

Universidad de Holguín.

“Oscar Lucero Moya”.

Facultad de Ingeniería.

Departamento de Ingeniería Mecánica.

CURSO DE MAESTRÍA: EFICIENCIA ENERGÉTICA

EVALUACIÓN FINAL.

TERMODINÁMICA AVANZADA

TÍTULO: Propuesta de mejora basada en el cálculo exergoeconómico del grupo electrógeno de Barredera.

Profesor: Ms.C. Ing. Jorge Alberto Mora Aguilera.

Autor: Ing. Yanet Rivas Cruz

HOLGUÍN

2015

Resumen

En el presente trabajo se hace una breve exposición de las características generales de los Grupos electrógenos, así como las específicas de la central eléctrica diesel de Barrederas que será el objeto de estudio, además se muestran los resultados del análisis termoeconómico, cuyo objetivo general es la propuesta de acciones para mejorar el costo exergo económico del proceso energético que tiene lugar en el mismo para lo cual se tiene en consideración la metodología para la aplicación del análisis exergético, la eficiencia exergética y costo exergético unitario. Para el desarrollo del trabajo se utilizaron los métodos de investigación teóricos: histórico-lógico, análisis y síntesis y empíricos: la revisión de documentos.

Abstrac

Presently work is made a brief exhibition of the general characteristics of the Groups electrógenos, as well as the specific of the power station electric diesel of Barrederas that it will be the study object, the results of the analysis economic water heater are also shown whose general objective is the proposal of actions to improve the cost economic exergo of the energy process that takes place in the same one for that which one has in consideration the methodology for the application of the analysis exergético, the efficiency exergética and cost unitary exergético. For the development of the work the theoretical investigation methods were used: historical-logical, analysis and synthesis and empiric: the revision of documents.

Índice

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Marco teórico conceptual de la investigación. (Estado del arte).....	4
1.1 Grupos electrógenos.....	4
1.1.1 Características generales de los grupos electrógenos.....	4
1.1.1.1 Descripción Funcional del Generador.....	5
1.2 Generación distribuida en Cuba.....	6
1.3 Métodos de análisis termodinámico de procesos.....	8
1.3.1 Método exergético.....	9
1.3.2 Metodología para la aplicación del análisis exergético.....	9
1.4 Métodos termoeconómicos.....	11
1.4.1 Teoría del costo exergético.....	12
1.4.2 Eficiencia exergética y costo exergético unitario.....	12
1.4.3 Producto, fuel, pérdida y destrucción.....	12
1.5 Costo exergoeconómico.....	13
CAPÍTULO 2. Desarrollo de los cálculos. Análisis y propuesta de soluciones.....	15
2.1 Caracterización del área objeto de estudio.....	15
2.2 Cálculos	16
2.2.1 Estimación de las irreversibilidades totales (L+ D)	17

2.2.2 Estimación de la eficiencia exergética.....	17
2.2.3 Estimación del costo exergético unitario.....	18
2.3 Evaluación de los costo exergoeconómicos	18
CONCLUSIONES.....	21
RECOMENDACIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	24

Introducción

La producción de energía industrial está relacionada con las demandas de energía que tienen las naciones y estas varían en los países, en las diferentes épocas y meses del año, así como durante las diferentes horas del día, su comportamiento determina la forma de producción de energía eléctrica

Para responder a esas demandas se requieren producciones apropiadas y esto no siempre ocurre en los países, de ahí que en determinadas épocas y horarios, se producen picos eléctricos que, en ocasiones, no son posibles de asumir y en los países en desarrollo, que generalmente no poseen la reserva de producción necesaria para responder a las alzas en las demandas eléctricas, se generan los apagones, que significan la incapacidad de la industria de dar respuesta al incremento excesivo de consumo eléctrico. En este aspecto desempeña un papel importante las estrategias energéticas que se tenga en función del tipo de producción de que se dispone.

La Política Energética cubana ha estado encaminada, desde el triunfo de la Revolución, a la satisfacción de las necesidades de todos los cubanos ya que es un factor fundamental tanto para la subsistencia como para el desarrollo, por lo que se hace imprescindible ahorrar energía, acabar con el derroche y emprender programas de ahorro de combustibles, sobre la base de una cultura energética encaminada al logro de un desarrollo independiente, seguro y sostenible, con el máximo ahorro en su uso final y la utilización de tecnologías de alta eficiencia.

La Eficiencia Energética en el ámbito empresarial implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos de calidad establecidos por el cliente, con los menores consumos y costos energéticos posibles, la cual puede alcanzarse con una mejor gestión energética.

La generación eléctrica nacional se realiza fundamentalmente con plantas centralizadas que no rebasan el 31 % de eficiencia con veinte o más años de explotación y concentradas en pocas regiones del país; para transmitir esa potencia se necesitan líneas de transmisión y subtransmisión vulnerables a

diversos fenómenos.

En Mayo del 2004 el Sistema Electro-energético Nacional se vio seriamente afectado, al producirse una avería durante un mantenimiento planificado de la termoeléctrica Antonio Guiteras causando severas afectaciones a la economía nacional. En ese contexto surge, la llamada Revolución Energética. Esta se basó en un programa de sustitución de las viejas Centrales termoeléctricas por generadores eléctricos, a fin de disponer de un sistema eléctrico sin fallas y suficiente para la nación. Sin embargo, lo que comenzó como solución a un problema crítico se ha convertido en una estrategia de empleo racional de la energía. El objetivo fundamental de este proceso era transformar radicalmente el proceso de generación y ahorro de electricidad, el cual se inició aceleradamente en el 2005 con la introducción de la Generación Distribuida.

La Generación Distribuida tiene como principal aplicación la interconexión descentralizada de unidades en diversas zonas del país para cubrir el déficit de generación con mayor rapidez y al más bajo costo que pronto se tradujo en bienestar y calidad de vida para la población y el sector estatal para lo cual se tienen identificados los sistemas que componen los grupos electrógenos así como las fallas más frecuentes en los mismos.

La exergía se puede destruir a causa de las irreversibilidades y también se puede transferir hacia o desde un sistema; el uso eficiente de los recursos energéticos va asociado a la destrucción y pérdida de exergía en los sistemas, siendo el objetivo del análisis exergético el localizar, cuantificar e identificar éstas causas mediante el cálculo del grado de perfección termodinámica de los procesos de trabajo de las instalaciones energéticas y la indicación de las vías para incrementar el ahorro de combustible o energía eléctrica suministrada a las instalaciones.

De lo planteado anteriormente se hace necesario conocer el costo exergético del grupo electrógeno para demostrar cómo influye el consumo de combustible para garantizar un funcionamiento eficiente de la instalación. La no existencia de

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

estudios de ese tipo constituye la situación Problémica de la presente investigación de donde se puede deducir el siguiente problema de investigación:

Problema de investigación:

La no existencia de un análisis exergoeconómico que permita evaluar la eficiencia de la instalación teniendo en cuenta el consumo de combustible.

Se propone la siguiente **hipótesis**:

La realización del análisis exergoeconómico al Grupo Electrónico de Barrederas permitirá diseñar un plan de acciones para reducir sus costos de explotación y lograr una planificación de recursos primarios más adecuada a su desempeño.

Se plantea como objetivo de esta investigación: Mejorar el costo exergético del Grupo Electrónico de Barredera.

Campo de acción: El costo económico del Grupo Electrónico de Barredera en relación a la exergía.

Objeto de investigación: Comportamiento del costo exergoeconómico del Grupo Electrónico de Barredera.

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

1. Revisión bibliográfica actualizada sobre el tema.
1. Recopilación de información sobre los parámetros reales de explotación.
2. Determinación del costo exergo económico de su desempeño.
3. Proponer un plan de medidas para disminuir su costo exergoeconómico.

CAPÍTULO 1. Marco teórico conceptual de la investigación. (Estado del arte)

1.1 Grupos electrógenos

Un grupo electrógeno se define como una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico.

1.1.1 Características generales de los grupos electrógenos.

Motores alternativos:

- Motores Diesel: Llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasoil.
- Motores Otto: Cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina.

Generalmente los motores Diesel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.

Los equipos electrógenos diesel están designados para suministrar corriente eléctrica al Sistema Electroenergético Nacional, ya sea alimentando a una parte del sistema, o suministrando a toda la red nacional. Los GE están compuestos principalmente por:

- Motor de Combustión Interna Diesel, con sus sistemas de combustible, lubricante, aire de admisión y agua de enfriamiento: Es el equipo encargado de producir energía mecánica.
- Generador Eléctrico: Es el que transforma la energía mecánica producida en el motor en energía eléctrica.
- Sistema de Control. Este sistema es el que se encarga del control automático de todo el proceso en el conjunto Motor – Generador.

De forma general los grupos electrógenos se caracterizan por:

Tabla1. Características generales de los Grupos Electrógenos.

Marca más difundida	MTU
Protección física y ruido	Carrozados
Tipo de combustible	Diesel
Tipos de emplazamientos	Aislados y Baterías
Velocidad de rotación	Alta (1800 rpm)
Por su diseño	PRP: Potencia primaria
% de carga súbita	50 %
Regulación de voltaje y frecuencia	Excelente
% de carga máxima	75 %
Economía	Menor al ser el diesel más caro
Tiempo para su entrada	Muy rápido

1.1.1.1 Descripción Funcional del Generador

Un alternador o generador sincrónico es una máquina eléctrica giratoria diseñada para convertir la energía mecánica rotatoria en energía eléctrica de corriente alterna (CA).

El principio de funcionamiento del generador sincrónico se basa en la inducción electromagnética el cual plantea, que si se hace mover un conductor en un campo magnético de manera tal que este corte las líneas de flujo, en el mismo se inducirá una fuerza electromagnética (FEM). De igual manera ocurriría si el conductor se encuentra fijo y se mueve un campo magnético sobre él.

Partes fundamentales del generador sincrónico

- Devanado inducido o Estator, se encuentra ubicado en el cuerpo o casco de la máquina, distribuido en las ranuras del material ferromagnético.
- Devanado inductor o Rotor, se encuentra ubicado en el rotor de la máquina, formando polos magnéticos.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

- La Excitatriz, Está compuesta por el estator de la excitatriz que se encuentra ubicado en la carcasa de la máquina y el rotor de la excitatriz se ubica sobre el eje o rotor.
- Los Cojinetes, Son los apoyos del rotor en la parte fija o estator.

Accesorios del generador

- Regulador automático de voltaje (AVR), realiza la función de estabilización del voltaje, durante el régimen de funcionamiento en vacío a plena carga y durante la ocurrencia de cortocircuitos. Además, permite la acción sobre él, para la regulación del voltaje durante la operación de sincronización.
- Transformador de Corriente, son usados para la medición de las corrientes de la carga durante el funcionamiento del grupo electrógeno, para la visualización de los parámetros de trabajo y la acción de las protecciones, control de los datos y el estado del GE.
- Transformador de Tensión o de Potencial, son usados para la medición de los voltajes de trabajo durante el funcionamiento del grupo electrógeno, para la visualización de los parámetros de trabajo y el control de los datos y el estado del GE.
- Ventilador, su función es la de mantener una temperatura de trabajo adecuada para el funcionamiento correcto del GE.

1.2 Generación distribuida en Cuba.

La GD es una técnica conocida por la humanidad desde finales del siglo IX. Se inicia con plantas que enviaban a la atmósfera el calor residual. Edison construyó la primera planta en CHP en 1886 cerca de Manhattan y envió el vapor de escape a los edificios cercanos.

En el caso cubano la electrificación se introduce en 1889 en las ciudades de Cárdenas y la Habana. Y, se puede considerar, que la GD se inicia en la primera mitad del siglo XX por la industria azucarera cuando se hacen notorias las

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

ventajas de las máquinas y accionamientos eléctricos frente a los tradicionales de vapor.

En esa época las redes eléctricas no tenían la potencia, diseminación y estabilidad suficiente para asimilar las cargas de esta industria. Así y ya desde el 1930, se instalan plantas de generación propia para servicios de alumbrado y fuerza en las centrales más avanzadas. Estos sistemas pretendían lograr el abastecimiento total energético desde perspectivas de sistemas aislados.

Con el programa de la Revolución Energética desarrollado en Cuba en el año 2005 donde la dirección del país decide pasar de una Generación Concentrada a una Generación Distribuida a base de motores de combustión interna diesel se obtiene los siguientes beneficios:

- Los niveles de emisión de los gases contaminantes incluyendo el CO₂ de las nuevas tecnologías son del 70 al 100 % menor que el de los sistemas convencionales.
- Los clientes son beneficiados incrementando la confiabilidad del servicio eléctrico, la calidad de la energía y disminución del número de interrupciones.
- Menor tiempo de instalación.
- Disminuye las pérdidas en la transmisión.
- Respecto a la modularidad pueden ser ajustados adicionando o quitando unidades.

La generación distribuida se puede operar de dos modos en Isla (Isócrono) o Sincronizado (Paralelo).

Durante la operación en Isla se trabaja de forma independiente o si hay más de una unidad, paralelas entre sí, pero separadas del Sistema Electroenergético Nacional donde es la máquina la que fija los parámetros de Voltaje, Frecuencia y Factor de potencia.

Cuando se trabaja sincronizado al Sistema Electroenergético Nacional es el sistema el que fija los parámetros de Voltaje, Frecuencia y Factor de potencia.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

La entrada de los grupos electrógenos al Sistema Electroenergético Nacional se realiza por orden directa del Despacho Provincial de Carga que a su vez se subordina al Despacho Nacional de Carga, la misma se realiza por déficit de generación, averías o en los horarios picos de demanda. Se operan al 75 % y ante necesidades del sistema se suben hasta el 100 %.

1.3 Métodos de análisis termodinámico de procesos

Uno de los aspectos fundamentales de la valoración económica es la definición de los fines de la instalación analizada, en particular qué se quiere obtener y a partir de qué se obtendrá. Con la aplicación de métodos termodinámicos (exergéticos, entrópicos y termoeconómicos) se conocerán a fondo las potencialidades de la planta para obtener una mayor eficiencia energética y realizar valoraciones técnicas y económicas.

Los balances de exergía proporcionan una poderosa herramienta para la detección de los puntos de un proceso en los cuales las pérdidas de energía y la destrucción de exergía dentro de las fronteras de los sistemas hacen a los procesos reales alejarse de la perfección termodinámica. Nada dicen, al menos de manera directa, acerca de las implicaciones económicas de dichas imperfecciones termodinámicas. Éstas están relacionadas también con los valores de las corrientes energéticas así como con los costos no energéticos implicados en la instalación de transformación y en su operación.

El objeto de la termoeconomía radica en el análisis económico de los sistemas productivos energointensivos (en que estén implicados principalmente los flujos de energía

Algunos de los aspectos más generales de la Termoeconomía son aplicables a procesos productivos de cualquier tipo pues se puede partir de la base de que todo objeto artificial (manufacturado) es en última instancia producto de transformaciones energéticas de los recursos naturales primarios.

1.3.1 Método exergético.

El análisis termodinámico persigue dos objetivos: el cálculo del grado de perfección termodinámica de los procesos de trabajo de las instalaciones energéticas y la indicación de las vías para incrementar el ahorro de combustible o energía eléctrica suministrada a las instalaciones.

El análisis termodinámico de los modernos y complejos esquemas de las instalaciones energéticas, hasta hace pocas décadas, se ha desarrollado a partir de sistemas de coeficientes energéticos que, aunque han jugado un rol muy importante en la disminución y utilización de la energía, no lo han hecho así en el perfeccionamiento termodinámico de los procesos, ya que estos no son capaces de valorar totalmente el grado de perfección termodinámica de los mismos.

La limitación principal de los métodos energéticos de análisis radica en que los mismos no establecen diferencia entre la calidad de la energía que se distribuye. Esta calidad está relacionada con la capacidad para realizar trabajo útil y la imposibilidad de realizar un análisis de los cambios de calidad de la energía a través de la instalación, lo que nos deja una vía de perfeccionamiento no explotada para el ahorro de combustible o energía eléctrica.

1.3.2 Metodología para la aplicación del análisis exergético.

Este método de análisis termodinámico tiene tres etapas fundamentales:

- Primera etapa: Análisis energético.

El objetivo de esta etapa es conocer la distribución de la energía en el sistema técnico, realizar el diagrama de los flujos de energía y conocer el coeficiente de uso de la energía en cada subsistema y en el sistema en general.

Sistema técnico de análisis: Es una abstracción lógica del objeto real que permite separar para el análisis cualquier parte del mismo, el conjunto de partes interrelacionadas o también representar el objeto real en su totalidad mediante su interconexión de todos los subsistemas técnicos que lo componen.

- Segunda etapa: Análisis exergético.

Los balances exergéticos para los estados estacionarios de los procesos son contruidos de la misma forma que los balances de energía, con una sola excepción: mientras que la energía se conserva, la exergía al pasar por un sistema técnico puede ser destruida o degradada.

En los balances de exergía, las cantidades de exergía que entran al sistema o dispositivo deben convertirse en lo posible en exergía de las corrientes de salida que constituyen el fin para el cual dicho dispositivo está concebido. Las diferencias son debidas a las discrepancias de los procesos termodinámicos con los reversibles y constituyen las irreversibilidades. La disminución de exergía por causas internas recibe el nombre de *Destrucción de exergía*. La exergía de las corrientes de energía que salen del sistema y que no tiene una utilización para los fines concebidos para el sistema, recibe el nombre de *Pérdidas de exergía*.

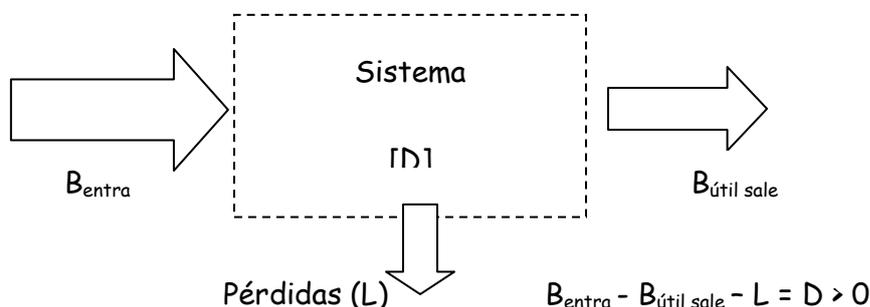


Figura 1. Balance de Exergía.

El balance exergético en todos los casos permite determinar la magnitud de las pérdidas por irreversibilidad del sistema y por lo tanto puede valorar el grado de su perfección termodinámica.

El **Rendimiento Exergético (η_b)** mide el grado de perfección termodinámica de un sistema y se define como la relación entre el beneficio y el gasto exergético:

Aparatos que producen trabajo útil:

$$\eta_b = \frac{W_{util}}{(B_{ent} - B_{sal})}$$

Aparatos que no producen trabajo útil:

$$\eta_b = \frac{B_{sal}}{B_{ent}}$$

En cualquier caso, si los procesos son reversibles: $\eta_e = 1$.

- Tercera etapa: Análisis Entrópico:

El objetivo de esta etapa es conocer la distribución de las pérdidas exergéticas en el sistema y caracterizar cada subsistema de análisis por el peso de sus pérdidas con respecto a la exergía inicial invertida en el sistema, así como determinar la influencia de las irreversibilidades en el consumo específico de combustible o de energía eléctrica del objeto técnico de estudio.

Coeficiente absoluto de pérdidas exergéticas: (Ω_i)

$$\Omega_i = \frac{D_i}{B_{entra}}$$

1.4 Métodos termoeconómicos.

La Termoeconomía, combinando las herramientas termodinámicas y económicas, permite la evaluación objetiva de los aspectos económicos de las transformaciones energéticas y, por lo tanto, da posibilidades de juzgar sobre el grado de perfección de dichas transformaciones a la luz de los costos totales implicados, dentro de los cuales es necesario considerar no sólo los consumos de energía de diferentes calidades sino el valor que en recursos energéticos primarios representan los demás costos en que necesariamente hay que incurrir para efectuar dichas transformaciones.

La Termoeconomía estudia aspectos fundamentales relacionados con la Ecología, ya que a partir de sus procedimientos de análisis puede racionalizarse al máximo la explotación de los recursos energéticos primarios, la utilización de la

energía transformada en servicios energéticos y el vertimiento de desperdicios energéticos al entorno.

1.4.1 Teoría del costo exergético.

Se define como costo exergético a la cantidad real de trabajo (mayor que la mínima) que debe invertirse para obtener cierto estado (y en general cierto recurso material) a partir del estado muerto.

El costo exergético es mayor que la exergía, siendo la diferencia precisamente la destrucción de exergía (D):

$$\text{Costo exergético} > \text{Exergía}$$

$$\text{Exergía} = \text{Costo exergético mínimo (reversible)}$$

1.4.2 Eficiencia exergética y costo exergético unitario.

$$\eta_b = \frac{\text{Exergía}}{\text{Costo exergético}} \leq 1$$

$$k = \frac{1}{\eta_b} = \frac{\text{Costo exergético}}{\text{Exergía}} \geq 1$$

1.4.3 Producto, fuel, pérdida y destrucción.

Al analizar las instalaciones desde el punto de vista termoeconómico convencionalmente se denomina **Producto** al conjunto de corrientes que constituyen o reflejan el fin u objetivo del proceso y **Fuel** al conjunto de corrientes que identifican los recursos externos invertidos para lograr dichos objetivos.

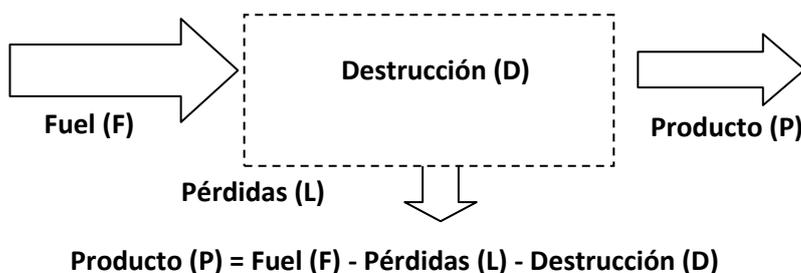


Figura 2. Balance de Exergía en función del Fuel y el Producto.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Esta convención permite definir de manera general la eficiencia exergética y el costo exergético unitario ahora en función de estos términos:

$$\eta_b = \frac{P}{F} = 1 - \frac{L+D}{F} \qquad k_b = \frac{1}{\eta_b} = \frac{F}{P} = 1 + \frac{L+D}{P}$$

1.5 Costo exergoeconómico.

El cálculo del costo monetario de los flujos en las plantas energéticas y químicas constituye un problema de capital importancia por cuanto está ligado de manera directa con la repercusión de los costos de producción de las distintas partes, secciones o equipos que constituyen el proceso sobre el costo de los productos finales

Tsatsaronis [1], fue el primero en utilizar este procedimiento de evaluación de los costos monetarios de los flujos internos y productos de plantas complejas. Según él, se puede plantear el balance del costo exergoeconómico de cualquier equipo individual, designando por Π los costos monetarios (exergoeconómicos) de los flujos y consecuentemente Π_F y Π_P como los costos monetarios del Fuel y Producto respectivamente:

$$\Pi_P = \Pi_F + Z$$

Teniendo en cuenta lo anterior se puede definir el costo exergoeconómico de un flujo de exergía como la suma del costo monetario de la exergía de entrada necesaria para producir dicho flujo más el resto de los costos originados en el proceso productivo asociado a su obtención (capital, operación, mantenimiento, etc.)

$$[\text{Costo exergoeconómico del Producto}] = [\text{Costo exergoeconómico del Fuel}]$$

$$+ [\text{Capital}] + [\text{O\&M}]$$

De aquí se llega a la siguiente ecuación:

$$C_E * B_E = C_F * B_F + Z$$

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

Donde:

C_E : Costo exergoeconómico unitario del producto.

B_E : Exergía del producto.

C_F : Costo exergoeconómico unitario del Fuel.

B_F : Exergía del fuel.

Z : Costos no energéticos.

Dentro de los costos no energéticos se incluyen el costo capital de la instalación, los costos de operación y mantenimiento.

Despejando el Costo Exergoeconómico Unitario se obtiene:

$$C_E = (C_F * B_F + Z) / B_E$$

En general, la aplicación del procedimiento descrito dependerá del fin que pretende alcanzarse.

CAPÍTULO 2. Desarrollo de los cálculos. Análisis y propuesta de soluciones.

2.1 Caracterización del área objeto de estudio.

En el emplazamiento de Barrederas (Central Eléctrica Diesel), se encuentra instalado un grupo electrógeno MTU serie 2000 de 1150 KVA con una potencia disponible de 920 kW al 100 % y 690 kW al 75 % para servir una carga en isla con las siguientes características:

Tabla2. Potencia activa, reactiva y aparente de la SE Barredera.

Barredera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P(Prom)	84	81	72	79	116	224	236	207	236	253	263	271
Q(Prom)	69	72	62	65	87	75	92	114	99	100	98	114
S(Prom)	109	108	95	102	145	236	253	236	256	272	281	294
FP(Prom)	0.77	0.75	0.76	0.77	0.80	0.95	0.93	0.88	0.92	0.93	0.94	0.92
Gen (KW)	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690

Barredera	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Pico
P(Prom)	256	221	292	314	367	370	352	293	218	164	117	153	334
Q(Prom)	100	119	132	105	142	126	126	122	109	91	80	86	113
S(Prom)	275	251	320	331	394	391	374	317	244	188	142	176	353
FP(Prom)	0.93	0.88	0.91	0.95	0.93	0.95	0.94	0.92	0.89	0.87	0.83	0.87	0.95
Gen (KW)	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690	690

Los generadores MJB son generadores sincrónicos de cuatro tiempos dos válvulas de admisión y dos de escape (admisión- compresión- fuerza- escape), principio de funcionamiento basado en la inducción electromagnética. El combustible utilizado es diesel especial con una densidad de 843.9 g/l, un consumo plan actual por motor de 235 g/kWh según plan pues este índice de consumo se ha deteriorado, cuando se instalaron el plan era de 230 g/kWh. La tecnología instalada está altamente automatizada y juega un papel protagónico en la confiabilidad de la operación y el flujo de información en el grupo monitoreado por el sistema de supervisión y control (EROS).

La frecuencia de realización del mantenimiento varía según los casos, dependiendo de las dimensiones de la máquina y de las condiciones ambientales y de uso. Geysel se ocupa del mantenimiento a equipos y paneles, diagnóstico,

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

planificación y coordinación de los servicios de calibración y verificación de instrumentos, así como de la solución de averías.

Por regla general se realizan después de 500 horas de funcionamiento (o no menos de una vez al año), transcurridos 10 000 horas de trabajo se realiza reparación capital.

2.2 Cálculos

Para el desarrollo de los cálculos se parte de los siguientes datos:

- ✓ El consumo de combustible total es de $35269 \frac{l}{h}$.

El combustible usado es diesel especial con una densidad de $843.9 \frac{g}{l}$.
 Convirtiendo los litros de combustible a kg se logra multiplicando por la densidad del mismo quedando:

$$35269 \frac{l}{h} * 843.9 \frac{g}{l} = 29763509.1 \frac{g}{h}$$

29763.51 (Expresado en kg al año)

- ✓ Se conoce que la Exergía del Fuel es igual al valor del poder calórico superior:

$$PCS=43000 \frac{kJ}{kg}$$

$$B_F \text{ (Exergía del fuel)} = 43000 \frac{kJ}{kg} \dots\dots\dots$$

Para expresar la B_F de los kg que se consumen al año se realiza el siguiente análisis:

$$\frac{B_F}{Año} = B_F * Consumo \text{ de combustible} \left(\frac{kg}{año} \right)$$

$$\frac{B_F}{Año} = 43000 \frac{kJ}{kg} * 29763.51 \frac{kg}{año}$$

$\frac{B_F}{Año} = 1279830930 \frac{kJ}{año}$ Por tanto esta es la exergía del combustible empleado en todo el año.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

- ✓ La Generación bruta (Exergía del Producto) en el año 2014 es de 123859 kWh que coincide con la producción de energía eléctrica en el año.

$$\frac{B_E}{\text{Año}} = 123859 \text{ kWh} \dots\dots\dots \text{II}$$

Eso está en kwh/año, por lo que hay que expresarlo en kJ para ello hay que tener en cuenta que:

$$1 \text{ kw} = 1 \text{ kJ/s por lo que}$$

1kJ=1kWs pero una hora tiene 3600 s por lo que hay que multiplicar los kj por 3600 para que sea compatible con kWh y entonces se obtiene que:

$$3600 \text{ kJ} = 1 \text{ kWh}$$

Sustituyendo en II

$$\frac{B_E}{\text{Año}} = 123859 \text{ kWh} * 3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}$$

$$\frac{B_E}{\text{Año}} = 445892400 \text{ kJ}$$

2.2.1 Estimación de las irreversibilidades totales. (L + D)

$$(L + D) = F - P$$

$$(L + D) = 355508.6 \text{ kW} - 123859 \text{ kW}$$

$$(L + D) = 231649.6 \text{ kW}$$

2.2.2 Estimación de la Eficiencia exergética.

$$n_b = \frac{B_E}{B_F}$$

$$n_b = \frac{445892400 \text{ kJ}}{1279830930 \text{ kJ}}$$

$$n_b = 0.35$$

La eficiencia Exergética del grupo electrógeno de Barrederas es del 35 % lo que se traduce en que solo el 35 % del combustible pasa al producto en el proceso tecnológico.

2.2.3 Estimación del costo exergético unitario.

$$K_b = \frac{1}{n_b}$$

$$K_b = \frac{1}{0.35}$$

$$K_b = 2.85$$

El costo exergético unitario se interpreta como que se necesitan 2.85 unidades de exergía en el Fuel para producir una unidad en el Producto (o que éste es exergéticamente 2.85 veces más caro que aquel).

2.3 Evaluación de los costos exergo económico.

Para realizar este cálculo se parte de la ecuación planteada anteriormente:

$$\Pi_P = \Pi_F + Z$$

[Costo exergoeconómico del Producto] = [Costo exergoeconómico del Fuel]

+ [Capital] + [O&M]

De aquí se llega a la siguiente ecuación:

$$C_E * B_E = C_F * B_F + Z$$

Donde:

C_E (Costo exergoeconómico unitario del producto) =?

B_E (Exergía del producto) = 445892400 kJ pues la energía eléctrica se considera exergía pura.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
 www.uho.edu.cu

Para determinar los Costo exergoeconómico unitario del Fuel se procede de la siguiente forma:

$$C_f = \left[0.8507 \frac{\text{Dolares}}{\text{t}} * \frac{1}{0.8439 \frac{\text{kg}}{\text{t}}} \right] * \left[29763.51 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right]$$

$$C_f = 30003 \frac{\text{Dolares}}{\text{año}}$$

Este es el valor del combustible que emplea el Grupo Electrónico al año.

Dentro de los costos asociados se incluyen:

El costo capital de la instalación (GEA) = 255000 dólares como el factor de depreciación es del 10 % y ya han transcurrido 11 años, se considera que ya se desprecia el valor total.

Los costos de operación que incluye el gasto de salario (CS = 99424 Dolares)

Los costos por mantenimiento (CM= 3918.31 dólares)

Estos valores se trabajan en relación al Dólar y se referirán a todo el año.

$$CS = \frac{\text{Salario total anual (Dolares)}}{\text{Exergía producida al año (kWh)}}$$

$$CS = \frac{99424 \text{ Dolares}}{123859 \text{ kWh}} = 0.803 \frac{\text{Dolares}}{\text{kWh}}$$

$$CM = \frac{\text{Costo Mantenimiento total anual (Dolares)}}{\text{Exergía producida al año (kWh)}}$$

$$CM = \frac{3918.31 \text{ Dolares}}{123859 \text{ kWh}} = 0.0316 \frac{\text{Dolares}}{\text{kWh}}$$

Se consideran además el costo de explotación y otros gastos a los cuales no se tuvo acceso por lo que el resultado final se ve afectado por el valor total de los costos asociados (Z).

$$\text{Por lo que los costos asociados totales (Z= } 0.834 \frac{\text{Dolares}}{\text{kWh año}})$$

Para referirlo a los kJ al año es necesario expresar los kW en kJ.

Avenida XX Aniversario, Vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba. Telf. 48 2501- 48 2380
www.uho.edu.cu

$$Z = 0,834 \text{ Dólares / (kWh Año) } * (3600 \text{ kJ/kWh})$$

$$Z = 3002.4 \text{ Dólares /kJ.}$$

Despejando el Costo Exergoeconómico Unitario se obtiene:

$$C_E = \frac{C_F * B_F + Z}{B_E}$$

$$C_E = \frac{30003 \frac{\text{Dólares}}{\text{año}} * 1279830930 \frac{\text{kJ}}{\text{año}} + 3002.4}{445892400 \frac{\text{kJ}}{\text{año}}}$$

$$C_E = 86117 \frac{\text{Dólares}}{\text{año}}$$

Este es el costo total de la energía eléctrica producida en todo el año expresado en kJ. Para determinar el costo en dinero de de la energía eléctrica producida en todo el año expresado en kWh, se conoce que:

$$3,6\text{kJ} = 1\text{kWh}$$

Por tanto:

$$C_E = (86117 \text{ Dólares - kJ año}) / (3,6\text{kJ} / 1\text{kWh})$$

$$C_E = 23921 \text{ Dólares/ kWh - año.}$$

Para expresar el costo exergo económico respecto a un kWh debe dividirse el resultado anterior por la cantidad de kW generados en el año que serían 123859 kWh.

$$C_E / \text{kW} = \frac{23921 \text{ Dólares}}{123859 \text{ kWh}} = 0,19 \text{ Dólares/ kWh.}$$

El costo exergético unitario del producto es de $0.19 \frac{\text{Dólares}}{\text{kWh}}$.

CONCLUSIONES

La realización del trabajo permite dar cumplimiento a los objetivos trazados en el mismo ya que mediante los cálculos realizados se cuantifica la cantidad de fuel necesario (Combustible Diesel especial) para obtener el producto (Energía Eléctrica) así como se determinan las irreversibilidades del sistema (L+D) y el valor de la eficiencia exergética lo que representa el grado de aprovechamiento del combustible o sea el combustible que pasa al producto en el proceso tecnológico para generar un kW en el del emplazamiento de Barrederas.

Se establece una comparación del costo exergoeconómico del producto con el valor estándar que es de $C_E = 0.10 \frac{\text{Dolares}}{\text{kWh}}$ a nivel de la generación aislada Diesel, se llega a la conclusión de que el mismo es $C_E = 0.19 \frac{\text{Dolares}}{\text{kWh}}$ que representa un 190 % del valor estándar el cual se ve afectado por valores que inciden directamente como los costos asociados (Z) pues se estimaron muchos datos ante la dificultad de obtener los reales.

Se puede plantear también la incidencia del consumo de combustible, ya que el mismo se ha degradado de 230 g/kWh a 235 g/kWh para lo cual se proponen las siguientes medidas para disminuirlo:

1. Realizar mantenimiento específico chequeando el correcto funcionamiento del sistema de combustible del motor.
2. Chequear diario los problemas tecnológicos que no se visualizan en el AGC (Filtros de aire sucios, intercambiadores sucios, inyectores defectuosos, mala calibración y turbos defectuosos)
3. Chequear diario los parámetros de trabajo de los motores fuera de régimen que se visualizan en el AGC (Presión de aire, temperatura del diesel, temperatura del aire y % de carga de trabajo)

RECOMENDACIONES

Se recomienda que este trabajo se haga extensivo a todos los emplazamientos de la provincia para tener referencias de análisis exergéticos para lo cual se necesita mayor facilidad de información y así poder obtener resultados más reales que se puedan tener en cuenta para la toma de decisiones y acciones en aras de mejorar la eficiencia de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

A. Valero. "Termoeconomía". Dpto de Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza. 50015 Zaragoza.

Choy P., José Luis. Elementos de construcción y cálculo de los motores de combustión interna. Tercera reimpresión. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1994.

M. J. Lapido Rodríguez, M. A. Álvarez Guerra Plasencia, J. A. Castellanos Álvarez, P. Roque Díaz y J. C. Armas Valdés. "Termodinámica Avanzada". Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, 2006.

M. Muñoz y A. Valero. "La valoración económica en base exergética". Área de Máquinas y Motores térmicos. Dpto de Ingeniería Mecánica. (E.T.S.I.I.). Universidad de Zaragoza. España. 2008.

M. Muñoz, A. Valero y J. Guallar. "Teoría de coste exergético. I conceptos básicos". Centro Politecnico Superior de ingenieros Industriales. Dpto of Mechanical Engineering. Maria de Luna, 3 - 500015 Zaragoza. Spain.

M. de Armas Teyra. "Seminario de Generación Descentralizada en el Sistema Electrico Nacional". Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, 2005.

Remedios L., R.; De la Fé D, S. a Algunas consideraciones sobre la introducción de la Generación Distribuida en la red de Transmisión Oriente Norte. 7ma Conferencia Provincial Sociedad Ingenieros Mecánicos, Eléctricos e Industriales. UNAIC. Santiago de Cuba. 2007.

ANEXOS

ANEXO I. Grupo Electrónico. (Vista externa)



ANEXO II. Grupo Electrónico. (Vista interna)



ANEXO III. Sistema de combustible del motor MTU S-2000.

