectos (síntomas).
2. Identificar las causas: Cada miembro del grupo en una tormenta de ideas propone posibles causas del efecto descrito. Se toma la lista y se señala la palabra clave de cada causa. Se determinan las subcausas en torno a la palabra clave.
3. Definir las principales familias de causas: Se agrupan las causas y subcausas en familias de: métodos, mano de obra, equipos, materiales u otra causa fundamental del problema.
4. Trazar el diagrama: Se traza la línea central y las que representan las causas principales. Se aportan ideas en torno a cada causa principal por separado y se colocan con su palabra clave.
5. Seleccionar la causa: Una vez construido el diagrama, este cubre todas las posibles causas. Se realiza un proceso de selección ponderada para determinar las de mayor importancia.

Diagrama de dispersión: Este diagrama permite observar la relación que existe entre una supuesta causa y un efecto. Su uso permite comprobar o verificar hipótesis que pudieran haberse desprendido del análisis del diagrama Ishikawa. Tomando el ejemplo anterior sobre el consumo de combustible en la instalación hotelera, habíamos considerado la hipótesis de que el % de ocupación de sus habitaciones era un factor que influye directamente en los niveles de consumo.

La observación del diagrama de dispersión nos indica, no obstante, que existe una tendencia a que los valores altos de nivel ocupacional están asociados a los valores altos de consumo. Se observa además que la nube de puntos de este ejemplo

describe una línea recta por lo que puede existir una relación de tipo lineal entre ambas variables con una pendiente pronunciada [3].

Para determinar el coeficiente de correlación entre ambas variables y probar matemáticamente su validez se establece la ecuación del modelo $Y=f(x)$ y se aplica la prueba de hipótesis correspondiente.

Estratificación: El propósito de la Estratificación es similar al Histograma, pero ahora clasificando los datos en función de una característica común que permite profundizar en la búsqueda y verificación de las causas a encontrar, resolver o eliminar.

Gráficos de Control: Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Generalmente se usan como instrumento de autocontrol por los círculos y grupos de calidad y resultan muy útiles como apoyo a los diagramas causa y efecto, cuando logramos aplicarlos a cada fase del proceso y detectar en cuales fases se producen las alteraciones [3].

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio M del parámetro de salida muy probable de obtener, mientras que a medida que nos alejamos de este valor medio la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente, si no aparecen causas externas que alteren el proceso, hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar ($3S$) del valor medio. Este comportamiento (que puede probarse en caso que no estemos seguros que ocurra) nos permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influya en desviaciones del parámetro de salida controlado. El gráfico de control se obtiene de graficar los valores reales del parámetro de control obtenidos en el tiempo sobre el valor medio y sus fronteras de desviación.

Gráficos de Tendencia o de Sumas Acumulativas (CUSUM): Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de comparación dado; determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un período actual respecto a un período base; y evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía.

Todas estas herramientas a utilizar en la investigación permiten conocer el comportamiento y/o el estado de los indicadores energéticos de la entidad, donde el índice de consumo específico de combustible es el parámetro energético principal.

1. 6 Indicadores Energéticos

Índice de Consumo: unidades de producto terminado por unidad de energía consumida. Este valor de índice de consumo puede ser calculado por tipo de producto o como índice de consumo general en el caso que el tipo de producción lo permita (si son varios productos diferentes pero de un mismo material, el índice puede reducirse a toneladas de ese material etc.). Si se consumen diferentes tipos de energía para un mismo producto debe determinarse el consumo equivalente haciendo compatibles los diferentes tipos. Este índice permite su comparación con las normas de consumo establecidas para la entidad. El consumo equivalente de energía asociada a los productos o servicios realizados por la entidad se expresa en toneladas de petróleo equivalentes. Las toneladas equivalentes de petróleo se determinan mediante factores de conversión que relacionan el valor calórico real del portador energético con el valor calórico convencional asumido [3].

En nuestro caso el indicador que se utilizará es el índice de consumo específico de combustible (C_e), el mismo fue definido por la Unión Nacional Eléctrica (UNE) [16] como se presente en la siguiente ecuación:

$$C_e = \frac{(M_f - M_i)}{G_e} * R_o \quad [g / kWh] \quad (1.9)$$

donde:

M_i : Medida inicial del tanque de consumo antes del trabajo.

M_f : Medida final del tanque de consumo después del trabajo.

R_o : Densidad del combustible que nos dice cuantos gramos hay en un litro de combustible $[g / Lts]$.

C_e : Consumo específico de combustible en una hora de trabajo $[g / kWh]$.

G_e : Generación total en función del tiempo $[kWh]$.

Para obtener el valor del índice de consumo específico de combustible se analizaron dos aspectos que influyen negativamente en el análisis del comportamiento de los grupos electrógenos de la batería:

- Se asume que el establecimiento del consumo de combustible se basa en mediciones y no en cálculos teóricos, esto es debido a que los primeros GED que se instalaron a la red nacional fueron Grupos Electrónicos Aislados (GEA). La definición de la ecuación (1.9) se formuló teniendo en cuenta las características de estas instalaciones.
- El índice de consumo se calculó teóricamente basándose en el dato de $[g/kWh]$ del motor dado por el fabricante, el mismo estipula que este valor para el 75% debe ser de 213 g/kWh [27]; condición que no se cumple principalmente debido a que las características del combustible son diferentes a las recomendadas, es decir, la densidad del combustible difiere de los establecidos en [16].

Además están establecidos otros indicadores energéticos que permite realizar un diagnóstico del equipo ya que la variación de uno de ellos nos indica que la unidad esta sufriendo algún tipo de deterioro en los procesos inherentes al trabajo del motor [16]. A continuación se muestran sus definiciones:

$$Ceac = \frac{Lrac}{Ge} * 1000 \quad [Lts / MWh] \quad (1.10)$$

donde:

Lrac : Litros de aceite que se repone.

Ge : Generación total en función del tiempo [*kWh*].

Ceac : Consumo específico de aceite [*Lts / MWh*].

$$CeLr = \frac{Lrr}{Ge} * 1000 \quad [Lts / MWh] \quad (1.11)$$

donde:

Lrr : Líquido refrigerante repuesto al equipo [*Lts*].

Ge : Generación total en función del tiempo [*kWh*].

CeLr : Consumo específico de líquido refrigerante [*Lts / h*].

Estos indicadores nos brindan la medida en que los grupos son eficientes, ya que se establece a través de ellos la comparación con los parámetros entregados por el fabricante y con estándares internacionales con unidades de igual potencia.

1. 7 Conclusiones del Capítulo 1

1. Existen pocos trabajos dedicados al estudio del índice de consumo de combustible de las Baterías de Grupos Electrónicos Diesel en nuestro país. Indicador fundamental para el análisis de la eficiencia energética en estas instalaciones.

2. Se constató en la búsqueda bibliográfica que en ninguno de los trabajos se define el rango de variabilidad del índice de consumo específico de combustible para el 75% de carga.
3. En la búsqueda bibliográfica consultada se determinó que existen pocas investigaciones relacionadas con el uso de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía en Baterías de Grupos Electrónicos Diesel.
4. Se determinó que la definición del índice de consumo específico de combustible fue formulada mediante mediciones experimentales en GEA sistemas de características diferentes a la batería de GED.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL DE MOA.

2.1 Introducción.

La adecuada caracterización energética basada en los procedimientos de análisis cualitativo y cuantitativo nos permite evaluar la eficiencia con que la entidad administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo; de ahí la importancia de la aplicación de estas herramientas que permiten analizar el comportamiento de los portadores energéticos, y de esta forma, definir el camino a seguir para la secuencia de mejoras de la instalación. Los objetivos específicos de este capítulo son:

1. Caracterizar la situación energética de la instalación.
2. Realizar un análisis de los portadores energéticos mediante las herramientas de trabajo de la TGTEE.
3. Determinar el rango de variabilidad del índice de consumo específico de combustible al 75% de la carga.

2.2 Descripción de la Batería de Grupos Electrónicos Diesel de Moa.

La Bateria de Grupos Electrónicos Diesel del municipio Moa, fue construida entre noviembre del 2005 y enero del año 2006 en que se pone en funcionamiento. Su objeto social es suministrar energía eléctrica a los consumidores residenciales en apoyo al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Cuenta con un total de 13 trabajadores vinculados directamente con el proceso de producción, de ellos un jefe de zona, un jefe de emplazamiento, nueve operadores de grupos electrónicos y dos operadores encargados de la recepción del combustible diesel. Esta instalación ocupa un área de 9450 m², está ubicada al sur de la carretera Moa –Sagua de Tánamo, a 1,5 km del poblado Los Pinos de Centeno. Limita al este con la Subestación de 110 kV, al sur con una zona despoblada conocida como barrio Nengón, y al oeste con un afluente del río Cabaña. En su proceso tecnológico

intervienen una estación de combustible con cinco tanques para la recepción del diesel, ubicados a 2 m de altura, de capacidad 100 m^3 cada uno, de los cuales se utiliza uno para las operaciones y los cuatro restantes se encargan de almacenar el combustible, el cual llega a la Batería de GED por medio de carros cisternas, este es succionado de la paila por una bomba de recepción de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ a una presión de 2,5 bar, pasando por un filtro (estos tienen un manómetro antes y después de ellos para medir la diferencia de presión y para determinar el grado de suciedad) después es impulsado por los impelentes de la bomba receptora hacia los cuatro tanques de recepción a través de una válvula por medio de un cabezal con dos secciones y válvulas independientes, lo que permite el llenado de los tanques en cada sección. Estos depósitos suministran el combustible a una estación centrífuga de bombeo, la cual es la encargada de separar el agua y los productos sólidos del combustible, por diferencia de densidad, hasta alcanzar una concentración de 300 partes por millón (ppm) de los sólidos y 0% de agua.

El agua que sale de la centrífuga se drena a la red fluvial mientras que los líquidos oleaginosos que esta separa se depositan en un tanque, de este se succiona su contenido con una bomba de desplazamiento positivo de tornillos de $2 \text{ m}^3/\text{h}$ hacia los tanques de recepción, donde también se vierten todo los derrames del sistema (del cubeto, de los drenajes y el aparcadero de las pailas). El combustible limpio que sale de la centrífuga es succionado por dos bombas de impulso a una presión de 2,5 bar hacia el tanque de operación, de este se envía hacia los ocho tanques de uso diario (cuatro por cada sección) con capacidad de 2000 L.

Este combustible llega con una presión de 0,15 atm a la succión de la bomba eléctrica (y una bomba manual para caso de avería) que se encuentran en cada una de las ocho unidades generadoras, las mismas tienen un sistema automático para cuando el nivel de estos tanques está al 40% de su capacidad, arranquen automáticamente pasando el combustible a un filtro y luego a cada motor de combustión interna diesel.

En los ocho Motores de Combustión Interna se quema el combustible a través de los procesos del ciclo de trabajo: admisión, compresión, explosión o fuerza y escape, el combustible (diesel) que se quema se convierte en energía mecánica útil, para generar una potencia de 1990 kW. Estos motores diesel son estacionarios, de cuatro tiempos, con dieciséis cilindros. Poseen un sistema de enfriamiento con aire y con líquido refrigerante. La refrigeración directa con aire se emplea en motores Diesel con potencias de hasta 200 kW y la cantidad de aire de refrigeración ronda los 70 m³/kWh. Tienen además un sistema de regulación: que controla el motor, vigila los estado operativos, la velocidad de rotación (en dependencia del estado operativo), y visualiza los estados de funcionamiento erróneos (códigos de fallo), además de tener un sistema de inducción o aspiración que suministra aire limpio al motor a la temperatura y cantidad correcta, cuenta también con un sistema de lubricación que reduce la fricción entre las partes móviles del motor, y un sistema para el combustible que lo regula y transporta en tiempo y con suficiente presión a la cámara de combustible de cada cilindro. Además cuenta con una Unidad de Control del Motor (ECU) en el Sistema de Gestión del Motor (MDEC), que garantiza la operatividad y protege al motor. La transformación de la energía mecánica que inyectan estos motores en energía eléctrica ocurre en los ocho generadores que componen la Batería, los cuales son sincrónicos, trifásicos, tetrapolares, con una potencia activa al 75% de 1,416 MW y nominal de 1,888 MW. El rotor de cada una de estas máquinas está directamente acoplado al eje de los MCI, por lo que gira a la misma velocidad que estos, es decir, a 1800 r.p.m. Tiene un sistema de enfriamiento por aire, además de tener un sistema autoexcitado que mantiene una excitación constante en dependencia de la demanda de la carga. Están asegurados por treinta protecciones que garantizan la seguridad de estos. Una vez garantizado la velocidad sincrónica y teniendo como referencia el voltaje, frecuencia, y la secuencia de fase, los generadores se sincronizan (presentan dos modos de sincronización en paralelo o en isla cerrando los interruptores que los enlazan a los transformadores de 0,48/13,8 kV, que son los encargados de elevar la tensión de 0,48 kV a 13,8 kV, con una potencia de 2,5 MVA, alimentan a través de un sistema trifásico de barras ocho paneles (K02 a K09), que se encuentran dentro de un Contenedor de Media Tensión (MV) de 13,8

kV. Los interruptores que están en estos paneles son los que enlazan con la barra totalizadora y esta posee un interruptor totalizador (K10) que enlaza con el transformador de fuerza de 20 MVA, que es el encargado de elevar la tensión de 13,8 kV a 34,5 kV para la entrega de la energía eléctrica a la subestación de 110 kV que alimenta la red de distribución del municipio Moa. También se alimenta de este un transformador reductor para el Uso de Planta de 13,8/0,48 kV, con una potencia de 0,25 MVA, para la alimentación de cargadores de baterías, ventiladores del transformador de fuerza de 20 MVA y el suministro del sistema de control (gobierna todas las operaciones y las toma de decisiones del sistema de generación) en el Contenedor de Media Tensión. Además existen tres transformadores monofásicos de 13,8/0,240/0,120 kV, con una potencia de 37,5 kVA cada uno, que se conectan del transformador reductor para alimentar el Panel General de Distribución (PGD) y energizar los equipos del alumbrado, las garitas, las bombas centrífugas, las bombas de succión del diesel y las casetas de los interruptores (*ver en Anexo 1*)

2.2.1 Estructura técnica de la Batería.

Datos Técnicos:

Motores Diesel:

- Denominación del motor: 16V4000 G81, marca MTU, Alemania.
- Números de cilindros: 16.
- Temperatura del aire de aspiración: 25 °C.
- Temperatura del líquido refrigerante del aire de carga: 55 °C.
- Presión barométrica: 1000 mbar.
- Números de revoluciones nominal del motor: 1880 r.p.m.
- Potencia continua, con sobrecarga de un 10% de la potencia de diseño: 1990 kW.
- Consumo de Lubricantes: 0,5% del consumo de combustible por hora.
- Peso del Motor: 7210 kg.
- ISO: 3046/1.

- Enfriamiento: Líquido refrigerante (con aditivos anticorrosivos y antiespumantes).

Generador Sincrónico:

- Tipo MJB 500 MB4, marca Marrelli de fabricación Italiana.
- Generador sincrónico trifásico.
- Cantidad de polos: 4 polos.
- Temperatura ambiente: 40°C.
- Factor de potencia: 0,8.
- Frecuencia: 60Hz.
- Voltaje nominal: 480V.
- Corriente nominal: 2839 A.
- Potencia aparente: 2360 kVA.
- Potencia activa: 1880 kW.
- Eficiencia: 96,1%.
- Enfriamiento: por aire.

Transformador Elevador:

- Conexión interna de los devanados: Δ / Y_n .
- Voltaje del primario: 480 V.
- Voltaje del secundario: 13,8 kV.
- Potencia: 2,5 MVA.
- Enfriamiento: por aceite y por aire.
- Corriente nominal: 104,7 A.

Transformador Uso de Planta a 440 V:

- Conexión interna de los devanados: Y_n / Δ .
- Voltaje del primario: 13,8 kV.
- Voltaje del secundario: 440 V.

- Potencia: 250 kVA.
- Enfriamiento: por aceite.
- Corriente nominal: 301,1 A.

Transformador Uso Planta a 120/240 V:

- Conexión interna de los devanados: Yn / Δ .
- Voltaje del primario: 7620 V.
- Voltaje del secundario: 120/240 V.
- Potencia: 37,5 kVA.
- Enfriamiento: por aceite.
- Corriente nominal: 156,2 A

Transformador Panel de M.T:

- Conexión interna de los devanados: Yn / Δ .
- Voltaje del primario: 480 V.
- Voltaje del secundario: 400 V.
- Potencia: 20 kVA.
- Enfriamiento: por aire.
- Corriente nominal: 29,8 A

Transformador de Fuerza:

- Conexión interna de los devanados: Yn / Δ .
- Voltaje del primario: 13,8 kV.
- Voltaje del secundario: 34,5 kV.
- Potencia: 20 MVA.
- Enfriamiento: por aceite y aire forzado.
- Corriente nominal: 857 A.

2.3 Impacto de los portadores energéticos en los costos totales de la batería.

En la tabla 1 se muestran los gastos por concepto del consumo de portadores energéticos, donde se aprecia que el mayor valor esta asociado al consumo de Diesel, que representa el 72,30 % de los gastos totales de la instalación.

Tabla 1 Estructura de gastos anuales en portadores energéticos y líquido refrigerante.

Concepto	CUC
Diesel	99 750,9
Aceite	36 947,32
Electricidad	1 038,8
Líquido Refrigerante	233,99
TOTAL	102 501,66

El análisis de los gastos por concepto de portadores energéticos y líquido refrigerante perteneciente a la fig. 2.1, muestra la necesidad de trabajar en la búsqueda de reservas en la principal fuente de gasto que es: el Diesel.

En este punto se analiza el costo del líquido refrigerante porque constituye una de las materias primas para el proceso de combustión del motor primario y su correcto funcionamiento. Esta materia conocida como agua de refrigeración tiene como función evitar transferencias de calor en el sistema. Se almacena en tanques de 208 litros y posee un consumo promedio anual de 175,45 litros para una desviación estándar de 142,52 litros con un precio de adquisición de 2,77 CUC/litro.

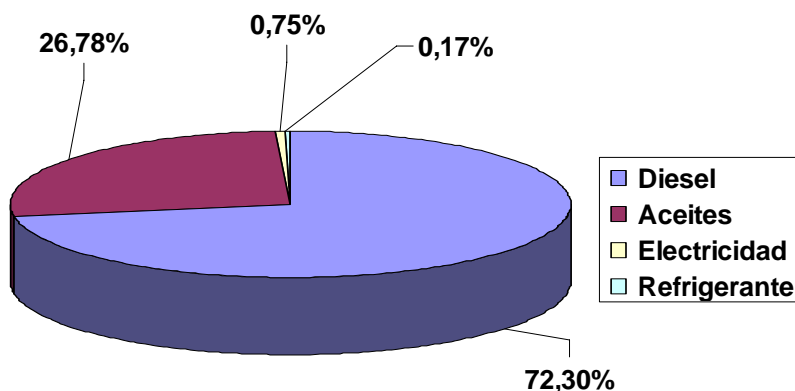


Figura.2.1 Gastos asociados al consumo de portadores energéticos y líquido refrigerante.

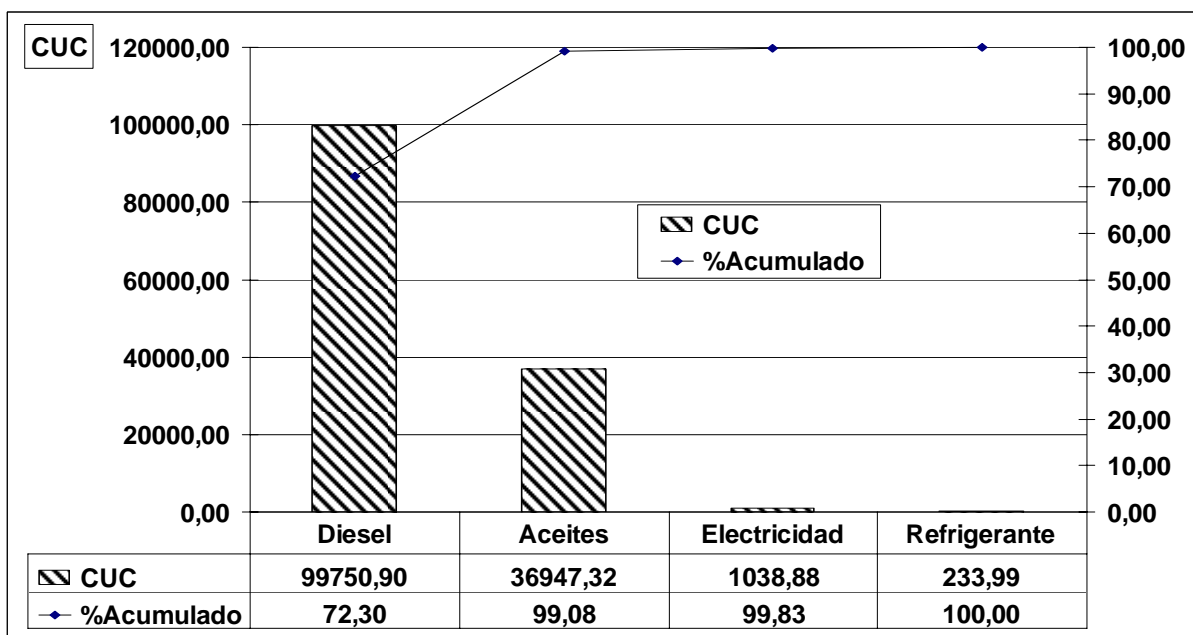


Figura. 2.2 Diagrama de Pareto del gasto de portadores energéticos y líquido refrigerante.

El análisis del gráfico de Pareto para los portadores energéticos (fig. 2.2) en el año 2008, confirma que el portador energético de mayor peso es el Diesel. Esto indica que la búsqueda del mayor potencial de ahorro de energía debe estar asociada a este portador, ya que ello permitirá la reducción de los costos y la mejora significativa de la competitividad. Al aplicar el principio de Pareto y seleccionar el 20 % que representa el 80 %, entonces debemos trabajar con el diesel fundamentalmente.

2.4 Estructura de Consumo de Portadores Energéticos.

Después de efectuar la caracterización energética del centro, se llevo a cabo la tarea de saber como estaban estructurados los distintos portadores energéticos que se utilizaban en la instalación; y para esto se hizo una relación de todos los portadores energéticos, dígame fósiles o no, con el objetivo de conocer la estructura de estos dentro del proceso productivo.

2.4.1 Relación de los Portadores Energéticos.

Los portadores son los siguientes:

- Diesel.
- Electricidad.
- Aceite.

La Tabla 2 muestra la estructura de consumo de portadores energéticos en el año 2008, donde se convierten cada uno de los consumos a toneladas equivalentes de petróleo (TEP), a partir de los factores de conversión que aparecen en el documento: "Guía Trabajo Final Diplomado I: Formación Básica en Eficiencia Energética" [11]. En el caso de la electricidad se usó el factor de conversión de MWh a tonelada equivalente de petróleo que se había obtenido en el 2007 por la Unión Nacional Eléctrica (UNE) y que fue de 0,3481 MWh/TEP [1].

Tabla 2. Estructura de Consumo de Portadores Energéticos 2008.

Portador	Consumo	UM	Factor Conv.(L/T)	Consumo	UM	Factor Conv. (T ó MWh/TEP)	TEP
Diesel	4861154,8	L	1178,55	4124,69	T	1,0534	4344,95
Electricidad	262,34	MWh	-	262,34	MWh	0,3481	91,32
Aceite	21481	L	1119,59	19,19	T	1,0000	19,19
Total	-	-	-	-	-	-	4455,46

2.4.2 Determinación de los Principales Portadores Energéticos.

Aplicando el principio de Pareto, se determinaron los principales efectos que representan entre el 75 y 85 % de las causas. Con los datos de la Tabla 3 se construyó el diagrama de Pareto [3] que se muestra en la fig. 2.3 y donde se puede observar que el portador sobre el cual debemos concentrar las acciones es el Diesel, el que significa el 97,52 % del consumo total de energía.

Tabla 3. Porciento de cada portador energético del total.

Portador	TEP	%	% Acumulado
Diesel	4 344.95	97,52	97,52
Electricidad	91,32	2,05	99,57
Aceite	19,19	0,43	100,00
Total	4 455,46	100,00	-

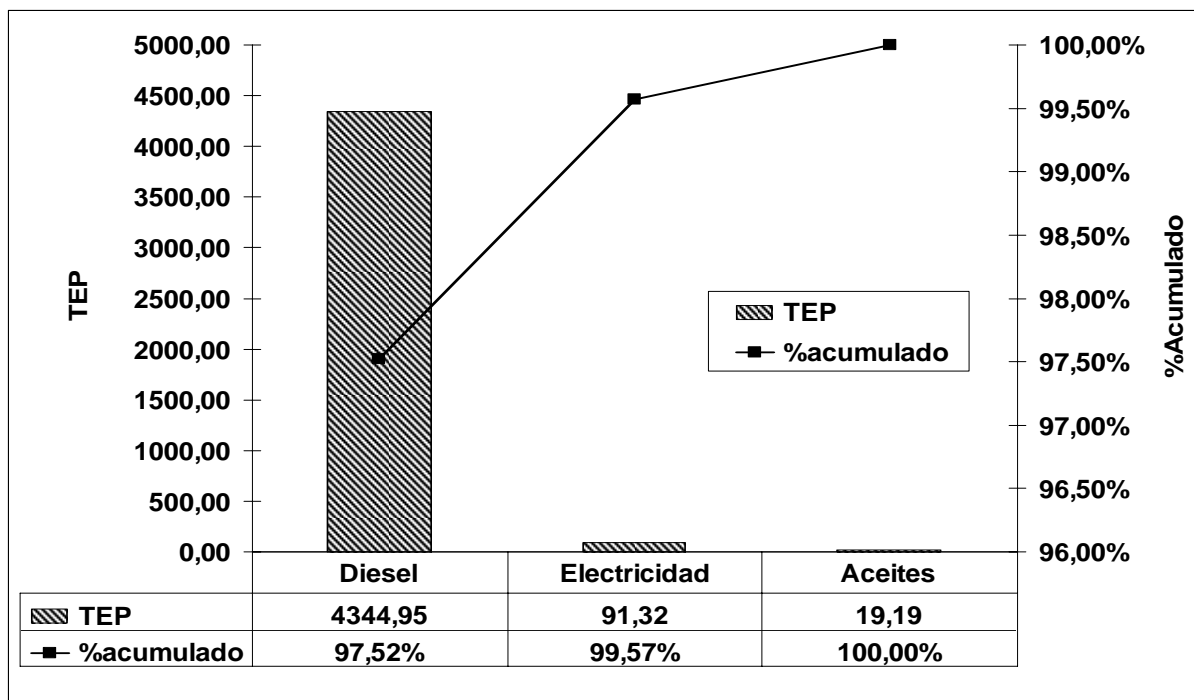


Figura. 2.3 Diagrama de Pareto de los Principales Portadores Energéticos.

2.5 Estado de la batería en materia de gestión energética.

Debido a que la prioridad de esta instalación es la prestación de servicio atendiendo la demanda del consumidor residencial, se ha restado importancia a los problemas relacionados con los portadores energéticos, pudiendo crearse en muchos casos ineficiencias y elevación de los costos derivados del manejo inadecuado de estos aspectos.

Este estudio se lleva a cabo por el interés de racionalizar los costos relacionados con el uso de portadores energéticos. El mismo fue realizado con el apoyo de las autoridades administrativas de la batería, quienes facilitaron información necesaria para la realización de este trabajo. Durante este período se realizaron visitas técnicas, realizando entrevistas y observaciones.

El resultado de las entrevistas efectuadas (*ver en Anexo 2*) al personal de mantenimiento, directivo y técnico para determinar el Grado de Competencia de la entidad, reflejó que un 15% contestaron que su entidad estaba en Incompetencia Inconsciente y el 34% en Incompetencia Consciente relacionado con la Eficiencia Energética. Por ello se asume de forma preliminar que la batería se encuentra en un grado de Incompetencia Inconsciente; es decir, existe desconocimiento en materia de eficiencia energética en la entidad, pues el único indicador energético que se tiene en cuenta para determinar la eficiencia energética es el índice de consumo específico de combustible (g/kWh). Para su correcta medición y cálculo, los trabajadores de la batería han recibido capacitación especializada sobre el tema y están certificados por el Centro Nacional de Certificación Industrial [CNCI]. Luego de realizadas las lecturas por los operarios a las 12:00 pm se determina el consumo de combustible, la generación diaria y seguidamente se procede al cálculo del índice de consumo específico de combustible; el cual es informado al Despacho Provincial, donde existe un grupo especializado en tramitar esta información y determinar posibles errores.

En este punto es bueno resaltar que los indicadores energéticos establecidos: índice de consumo específico de aceite (L/MWh) e índice de consumo específico del líquido refrigerante (L/MWh) mencionados en el Capítulo I, se tienen en cuenta en el análisis del funcionamiento de las máquinas pero no sucede de esta manera a la hora de evaluar la eficiencia energética de la entidad.

Para el análisis del índice de consumo que representa uno de los indicadores energéticos más importantes en cuanto a la eficiencia del equipamiento, no se cuenta con un dispositivo calibrado y normado (Flujómetro) para realizar este tipo de mediciones, en estos momentos se realizan utilizando métodos aproximados mediante una cinta calibrada por la empresa (*ver en Anexo 3*). 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); todo esto influye negativamente en la exactitud de las mediciones y en la información brindada. Las mediciones del consumo de combustible en el tanque de operación se realizan de la siguiente manera:

Se toma la medición física de la cinta (M_{fc}), se localiza en la tabla de aforo (*ver en Anexo 4*) la medición física mayor (M_{fmy}) y la medición física menor (M_{fme}) que se encuentra alrededor del valor de la M_{fc} y los litros que representan estas mediciones; se establece la diferencia entre ambas mediciones ($M_{fmy} - M_{fme}$), esta diferencia se divide por 5 y su resultado se multiplica por la diferencia entre el número decimal de la M_{fc} y la M_{fme} ; se le suma a la M_{fme} de la tabla de aforo y su resultado son los litros físicos reales, los cuales se tomarán para el resto de los cálculos derivados de esto.

Ejemplo:

$$M_{fc} = 225,8 \text{ cm}$$

Localizando en la tabla de aforo esta medición esta en el intervalos

$M_{fme} = 225,5 \text{ cm} = 61\,500 \text{ litros}$

$M_{fmy} = 226,6 \text{ cm} = 61\,800 \text{ litros}$

$$\frac{M_{fmy} - M_{fme}}{5} = \frac{300}{5} = 60 \text{ litros}$$

En la M_{fc} , el decimal es 8 y en la M_{fme} es 5; $8 - 5 = 3$

entonces: $160 * 3 = 180$

Luego $M_{fme} (\text{litros}) + 180 = 61\,500 + 180 = 61\,680 \text{ litros}$

Además en la entidad existe un conjunto de documentos donde son plasmados todos los indicadores de producción así como las principales variables del sistema, de forma tal que cualquier variación de los parámetros quede registrada de forma escrita y con la constancia del personal que realiza la operación. Del mismo modo, las entradas de combustibles, líquido refrigerante y aceite son reflejadas en un libro que es revisado diariamente por el jefe de la batería, previa verificación física de las entradas de los materiales. En dependencia de los parámetros que se les informan a los especialistas de la provincia y las horas trabajadas de las máquinas se hace la solicitud de mantenimiento o reparación de avería a GEYSEL, que es la empresa especializada para la realización de dichas tareas.

A todo lo antes expuesto, se suma el problema de que no se cuenta con un energético en la instalación que vele directamente por los factores que afectan la gestión energética. Entre estos factores podemos mencionar la verificación de la calidad del combustible, la correcta medición de los parámetros de los sistemas, y el procesamiento continuo de la información para corregir las desviaciones de los estándares de operación a tiempo.

Entre las principales deficiencias detectadas se han encontrado errores en la documentación, faltante en las entradas de combustible, tachaduras y enmiendas en los libros, en algunos casos no se han reflejado incidencias ocurridas en la batería.

2.6 Comportamiento energético de la instalación en el año 2008. Análisis de tendencias.

2.6.1 Consumo de Electricidad

La entidad generadora con un consumo promedio anual de electricidad de 21 861,855 kWh cuenta con dos servicios contratados, uno de 220 V y otro de 440 V. Del transformador de fuerza se alimenta un transformador reductor para el uso de la planta de $13,4/0,44\text{ kV}$, con una potencia de 0,25 MVA, el cual alimenta dos transformadores de $0,44/0,22\text{ kV}$, que suministran energía a los circuitos de medición y control, alimentan además una pizarra de 440V y 220V (PGD) y un panel de control. La relación del consumo de energía eléctrica para el año 2008 se muestra en las figuras 2.4 y 2.5 para los diferentes servicios contratados por la batería.

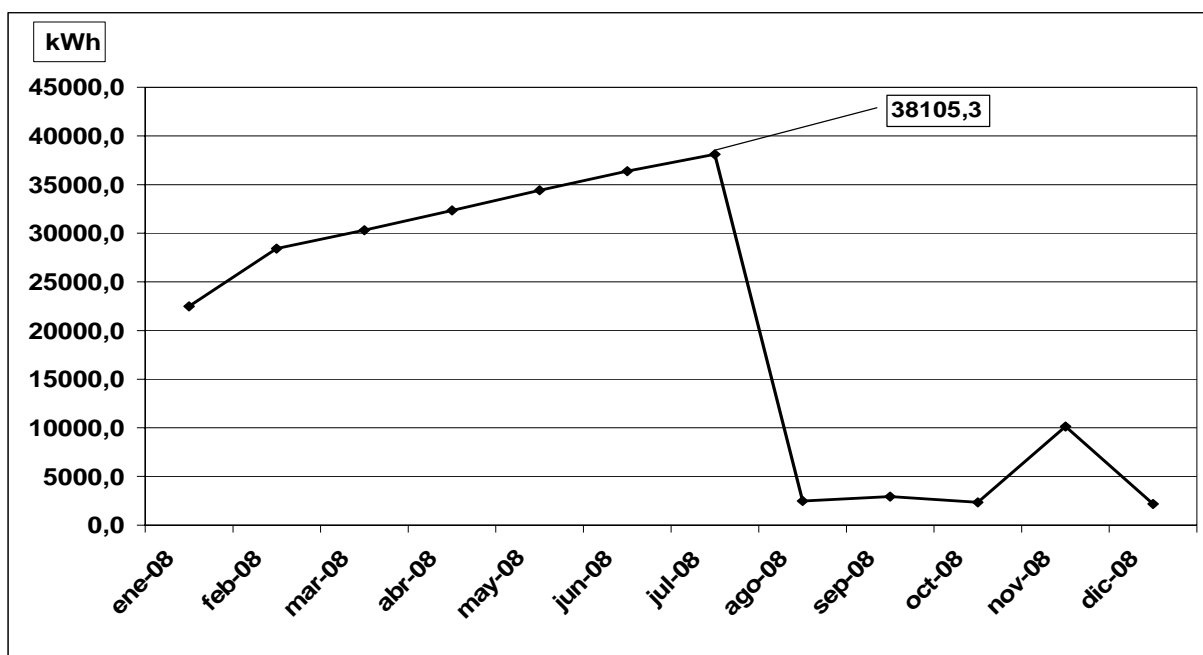


Figura 2.4 Curvas de comportamiento del consumo de electricidad (servicio 220 V).

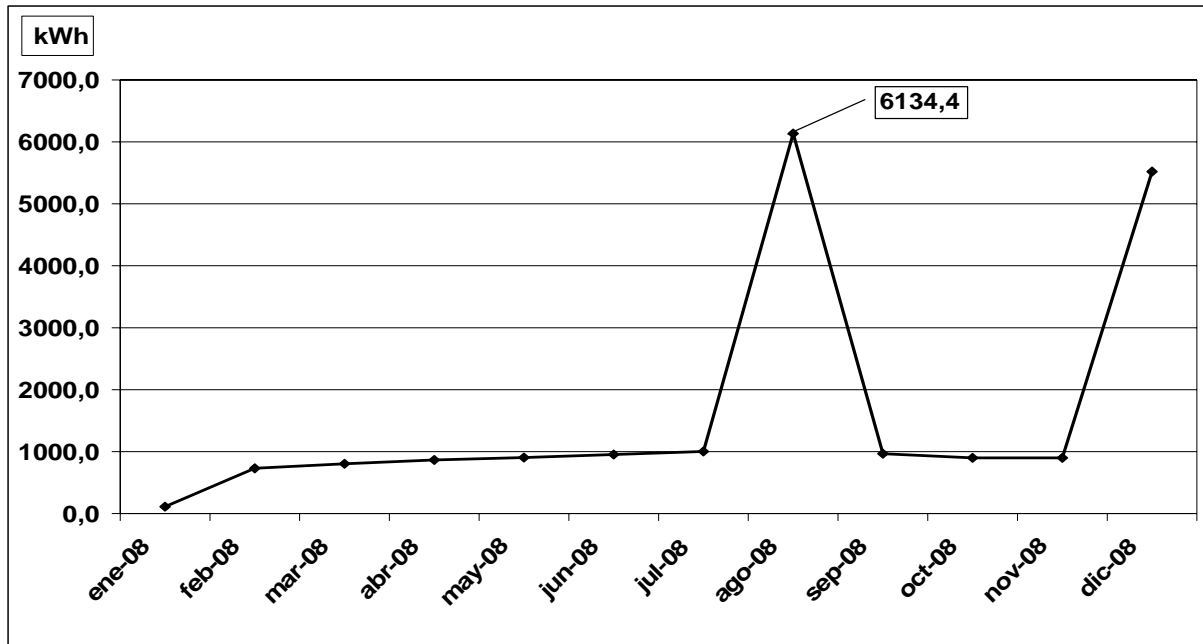


Figura 2.5 Curvas de comportamiento del consumo de electricidad (servicio 440 V).

En la fig. 2.4 se observa el comportamiento del servicio 220 V, con un consumo promedio anual de 20 213 kWh para una desviación estándar de 14 966 kWh, lo que representa el 92,5 % del consumo total de electricidad.

Se observa en la fig. 2.5 el comportamiento del servicio 440 V, con un consumo promedio anual de 1 649 kWh para una desviación estándar de 1 970,5 kWh, lo que representa el 7,5 % del consumo total de electricidad.

En el análisis del estado del pico de energía (principalmente en el mes de agosto) se demostró con el procesamiento de los datos que tenían que ver con errores en la lectura del metro contador por parte de los operadores.

El histograma de la fig. 2.6 tiene forma de peine donde se observa que se alternan valores altos y bajos de forma regular refleja normalmente errores de medida. El rango donde se manifiesta el 80 % del comportamiento de la variable se encuentra desde los 15 195,5 kWh hasta los 39 106,3 kWh.

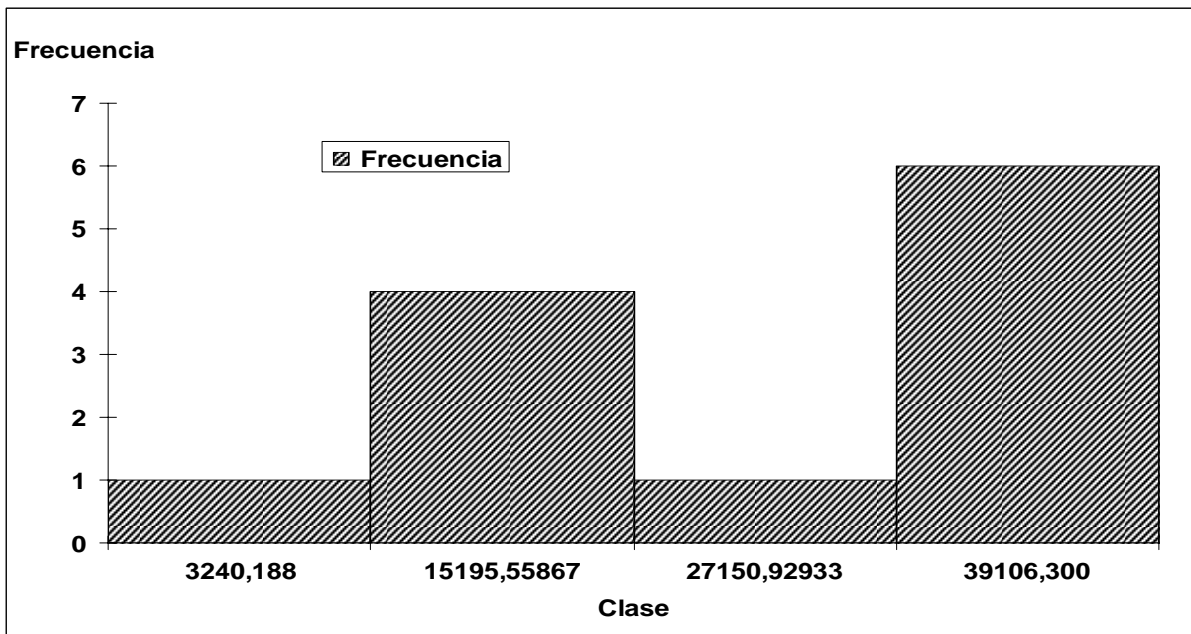


Figura 2.6 Histograma del consumo de electricidad.

La tarifa aplicada a la entidad es la M1-C, la cual contempla los siguientes cargos:

M-1.C. Tarifa de media tensión con actividad inferior a 12 horas diarias.

APLICACIÓN: Se aplicará a todos los servicios de consumidores clasificados como de Media Tensión con actividad inferior a 12 horas diarias.

\$ 5.00 mensual por cada kW de máxima demanda contratada.

\$ 0.044 por cada kWh consumido en cualquier momento del día.

CONSIDERACIONES:

Para el cálculo de la facturación del cargo fijo mensual, la demanda a considerar será la siguiente:

- El valor de demanda máxima contratada en cualquier periodo del día.
- Si la demanda máxima registrada es mayor que la demanda máxima contratada, se facturará la contratada al precio de la tarifa y el exceso al triple de su valor (\$15.00).

- Sólo se permitirá contratar dos valores de demanda al año por períodos no menores de tres meses a los consumidores cíclicos.

Teniendo en cuenta lo expuesto en el Capítulo I del gráfico de tendencia, para el estudio del consumo de electricidad del 2008 con respecto al año 2007 no se contaba con metro contador, esto trajo consigo, que no se realizaran las lecturas por este concepto. La falta de ese resultado impidió que se estableciera el comportamiento real del consumo de la electricidad, o sea, no se conoce si el mismo aumenta o disminuye con respecto al año base.

2.6.1.1 Levantamiento de las cargas instaladas.

Para tener una idea general de las cargas instaladas en la batería se realizó un levantamiento cuyo resultado aparece en la tabla correspondiente al *Anexo 5*. Como resultado del análisis realizado se tiene que la potencia instalada es 130,549 kW.

Se realizó una clasificación de estas cargas por lugares donde se encuentran instaladas y las funciones que realizan, arrojando a los siguientes resultados:

Tabla 4 Clasificación de la carga instalada.

Familia de equipos	Consumo (kW)
Climatización	1,8
Refrigeración	0,075
Iluminación general	3,206
Bombas	36,40
Equipos de cómputo	0,468
Ventiladores	61,2
Transformador	25
Cargadores	2,4

Con toda esta información, es posible conocer la estructura de esta carga instalada, con la cual se tiene una idea del peso que representa cada familia de equipos en la composición global de los consumidores (ver fig. 2.7)

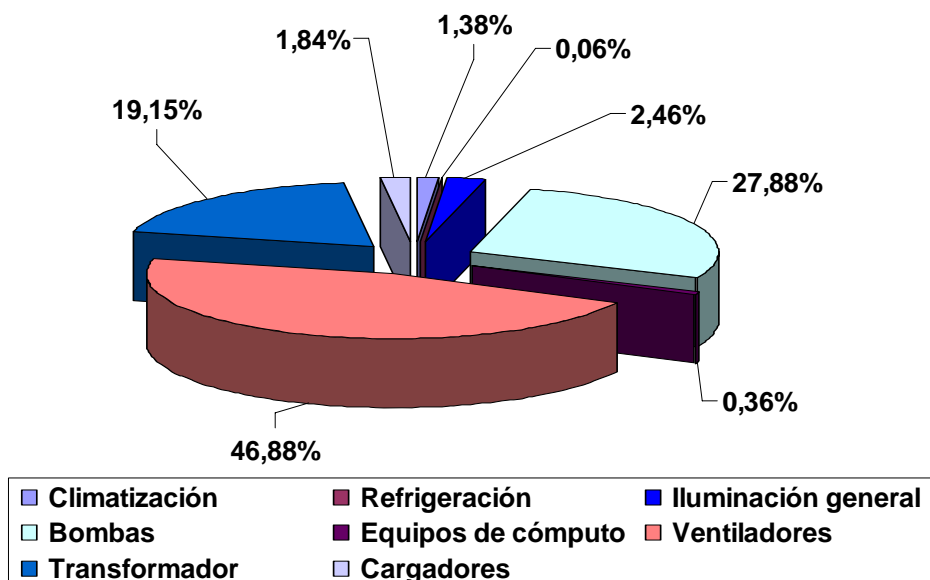


Figura. 2.7 Estructura de las cargas instaladas.

Como se observa en esta figura, el mayor porcentaje de la carga instalada en la batería recae sobre los Ventiladores, la cual representa un 46,88%, seguida por las Bombas los cuales suman un 27,88%, continúan los Transformadores con un 19,15%, la Iluminación general con 2,46%, luego sigue los Cargadores con un 1,84% seguida por la Climatización con 1,38%, los Equipos de cómputo con un 0,36% y por ultimo la Refrigeración con el 0,06%. Este porcentaje está determinado teniendo en cuenta los kW instalados por la carga.

2.6.2 Consumo de Aceite.

Como se observa en la fig. 2.8, el consumo de aceite en los primeros meses presenta variaciones que no se corresponden con las variaciones de la generación eléctrica debido a la inestabilidad en la realización de los mantenimientos; no ocurriendo de esa forma para los últimos meses donde sí existe una correspondencia entre estas dos variables.

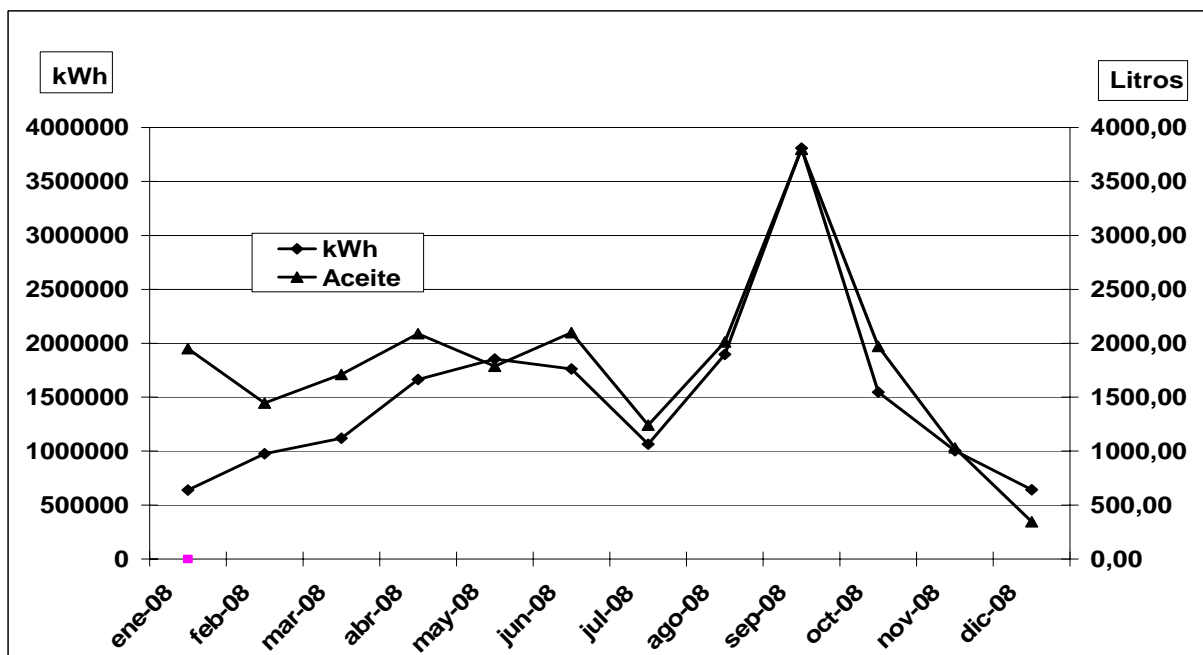


Figura 2.8 Curvas de comportamiento del consumo de aceite y producción en el tiempo.

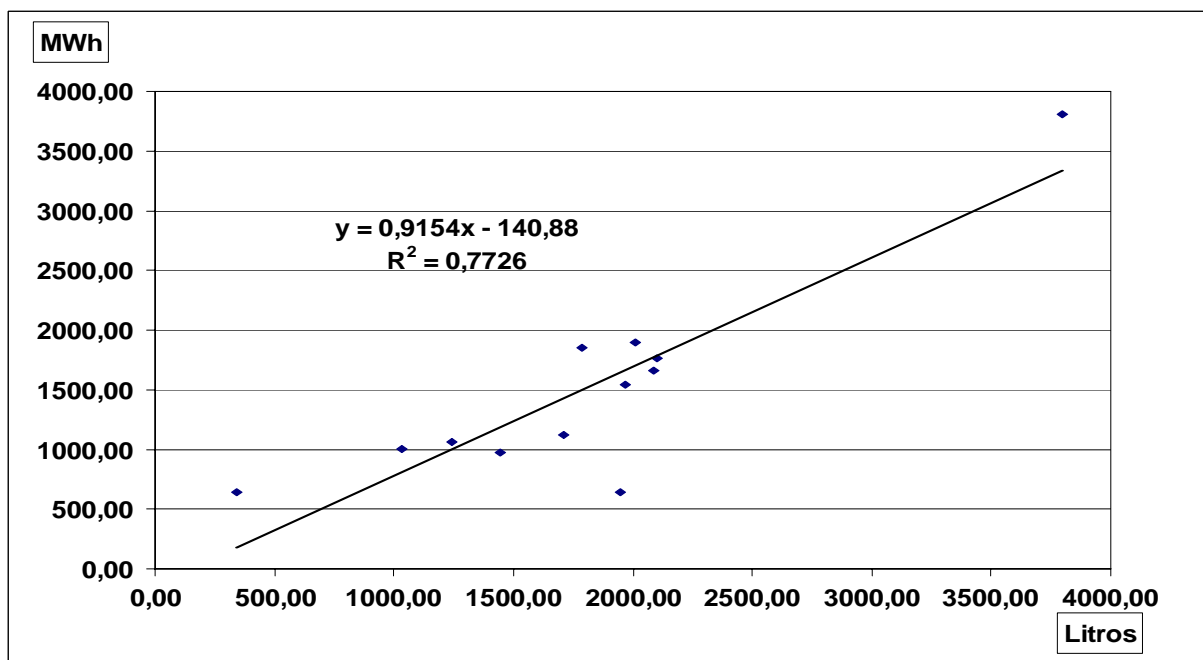


Figura 2.9 Diagrama de dispersión entre el consumo de aceite y producción.

Haciendo un análisis estadístico con los datos del consumo de aceite y producción se obtuvo que el coeficiente de determinación (R^2) es 0,772; lo que podemos asumir que existe relación lineal entre estos dos parámetros como se muestra en el diagrama de dispersión de la fig. 2.9, en donde se aprecia una correlación positiva,

Título Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa. Pág. 43
Diplomante: José Antonio Pino Morales.

con pendiente pronunciada que nos indica que el 77,26% de las variaciones de la producción serán provocadas por las variaciones del consumo de aceite.

En el gráfico de control de la fig. 2.10, se observa que el comportamiento en los primeros meses es cercano a la media pero a partir del mes de julio comienza un incremento del consumo, siendo más crítica la situación en el mes de septiembre con un consumo de 3 798 litros con respecto al valor medio; lo que representa el 17,7 % del consumo total de este portador. La causas de este sobreconsumo es debido a la sobreexplotación de las máquinas, donde se realizaron tres puestas en marcha en régimen Isla por un tiempo promedio de 8 horas diarias; a la irregularidad de los mantenimientos y la necesidad de prestar servicio al sector residencial por los daños causados con el paso del ciclón Ike. Este portador alcanzó un valor promedio anual de 1 790 litros para una desviación estándar de 821,14 litros.

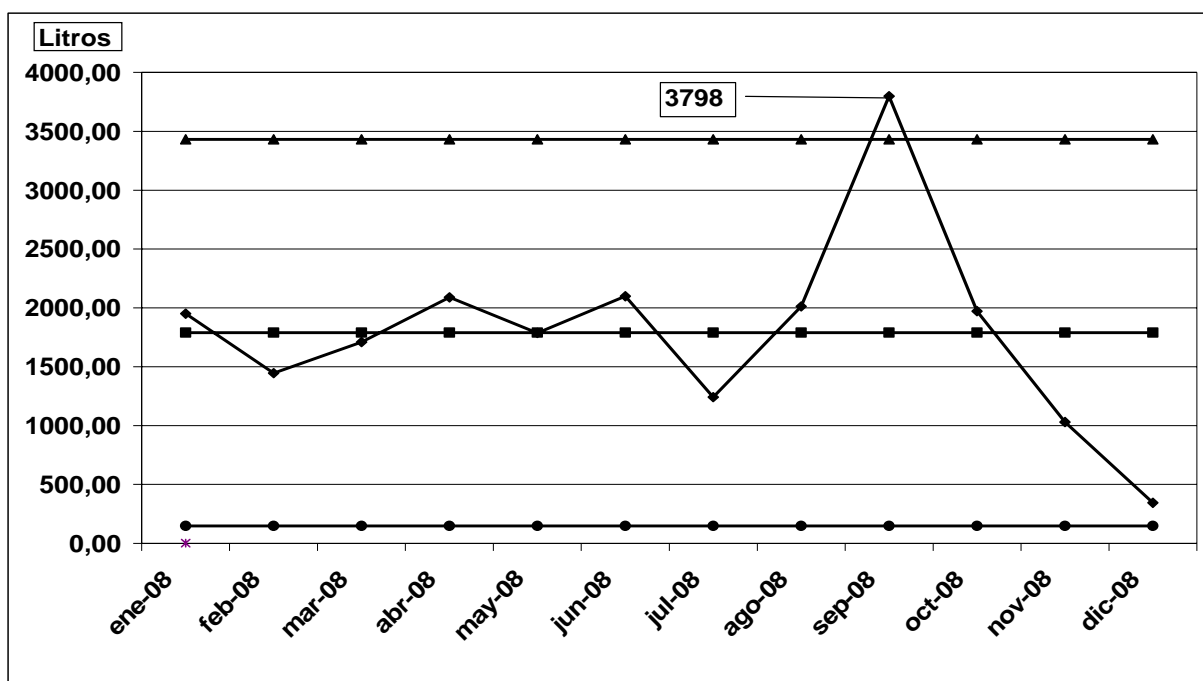


Figura 2.10 Curvas de comportamiento del consumo de Aceite.

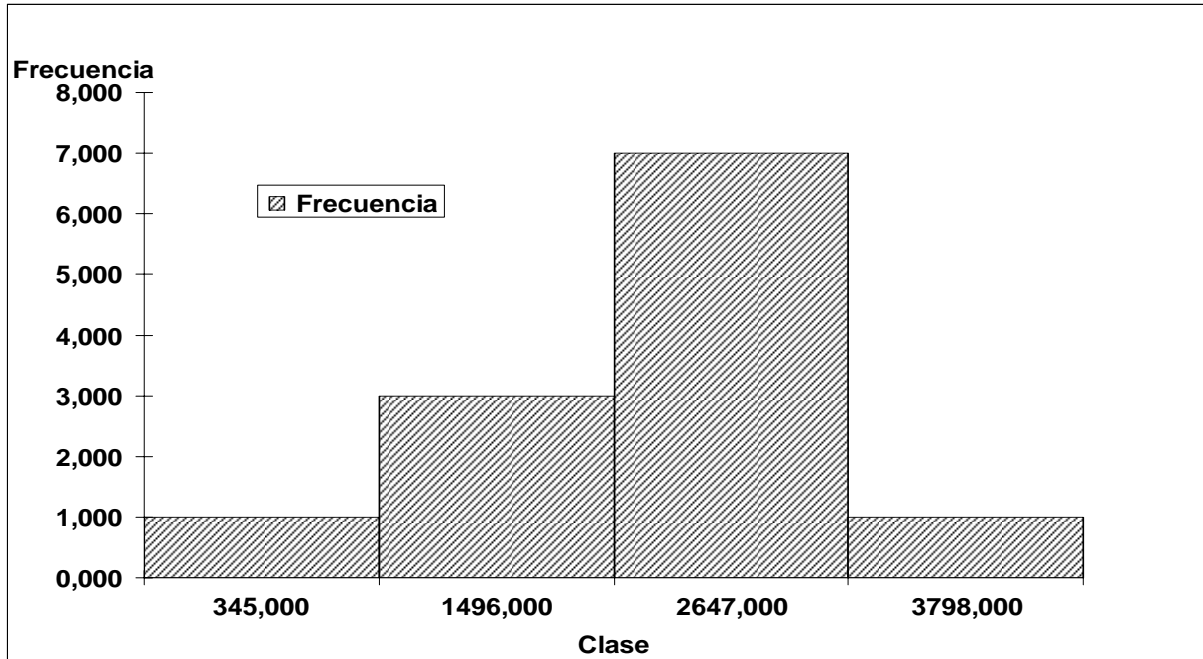


Figura 2.11 Histograma del consumo de aceite.

El histograma de la fig. 2.11 tiene forma de campana con ligera asimetría en la parte derecha, significa que los datos provienen de una distribución normal. El rango donde se manifiesta el 80 % del comportamiento de la variable se encuentra desde los 1 496 litros hasta los 2 647 litros

Para analizar la tendencia en el consumo de aceite en el año 2008 con respecto al comportamiento promedio alcanzado en el año 2007, se aplicó el método de las sumas acumulativas, el cual permite determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un período actual con respecto a un período base como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5 Tendencia del consumo de aceite en el año 2008 con relación al 2007.

Mes	Consumo real	Producción	kWh calculado	Diferencia	CUSUM
ene-08	1951,00	638	911,49	1039,51	1039,51
feb-08	1445,00	976	1098,75	346,25	1386
mar-08	1710,00	1119	1178,31	531,69	1917
abr-08	2089,00	1664	1480,61	608,39	2526

may-08	1787,00	1855	1586,66	200,34	2726
jun-08	2099,00	1762	1535,02	563,98	3290
jul-08	1242,00	1063	1147,42	94,58	3385
ago-08	2013,00	1896	1609,47	403,53	3788
sep-08	3798,00	3809	2671,00	1127,00	4915
oct-08	1972,00	1546	1415,05	556,95	5472
nov-08	1030,00	1004	1114,16	-84,16	5388
dic-08	345,00	642	913,64	-568,64	4819

En el análisis de la tendencia del consumo de aceite de la fig. 2.12 se muestra que con niveles de producción equivalentes, no se tuvieron ahorros de aceite con relación al comportamiento medio alcanzado en el año anterior; y al finalizar diciembre se tenía un gasto acumulado equivalente a 4 819 litros.

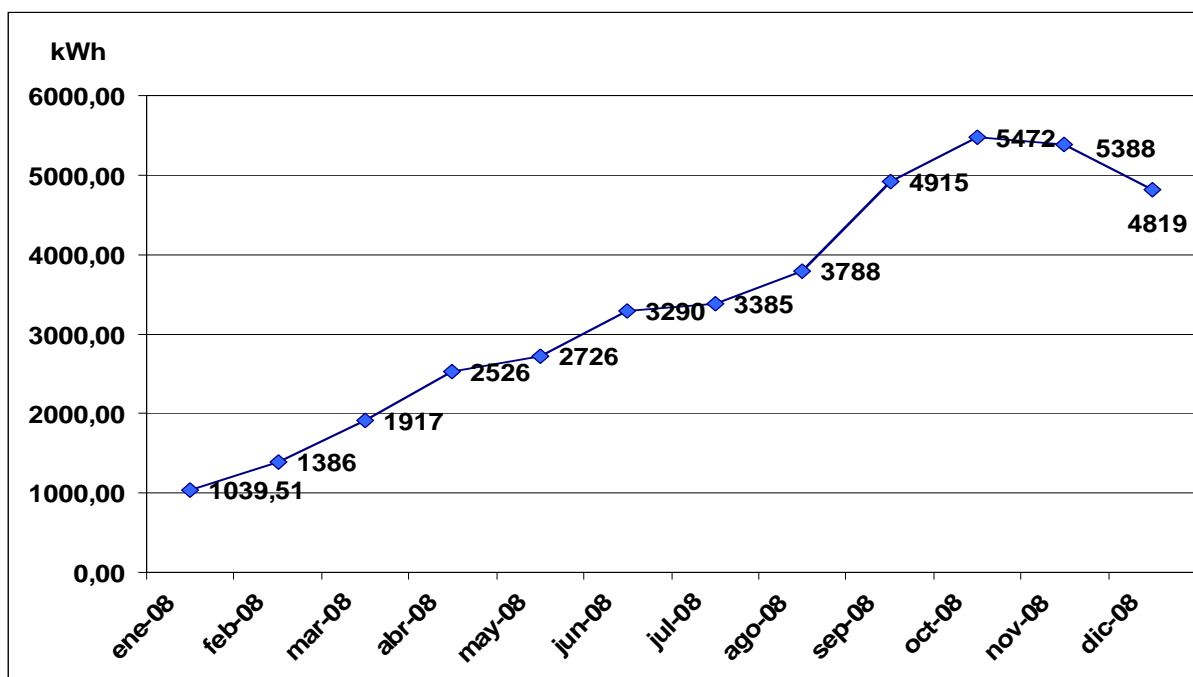


Figura 2.12 Tendencia en el consumo de diesel en el 2008 con relación al 2007.

2.6.3 Consumo de Diesel.

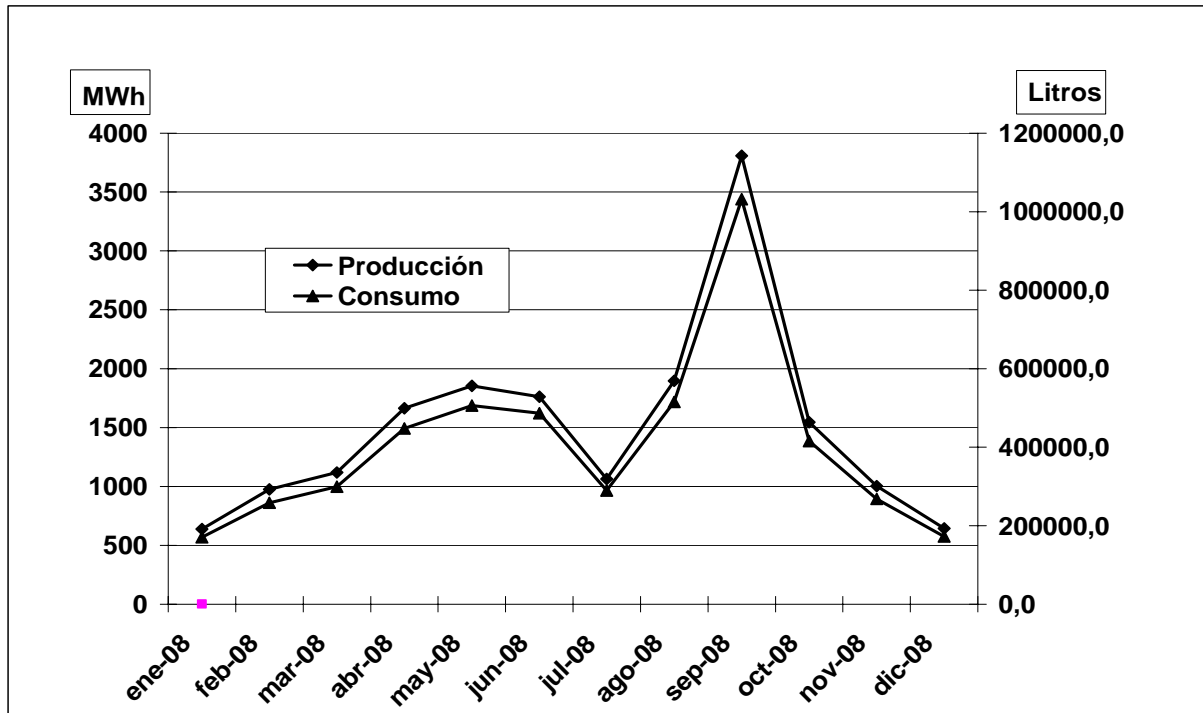


Figura 2.13 Curvas de comportamiento del consumo de diesel y producción en el tiempo.

El gráfico de la fig. 2.13 muestra que para un incremento del consumo de diesel se corresponde un incremento de la producción, es decir, la producción de la batería estará determinada por el consumo de diesel de los GED.

Se observa en el diagrama de dispersión de la fig. 2.14, que estas variables están fuertemente correlacionadas en forma lineal y los puntos sin duda alguna están bastante próximos a la recta dibujada, es decir, la relación es aproximadamente lineal. Esto se aprecia por el coeficiente de determinación (R^2) de 0,9997, lo que significa que el 99.97 % de las variaciones de la producción son provocadas por las variaciones del consumo de diesel.

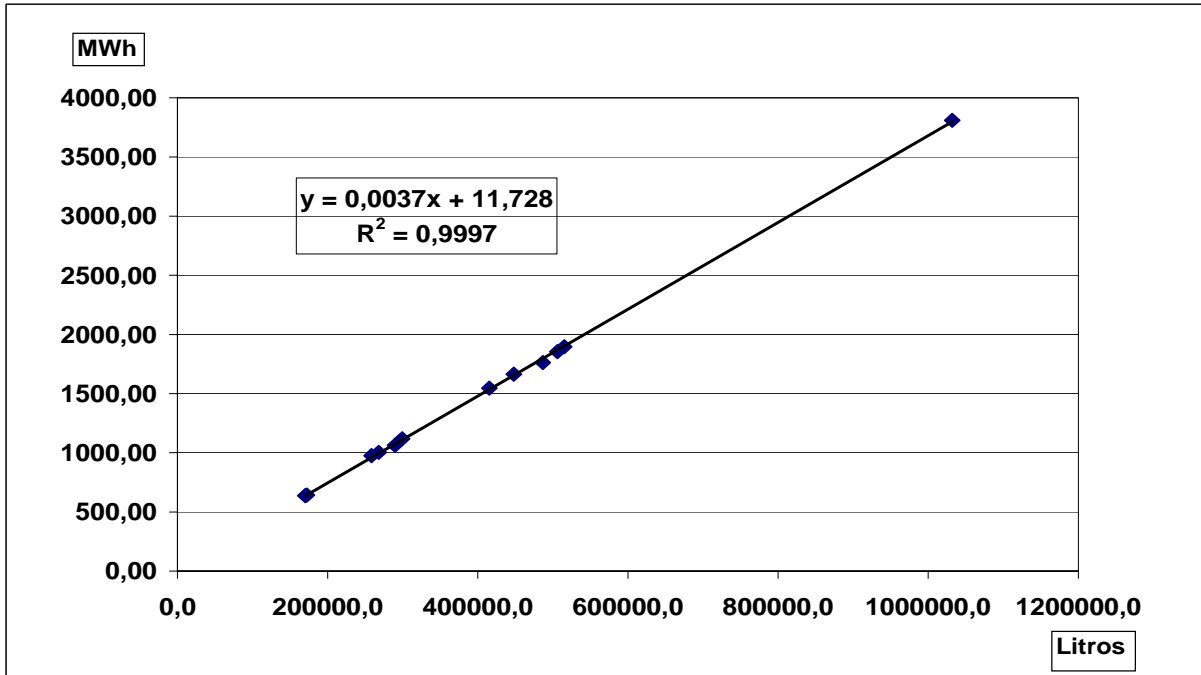


Figura 2.14 Diagrama de dispersión entre el consumo de diesel y producción.

La expresión (2.1) que caracteriza la relación entre el consumo de diesel y la producción en el año 2008, es la siguiente:

$$MWh = 0,0037 * Litros + 11,728 \quad (2.1)$$

donde:

MWh : Energía entregada por la batería.

Litros : Consumo de combustibles diesel.

La generación eléctrica no asociado a la producción en ese año fue un promedio de 11,728 MWh/mes lo que representa el 0,1 % de la generación total de la batería.

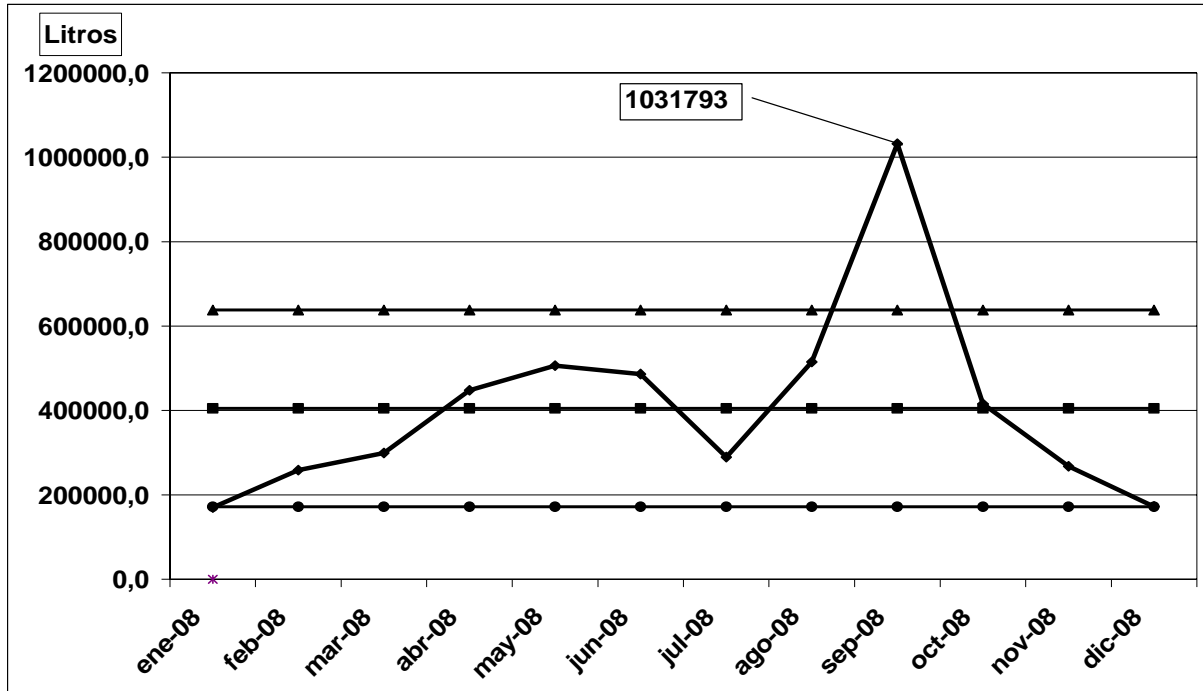


Figura 2.15 Curvas de comportamiento del consumo de diesel.

En la fig. 2.15 se muestra el gráfico de control del consumo de diesel a partir de las series históricas donde se aprecia que existe un punto fuera de la línea de control en el mes de septiembre con un sobreconsumo con respecto a la media de 1 031 793 litros; por las mismas razones que se mencionaron en el análisis de la fig. 2.10. Este portador alcanzó un valor promedio anual de 405 096,2 litros para una desviación estándar de 233 090,5 litros.

Con el objetivo de obtener las características del comportamiento del consumo de diesel en el sistema se realizó en el siguiente gráfico:

El histograma del consumo de diesel de la fig. 2.16 tiene forma de campana con ligera asimetría en la parte izquierda, significa que los datos provienen de una distribución normal. El rango donde se manifiesta el 80 % del comportamiento de la variable se encuentra desde los 457 481,6 litros hasta los 744 637,3 litros.

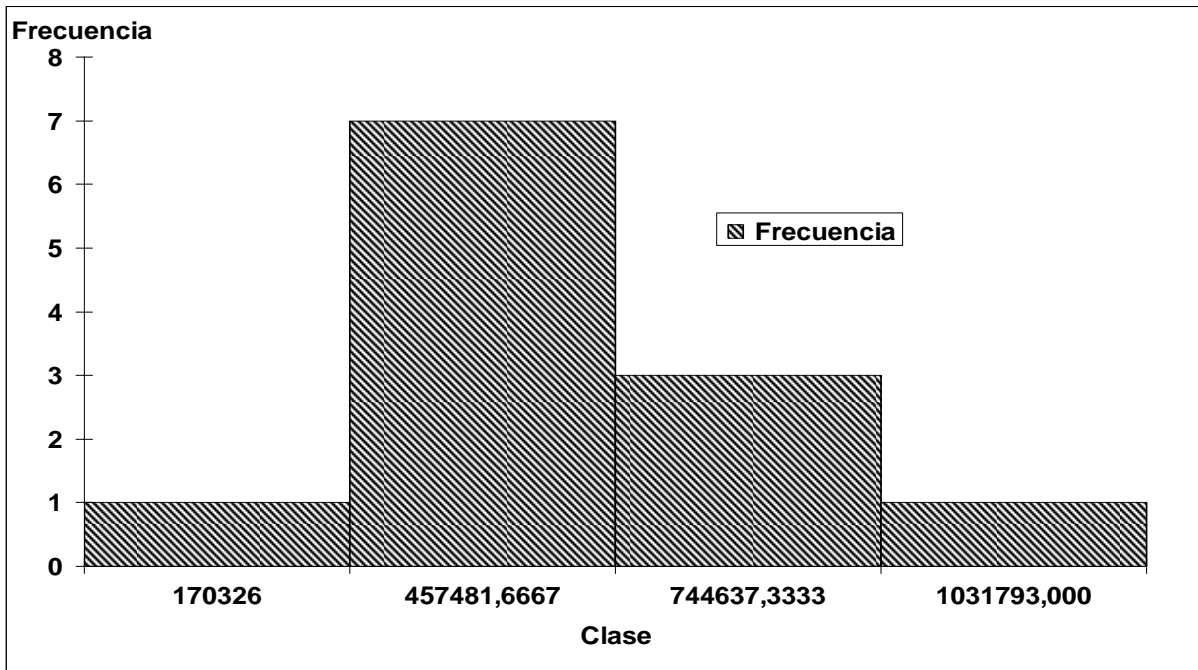


Figura 2.16 Histograma del consumo de diesel.

Se observa en el gráfico de la fig. 2.17, que no existe relación entre el consumo de diesel y el índice de consumo específico de combustible, esto se aprecia por el coeficiente de determinación (R^2) de 0,1078. Posee correlación positiva, con puntos muy dispersos alrededor de la pendiente. El modelo que permite realizar predicciones (pronósticos) está dado por:

$$g / kWh = 3E - 06 * Litros + 229,72 \quad (2.2)$$

donde:

g / kWh : Índice de consumo de la batería.

$Litros$: Consumo de combustibles diesel.

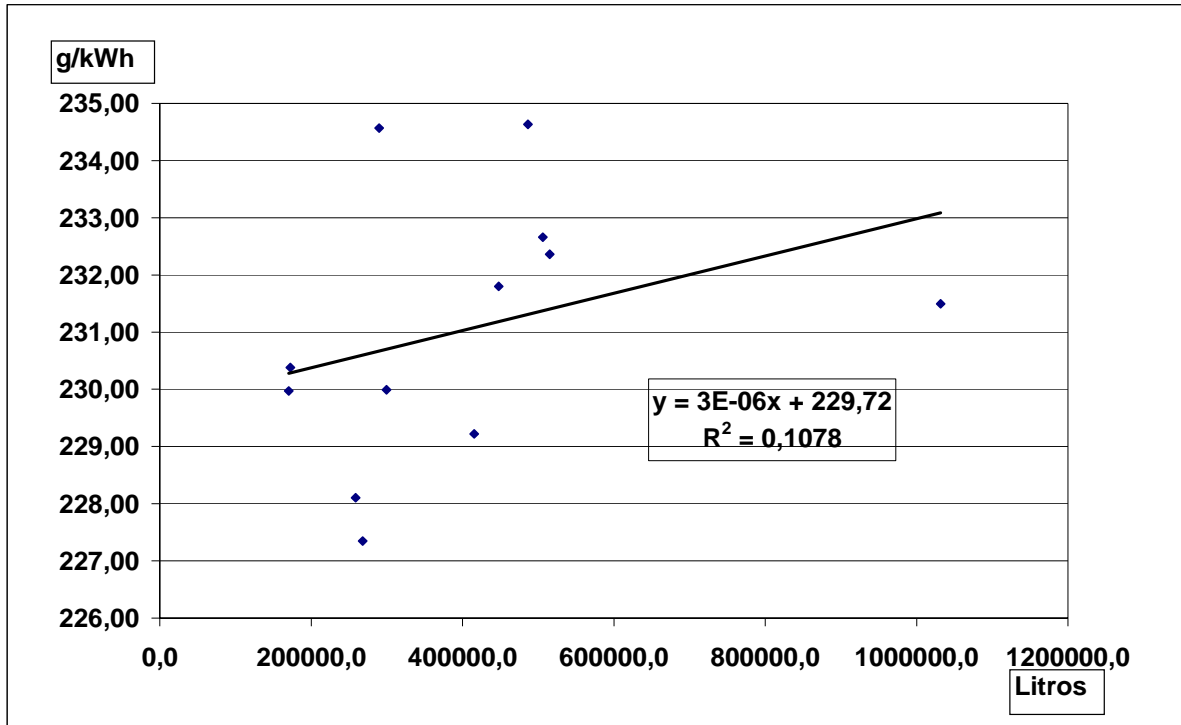


Figura 2.17 Diagrama de dispersión entre el consumo de diesel y el índice de consumo del diesel.

Para analizar la tendencia en el consumo de diesel en el año 2008 con respecto al comportamiento promedio alcanzado en el año 2007, se aplicó el mismo procedimiento utilizado en el consumo de aceite, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Tendencia del consumo de diesel en el año 2008 con relación al 2007.

Mes	Consumo real	Producción	kWh calculado	Diferencia	CUSUM
ene-08	170 326	638	-14	170 340	1 70340
feb-08	258 536	976	-13	258 549	428 889
mar-08	299 291	1 119	-12	299 303	728 192
abr-08	447 838	1 664	-10	447 848	1 176 040
may-08	506 043	1 855	-10	506 053	1 682 093
jun-08	486 502	1 762	-10	486 512	2 168 605
jul-08	289 797	1 063	-12	289 809	2 458 414
ago-08	515 109	1 896	-9	515 118	2 973 533

sep-08	1 031 793	3 809	-2	1 031 795	4 005 328
oct-08	415 512	1 546	-11	415 523	4 420 851
nov-08	268 073	1 004	-13	268 086	4 688 937
dic-08	172 334	642	-14	172 348	4 861 285

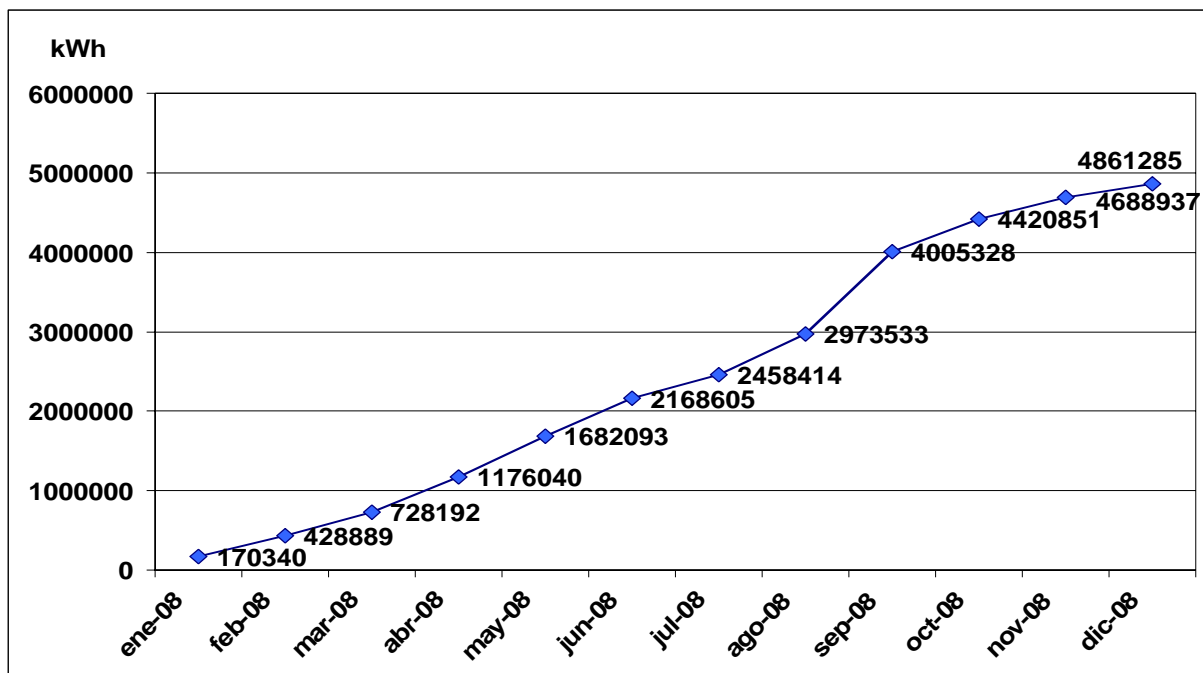


Figura 2.18 Tendencia en el consumo de diesel en el 2008 con relación al 2007.

El gráfico de la fig. 2.18 se observa un comportamiento similar al portador aceite, es decir, tampoco se obtuvieron ahorros, para este caso el portador para una misma producción el gasto acumulado equivalente a 4 861 285 litros en el mes de diciembre.

2.6.4 Análisis del comportamiento de la Generación Eléctrica

El gráfico de control de la fig. 2.19, muestra el comportamiento de la producción durante el año 2008, lo que utilizaremos como tiempo base para realizar el análisis de tendencia de este portador, aquí se aprecia en correspondencia con el consumo de diesel que en el mes de septiembre con una generación eléctrica de 3808,69

MWh presenta una anomalía en el sistema. Este portador alcanzó un valor promedio anual de 1497,8 MWh para una desviación estándar de 855,2 MWh.

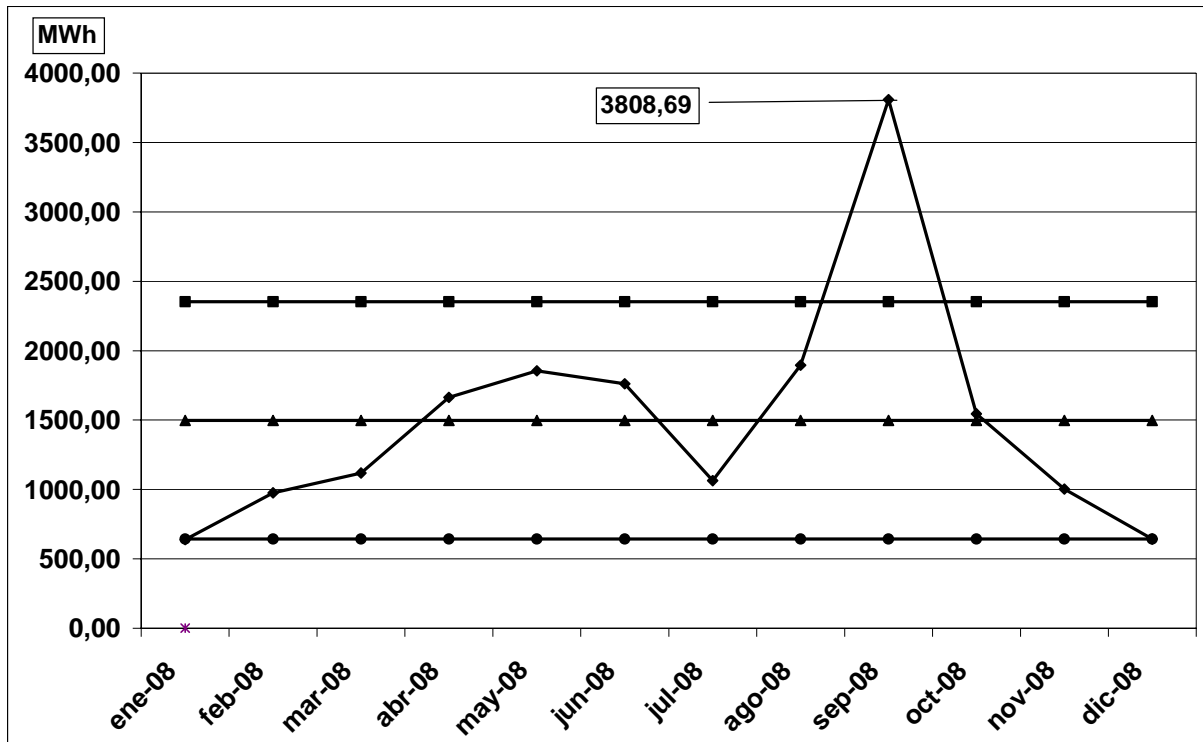


Figura 2.19 Curvas de comportamiento de la generación eléctrica.

Como se puede observar en el gráfico de la fig. 2.20 no existe relación entre producción y el índice de consumo específico de combustible, esto se aprecia por el coeficiente de determinación (R^2) de 0,0993. Es decir, no se puede predecir el C_e para determinados niveles de productividad, por lo que expresa la imposibilidad de utilizar este índice para evaluar el nivel de eficiencia de este indicador energético. En este punto es necesario resaltar que existen otros parámetros operacionales, tales como: presión del filtro de aceite, presión del filtro de aire, presión del filtro de combustible, entre otros; pero todavía no se ha podido identificar cual o cuales de ellos inciden directamente en la inestabilidad del mismo. En estos momentos la UNE-GD esta realizando estudios al combustible diesel y al aceite suministrado a la batería para analizar las posibles causas que influyen en el funcionamiento eficiente de los GED.

La expresión (2.2) que caracteriza la relación entre la producción y el índice de consumo de diesel en el año 2008, es la siguiente:

$$g / kWh = 9 E - 07 * kWh + 229,77 \quad (2.3)$$

donde:

g / kWh : Índice de consumo de la batería.

kWh : Energía entregada por la batería.

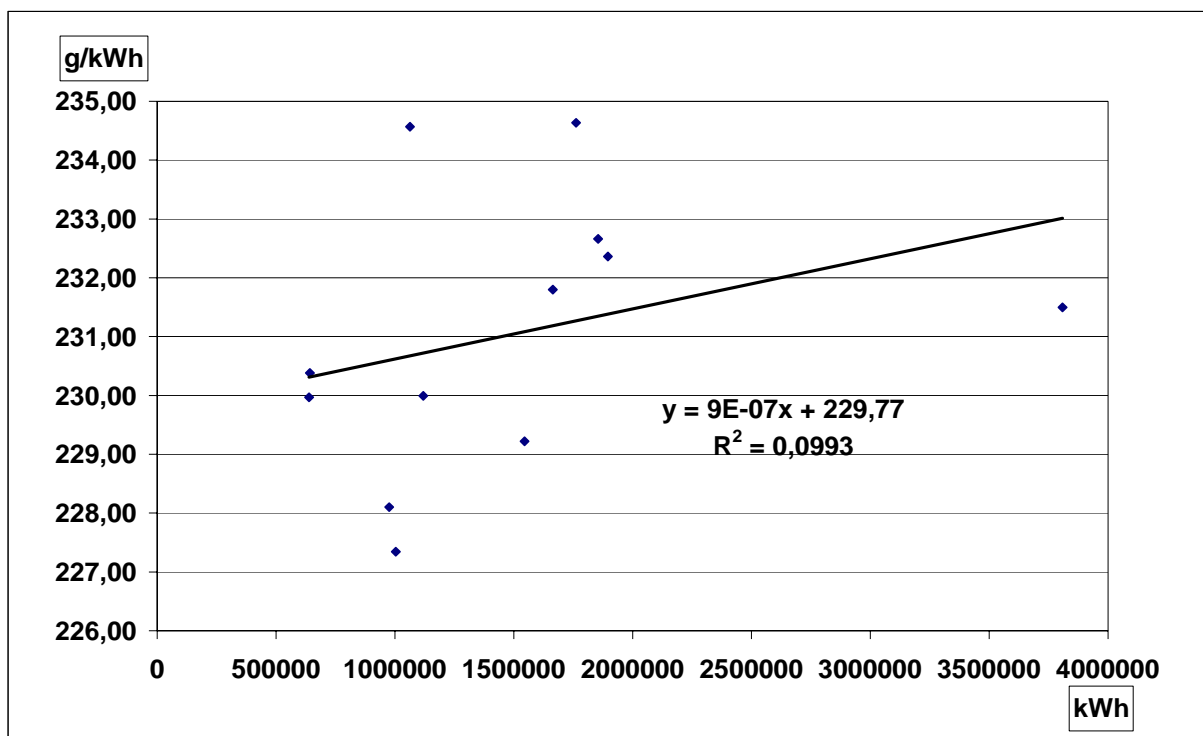


Figura 2.20 Diagrama de dispersión entre la producción y el índice de consumo del diesel.

Como se muestra en la fig. 2.21 el comportamiento del 80 % de esta variable se manifiesta entre los rangos 1 695 MWh hasta 2 751 MWh. Este gráfico tiene forma de campana con ligera asimetría en la parte izquierda, reflejando que los datos provienen de una distribución normal.

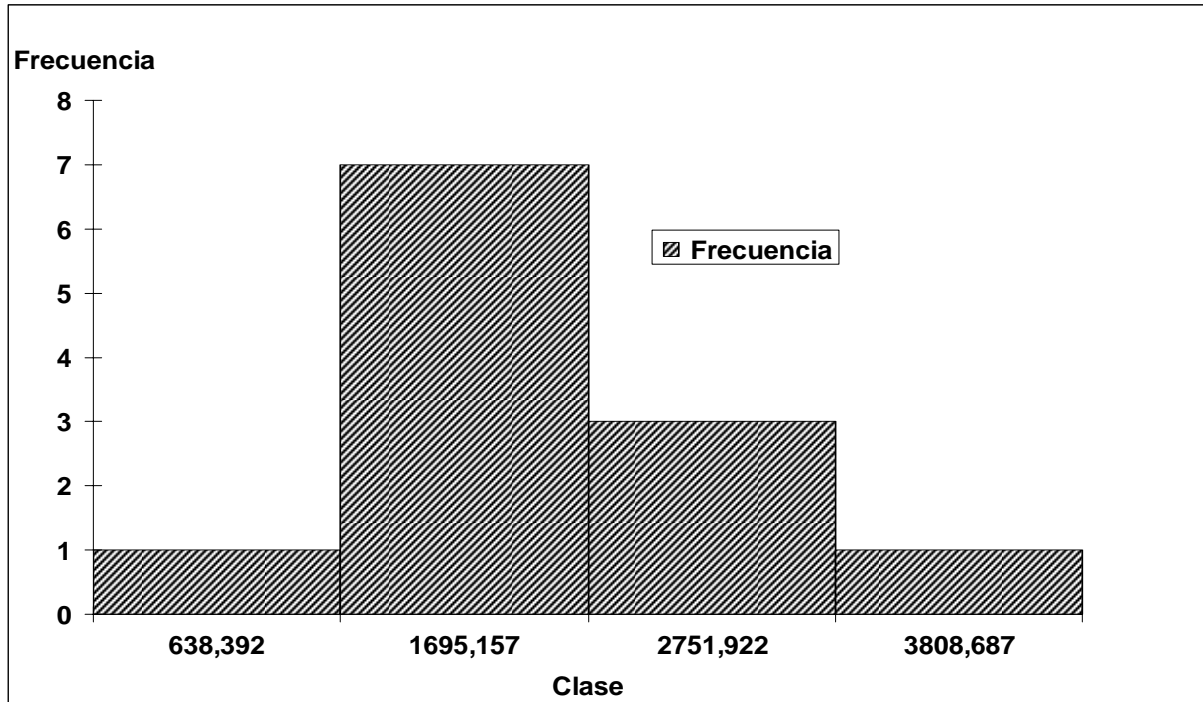


Figura 2.21 Histograma de la producción.

2.7 Análisis del comportamiento del índice de consumo específico de combustible mediante el Método de Regresión Múltiple.

Teniendo en cuenta que en los gráficos analizados (figuras 2.17 y 2.20) los parámetros de consumo de diesel y generación no poseen correlación lineal con el índice de consumo específico de combustible, se aplicó el método de regresión múltiple para determinar que relación existen entre estas dos variables en su conjunto y la variable analizada en cuestión. Este estudio se realizó con los datos obtenidos durante el trabajo de la batería al 75% de la carga, es decir, cuando generaba en paralelo con el SEN.

2.7.1 Modelo de Regresión Múltiple del consumo de diesel, generación eléctrica, densidad del combustible vs. índice de consumo específico de combustible.

En el modelo de regresión de la fig. 2.22, se puede observar que existe relación entre índice de consumo y las variables consumo, generación y densidad de 0,9602, el 92,20% de las variaciones del índice de consumo son explicadas por las variaciones

de estas variables, la posibilidad de que el modelo no sea significativo es de 0,0003, sin embargo la variable densidad no debe estar incluida en el modelo, la posibilidad de que su coeficiente de regresión sea cero es de 0,5640 considerada alta, lo que significa que en algún momento su coeficiente puede ser igual a cero.

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,960199817
Coefficiente de determinación R ²	0,921983689
R ² ajustado	0,888548127
Error típico	2,120952719
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Regresión	3	372,1327055	124,044235	27,5749422	0,00029927
Residuos	7	31,48908306	4,49844044		
Total	10	403,6217886			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	170,663595	103,1343334	1,65476994	0,14194543	-73,210351	414,5375409
Consumo(Lts)	0,000304463	6,52184E-05	4,6683545	0,00229191	0,00015025	0,00045868
Densidad	0,073539404	0,121453853	0,60549256	0,56395922	0,21365332	0,360732131
Generación(kWh)	-8,37997E-05	1,70258E-05	-4,92193258	0,00170988	0,00012406	-4,35402E-05

Figura 2.22 Modelo de Regresión Múltiple (C, G, D vs. I.C).

2.7.2 Modelo de Regresión Múltiple del consumo de diesel, generación eléctrica vs. índice de consumo específico de combustible

Aplicando el método de regresión paso a paso hacia atrás, eliminamos la variable densidad del modelo y se obtiene el siguiente resultado:

Se muestra en la fig. 2.23, que las variables consumo y generación cada una por sí solas no influyen significativamente en el índice de consumo, sin embargo en su conjunto la influencia es significativa al 5%, siendo el modelo $IC = 233,10 + 0,0003C - 7,6 \times 10^{-5}G$; el coeficiente de correlación lineal múltiple de 0,9581 y el coeficiente de determinación (R^2) de 0,9179, lo que significa que el 91,79% de las variaciones del Índice de consumo son explicadas por las variaciones del consumo y la generación. La posibilidad de que el modelo no sea significativo

(falso) es de $4,54 \times 10^{-5}$ y de que las variables consumo y generación no se incluyan en el modelo son de $2,1 \times 10^{-4}$ y $1,3 \times 10^{-4}$ respectivamente.

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,95806974
Coefficiente de determinación R ²	0,917897626
R ² ajustado	0,897372033
Error típico	2,03526125
Observaciones	11

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Regresión	2	370,4834817	185,241741	44,71966336	4,54384E-05
Residuos	8	33,13830685	4,14228836		
Total	10	403,6217886			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	233,0993687	1,882442812	123,828128	2,02231E-14	228,7584478	237,4402896
Consumo(Lts)	0,000275876	4,31762E-05	6,38954666	0,000211477	0,000176312	0,00037544
Generación(kWh)	-7,62231E-05	1,1079E-05	-6,8799473	0,000127076	0,000101771	-5,06748E-05

Figura 2.23 Modelo de Regresión Múltiple (C, G vs. I.C).

Las bandas de confianzas para el modelo anteriormente dado son:

Límite inferior: $IC = 228,76 + 0,0002C - 0,0001G$

Límite superior: $IC = 237,44 + 0,0004C - 5,07 \times 10^{-5}G$

Lo que significa que los valores del Índice de consumo se encuentran entre los resultados de los modelos de los límites.

Nota: es importante destacar que la variable densidad tiende a ser constante cada dos o tres meses y sus variaciones son muy pequeñas.

2.8 Conclusiones del Capítulo 2

1. Se estableció la estructura de consumo de la entidad, se identifica el diesel como portador de mayor incidencia en el consumo con 4 861 154,8 litros lo que representa el 97,52 % del consumo total; y en los costos con un gasto anual de 99 750,90 CUC lo que representa el 72,30 % de los gastos totales.
2. Se caracterizó los servicios contratados por la entidad, donde el servicio 220 V con un consumo promedio anual de 20 213 kWh representa el 92,5% del consumo total y el servicio de 440 V con un consumo promedio anual de 1 649 kWh representa el 7,5%. Los equipos que más influyen en estos consumos son las bombas, aireacondicionados, iluminación general, transformadores y ventiladores.
3. El rango donde se manifiesta el 80% del comportamiento del portador electricidad se encuentra desde los 15 195,5 kWh hasta los 39 106,3 kWh y de las cargas instaladas, los mayores consumidores por este concepto son los ventiladores con 60,2 kW, que representa el 46,88% del total.
4. Existe una relación lineal entre el consumo de aceite y la generación eléctrica con un coeficiente de determinación de 0,7726, lo que significa que el 77,26 % de las variaciones de la generación eléctrica serán provocadas por las variaciones del consumo de aceite.
5. El comportamiento del portador aceite en los primeros meses estuvo dentro de los parámetros permisibles pero en septiembre hubo un sobreconsumo de 3 798 litros con respecto a la media, lo que representa el 17,7% del consumo total. Este portador alcanzó un valor promedio anual de 1 790 litros para una desviación estándar de 821,14 litros. El rango donde se manifiesta el 80% del comportamiento del mismo se encuentra desde los 1 496 litros hasta los 2 647,0 litros.
6. En el análisis de la tendencia del consumo de aceite no se tuvieron ahorros con relación al comportamiento medio alcanzado en el año anterior y se tuvo un gasto acumulado equivalente a 4 819 litros.

7. Existe una alta correlación lineal de 0,9997 entre el consumo de combustible y la generación eléctrica, con un valor promedio de 11,728 MWh/mes de energía no asociada a la producción, lo que representa el 0,1% de la producción total.
8. El comportamiento del portador diesel en los primeros meses estuvo dentro de los parámetros permisibles pero en septiembre hubo un sobreconsumo de 1031793 litros con respecto a la media, lo que representa el 21,22% del consumo total. Este portador alcanzó un valor promedio anual de 405 096,2 litros para una desviación estándar de 233 090,5 litros.
9. El GED #7 con un consumo de 811 613,7 litros es el equipo más representativo en el consumo de combustible lo que constituye el 16,89% del consumo total por GED.
10. No existe relación lineal entre consumo de combustible e índice de consumo con un coeficiente de determinación de 0,1078. En el análisis de la tendencia del combustible con respecto al año 2007 reflejó que hubo un gasto acumulado equivalente de 4 861 285 litros para un variación anual de 457 481,6 litros a 744 637,3 litros.
11. Se determinó una anomalía en el sistema en el mes de septiembre de 3808,69 MWh, con una generación promedio anual de 1497,8 MWh y desviación estándar de 855,2 MWh.
12. No existe relación lineal entre la generación eléctrica y el índice de consumo específico de combustible, esto está determinado por el coeficiente de determinación de 0,0993.
13. El comportamiento del 80% de esta variable oscila entre los 1695 MWh hasta los 2751 MWh.
14. Se determinó en el modelo de regresión múltiple que los límites de variación del índice de consumo específico de combustible se encuentran entre 228,76 y 237,44 g/kWh.
15. En la evaluación de la eficiencia energética de la entidad no se tienen en cuenta el índice de consumo específico de aceite e índice de consumo específico del líquido refrigerante.

16. En la instalación no se cuenta con suficiente instrumentación que permita realizar estudios con mayor profundidad, por lo que se deben instalar flujómetros a la calidad de los tanques de operación y a la entrada de los tanques de uso diario de los GED. Se debe de contar con dispositivos para conocer la temperatura ambiente y la humedad relativa que incluyen en las pruebas de calidad por el fabricante.

CAPÍTULO 3. POTENCIALIDADES Y MEDIDAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA BATERÍA DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL DE MOA.

3.1 Introducción

En la determinación de las principales áreas de oportunidad para reducir los consumos en la batería se analizarán las alternativas para mejorar la eficiencia energética a partir de las ineficiencias detectadas en el proceso de diagnóstico energético, con las que se elaboran las medidas técnicas y organizativas que tributan a la comunicación y a la normalización de criterios entre los operadores y directivos de la entidad. Los objetivos específicos de este capítulo son:

1. Determinar las principales áreas y equipos que influyen en el consumo de combustible.
2. Proponer las alternativas para mejorar la eficiencia energética en el uso de los portadores energéticos en la batería a partir de las deficiencias detectadas en el transcurso del diagnóstico energético.

3.2 Personal y Puestos claves en la eficiencia energética de la batería.

3.2.1 Identificación de los operarios que inciden en la eficiencia energética.

Para la operación de los GED la dirección de la empresa se ha trazado un Plan de Capacitación con el objetivo de que el personal que opera y dirige los emplazamientos posea la mejor preparación posible. Los operarios que pasan esta primera etapa son enviados al Centro Nacional de Certificación Industrial donde reciben la preparación básica y luego son certificados de forma práctica en la operación de un GED. En estos cursos se imparten las asignaturas básicas para tener conocimientos de electricidad, matemáticas, comunicaciones, además de los procedimientos y normas a seguir en la Empresa Eléctrica. La deficiencia fundamental detectada en este programa se encuentra en la falta de orientación en el

uso eficiente de la energía de forma sistemática. Las entrevistas realizadas a operarios de la Batería de Moa mostraron que:

- No se tiene dominio de los consumos de portadores energéticos que intervienen en el proceso productivo de la instalación; y de los costos que estos representan.
- Los factores externos e internos que afectan la eficiencia energética no se encuentran definidos.
- No se llevan a cabo autodiagnósticos energéticos con periodicidad.
- Existe un plan de medidas de ahorro establecidas, pero estas no responden al banco de problemas de la entidad.
- No se encuentran identificados los operarios y actividades que deciden los altos niveles de consumos y costos energéticos.
- El personal técnico no ha recibido capacitación en eficiencia o gestión energética en los últimos dos años.

Para la solución de problemas a los diferentes niveles como son la falta de medios de medición, condiciones para el trasiego de aceite y líquido refrigerantes, salideros, descargas de combustibles los trabajadores han realizado aportes significativos que han contribuido de forma directa en evitar el deterioro de las máquinas, pero la falta de motivación y reconocimiento han traído como consecuencia que se pierda esta iniciativa tan importante en el marco de la Revolución Energética.

3.2.2 Determinación de los puestos claves.

Los puestos claves son aquellos equipos o conjuntos reducidos de equipos de un proceso cualquiera que tienen una incidencia determinada en el consumo real de los portadores energéticos primarios o secundarios [11]. A partir de este concepto, se realizó un análisis de la información energética de la entidad para lograr discernir quienes eran los puestos claves que más incidían en el consumo general. El estudio reflejó que los 8 GED constituyen los principales puestos claves en el consumo de combustible de la instalación.

3.2.2.1 Establecimiento de Índices de consumos en cada puesto clave.

Para el establecimiento de los puestos claves se realizó la estratificación del consumo de diesel a partir de la serie de datos históricos de los consumos de cada uno de los GED que componen la batería. En la Tabla 7 se muestran los valores de los consumos de diesel durante el año 2008, siendo el GED # 7 con el 16,89 %, el equipo de mayor peso en el consumo total por GED.

Tabla 7. Estratificación del consumo de diesel

Equipo	Consumo de diesel(L)	%	% acumulado
GED # 7	811613,7	16,89	16,89
GED # 8	716390	14,91	31,79
GED # 3	692751	14,41	46,21
GED # 1	618145	12,86	59,07
GED # 2	558643	11,62	70,69
GED # 6	528060	10,99	81,68
GED # 4	519062,8	10,80	92,48
GED # 5	361429,8	7,52	100,00
TOTAL	4806095,3	100,00	

En el gráfico de pareto de la fig. 3.1 se muestra el comportamiento del consumo de diesel por cada grupo en el año 2008, confirmando que el GED # 7 con 811 613,7 litros para 2239 horas trabajadas; y el GED # 8 con 716 390 litros para 2004 horas trabajadas son los de mayor consumo, a diferencia del GED # 5 con 361 429,8 litros y 1140 horas trabajadas.

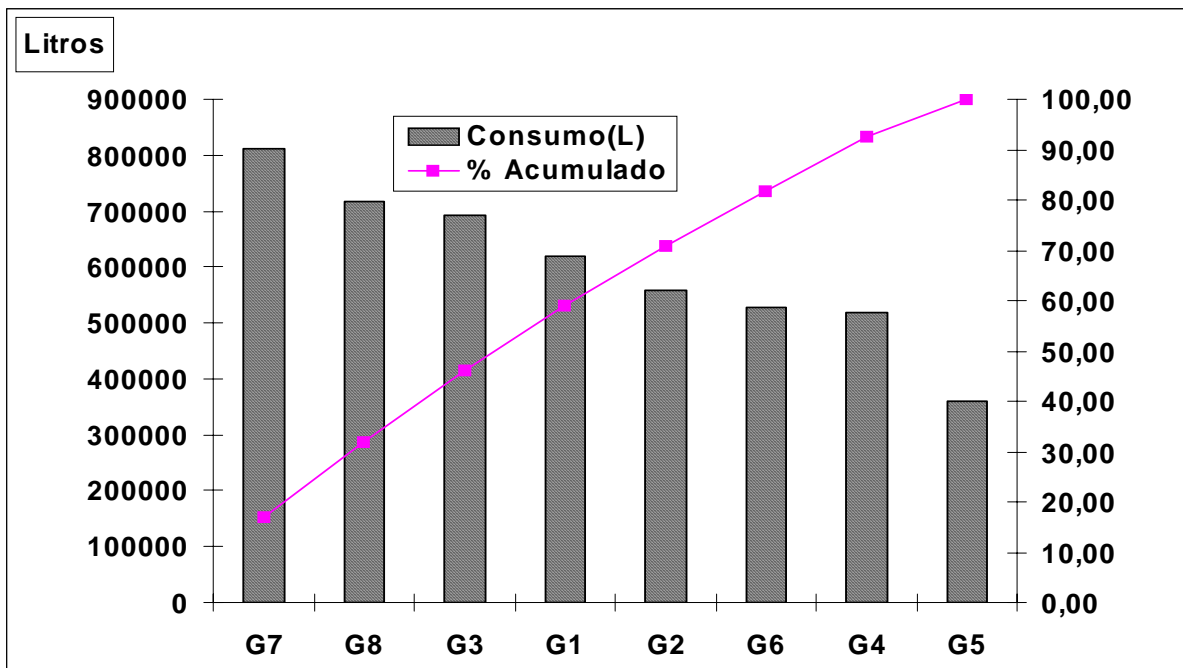


Figura 3.1. Porcientos acumulativos de la estratificación del consumo de diesel.

En la tecnología para la gestión energética, la piedra angular es sin duda el término de "*puesto clave*" y dentro del mismo, el elemento primordial lo constituye el *Índice de consumo*. En la entidad se establece un índice de consumo específico de combustible de forma global que no permite discernir donde se esta produciendo el despilfarro o ineficiencia en la explotación de la energía, por lo que se hace necesario realizar un análisis del comportamiento de este indicador energético en cada puestos claves.

Como se puede apreciar en el gráfico de barra de la fig.3.2, el comportamiento del índice de consumo específico de combustible difiere totalmente del establecido por el fabricante de 213 g/kWh, donde el GED # 6 es el de mayor índice de consumo específico con 231,85 g/kWh.

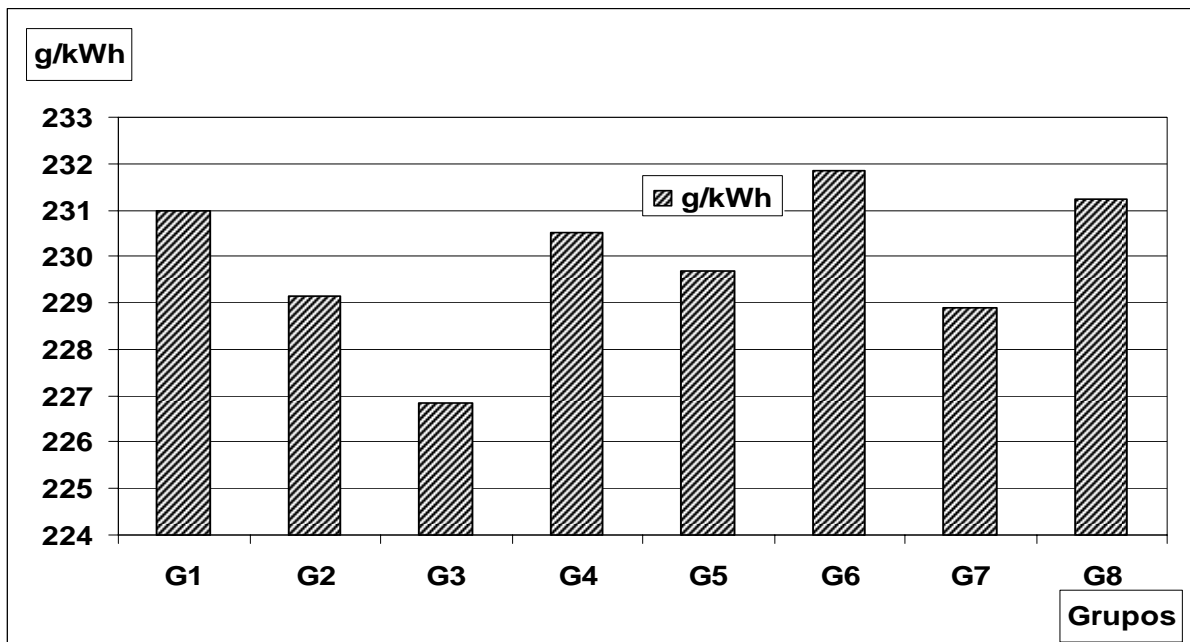


Figura 3.2. Comportamiento del índice de consumo específico por cada GED

Este resultado al parecer contradictorio se debe a que en el cálculo del índice de consumo específico por parte de la UNE-GD provincial no tiene en cuenta varios factores que introducen pérdidas energéticas en el sistema, este comportamiento no es común en los estudios de este tipo, pero al no existir todos los aseguramientos necesarios para la determinación de este índice se obtiene este resultado anómalo.

Aspectos que conlleva a un análisis de las deficiencias detectadas en el proceso productivo, como se muestra a continuación:

3.3 Identificación de las deficiencias del proceso productivo de la batería.

En el diagnóstico de recorrido realizado a la entidad se identificaron que en la medición del combustible el problema con la lectura de la energía entregada por el AGC ubicado en el interruptor totalizador es el más significativo.

El SCADA Eros calcula el valor de la energía tomando muestras de valores de corriente y voltaje a través de los transformadores de medición y lo multiplica por la cantidad de horas de trabajo de cada máquina, es decir, calcula la energía como la

variación de la potencia con respecto al tiempo, esto por la forma en que se encuentra ubicado los transformadores solamente lee la energía a partir del momento que cierra el interruptor totalizador como se muestra en la fig. 3.3.

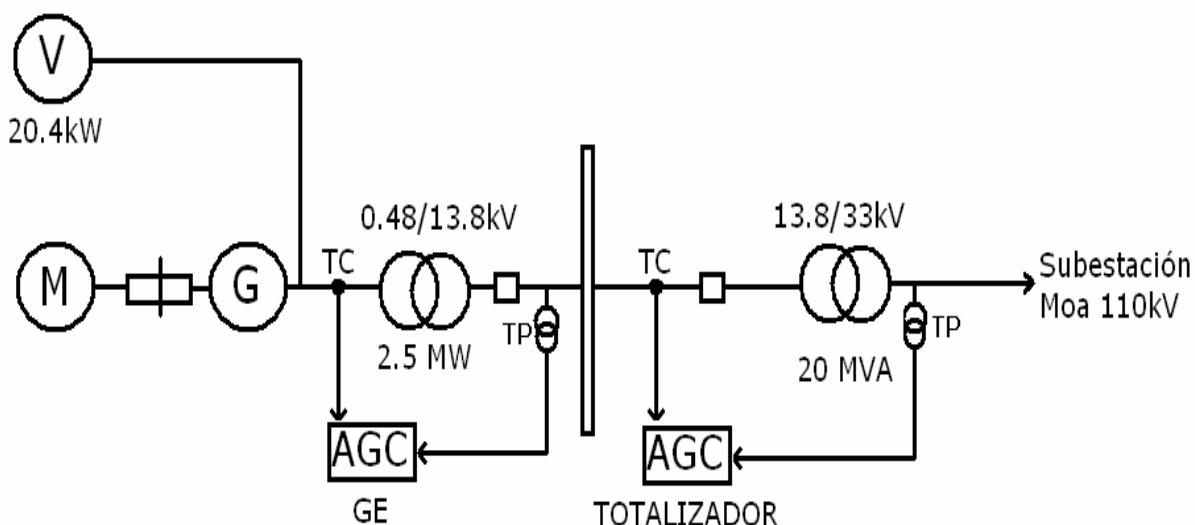


Figura 3.3 Esquema simplificado de conexión de los circuitos de medición de tensión y corriente con el AGC del GED.

La lectura de la energía entregada diaria según el AGC del panel de media tensión se toma teniendo en cuenta la diferencia entre la lectura de la 12:00 pm del día anterior hasta las 12:00 pm del día en curso. El dispositivo registra los valores desde el instante en que entra al SEN el primer GED hasta el momento de la salida del sistema de la última máquina. Teniendo en cuenta esto, se tomaron las lecturas de la generación en cada grupo independientemente; y se pudo comprobar que la suma de las lecturas realizadas no corresponde con la del AGC totalizador.

Para el cálculo del consumo de combustible correspondiente a la energía entregada por el AGC totalizador se determinaba por la ecuación siguiente:

$$C_c = \frac{G_e * C_e}{R_o} \quad (3.1)$$

donde:

R_o : Densidad del combustible que nos dice cuantos gramos hay en un litro de combustible $[g / Lts]$.

C_e : Consumo específico de combustible en una hora de trabajo $[g / kWh]$.

G_e : Generación total en función del tiempo $[kWh]$.

C_c : Consumo de combustible $[Litros]$.

Esto da lugar a una existencia fantasma en la instalación, por lo que se decide calcular el consumo teniendo en cuenta las lecturas de los tanques de recepción y de operaciones después de cada sincronización de la batería y realizándolo en un horario fijo, a las 24:00 hrs.

En el proceso de sincronización los GED se deben alcanzar los parámetros requeridos por la máquina, durante el tiempo que demora el grupo en alcanzar estas magnitudes se encuentra abierto el interruptor totalizador y por ende no se entrega energía al SEN, no obstante, se debe tener presente, que en este período se encuentran en funcionamiento dispositivos consumidores de energía, como son:

- Ventiladores del sistema de enfriamiento del MCI.
- Generador sincrónico de CA.
- Transformadores de potencia de 20 MVA.

Estos dispositivos representan un consumo de combustible que no se tiene en cuenta a la hora de determinar el índice de consumo de la batería, es decir, son pérdidas de energías propias del proceso de generación.

Además de estas pérdidas existen otras que tampoco se analizan como son:

- Las pérdidas por mantenimiento en la batería.
- Las pérdidas por errores de cálculos del índice de consumo.

- Las pérdidas eléctricas en el motor de combustión interna.
- Las pérdidas por trasiego de combustible (para ello tomaremos como referencia el 0,15% tomado por la entidad).

El efecto que tienen todos los aspectos mencionados sobre el consumo de diesel radican principalmente en:

1. Pérdidas de combustible por concepto de ventiladores de enfriamiento:

Los ventiladores conectados a los grupos de la batería tienen un consumo de 61,4 kW, según el esquema de medición el consumo de los mismos influye en la entrega al SEN, demostrándose esto en la disminución de la potencia de entrega de la batería al conectarse los ventiladores y ajustarse sus parámetros. En el momento de arranque y de parada de las máquinas, es decir, cuando no se encuentran generando, los ventiladores están trabajando y por ende consumiendo energía, lo cual equivale a un gasto de combustible que no es registrado según la generación dada por el AGC y el consumo correspondiente. Los ventiladores inicialmente tenían una potencia de 16,4 kW, este parámetro se elevó a 20,4 kW por cada ventilador. Según el AGC del panel de media tensión, para producir 1425 kWh se tiene un gasto de combustible de 385,6 litros, lo que equivale a 0,2705 litros/kWh.

2. Pérdidas de combustible por concepto de arranque de los GED de la batería:

Cuando la Batería sincroniza al SEN demora un tiempo promedio de 19,8 segundos desde que se acciona el interruptor hasta que se comienza la sincronización, a este intervalo de tiempo lo llamamos tiempo de arranque, durante el mismo el motor tiene un consumo de combustible que no es registrado por el AGC del panel de media tensión y que influye en el índice de consumo específico del GED.

En los trabajos experimentales realizados en las baterías de Nipe y Nicaro (con características similares a la batería de Moa), se llegó a la conclusión que en un arranque el nivel de combustible desciende 1,43 cm, lo que equivale a 18,59 litros y

promediando los resultados de todas las mediciones se llegó a la cifra promedio de 18,56 litros para el arranque de una Batería de 8 GED [4] (*ver Anexo 6*)

3. Pérdidas de combustible por concepto de trabajo en vacío de los GED de la batería:

Cuando se recibe la orden de sacar la Batería del SEN y se abre el totalizador, los interruptores de los GED comienzan a abrirse automáticamente a una razón de 15 a 20 segundos entre cada uno, comenzando por la máquina de más horas de trabajo. Luego que la batería se encuentra fuera del sistema los GED continúan trabajando en vacío (sin carga) hasta alcanzar los parámetros técnicos requeridos por el motor para su parada (tiempo de enfriamiento), que contempla la temperatura del líquido refrigerante y la temperatura del aceite. La temperatura del líquido refrigerante a medida que transcurre el tiempo, desciende de un valor de $81,1^{\circ}\text{C}$ a $74,5^{\circ}\text{C}$; relacionado con esto también ocurre una disminución en la temperatura del aceite.

En la documentación técnica de los GED se describe que está provisto de 16 cilindros, los cuales trabajan durante todo el proceso de generación. Durante el trabajo en vacío tenemos la particularidad de que ocurre un corte de cilindros, es decir, cuando la máquina alcanza en su descenso los 13,8% de su capacidad los cilindros comienzan a conmutar automáticamente alternándose entre ellos, por lo tanto la inyección de combustible disminuye. Se ha determinado el consumo en vacío en 0,915 *litros/min* aproximadamente, lo que equivale a 54,9 *litros/horas* en cada GED. Mientras el trabajo en vacío el motor desciende su temperatura de 78°C a $74,2^{\circ}\text{C}$, a los 3 minutos se ha alcanzado la temperatura requerida para que se ponga fuera de servicio ($74,2^{\circ}\text{C}$), en la cual se mantiene un intervalo de 1 minuto sin ningún cambio o descenso. Si se ajusta el tiempo de trabajo en vacío y el motor llega a $74,2^{\circ}\text{C}$ en 3 minutos en vez de los 4 prefijados, significaría un ahorro significativo, que asciende a 1895,29 litros de combustible.

4. Pérdidas de combustible por concepto de mantenimientos en la batería:

En los trabajos de mantenimientos efectuados en la batería, tanto por horas trabajadas de la máquina como por cambio de filtros, se realizan pruebas al GED para comprobar que los parámetros se encuentren en los valores permisibles. Estas pruebas aunque son de menos de 20 segundos en la mayoría de los casos, al sumarse dan una cifra significativa de consumo de combustible.

Entre los factores que influyen en el sobreconsumo de combustible se encuentran la calidad del combustible y la realización de los mantenimientos en tiempo y forma.

En este caso se debe tener presente que cuando el motor recibe una sobreexplotación existe un desgaste de las partes mecánicas y los parámetros de eficiencia caen, del mismo modo, las irregularidades en los mantenimientos influyen de forma significativa en los consumos de aceite de los GED, ocurriendo lo mismo con el líquido refrigerante necesario para mantener la temperatura del sistema en los parámetros permisibles.

Según el fabricante, el valor de azufre que debe tener el combustible que se le suministre a las máquinas no debe exceder del 0,5 % (*ver Anexo 7*), y el que se le esta suministrando tiene un valor de 0,8 % (*ver Anexo 8*), esto provoca variaciones en la potencia de entrega del motor, desgaste corrosivo en las zonas de baja temperatura de los pistones y camisas de cilindros; y al posterior consumo excesivo de aceite y escape de gases. Este inconveniente afecta principalmente la duración de los filtros de combustible, por lo que se realizó un estudio en la batería para caracterizar la vida útil de un filtro de combustible en su mayor tiempo de trabajo (5890 horas). En el análisis efectuado a los datos históricos (18/10/2006 al 23/04/2009) de las presiones se pudo llegar a la conclusión que a medida que aumenta las horas de trabajo disminuyen los valores de presión, como se observa a continuación en la fig. 3.4.

La línea de tendencia que se muestra en el gráfico tributa a una ecuación polinomial de cuarto orden y con un coeficiente de determinación de 0,9429. A las 1000 horas

de trabajo del filtro, la presión tenía un valor de fue de 5,4 bar, como se analizó en [18].

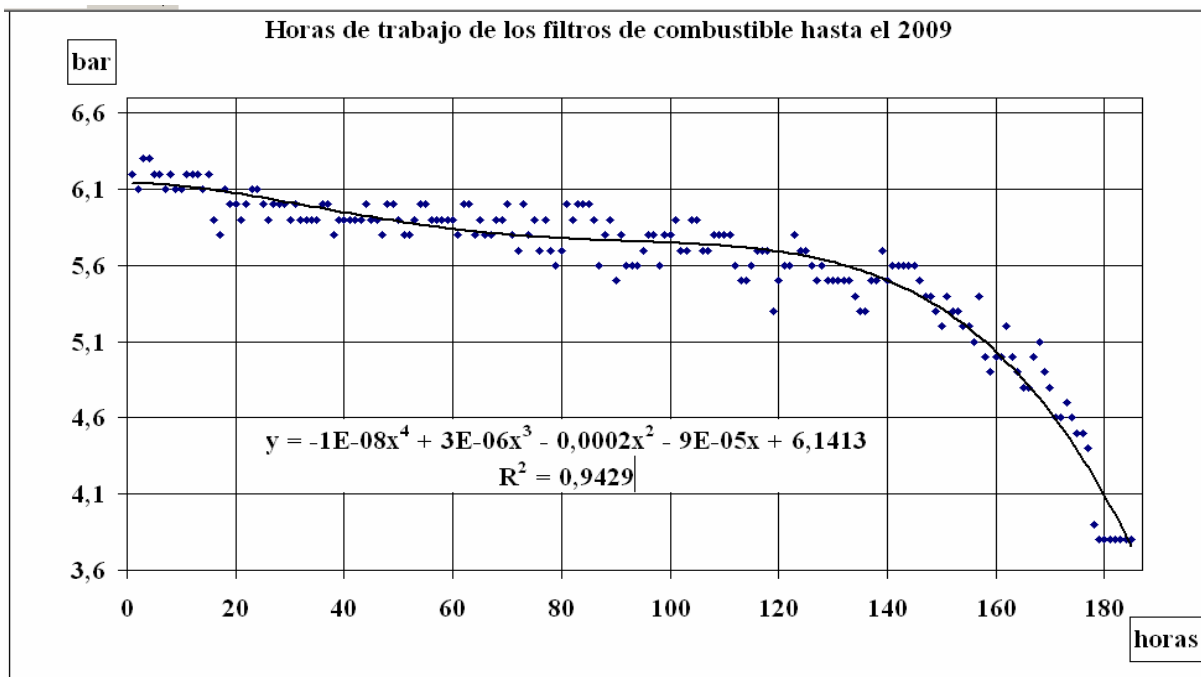


Figura 3.4 Identificación de la vida útil de un filtro de combustible.

5. Pérdidas de combustible por errores en el cálculo de índice de consumo específico en la batería:

En el establecimiento del índice de consumo específico real para la batería de grupos electrógenos diesel primeramente se comete el error de establecer de extrapolar el índice calculado en GED aislados a un índice calculado en un sistema de batería.

El monolineal de la subestación aislada difiere con el de la batería fundamentalmente en la ubicación de los TC (Transformadores de Corriente). En los grupos aislados están ubicados antes del transformador de 2,5 MVA; y en las baterías los TC se encuentran directamente a la barra de 13,8 KV, es decir, luego de los transformadores de 2,5 MVA, esto significa que las pérdidas del transformador en los grupos aislados se encuentran dentro de las mediciones registradas por el AGC, no siendo así en las baterías, por tanto, para un consumo de combustible fijo el AGC de

los grupos aislados registrará más energía entregada al SEN que un GED de una batería, la diferencia que se tiene entre estas dos mediciones es la pérdida de transformación. Si este fue el punto de vista tenido en cuenta para el establecimiento del índice de consumo en un GED aislado, para las baterías se debe sumar a la energía entregada al SEN la energía que se pierde por conceptos de transformación.

6. Pérdidas en el motor de combustión interna

En el motor diesel para el calentamiento del líquido refrigerante se utiliza una resistencia eléctrica de 9 kW, la misma trabaja 1 minuto y descansa 5 minutos. Para un horario de 8 horas de explotación de los grupos trabajaría 1,08 horas, al año sería 3153, 6 horas para los ochos grupos por lo representa una pérdida anual de 28.38 MW/horas como se analizó en [5]

7. Pérdidas por trasiego de combustible en la batería

Entre los componentes químicos del combustible diesel se encuentra el H_2O , la cual representa un % considerable en la constitución del mismo, en los tanques de recepción ocurren procesos químicos donde se separa un % de agua del combustible y las impurezas, para que las trazas sólidas que pueda tener y esta mezcla agua-combustible no afecte el funcionamiento de los GED se centrifuga previamente a su almacenamiento en el tanque de operaciones, la centrífuga expulsa aproximadamente 11 litros de mezcla agua-combustible y sólidos cada 26 000 litros de Diesel. La mezcla que resulta del centrifugado se envía al Pozo Oleaginoso para luego incorporarlo al Tanque #4 para recuperar la mayor cantidad posible de combustible presente en la mezcla. Por este concepto se tiene un total de 2390,6 litros de mezcla agua/combustible/sólido enviados por la centrífuga al pozo oleaginoso de la batería. El nivel de este tanque 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.

Todo este combustible perdido (depende de la calidad del combustible) en paralelo con el combustible consumido en los mantenimientos y pruebas de las Baterías afectan el índice de consumo específico y se reportan dentro del combustible consumido según la generación. Teniendo en cuenta el índice de consumo específico de la batería según las horas trabajadas, se llega a la conclusión de que el consumo de los GED se deteriora a medida que aumenta su explotación, es decir, con el transcurso del tiempo de trabajo, los parámetros mecánicos se deterioran, por lo que el índice de consumo específico aumenta proporcionalmente.

Todo esto ha traído como consecuencia la disminución de la eficiencia de los GED y la disminución de la disponibilidad con el transcurrir del tiempo, por lo que deben tomarse medidas inmediatas con el objetivo de minimizar las pérdidas que se producen y llevar los motores a los regímenes de trabajo normales, realizando modificaciones para mejorar el proceso de combustión.

Con el objetivo de organizar todos los factores causales que pueden originar las deficiencias detectadas en el proceso productivo se recurre a el diagrama causa y efecto o Espinas de la Ineficiencia, como se expuso en el Capítulo I.

3.4 Análisis de las deficiencias detectadas en la Instalación.

Entre las principales deficiencias detectadas, que afectan la eficiencia de los GED y con la realización previa del diagnóstico realizado, podemos citar.

- La falta de capacitación del personal en materia de Gestión Energética.
- Errores cometidos a la hora de la realización de las lecturas y los cálculos de los parámetros que indican la eficiencia.
- La utilización de combustibles con diferentes densidades y poder calórico del que dicta el fabricante.

- Falta de instrumentos de medición para la determinación exacta del índice de consumo y el consumo de combustible.
- La sobreexplotación de las máquinas lo que provoca la violación del tiempo establecido para el mantenimiento.
- Irregularidades en los mantenimientos a las máquinas.

Como resultado de las deficiencias detectadas se propone la elaboración de las mejoras en la batería, para ello se parte del análisis de la secuencia que tiene que tener estas medidas y su organización.

A continuación se muestra en la fig. 3.5, las Espinas de la Ineficiencia de los problemas detectados.

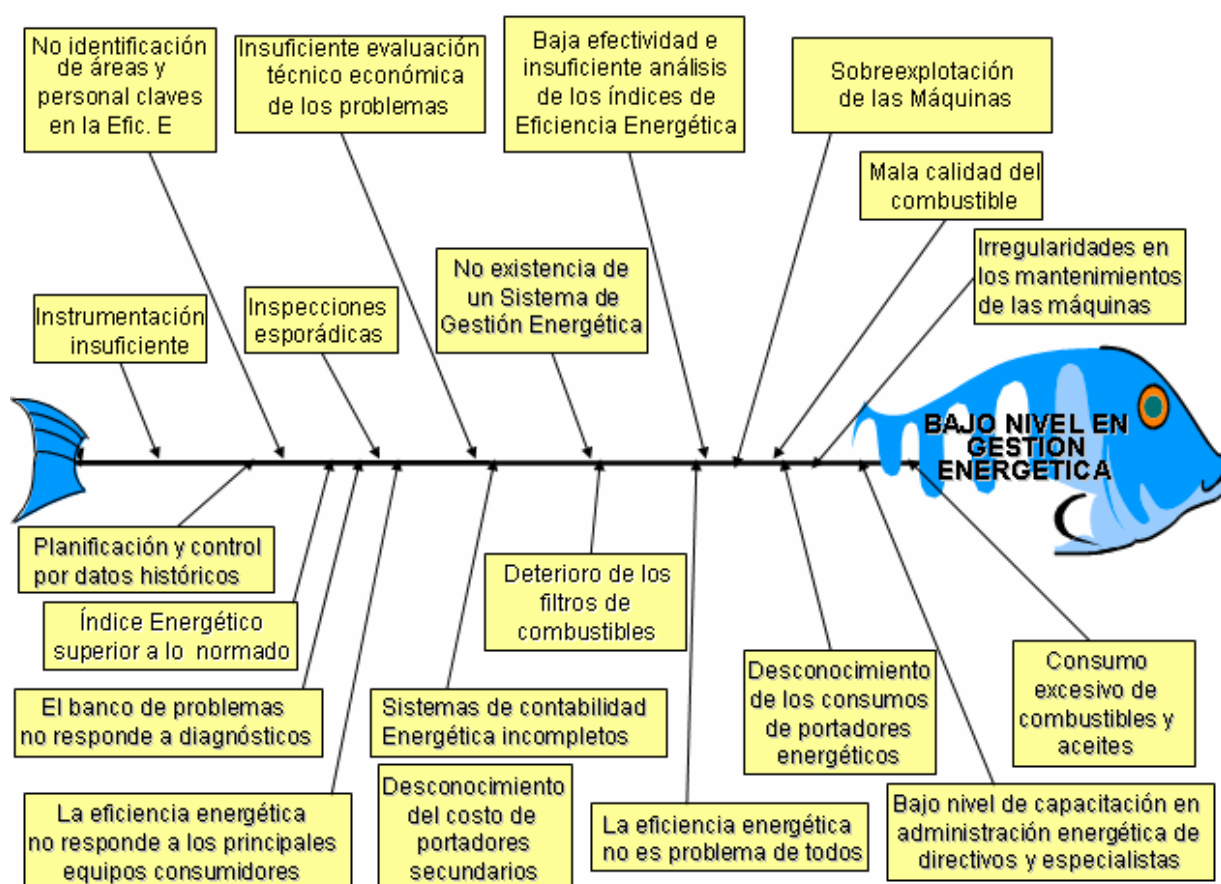


Figura 3.5 Esquema de la Ineficiencia.

3.5 Secuencias de mejoras.

Disponer de una secuencia de mejoras que sea aceptable y entendida por todos aquellos responsables de entender un problema o implantar un sistema de control energético. Para ello se consultaron varias metodologías [3] (*ver en Anexo 9*) de todas las enunciadas, la utilizada en este estudio fue la de JURAN. La secuencia de mejoras que establece consiste en:

1. Prueba de necesidad.
2. Síntomas.
3. Causa.
4. Remedio.
5. Acción.

Las secuencias de manera general abordan 4 etapas fundamentales: Planear, Hacer, Verificar, y Actuar.

Planear: implica la definición de objetivos y establecimiento de los planes y procedimientos para alcanzarlos. Requiere de un diagnóstico y análisis utilizando las herramientas básicas y de avanzada, para conocer las verdaderas causas de lo que consideramos desviado del comportamiento esperado o deseado.

Hacer: significa ejecutar las acciones que, a partir del diagnóstico, consideramos resuelvan el problema, esta etapa involucra la recopilación de datos, su análisis, búsqueda de soluciones, alternativas y probar soluciones.

Verificar consiste en comparar el objetivo y metas planteados con datos reales, con el propósito de saber si avanzamos por el camino correcto, o bien, hay que aplicar medidas correctivas.

Actuar: involucra ajustar lo planeado en función de los resultados de la verificación o introducción en la práctica de lo planeado porque los resultados han sido

satisfactorios, en este último caso se establece un mecanismo de control de lo introducido para garantizar la normalización del nuevo procedimiento.

Los pasos dentro de esta secuencia pueden variar en dependencia de los objetivos especificados de su aplicación, un resumen de las más usadas se presenta en la tabla anterior.

3.5.1 Organización para la mejora.

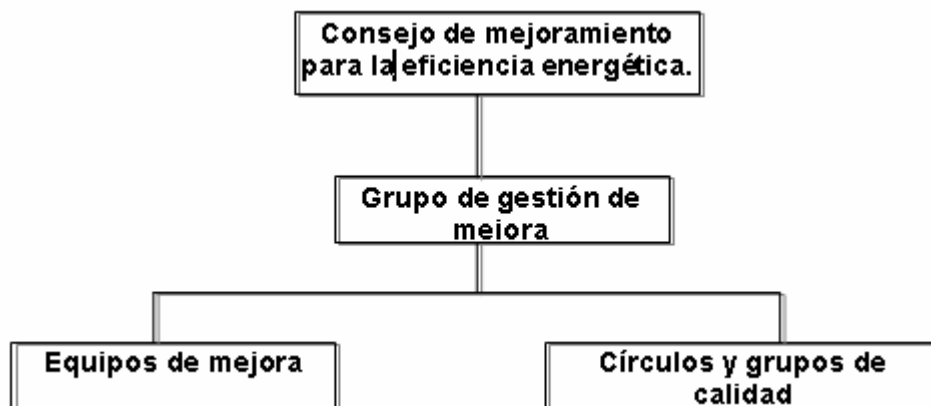


Figura 3.2 Organización para la mejora de la eficiencia energética.

Para aplicar la secuencia de mejora es necesario establecer determinada organización en la entidad que facilite su ejecución. Esta organización debe combinar los aspectos propios de una estructura formal o funcional existente con los de otra de carácter informal no descrita en el organigrama general de la instalación, que nos permite gran flexibilidad al operar. Una estructura organizativa adecuada a proyectos de mejora de la eficiencia energética de la batería podría ser la mostrada en la fig. 3.2.

El Consejo de Mejoramiento para la eficiencia energética debe estar formado por la máxima dirección de la batería y tiene como misión coordinar y guiar todas las actividades del plan general de incremento de la eficiencia energética.

El grupo de gestión de mejora se formará con especialistas del grupo de desarrollo de la empresa, su misión principal es establecer un sistema de aseguramiento de la

eficiencia energética de la planta para garantizar la reducción de los costos energéticos a valores extremos

El círculo de calidad se integrará voluntariamente por un supervisor y varios obreros, con el propósito de resolver un problema específico de elevación de la eficiencia o ahorro de energía, mediante la utilización de una metodología de análisis apoyada en el uso de herramientas básicas, que le permite diagnosticarlo y dar seguimiento a las acciones que adopten para resolverlo, a fin de hacer permanente la mejora que implanten.

El grupo de calidad es prácticamente lo mismo que un círculo, sólo que al nivel de obreros, orienta su trabajo también a resolver problemas o establecer mejoras de carácter administrativo por lo que sus proyectos sirven de apoyo al Programa Anual de Mejora.

La diferencia fundamental entre los equipos de mejora y los círculos y grupos de calidad, es que estos últimos solucionan problemas operativos en su lugar de trabajo para elevar la eficiencia energética o ahorrar energía, mientras que el primero resuelve aspectos vitales de importancia estratégica. Generalmente los grupos y círculos de calidad utilizan herramientas básicas para su trabajo, mientras los equipos requieren de las herramientas especializadas.

A continuación proponemos las mejoras a las deficiencias encontradas en el diagnóstico energético realizado en instalación.

3.6 Propuestas de mejora para la eficiencia energética en la batería.

Dado que no existe medición de los consumos de agua y no se utilizan los índices de consumo de aceite y líquido refrigerante en cada uno de los diferentes puestos claves, no ha sido posible hacer una caracterización energética a profundidad. Resulta necesario elaborar y desarrollar un programa de instalación de instrumentos de medición que permitan ir estableciendo estos índices y que garantice la fiabilidad en la medición del de consumo de combustible.

El trabajo realizado permitió detectar diferentes áreas de oportunidad para reducir los consumos y costos de energía en la entidad como son:

1. Mejoramiento de las normas de entrega y recepción de combustible.
2. Aforar el tanque oleaginoso para determinar el volumen del mismo, del mismo modo se hace necesario la utilización de “Pasta de Agua” para determinar el % de agua que hay en el pozo oleaginoso y en el tanque # 4.
3. Evaluar la posibilidad que todos los motores de serie 4000 se ajusten por el código 6211(tiempo de parada de enfriamiento) ajustado por el fabricante en 240 a 180 segundos.
4. Se instalen y calibren los flujómetros a la entrada de cada estación de combustible y a la salida del tanque de operaciones.
5. Lograr un mejor desempeño a la hora de la realización de la descarga de aceite y líquidos refrigerante para evitar rupturas en los tanques y la pérdida por salideros.
6. Estudiar posibles desplazamientos de actividades (centrifugado de combustible) para reducir el consumo en horario pico aumentarlo durante la madrugada.
7. Utilización de lámparas de vapor de sodio o baja presión en áreas externas que no requieran nitidez.
8. Reducción de los niveles de iluminación en áreas comunes.
9. Incorporar en el sistema de supervisión y control (EROS) el análisis de los parámetros de la eficiencia energética.
10. Comprobación de los niveles de iluminación existentes respecto a las normativas.
11. Limpiar los filtros de aire regularmente una vez por semana.
12. Tomar las medidas correspondientes para evitar el desbordamiento del pozo oleaginoso y lograr que con el agua contaminada se haga una gestión adecuada para su posterior tratamiento.
13. Mejorar la capacitación y concientización de los trabajadores en materia de Gestión Energética.
14. Lograr internamente el establecimiento de metas para minimizar el consumo de energía y demás portadores energéticos.
15. Mejorar la hermeticidad de los locales climatizados.

16. Cumplir con los periodos establecidos en la matriz de mantenimiento.
17. Realizar el cálculo de la energía entregada en los AGC de cada grupo.
18. Implementación de un sistema de gestión energética en la batería.
19. Trabajar en paralelo con especialistas de eficiencia energética para determinar las pérdidas que se produce en la Batería.
20. Cumplir con las normas de operación de los grupos.

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

3.7 Conclusiones del Capítulo 3

1. Se establece como los operadores influyen en la eficiencia energética y se identificaron los puestos claves de la entidad.
2. Se determinaron cuales son los principales factores que tributan a las pérdidas del proceso productivo de la batería.
3. Se enunciaron las medidas que permiten mejorar la eficiencia energética de la batería.

CONCLUSIONES GENERALES

- Se determinó que el indicador energético que se utiliza para evaluar la eficiencia de la instalación es el Índice de consumo específico de combustible. Además se constató que los indicadores energéticos índice de consumo específico de aceite e índice de consumo específico del líquido refrigerante no se tiene en cuenta para evaluar la eficiencia energética de la entidad.
- Se demostró que la entidad carece de un sistema efectivo de gestión energética que posibilite el mejoramiento continuo de la eficiencia y la reducción de los costos energéticos.
- Se estableció la estructura de consumo de la batería y se identificó al diesel como el portador de mayor incidencia en el consumo con un 97,52 % del consumo total, con un gasto anual de 99 750,90 CUC lo que representa el 72,30 % de los gastos totales por portadores.
- Se comprobó que la relación lineal entre los parámetros del consumo de aceite y combustible vs. índice de consumo específico de combustible es alta, esto está determinado por los coeficientes de determinación de 0,7726 y 0,9997
- Se determinó que no existe relación lineal entre las variables consumo de combustible y generación eléctrica vs. índice de consumo específico de combustible, esto es debido a que los coeficientes de determinación son 0,1078 y 0,0993 respectivamente.
- Se estableció a través de un modelo de regresión múltiple que los límites de variación del índice de consumo específico de combustible se encuentran entre 228,76 y 237,44 g/kWh para el 75 % de carga de la batería.
- Se identificó que los puestos claves de la batería son los grupos electrógenos.
- Se elaboraron las medidas técnicas-organizativas que mejoraran la eficiencia energética de la batería.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que se tome el presente trabajo como base de estudio y de análisis para la elaboración de los informes que se entregan a la UNE-GD provincial.
2. Se incorpore en el análisis de la eficiencia energética el estudio de los índices de consumo específico de aceite y líquido refrigerante.
3. Se trabaje en paralelo con especialistas de eficiencia energética para determinar las pérdidas que se produce en la batería.
4. Se realice una investigación del comportamiento de la eficiencia energética para el trabajo de la batería en régimen ISLA.
5. Se realice un estudio en la batería con el uso de magnetizadores para disminuir el sobreconsumo de combustible.
6. Se instalen y calibren los flujómetros a la entrada de cada estación de combustible y a la salida del tanque.
7. Se reajuste el procesador del software utilizado para mostrar de forma exacta el consumo de combustible según la energía entregada por el AGC teniendo en cuenta las pérdidas de los dispositivos del GED. Además que se añada módulos que permitan el análisis de la eficiencia energética de la entidad.
8. Se trabaje en la capacitación y concientización del personal en materia de Gestión Energética.
9. Se tome el trabajo como bases para la implementación de un Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Base de datos energéticos en las Baterías de Grupos Electrónicos Diesel*. [Power Point]. Unión Nacional Eléctrica. Holguín. Cuba 2007. pp 28.
2. BORROTO, A. E., Monteagudo, Y. *Gestión Energética Empresarial*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos. Cuba 2006. pp 63
3. CAMPOS, J.C., Gómez, R., Santos, L. *La Eficiencia Energética en la gestión empresarial*. Cuba 2006. pp
4. COBOS, A. *Implantación de la Gestión Total Eficiente de la Energía en la Batería de Grupos Electrónicos Diesel de Nicaro 110 kV*. 2006. pp 46
5. CONCEPCIÓN, H. *Eficiencia en los Grupos Electrónicos Holguín 110 kV y San Andrés*. Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2007. pp 43.
6. *Configuration Manual: M-Vision designer*. DEIF A/S Frisenborgvej. 2006.
7. DE ARMAS, M. *Temas especiales de Sistemas Eléctricos Industriales*. Centro Estudio de Energía Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba 2006. pp 63
8. DE ARMAS, M., TEYRA, A., GÓMEZ SARDUY, J.R. *Características Operacionales y Despacho Económico de las unidades de Generación Distribuida*. [Power Point]. Taller de Generación Distribuida. Villa Clara. Cuba. Octubre 2006. pp 16.
9. DIN 6271-2. *Reciprocating internal combustion engines-performance part 2: declarations of Power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods*.
10. GARCÍA, P. *Diagnóstico energético en la planta de Calcinación y Sínter de la Empresa de Níquel Cmdte. Ernesto Che Guevara de Moa*. Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2004. pp 51.
11. *Guía Trabajo Final Diplomado I: Formación Básica en Eficiencia Energética. Conferencia de Eficiencia Energética*. Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2004. pp 15.

- 12.ISO 8528-1:1993 (E). *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets part 1: application, ratings and performance.*
- 13.ISO 8528-3:1993 (E). *Reciprocating internal combustión engine driven alternating current generating sets part 3: alternating current generators for generating sets.*
- 14.ISO 3046-1:2000 (E). *Reciprocating internal combustión engines-performance part1: declarations of Power, fuel and lubricanting oil consumptions, and test methods- Additional requirements for engines for general use.*
- 15.LINFERNAL, R. *Gestión energética actual en la empresa de envases “Rafael Trejo”.* CEEMA 2008. Universidad de Cienfuegos. Cuba 2008. pp 12
- 16.Manual de Calidad. Unión Eléctrica Dirección de Generación Distribuida. Cuba. Febrero 2007.
- 17.Manual de operación. Grupos de Desarrollo EROS. Nicaro. Cuba 2006.
- 18.MARISMA, D., REYES, A.S. *Características operacionales y comportamiento de las principales variables de los grupos electrógenos para la generación distribuida en Moa. Instituto Superior Minero -Metalúrgico.* Cuba 2007. pp 92.
- 19.MONTERO, R., REYES, A., MARISMA, D. *Comportamiento de las principales variables de los grupos electrógenos para la generación distribuida en Moa.* FIE’2008. Santiago de Cuba. Cuba. 2008.
- 20.NEMA MG1-22. *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets part 22: application and performance.*
- 21.NOA RAMÍREZ, A., GUERRERO ROJAS, Y. *Impacto de la generación de energía eléctrica distribuida mediante grupos electrógenos Diesel en Moa.* FIE’2008. Santiago de Cuba. Cuba. 2008.
- 22.OCHOA, P. M., GUTIÉRREZ, B, M. *Diagnóstico energético ambiental del ISMM.* Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2005. pp 70
- 23.Operator’s Manual. DEIF A/S Frisenborgvej. 2006.

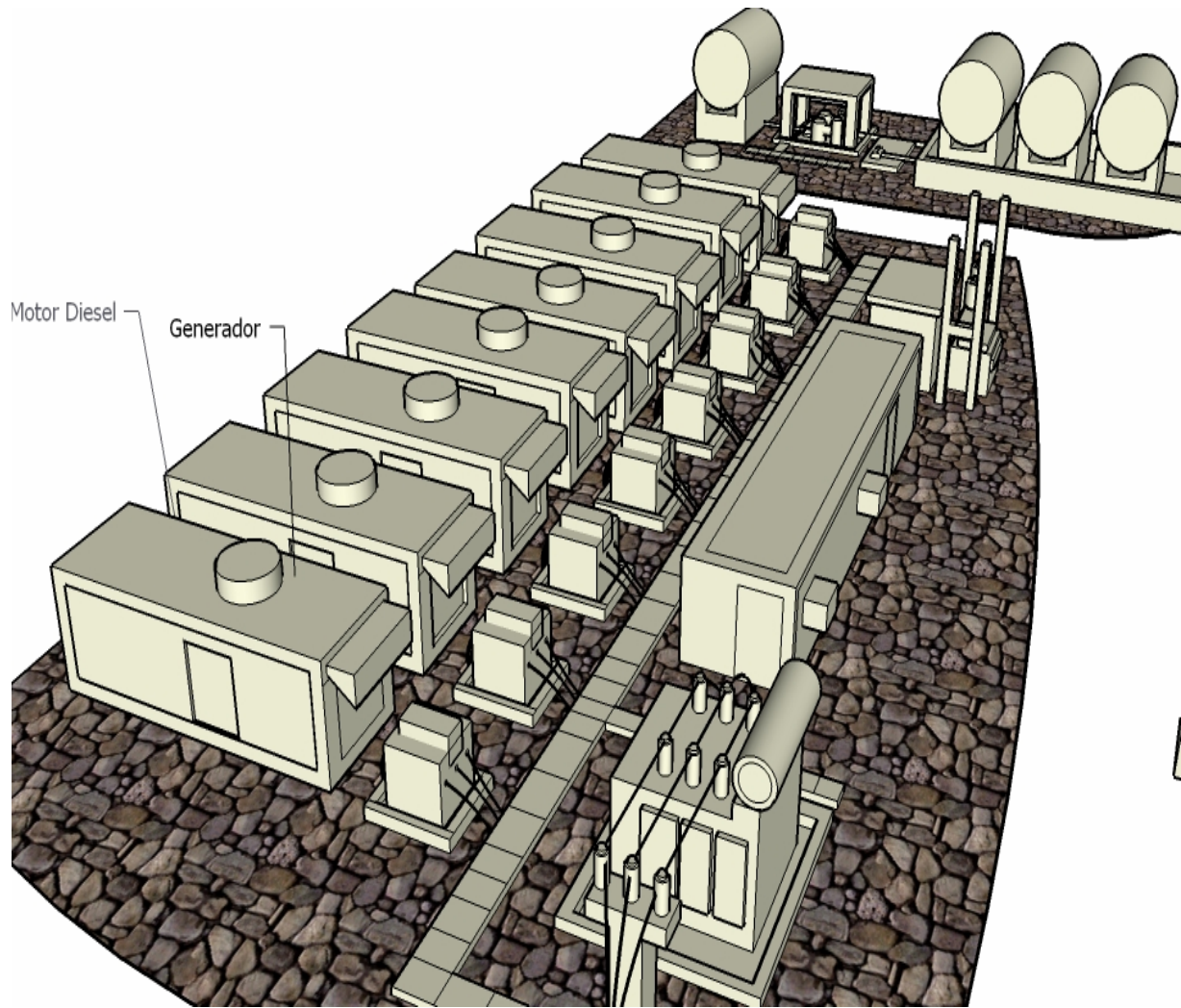
24. PALOMARES, E. *Un crimen de lesa economía*. Periódico Trabajadores. Cuba 2008. pp 5.
25. PERELLADA, G. M. *Gestión energética actual en la empresa conformadora de Aluminios "Vladimir I. Lenin"*. CEEMA 2008. Universidad de Cienfuegos. Cuba 2008. pp 16
26. TAVARES, A. *Cálculo de los parámetros que caracterizan el trabajo del motor de combustión interna # 7 de la batería de grupos electrógenos Moa*. Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2007. pp 65.
27. Technical. Publication. DaimlerChrysler Off-Highway. Alemania 2005. pp 26.
28. VELÁSQUEZ, D. *Establecimiento del rango del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrógenos de Moa*. Instituto Superior Minero -Metalúrgico. Cuba 2008. pp 71.

Softwares utilizados

- Microsoft Office Excel 2003.
- Sketch Up 5.0.

ANEXOS

Anexo # 1: Batería Diesel de Moa



Anexo # 2: Evaluación de la gestión energética de empresas.

1. Si___ No___ No se___.¿Conoce y sigue la empresa el peso de los costos energéticos en los costos totales de producción y en el precio de los productos que vende?
2. Si___ No___ No se___.¿Conoce la empresa el 20% de los equipos que provocan el 80% de los consumos totales de todos los portadores energéticos que gasta?
3. Si___ No___ No se___.¿Tiene identificados la empresa el 20% de los equipos que provocan el 80% de las pérdidas energéticas actuales?
4. Si___ No___ No se___.¿Existe algún procedimiento en la empresa para detectar si los consumos y costos energéticos están bajo control o no?
5. Si___ No___ No se___.¿Conoce la empresa cuanta energía gasta no asociada a las producciones que efectúa?
6. Si___ No___ No se___.¿Conoce la empresa cuanto debe gastar en energía eléctrica y combustibles para cada nivel de producción?
7. Si___ No___ No se___.¿Están establecidos en la empresa los índices de consumo y de eficiencia energética hasta el nivel de áreas o equipos mayores consumidores?
8. Si___ No___ No se___.¿Existe en la empresa algún mecanismo o procedimiento de análisis y control periódico de estos índices?
9. Si___ No___ No se___.¿Evalúa la empresa la tendencia en el tiempo de los consumos y los costos energéticos?
10. Si___ No___ No se___.¿A realizado la empresa diagnósticos o auditorías energéticas en los últimos 5 años?
11. Si___ No___ No se___.¿Cuenta la empresa en la actualidad con un Plan de Inversiones o Medidas para reducir los costos energéticos?
12. Si___ No___ No se___.¿Están identificados en la empresa los operarios y actividades que deciden los altos niveles de consumos y costos energéticos?
13. Si___ No___ No se___.¿Es controlado, registrado y analizado en la empresa por las lecturas el consumo diario de electricidad y combustibles?
14. Si___ No___ No se___.¿Están establecidas en la empresa las medidas de ahorro de energía de los equipos mayores consumidores?

Título Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.

Diplomante: José Antonio Pino Morales.

Anexo # 2: Continuación

15. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Están claramente definidos en la empresa los factores externos e internos que afectan la eficiencia energética?
16. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Cuenta la empresa con tecnología y equipamiento eficiente energéticamente para producir?
17. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Conoce la empresa lo que le cuesta producir los energéticos secundarios (vapor, aire comprimido, tonelada de frío etc..) que usa?
18. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Realiza la empresa autodiagnósticos energéticos con periodicidad (al menos 2 veces al año)?
19. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Existe un sistema de registro y contabilidad energética en la empresa?
20. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Existe un Plan de Mantenimiento Energético en la empresa?
21. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Existe un Programa de Entrenamiento y Motivación a los empleados de la empresa en ahorro de energía?
22. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Ha realizado la empresa inversiones en los últimos tres años para reducir los costos energéticos?
23. Si ☐ No ☐ No se ☐. Utiliza la empresa alguna fuente de energía no renovable para reducir los consumos?
24. Si ☐ No ☐ No se ☐. ¿Ha recibido la gerencia o el personal técnico de la empresa capacitación en eficiencia o gestión energética en los últimos tres años?

Anexo # 3: Certificado de calibración de la cinta de medición del combustible



Certificado de Calibración

Certificado No: 0306-0671

Denominación del instrumento: Tanque para almacenamiento de combustibles.

No. de Serie: Grupo 1

Fabricante: ----

Modelo: -----

Rango de medición: 1 938 L

Exactitud: $\pm 0,3 \%$

Perteneciente a: UNE Holguín.

Dirección: Grupo electrógeno Moa.

Líquido que contendrá el tanque: (Diesel)

Los patrones utilizados son trazables a las unidades de medidas del Sistema Internacional de Unidades (SI).

Patrones utilizados:

Denominación	Longitud nominal	Número de serie
Cinta metálica patrón	10 m	6

Método de calibración: Geométrico

Según: NC 90-04-13:1981

Fecha de la calibración: 2006-03-02

Calibró: Andrés J. Osorio Mendoza.

Autoriza: Jesús Arévalo Marrero.

Cargo: Metrologo

Cargo: Especialista Principal
Laboratorio de Volumen y Gasto

Firma:

Firma:



Laboratorio del Servicio Nacional de Metrología.
Carretera al Valle de Mayabe km 2 ½, Holguín, Teléfonos 481202, 481224, 481845 Fax 480320
correo electrónico Wilfredo@otnh.holguin.inf.cu

Pág.: 1 de 2

Título Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.

Diplomante: José Antonio Pino Morales.

Anexo # 4: Tabla de aforo del tanque interior del GE.

Oficina Territorial de Normalización, Holguín
Centro Metrológico

Tabla No. 0306-0671
Tanque (grupo 1)

Cliente: UNE Holguín, (Grupo electrógeno Moa).

Diesel

Incrementos en cm		Capacidades en litros		Altura total de medición:		148 cm	
0,0	0	20,0	262	40,0	524	60,0	786
0,5	7	20,5	268	40,5	530	60,5	792
1,0	13	21,0	275	41,0	537	61,0	799
1,5	20	21,5	282	41,5	544	61,5	805
2,0	26	22,0	288	42,0	550	62,0	812
2,5	33	22,5	295	42,5	557	62,5	819
3,0	39	23,0	301	43,0	563	63,0	825
3,5	46	23,5	308	43,5	570	63,5	832
4,0	52	24,0	314	44,0	576	64,0	838
4,5	59	24,5	321	44,5	583	64,5	845
5,0	65	25,0	327	45,0	589	65,0	851
5,5	72	25,5	334	45,5	596	65,5	858
6,0	79	26,0	341	46,0	602	66,0	864
6,5	85	26,5	347	46,5	609	66,5	871
7,0	92	27,0	354	47,0	616	67,0	877
7,5	98	27,5	360	47,5	622	67,5	884
8,0	105	28,0	367	48,0	629	68,0	891
8,5	111	28,5	373	48,5	635	68,5	897
9,0	118	29,0	380	49,0	642	69,0	904
9,5	124	29,5	386	49,5	648	69,5	910
10,0	131	30,0	393	50,0	655	70,0	917
10,5	138	30,5	399	50,5	661	70,5	923
11,0	144	31,0	406	51,0	668	71,0	930
11,5	151	31,5	413	51,5	674	71,5	936
12,0	157	32,0	419	52,0	681	72,0	943
12,5	164	32,5	426	52,5	688	72,5	950
13,0	170	33,0	432	53,0	694	73,0	956
13,5	177	33,5	439	53,5	701	73,5	963
14,0	183	34,0	445	54,0	707	74,0	969
14,5	190	34,5	452	54,5	714	74,5	976
15,0	196	35,0	458	55,0	720	75,0	982
15,5	203	35,5	465	55,5	727	75,5	989
16,0	210	36,0	471	56,0	733	76,0	995
16,5	216	36,5	478	56,5	740	76,5	1 002
17,5	229	37,5	491	57,5	753	77,5	1 015
18,0	236	38,0	498	58,0	760	78,0	1 022
18,5	242	38,5	504	58,5	766	78,5	1 028
19,0	249	39,0	511	59,0	773	79,0	1 035
19,5	255	39,5	517	59,5	779	79,5	1 041

Tabla por llenado
Tanque rectangular

Fecha de emisión: 2006-03-02
Página 1 de 2

Anexo # 4: Continuación.

Título Diagnóstico energético en la batería de grupos electrógenos diesel de Moa.
Diplomante: José Antonio Pino Morales.

Oficina Territorial de Normalización, Holguín
Centro Metrológico

Tabla No. 0306-0671
Tanque (grupo 1)
Diesel

Cliente: UNE Holguín, (Grupo electrógeno Moa).

Incrementos en cm		Capacidades en litros		Altura total de medición:	
100,0	1 310	120,0	1 572	140,0	1 834
100,5	1 316	120,5	1 578	140,5	1 840
101,0	1 323	121,0	1 585	141,0	1 847
101,5	1 329	121,5	1 591	141,5	1 853
102,0	1 336	122,0	1 598	142,0	1 860
102,5	1 342	122,5	1 604	142,5	1 866
103,0	1 349	123,0	1 611	143,0	1 873
103,5	1 356	123,5	1 617	143,5	1 879
104,0	1 362	124,0	1 624	144,0	1 886
104,5	1 369	124,5	1 631	144,5	1 892
105,0	1 375	125,0	1 637	145,0	1 899
105,5	1 382	125,5	1 644	145,5	1 906
106,0	1 388	126,0	1 650	146,0	1 912
106,5	1 395	126,5	1 657	146,5	1 919
107,0	1 401	127,0	1 663	147,0	1 925
107,5	1 408	127,5	1 670	147,5	1 932
108,0	1 414	128,0	1 676	148,0	1 938
108,5	1 421	128,5	1 683		
109,0	1 428	129,0	1 689		
109,5	1 434	129,5	1 696		
110,0	1 441	130,0	1 703		
110,5	1 447	130,5	1 709		
111,0	1 454	131,0	1 716		
111,5	1 460	131,5	1 722		
112,0	1 467	132,0	1 729		
112,5	1 473	132,5	1 735		
113,0	1 480	133,0	1 742		
113,5	1 486	133,5	1 748		
114,0	1 493	134,0	1 755		
114,5	1 500	134,5	1 762		
115,0	1 506	135,0	1 768		
115,5	1 513	135,5	1 775		
116,0	1 519	136,0	1 781		
116,5	1 526	136,5	1 788		
117,0	1 532	137,0	1 794		
117,5	1 539	137,5	1 801		
118,0	1 545	138,0	1 807		
118,5	1 552	138,5	1 814		
119,0	1 559	139,0	1 820		
119,5	1 565	139,5	1 827		



Tabla por llenado
Tanque rectangular

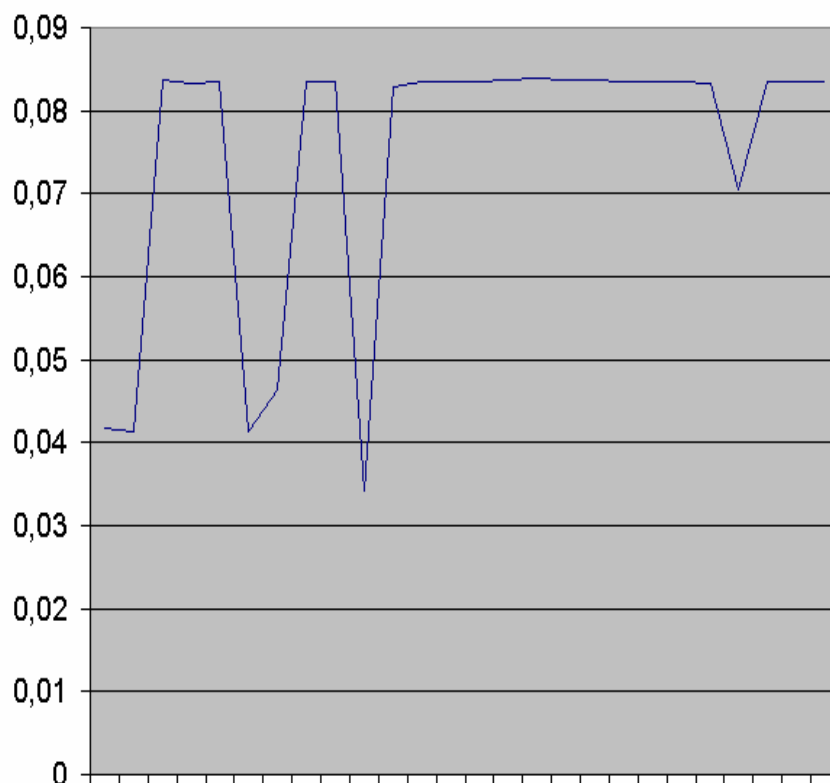
Fecha de emisión: 2006-03-02
Página 2 de 2

Anexo # 5: Tabla del levantamiento de las cargas instaladas en la batería.

Equipos	I(A)	U(V)	P (kW)	Cantidad	P (kW/h)
Ventiladores	30,6	480	20,4	3	1206252
Transformador 480/400V	29,8	480	25	1	219000
Refrigerador	0,85	110	0,08	1	1,5342
Lámparas 58W/33-640V	0,11	640	0,058	6	3048,48
Lámparas 55W/460V	0,14	460	0,06	4	2,64
Lámparas 40W	0,45	110	0,04	1	0,96
Lámparas 36W	0,4	110	0,036	3	512,46
Lámparas 20W/110V	0,2	110	0,02	1	0,48
Computadora PHILIP	5,32	110	0,47	1	4099,68
Cargadores	6,5	240	1,2	2	21024
Bombillo Philip	0,68	110	0,06	2	1,44
Bombillas de recambio	3,2	120	0,15	5	3285
Bombillas 400W	2,27	220	0,40	4	7008
Bomba T. Oleaginoso	6,9	230	2,20	1	132
Bomba Eléctrica	2,6	280	0,60	1	1095
Bomba Combustible	23,8	230	7,57	2	181,68
Bomba Centrífuga	29,5	230	9,23	2	13477,66
Aire acondicionado	8,6	220	1,80	1	15768

Anexo # 6: Estudio realizado al GED#5 de la Batería Nicaro.

2	lts/min	%		Valor/unid
3	0,56	13,4	Arranque	0,041791
4	0,57	13,8		0,0413043
5	1,19	14,2		0,0838028
6	1,2	14,4	Vacio	0,0833333
7	1,22	14,6		0,0835616
8	0,62	15		0,0413333
9	1,29	27,8		0,0464029
10	3,05	36,5		0,0835616
11	3,37	40,4		0,0834158
12	1,52	44,4	Subiendo	0,0342342
13	3,76	45,4		0,0828194
14	4,43	53		0,0835849
15	4,92	58,9		0,0835314
16	5,31	63,6		0,0834906
17	5,59	66,8		0,0836826
18	5,6	66,8		0,0838323
19	5,66	67,7		0,0836041
20	5,77	69		0,0836232
21	5,79	69,4		0,0834294
22	5,86	70,2		0,0834758
23	5,88	70,5		0,0834043
24	5,91	70,9		0,0833568
25	5,46	77,4		0,0705426
26	7,38	88,4		0,0834842
27	7,67	91,8		0,0835512
28	7,79	93,2		0,0835837




Anexo # 7: Carta de los parámetros del combustible establecido por el fabricante.

		Métodos de comprobación		Valores límite
		ASTM	ISO	
Composición				El combustible Diesel debe estar exento de ácidos inorgánicos, agua visible, materias extrañas sólidas y compuestos de cloro
Contaminación total	máx.		EN 12662	24 mg/kg
Densidad a 15 °C	mín. máx.	D 1298 D 4052	EN 3675	0,820 g/ml 0,860 g/ml
Grado API a 60 °F	mín. máx.	D 287		41 33
Viscosidad a 40 °C	mín. máx.	D 445	EN 3104	1,5 mm ² /seg. 4,5 mm ² /seg.
Punto de inflamación	mín.	D 93	EN 2719	60 °C
Fases de ebullición:		D 86	3405	
- Comienzo de ebullición				160 - 220 °C
- Porcentaje en volumen a 250 °C	máx.			65 % en volumen
- Porcentaje en volumen a 350 °C	mín.			85 % en volumen
- Residuos y pérdida	máx.			3 % en volumen
Agua	máx.		EN 12937	300 mg/kg
Residuos de coque en el 10 % de residuos de la destilación	máx.	D 189	EN 10370	0,30 % en peso
Cenizas en forma de óxidos	máx.	D 482	EN 6245	0,01 % en peso
Azufre ¹⁾	máx.	D 2622	EN 20884	0,5 % en peso
Número de cetano	mín.	D 613	EN 5165	45
Índice de cetano	mín.	D 976	EN 4264	42
Efecto de corrosión sobre cobre, 3 horas a 50 °C	Grado de corrosión máx.	D 130	EN 2160	1a
Estabilidad a la oxidación	máx.	D 2274	EN 12205	25 g/m ³
Poder lubricante a 60°C	máx.		12156-1	0,46 mm
Valor límite de la capacidad de filtrado		D 4359	EN 116	véase observación ²⁾
Número de neutralización	máx.	D 974		0,2 mg KOH/g

Anexo # 8: Carta de los parámetros del combustible que se recibe en el batería de Moa

Ministerio de la Industria Básica
Laboratorio Refinería "Camilo Cienfuegos"
PDVCUPET, S.A.
Finca "Carolina" Cienfuegos, Cuba.
Teléfono: 54 3140
ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO(4)
INFORME DE ENSAYO



Nombre del Producto: Combustible Diesel Regular
Nombre y Dirección del Cliente: Despacho Central(Ref. Camilo Cienfuegos Finca "Carolina")

Numero Consecutivo: 29

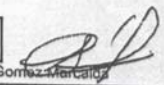
No de Registro: 6163 Procedencia: TK - 1024 Fecha: 30,03,2009 Pag. 1 de 1

Determinación	U/M	Método	Resultado Obtenido	Especificación
Densidad a 15°C	g/cm ³	ASTM D - 4052	0.8534	0.815 - 0.865
Azúfre Total	% m/m	ASTM D - 4294	0,800(*)	0.8 máx.
Agua y Sedimento	% v/v	ASTM D - 1796	0,00	0.05 máx.
Corrosión al Cu 3 h a 50°C		ASTM D - 130	1A	1 máx.
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	ASTM D - 445	3,317	1.6 - 5.3
Temperatura de Inflamación	°C	ASTM D - 93	64,5	52 mín.
Color ASTM		ASTM D - 1500	0,5	3.5 máx.
Destilación				
IBP	°C	ASTM D - 86	172	Reportar
10%			216	Reportar
50%			279	235 - 300
90%			343	360 máx.
FBP			364	Reportar
Indice de Cetano		ASTM D - 976	48,9	43 mín.
Numero de Neutralización	mgKOH/g	ASTM D - 974	0,108	0.5 máx.
Cenizas	% m/m	ASTM D - 482	0,000	0.01 máx.
Carbón Conradson	% m/m	ASTM D - 189	0,013	0.15 máx.
Apariencia	Visual		Claro y brillante	Claro y Brillante

Otros aspecto a tener en cuenta: (*)El Azúfre pertenece al registro 6238.

Fecha de recepción: 29,03,2009 Fecha de terminación: 30,03,2009

Walfredo Soto Navarro
Confecciona: Inspector de Calidad
Nombre y Firma


PDVCUPET SA
Laboratorio
Ing. Liliana Gómez-Marcial
Revisado y aprobado por: J° de Turno
Nombre, Firma y Cuño.

Nota Aclaratoria: " Los resultados corresponden íntegramente a la muestra ensayada. No se permite la reproducción de la Declaración de Conformidad sin la autorización del Laboratorio"

Anexo # 9: Secuencias de mejoras según diversos autores.

DEMING	JURAN	ISHIKAWA	BEKAERT-STANWICK	VICSON
1. Planificar	1. Prueba de necesidad.	1. Escoger un tema (fijar metas) 2. Aclarar razones por las que se escoge el tema.	1. Definir problema y objetivo.	1. Definición del proyecto.
2. Actuar	2. Síntomas.	3. Evaluar la situación actual.	2. Recopilar datos.	2. Análisis teórico.
	3. Causa.	4. Análisis (investigación de causa).	3. Analizar datos.	3. Recolección de datos.
	4. Remedio.	5. Establecer medidas correctivas y ejecutables.	4. Buscar soluciones posibles.	4. Análisis de información.
		6. Evaluar resultados.	5. Evaluar alternativas.	5. Buscar causas.
			6. Probar la solución elegida.	6. Buscar soluciones.
				7. Probar solución retenida.
3. Verificar.	5. Acción.	7. Estandarización, prevención de errores y de su repetición.	7. Control con el objetivo.	8. Control con el objetivo.
4. Acción – Ajustar.	5. Acción.	8. Repaso y reflexión, consideración de problemas restantes.	8. Ajustar (según la necesidad).	9. Ajustar.
		9. Planeación para el futuro.	9. Introducción en la práctica más conclusión.	10. Conclusión.