

República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Universidad de Cienfuegos
“Carlos Rafael Rodríguez”



Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica
Modelación matemática del ciclo de trabajo de los motores de la estación
de energía distribuida de Yaguaramas.

Trabajo de Diploma

en opción al Título de Ingeniero Mecánico

Autor: Orlandy González Cepero

Tutor: Dr.C José Ramón Fuentes Vega

MSc. Mario Aranzola Rodríguez

Cienfuegos junio, 2017

Declaración de autoría
Universidad Cienfuegos



Sistema de Documentación y Proyecto. Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma

Vice Decano
Nombre y Apellidos. Firma

Firma del Tutor
Nombre y Apellidos. Firma

Sistema de Documentación y Proyecto
Nombre y Apellido. Firma



“Hemos encontrado, afortunadamente, algo más importante, el ahorro de energía que es como encontrar un gran yacimiento”

Agradecimientos

En primer lugar a Dios

Al claustro de profesores, por formarme como profesional

A mis tutores el Dr.C José Ramón Fuentes Vega y MSc. Mario Aranzola Rodríguez por poner a mi disposición sus conocimientos

A los compañeros de la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas

A todos mis compañeros de estudio que me apoyaron de una forma u otra

A toda mi familia

Dedicatoria:

Dedico este triunfo con todo el amor y cariño a mi mama, mi papa y mis abuelos,

A todos mis tíos y tías,

A mis 4 hermanas

A mis primos hermanos

A mi novia

A todos los que no están en este mundo, como mi abuelo por parte de madre y mi tía por parte de padre

En fin a toda mi familia

RESUMEN.

El presente trabajo se desarrolla en la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas, la cual funciona con fuel oil como combustible fundamental y trabaja entre 17 a 24 horas diarias. A través de un procedimiento de regresión lineal múltiple se pretenden obtener modelos primarios representativos del ciclo de trabajo de la central eléctrica.

Se habla de modelos primarios, por la imposibilidad de acceder a la información digital correspondiente a los 12 motores, de las 3 baterías, razón por la cual se trabajó con datos manuales de un motor en un mes de trabajo, para buscar modelos provisionales que al menos permitan identificar los parámetros de mayor significación en las variables dependientes.

Se propone un modelo para el consumo de fuel oil de la central, los cuales predicen en buen grado el comportamiento de las variables dependientes, aun cuando son susceptibles de perfeccionamiento.

ABSTRACT

The present project have place in the Electric central of Distributed Energy of Yaguaramas, this central works with Fuel Oil as fundamental fuel and the period of work between 17 and 24 ours at day .Across a procedure of multiple lineal regression its purport get representative primers models of the cycle of work in the electric central.

It's been talking of primers models because the impossibility of access of the digital information of 12 motors each, of 3 battery's, reason for the work be whit manuals dates of one motor in a month of work, for look up provisional models that let identify the most significant parameter in the dependent variables.

The proposition is a model for fuel oil consume in the central, they predict in a good grade, the deportment of the dependents variables, even when they can suffer perfections.

TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de Contenidos.....	VII
Introducción	1
Capítulo I: La generación distribuida en la generación eléctrica.....	7
1.1.-Introducción.	7
1.2.-La generación de electricidad: elementos de su desarrollo histórico.	7
1.3.-Generación distribuida: factores de desarrollo	11
1.4.-Concepto de Generación Distribuida de Energía.....	14
1.4.1.-Conceptualización.	14
1.4.2.-Clasificación de la generación distribuida.....	15
1.5.-Desventajas de la generación tradicional.....	17
1.6.-Ventajas de la GD y barreras para su aplicación.	19
1.6.1.-Ventajas de la GD.	19
1.6.2.-Barreras en el campo de aplicación de la GD	23
1.6.3.-El futuro de la generación distribuida y sus impactos sobre el sector de energía.	25
1.7.-Los grupos electrógenos.	29
1.7.1.-Los grupos electrógenos dentro de la energía distribuida.	29
1.7.2.-Características del caso de estudio: La Central Eléctrica de GD de Yaguaramas.....	34
1.8.-La Central Eléctrica de GD de Cruces.	35
1.9.-Conclusiones parciales	37
Capítulo II: Metodología de trabajo.	39
2.1.-Introducción.	39
2.2.-La Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas	39
2.2.1.-Caracterización de la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas.	39
2.2.2.-Condicionantes para el desarrollo del trabajo.	48
2.3.-La metodología de trabajo.	50
2.4. Conclusiones parciales.	53
Capítulo III: Análisis de resultados.	54
	VII

3.1. Introducción.....	54
3.2. Análisis estadístico de resultados	54
3.2.1 Análisis de regresión para las dos variables dependientes.	54
3.3.-Análisis físico de los resultados.	58
3.4.-Sobre las mediciones de consumo de combustible del motor.	59
3.5.-Conclusiones parciales	60
Conclusiones generales.....	61
Recomendaciones	62
Bibliografía.....	63
ANEXO I.....	69

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos la humanidad se ha visto en la necesidad de contar con fuentes de energía que permitan suplir las necesidades energéticas para la producción de bienes y servicios así como la realización de actividades cotidianas. En la actualidad, suplir esta necesidad implica llevar a cabo un complejo proceso, que inicia con la generación de electricidad a partir de diversas fuentes (mediante la transformación de energía mecánica, química, térmica, entre otras, en energía eléctrica), y continúa con la transmisión y distribución de esta energía a los grandes centros de consumo. (Álvarez y Serna, 2015) Según Castillo (2011), en la actualidad, alrededor del 85% de la energía consumida a nivel mundial, procede de combustibles fósiles, que poco a poco se están agotando. Sin embargo, aunque quizá no haya escasez durante los próximos 50 años, las reservas que conocemos están disminuyendo y las nuevas fuentes de petróleo no mantienen el ritmo de consumo. Por esta razón, tanto el equilibrio de la naturaleza, como la energía requerida por todas las tecnologías para funcionar, son dos requerimientos que se ven amenazados para mantener una buena calidad de vida del ser humano, la cual está asociada a todas sus necesidades básicas.

En la última década, tanto en nuestro país como en el resto del mundo, temas como la conservación de los recursos naturales y la protección al medio ambiente, han alcanzado gran importancia. Una de las áreas de mayor impacto negativo en el medioambiente es la generación de energía, y son muchos los esfuerzos que hay que promover a fin de asegurar el porvenir para las generaciones futuras, y en este sentido, uno de los logros más significativos es, sin duda, el desarrollo de nuevas actitudes respecto del uso racional de energía y políticas que fomentan al máximo el uso de energías renovables (eólica, solar, hidráulica y biomasa, entre otras), las cuales reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de estas políticas es el Protocolo de Kyoto, el cual tiene como objetivo reducir sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), y son muchos los países, que tienen programas con objetivos concretos de incremento del uso de estas energías renovables. En este contexto, en los últimos tiempos se ha producido un fuerte impulso en el desarrollo y utilización de distintas tecnologías de generación a pequeña escala, en particular aquellas relacionadas con fuentes renovables. (Segura, 2005)

En el mundo moderno, el desarrollo de un país se mide, entre otros elementos, por el nivel de electrificación que el mismo posea, debido a que la electricidad es la principal fuente de energía para la realización de la inmensa mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicios. Una interrupción por breve que sea, provoca considerables trastornos y pérdidas en la

producción industrial, en el transporte, las comunicaciones, el sector financiero y en las tareas de la defensa del país.

Existen diversos métodos para generar energía eléctrica, entre otros:

1. Aprovechando la energía del agua en los ríos, fundamentalmente en las cascadas o saltos de agua, principio que hoy se emplea en las denominadas hidroeléctricas, pero que se utilizó desde épocas muy tempranas con diferentes finalidades;
2. Aprovechando la energía de los vientos, conocida como energía eólica;
3. Aprovechando la energía del Sol, a través de paneles compuestos por celdas fotovoltaicas. Estos 3 métodos pueden considerarse como de “producción limpia de energía eléctrica”. Nada es absoluto, pero son sin duda los más limpios de su tipo.
4. Aprovechando la energía nuclear, en las denominadas atomoeléctricas, plantas que hoy tienen un gran rechazo, a partir de los accidentes que se han producido en diversas partes del mundo (Chernovil, Fokushima, etc.);
5. Aprovechando la energía contenida en combustibles (líquidos o gaseosos) derivados del petróleo, en las denominadas termoeléctricas. Estas plantas son de gran capacidad de generación generalmente y complicado diseño de fabricación, si bien podemos encontrar pequeñas plantas termoeléctricas en la industria, que utilizan excedentes de la producción industrial, como es el caso del vapor.
6. Por último, y también dependientes de la energía contenida en derivados del petróleo, encontramos los denominados grupos electrógenos (GE), los cuales a partir de un motor de combustión interna y un generador eléctrico, agrupados en baterías, generan electricidad en instalaciones más sencillas con relativamente bajos valores de consumo específico.

Según Llosas (2010), el uso de los GE en Cuba es reciente. Factores como el acceso limitado a los mercados internacionales, el corte abrupto de los suministros de petróleo y sus altos precios, la imposibilidad de realizar mantenimientos y reparaciones a las centrales eléctricas y redes de distribución y el azote cada vez más frecuente de huracanes, provocaron un colapso en el funcionamiento del Sistema Electro-energético Nacional (SEN).

Esta severa crisis, según Hourné et al (2012), conllevó al surgimiento de un nuevo programa, el cual consiste en un esquema de generación eléctrica distribuida, que emplea la instalación de emplazamientos compuestos por baterías de GE, que operan con diesel o fuel oil, constituyendo uno de los más profundos cambios conceptuales en esta esfera. Estos GE están distribuidos en dependencia de su potencia y utilidad, a todo lo largo y ancho del país y pueden ser pequeños, medianos o grandes Los

grandes, en su mayoría, están conectados a la red nacional (SEN), con el fin de apoyar a las centrales termoeléctricas en el proceso normal de generación.

La generación distribuida en Cuba se caracteriza, según Llosas (2010) por:

- Romper esquemas tradicionales en la generación eléctrica;
- Posibilitar mejores condiciones de vida a la población;
- Hacer más eficientes y competitivas las producciones, al mejorar los indicadores de eficiencia energética.
- Impactar positivamente en las condiciones medioambientales del país.

Los primeros emplazamientos instalados en el país trabajaban con combustible diesel. A principios del año 2007 se anunció la conclusión oficial del programa de los grupos diesel, los cuales aportaban en conjunto más de mil 300 MW de potencia. El programa que se desarrolla desde el 2007, es el de los GE con motores Hyundai de procedencia Coreana y MAN de procedencia Alemana, que trabajan con fuel-oil, si bien se mantienen en activo GE que trabajan con combustible diesel.

Como los emplazamientos de generación distribuida con GE de fuel oil, poseen una tecnología de adopción reciente en el país, no se cuenta con la experiencia y conocimientos necesarios, lo que conlleva al surgimiento de problemas de funcionamiento y operación de la maquinaria. Según criterios de especialistas, las causas fundamentales de las averías o fallas son producidas por problemas de operación, de mantenimiento, desconocimiento de la tecnología y escasa cultura tecnológica de los operadores, lo cual está afectando la disponibilidad y la fiabilidad de estas plantas de generación.

El análisis histórico de la información relacionada con la temática sobre los grupos electrógenos muestra que se ha trabajado en (Hourné et al, 2012):

- Determinación de los fallos más importantes en los equipos auxiliares de los grupos electrógenos Hyundai Himsen, mediante un análisis de causa raíz (Del Castillo, 2009).
- Análisis de los fallos presentados por las unidades principales de diesel y combustible pesado (MDU) del emplazamiento de grupos electrógenos Hyundai Himsen de Regla.
- Propuesta de mejoras al sistema de gestión de la calidad de la empresa de mantenimiento a grupos electrógenos de fuel oil.
- Generación distribuida. Análisis para la evaluación del comportamiento mecánico-funcional de los grupos electrógenos Hyundai Himsen 9H21/32.

- Identificación y caracterización de los fallos en los motores serie 4000, para grupos electrógenos MTU de los emplazamientos de La Habana.
- Generación distribuida. Introducción al monitoreado de la condición de los grupos electrógenos Hyundai Himsen 9H21/32.
- Impacto ambiental por ruido de grupos electrógenos. (Grupo ISOLUX CORSAN S. A., 2006).

En la provincia de Cienfuegos la Empresa Eléctrica cuenta con diez centrales de generación distribuida (ocho centrales eléctricas diesel y dos centrales eléctricas fuel oil). De las centrales eléctricas diesel: siete son de tecnología MTU y una de tecnología Scania, las cuales por la configuración de los motores generadores se presentan dentro del territorio en tres instalaciones de baterías: "Junco Sur" con dieciséis motores MTU~4000, "Cruces" con ocho motores MTU~4000 y "El Tablón" con once motores generadores de tecnología Scania, además de cinco instalaciones aisladas que están conformadas por dos motores MTU 4000 o 2000 según correspondan. Las dos centrales eléctricas fuel oil "Cruces" y "Yaguaramas" son de tecnología Hyundai y funcionan ininterrumpidamente según lo establecido por el SEN. Las ocho centrales diesel son plantas generadoras de reserva para el horario pico, cuando hay una alta demanda de energía. (Rodríguez et al, 2014).

El presente trabajo se desarrolla en la central eléctrica de fuel oil "Yaguaramas". La misma cuenta con 3 baterías de motores, con cuatro motores cada una. Dichos motores generan 1,7 MW a 900 rpm de funcionamiento y trabajan de 17 a 24 horas ininterrumpidamente, con un 85% de la carga, aproximadamente, si bien esta puede variar en dependencia de la demanda del despacho de carga. Son motores de 9 cilindros, con consumos específicos de alrededor de 214 g/kW.h, menor que el que se obtiene en la CTE "Carlos Manuel de Céspedes", que es de 257 g/kW.h.

Como se ha expresado existe poca experiencia en el trabajo con este tipo de instalaciones y los trabajos realizados a nivel de país en tal sentido, no son abundantes. Un modelo matemático que relacione las condiciones de explotación con el consumo de combustible, pudiera contribuir a identificar los factores que lo afectan, la cuantía de la incidencia y facilitar la toma de medidas para garantizar un uso más racional de estas instalaciones, reduciendo los niveles de consumo.

En el curso anterior se realizó un trabajo semejante al actual en la central eléctrica de fuel oil de Cruces y se obtuvo un modelo matemático para la generación y otro para el consumo. Con este trabajo se pretende ampliar los resultados obtenidos, aplicando semejantes procedimientos en otra instalación similar y de ser posible, mejorar los resultados anteriores.

Estas instalaciones cuentan con un sistema de control on line de parámetros de funcionamiento, que garantiza mediciones en fracciones de segundo. Contar con esta base de datos, la cual se almacena trimestralmente, sería de enorme importancia en el logro de estos objetivos, pero para leerla se necesita de un software, que no lo posee la entidad y que radica en otra provincia. A pesar de múltiples esfuerzos, no ha sido posible obtenerlo, por lo que se ha tenido que realizar el trabajo, a partir de una base de datos obtenida manualmente, cuyos datos se obtienen cada 2 horas de funcionamiento de cada motor. Existen a su vez otras limitaciones, que se detallarán en el contenido de la tesis. Esto limita el alcance del trabajo de diploma, al privarnos de una base de datos más amplia.

Por todo lo anterior, se propone como **Problema de Investigación** del actual trabajo de diploma el siguiente:

La ausencia de un modelo matemático definitivo del ciclo de trabajo de los motores Hyundai de fuel oil de las centrales eléctricas de energía distribuida, imposibilita contar con una herramienta que permita identificar los factores de mayor incidencia en su desempeño y la toma de medidas que garantice la utilización más racional de estas instalaciones.

Como **Hipótesis** de este trabajo de diploma se propone:

La obtención de un modelo matemático del ciclo de trabajo de un motor Hyundai de la central eléctrica de energía distribuida de Yaguaramas, contribuirá al trabajo de perfeccionamiento de la modelación matemática, con una mayor base de datos, que incluya todos los motores en mayor período de trabajo y con alta frecuencia de medición.

De ahí se deriva el siguiente **Objetivo General** y los **Objetivos Específicos** siguientes:

Objetivo General:

Modelar matemáticamente el ciclo de trabajo de un motor Hyundai de la estación de energía distribuida de Yaguaramas, de modo que facilite el proceso de obtención definitiva de un modelo del ciclo de trabajo de los motores, para utilizarlo como herramienta que permita identificar los factores de mayor incidencia en su desempeño y la toma de medidas que garantice la utilización más racional de estas instalaciones.

Objetivos específicos:

- Enfocar los estudios documentales, en primer lugar al estudio del funcionamiento de las estaciones de energía distribuida, haciendo especial énfasis en los denominados Grupos Electrónicos. Estudiar

los trabajos realizados en esta esfera, los tipos y características de estas instalaciones y su aplicación en el país.

- Definir dentro de la amplia base de datos, los parámetros imprescindibles para la modelación de los motores en función de la incidencia que muestren en el desempeño de los motores.
- Establecer el procedimiento más adecuado para el procesamiento de la base de datos.
- Elaborar el modelo matemático del ciclo de trabajo de un motor.

Fundamentación del trabajo:

En primer lugar el presente trabajo de investigación es de interés de la central eléctrica de energía distribuida de Yaguaramas, y se ha contado para su desarrollo con el apoyo de todos sus especialistas.

El trabajo tiene total correspondencia con las líneas de investigación en Eficiencia Energética del CEEMA.

Es una temática de actualidad, de suma importancia para el país, dada la cantidad de centrales eléctricas de energía distribuida instaladas en el territorio nacional, a las cuales pueden serle de utilidad los resultados que se alcancen en esta investigación.

El presente trabajo es más bien, una investigación exploratoria sobre el tema en cuestión, y que puede dar lugar al desarrollo posterior de tesis de maestría y doctorados. Tiene por tanto el trabajo importancia desde el punto de vista metodológico, si bien los trabajos posteriores aportarán desde el punto de vista económico, operacional y medioambiental, a partir del ahorro de portadores energéticos.

CAPÍTULO I: LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

1.1.-Introducción.

En el capítulo se aborda el estudio de la generación distribuida, haciendo especial hincapié en los Grupos Electrónicos de fuel oíl, que constituyen la razón de nuestro trabajo. Se estudia la generación centralizada, sus particularidades y las desventajas que posee. Así mismo se estudian las características de la generación distribuida, sus ventajas y las barreras que encuentra para su desarrollo, la importancia que le concede nuestro país y su desarrollo actual.

1.2.-La generación de electricidad: elementos de su desarrollo histórico.

El desarrollo de toda sociedad está ligado directamente a la disponibilidad y consumo energético, la energía es por tanto un factor esencial para el desarrollo y el crecimiento económico, de manera que la aparición de una crisis energética da origen irremediablemente a una crisis económica. Es por esto que la utilización eficaz de la energía, así como su uso responsable, es esencial para la sostenibilidad.

La generación distribuida (GD) (Fig. 1.1) representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada (Fig. 1.2). Aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica.



Fig. 1.1 La generación eléctrica distribuida

Fuente: Del Amo, referenciado por Curbelo (2016).

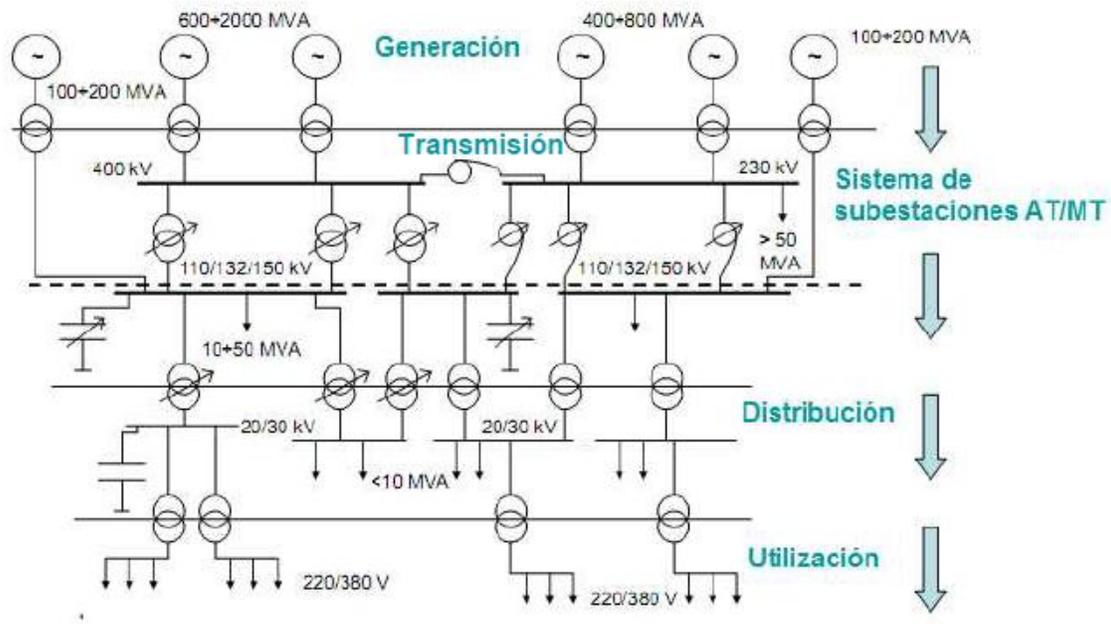


Fig. 1.2 Detalle de un sistema tradicional de energía eléctrica.

Fuente: [CETECMAN, 2012](#).

Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con corriente alterna y transformadores, lo que permite llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación. Bajo este escenario, se perdió el concepto de generación centralizada, ya que las grandes centrales se encuentran en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca del suministro del combustible y el agua (Villa, 2012).

Otra característica importante de la GD, es el hecho de que la producción de energía se realiza mediante un gran número de pequeñas fuentes; generalmente la potencia que generan estas fuentes se ubica en una escala de mediana a pequeña y usualmente las capacidades se encuentran entre los rangos de micro generación (1W- 5 kW), pequeña generación (5 kW - 5 MW), mediana (5 MW - 50 MW) y gran generación (50 MW - 300 MW). (Álvarez & Serna , 2012).

La generación centralizada en grandes centrales eléctricas, tal como la conocemos hoy, ha tenido su inicio en la célebre instalación de transporte de energía eléctrica, entre la central de Lauffen (en el río Neckar) y la Exposición Internacional Electrotécnica de Francfort, distantes 175 km, en el año 1891. Los generadores producían una tensión alterna de 85 V, 40 Hz, que era elevada en Lauffen hasta 12.500-25.000 V por medio de transformadores basados en las ideas de Gaulad y Gibbs, (patentes de los años 1882 y 1884), y reducida de nuevo a 100 V, en Francfort, para alimentar el sistema de

iluminación (1.000 lámparas de incandescencia) y un motor trifásico de 100 CV que accionaba la bomba de una cascada artificial de 10 m, así como otros pequeños motores. Las tres primeras centrales eléctricas, diseñadas y construidas por Edison en Holborn Viaduct (Londres, 12/1/1882), Pearl Street (Nueva York, 4/9/1882) y Appleton (Wisconsin, 30/9/1882), se había seguido la estrategia que hoy se denomina generación distribuida, esto es, instalar la generación eléctrica dentro de la zona donde se encuentran los consumidores (Segura, 2005).

La GD es la generación y el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de comprar o vender energía eléctrica con el sistema interconectado o trabajar aisladamente (Carvajal & Marín, 2012).

Algunas fuentes de GD son novedosas y aún se mantienen en desarrollo, mientras otras son tecnologías ya maduras y muy afianzadas en el mercado. Algunas son reconocidas por diferentes nombres como generadores de respaldo (back-up generators) o generación en sitio (on-site power). Estas fuentes pueden ser agrupadas en función de varios puntos de vista. En función de su agresividad al medio ambiente y a la energía primaria que utilicen, esta tecnología se puede clasificar en: fuentes convencionales o tradicionales y no convencionales o alternativas. El primer grupo comprende aquellas tecnologías que utilizan como energía primaria combustible fósiles, impulsando a micro-turbinas que dan respaldo al sistema, mientras que la segunda se refiere a la energía renovable, como la micro-hidráulica, geotérmica, biomasa, las turbinas eólicas, celdas de combustible y celdas fotovoltaicas (Chuqui, 2014).

A continuación en las figura 1.3 se describen las clasificaciones de las tecnologías denominadas maduras y en la figura 1.4, las tecnologías agrupadas como renovables y no renovables.

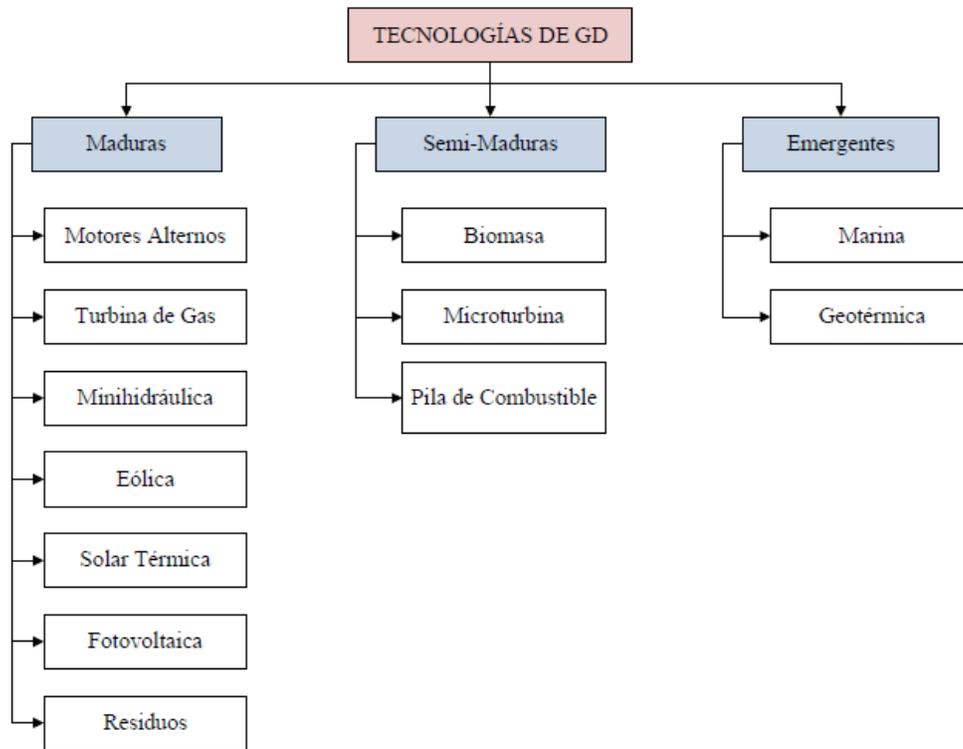


Fig. 1.3 Tecnologías de generación distribuida (madura, semi-maduro y emergente)

Fuente: Chuqui, 2014.

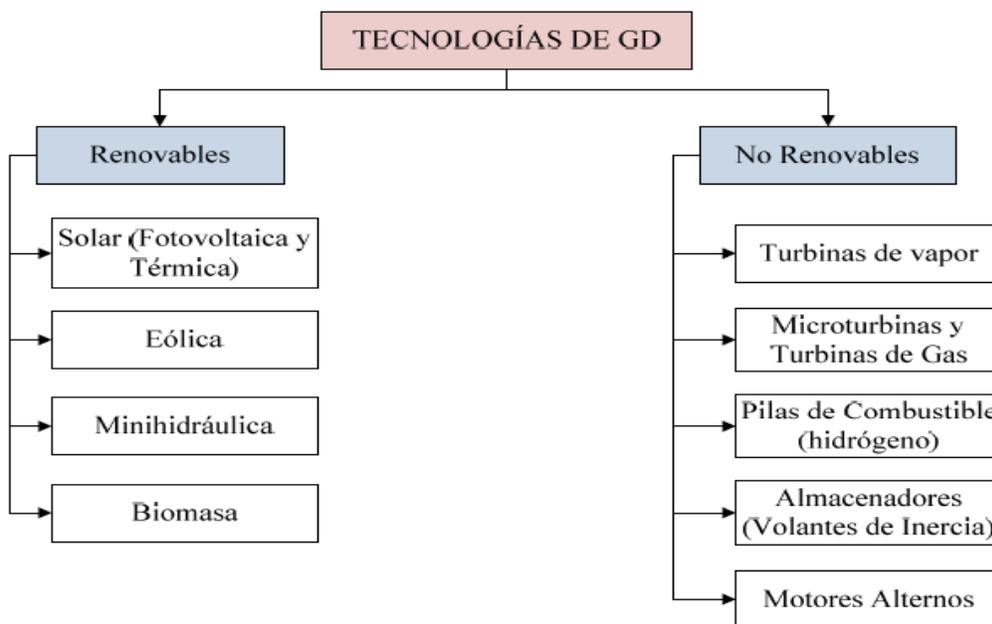


Fig.1.4 Tecnologías de generación distribuida (renovables y no renovables)

Fuente: Chuqui, 2014.

La GD es frecuentemente utilizada como backup de energía, para aumentar la confianza del sistema, o como un medio de aplazar la inversión en costosas redes de transmisión y distribución, evitando sus costos, reduciendo las pérdidas de la línea, difiriendo la construcción de grandes instalaciones de generación, suministrando fuentes alternativas de abastecimiento a un mercado de energía que es controlado por pocos actores (Pacheco, 2010).

1.3.-Generación distribuida: factores de desarrollo

El desarrollo actual de la GD y la aceleración que previsiblemente, va a experimentar en los próximos años tiene su fundamento en una serie de situaciones y medidas adoptadas, que actúan de forma conjunta como plataforma de lanzamiento de un nuevo modelo de negocios (Carvajal & Marín, 2013; CETNMAN, 2012; Pacheco, 2010; IEA, 2002).

1. Se destacan algunas formas por las cuales la generación distribuida puede ejercer una influencia efectiva en cuestiones relativas a la confianza: Aumentando la calidad de la energía y asegurando suministro sin interrupciones. La GD puede contribuir para la mejoría en la calidad de la energía en áreas congestionadas, en el final de la línea de tramos largos, y en locales donde una alta calidad de energía es exigida; y puede también proveer capacidad de generación local bajo el control de clientes que demanda servicio ininterrumpido.
2. Saturación de la capacidad actual del sistema de potencia ante demandas fuertemente crecientes, unido a problemas de ubicación de las grandes centrales y de ampliación de la infraestructura actual del sistema de potencia. La construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, subestaciones y nuevas centrales de generación se enfrenta actualmente a un creciente rechazo social, lo que hace cada vez más difícil la ampliación del actual sistema eléctrico. Como alternativa a esta situación, se puede encontrar en la GD la posibilidad de cubrir los picos de la demanda y evitar las interrupciones del suministro.
3. Reducción de las pérdidas en la red y del coste asociado a las infraestructuras que la soportan. El crecimiento de la demanda energética conlleva a la necesidad de entender el sistema de distribución y reforzar las líneas existentes. Esto supone un coste alto, en ocasiones, resulta inviable económicamente frente a la posibilidad de incorporar nuevos sistemas aislados de producción o la creación de micro-redes de distribución aislada.
4. Avances tecnológicos en el desarrollo de las fuentes alternativas de generación y reducción de costes.

5. La necesidad de incrementar la capacidad del actual sistema eléctrico y las dificultades para construir nuevas grandes centrales o líneas de transporte y distribución han impulsado el desarrollo de equipos de generación a pequeña escala, que ofrecen una solución innovadora a estos problemas. El vertiginoso desarrollo tecnológico que están experimentando estos equipos, constituye uno de los factores clave en el “boom” de la GD, pues ha permitido aumentar la eficiencia de las tecnologías empleadas y su fiabilidad, al tiempo que permiten reducir los costes de instalación, operación y mantenimiento.
6. Autonomía energética. La crisis del petróleo de 1973 elevó el precio del barril de petróleo de forma espectacular, el que se ha mostrado desde entonces inestable. Este fenómeno ha provocado la concientización sobre la realidad energética del planeta y sobre la necesidad de diversificar las fuentes de energía y fomentar el autoabastecimiento. La GD ofrece una estructura productiva más amplia, que contribuye a la diversificación energética y potencia los recursos autóctonos.
7. Reducción de las emisiones de gases de combustión, en correspondencia con los objetivos establecidos en el Protocolo de Kyoto, pues potencia la utilización de fuentes de energía renovable. De la transformación, transporte y uso final de la energía se derivan importantes efectos medioambientales, como es el cambio climático.... Con la producción descentralizada de energía eléctrica se logra, en el caso de las energías renovables, la eliminación del impacto medioambiental de la generación de energía eléctrica. Por otro lado, mediante la utilización de equipos de cogeneración, la eficiencia en el uso del combustible se incrementa, lo que provoca una reducción indirecta de las emisiones de gases del efecto invernadero
8. Los clientes que instalan la GD cerca del consumidor, usualmente lo hacen por una combinación de tres razones: reducción de costos, aumento en la calidad de energía y mayor confianza. Uno de los motivos de reducción de costos son los altos valores de energía para demanda y de horarios pico. La GD puede desempeñar también un papel importante en el caso de interrupciones debido a accidentes naturales, evitando largos periodos sin suministro de energía.
9. Favorece el desarrollo de las regiones aisladas y la inversión privada. La generación de energía eléctrica mediante energías renovables es muy apropiada para suplementación en zonas aisladas, a las que la red de transporte y distribución actual no llega. Esto favorece el desarrollo regional homogéneo de todo el país. La producción descentralizada de energía eléctrica representa una mayor oferta de posibilidades de inversión para la iniciativa privada, que, de esta forma, puede penetrar más fácilmente en el negocio de la generación lo que ha dado paso a la inversión privada en investigaciones de nuevas tecnologías.

10. Con el paso del tiempo y gracias al desarrollo tecnológico, se han producido importantes variaciones en los costes de generación, especialmente, en centrales térmicas en el período de 1930-1990, tal como se muestra en la figura 1.5, la evolución histórica hacia la instalación de grandes generadores se basa en que, desde la década de los 30 hasta fines de la década de los 80, existe una clara tendencia a un aumento de la potencia de los generadores para la obtención de un mínimo coste por MW generado.

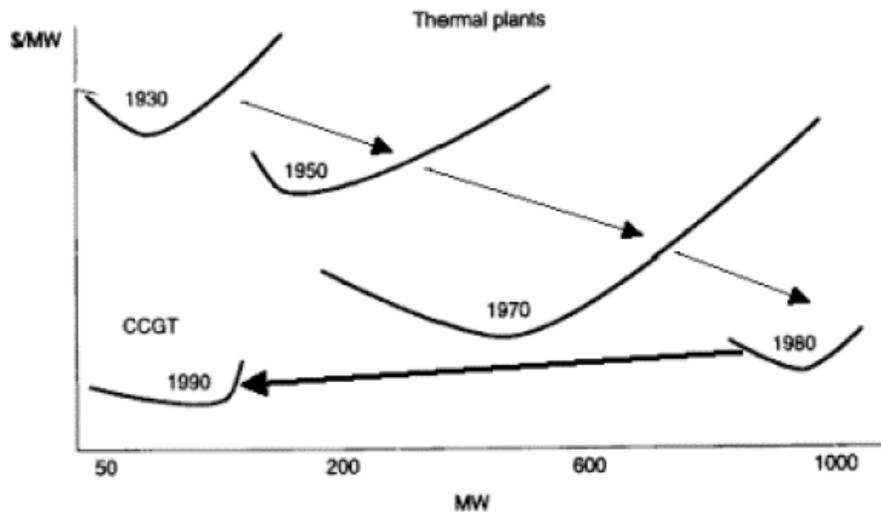


Fig. 1.5 Evolución de curvas de plantas generadoras frente a potencia en centrales Térmicas. 1930-1990.

Fuente: CETNMAN, 2012

11. Registros de continuidad en el servicio. La fiabilidad del suministro afecta a todos los procesos industriales y de forma especial a sectores como el de la informática y las telecomunicaciones, donde cualquier indisponibilidad de suministro eléctrico puede causar grandes pérdidas en sus procesos productivos.

O sea, la GD es un concepto que en el contexto actual ha venido retomando fuerza, debido a factores tecnológicos, ambientales, condiciones de mercado y regulaciones. Todos estos factores están llevando a que la generación distribuida sea una opción para suministrar la energía que los usuarios están demandando.

1.4.-Concepto de Generación Distribuida de Energía

1.4.1.-Conceptualización.

La Generación In-Situ, Generación Dispersa, o más cotidianamente, Generación Distribuida (GD) no está definida internacionalmente, son de capacidades pequeñas, están conectadas a las redes de medio y bajo voltaje y no contribuyen al control del voltaje y frecuencia (Villa, 2012)

Tomando la definición de varios autores, Francisco et al (2010) expresa: Según la definición del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), la cual es una de las más conocidas, la generación distribuida "...es la generación de electricidad mediante instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico". Otros la definen como:

- Producción de electricidad con instalaciones suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico (IEEE, referenciado por Segura, 2005).
- Producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución. (IEEE referenciado por Francisco et al, 2010)
- La generación distribuida, es una manera de producir energía eléctrica, minimiza las pérdidas debidas al transporte, incrementa la eficiencia, aumenta la confiabilidad del sistema, optimiza el uso de los recursos, disminuye la contaminación ambiental y reduce el tamaño de las plantas (Valencia, 2008).
- Fuente de energía eléctrica conectada al sistema de potencia, en un punto muy cercano o en la ubicación del consumidor, ya sea del lado de éste o de la red, que es suficientemente pequeña comparada con las plantas centralizadas. (González, referenciado por Curbelo, 2016).
- La GD es la generación y el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de comprar o vender energía eléctrica con el sistema interconectado o trabajar aisladamente (Carvajal & Marín, 2012).
- La GD, entendida como la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas, ha existido desde hace muchos años en todos los países industrializados. Así, en algunas aplicaciones que se encuentran alejadas de las redes eléctricas, se han utilizado generadores diesel de una gran variedad de potencias. Otro ejemplo son las plantas de cogeneración existentes en un buen número de

instalaciones industriales, en las que el proceso utiliza grandes cantidades de energía térmica (Segura, 2005)

- La GD es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética.(Rodríguez, 2009)

Según el criterio de González (2008), a pesar de que no existe una definición universalmente aceptada sobre que es GD y en qué se diferencia de la generación centralizada, algunos atributos que la caracterizan son:

- No es centralmente planificada.
- No es centralmente despachada
- Menor de 50 – 100 MW.
- Usualmente conectada al sistema de distribución.

El sistema de distribución primaria lo componen las redes del sistema eléctrico de potencia, que conectan el sistema de transportes con el sistema de distribución secundaria, al cual están conectados directamente los usuarios, y las tensiones utilizadas varían desde 230/400 V hasta 132 kV.

1.4.2.-Clasificación de la generación distribuida.

La GD, según Álvarez & Serna (2012), se puede clasificarse de acuerdo con varios criterios: según la tecnología utilizada en renovable y no renovable (Fig. 1.6), aunque también puede clasificarse según la oferta del mercado, la disponibilidad y la duración del suministro de energía.

Una clasificación más completa y que brinda una idea general del potencial de la generación distribuida, es la que se realiza teniendo en cuenta el uso de la energía generada. Esta clasificación se presenta a continuación:

1. Generación para soporte de la red de distribución: Es la generación que sirve como soporte a la red de distribución ante pérdidas del suministro de energía eléctrica para aquellas cargas sensibles, como lo son hospitales e industrias. De esta forma, se aumenta la confiabilidad del sistema eléctrico.

<i>Tecnología</i>	<i>Tamaño típico disponible por módulo</i>
<i>Turbinas a Gas de Ciclo Combinado</i>	35–400 MW
<i>Motores de Combustión Interna</i>	5kW–10 MW
<i>Turbinas de Combustión</i>	1–250 MW
<i>Micro-Turbinas</i>	35 kW–1MW
<i>Renovables</i>	
<i>Pequeñas Hidros</i>	1–100 MW
<i>Micro Hidros</i>	25 kW–1MW
<i>Turbinas de Eólicas</i>	200 Watt–3MW
<i>Arreglos Fotovoltaicos</i>	20 Watt–100 kW
<i>Solar térmica, receptor central</i>	1–10 MW
<i>Solar térmica, sistema Lutz</i>	10–80 MW
<i>Biomazas, por ejemplo, basados en gasificación</i>	100 kW–20 MW
<i>Celda de combustible, ácido fosfórico</i>	200 kW–2MW
<i>Celda de combustible, carbonato fundido</i>	250 kW–2MW
<i>Celda de combustible, intercambio de protones</i>	1 kW–250 kW
<i>Celda de combustible, óxido sólido</i>	250 kW–5MW
<i>Geotérmico</i>	5–100 MW
<i>Energía del océano</i>	100 kW–1MW
<i>Motor Stirling</i>	2–10 kW

Fig. 1.6 Tecnologías renovables y no renovables de GD y su tamaño típico por módulo.

Fuente: González, 2008

2. Generación en isla: Esta clase de generación es propia de poblaciones aisladas, que se encuentran por fuera del sistema interconectado nacional, debido a obstáculos geográficos que dificultan el suministro de energía, de manera que conectarse a la red es muy costoso y se requiere de una central que genere la energía necesaria para dicha población.

3. Generación para picos de carga: El costo de la energía eléctrica varía dependiendo de la curva de demanda y la generación disponible para los diferentes periodos del día. Por tanto, este tipo de generación es usada para reducir los costos de energía en los períodos donde se presenten picos de demanda, principalmente en el sector industrial. Esto implica que la industria podría generar su propia energía en los picos de demanda donde el costo del kilovatio es más caro y autoabastecer su demanda a un precio menor.

4. Generación combinada de energía térmica y eléctrica (CHP, siglas en ingles): Este tipo de generación es un proceso de un alto nivel de eficiencia eléctrica, al producirse simultáneamente energía eléctrica y energía térmica. Es ampliamente utilizado en los hospitales e industrias.

5. Generación para carga base: Este tipo de generación es continua e interconectada a la red, por medio de lo cual se puede interactuar con el sistema: suministra parte de la energía requerida y aumenta la confiabilidad, al mejorar los perfiles de voltaje y reducción de pérdidas.

1.5.-Desventajas de la generación tradicional.

La generación eléctrica tradicional tiene cinco tipos de problemas según Valencia referenciado por Curbelo (2016): (1) en la construcción y en el desmantelamiento, (2) en el funcionamiento, (3) en el servicio, (4) en el ambiente y (5) en lo social.

1. La construcción de una gran central es un proyecto a largo plazo, con el objetivo de satisfacer la demanda prevista en el futuro; cada uno de estos proyectos es diferente, exigiendo cada vez un diseño y una construcción exclusiva: se necesitan extensos terrenos, permisos para pasarlas líneas de la red por otras propiedades y estudios detallados sobre su impacto ambiental en la región de la instalación. De esto nacen dos inconvenientes: primero se prolonga el tiempo de construcción; segundo surgen reacciones negativas y discrepancias en el seno de la población. Hoy en día la oposición a grandes proyectos surge, no solo en los países desarrollados, sino también en los en vías de desarrollo, tales como India y China.

A lo anterior, el autor de este trabajo agrega, que si la central es nuclear, los problemas de rechazo, por parte de la población y organizaciones medioambientalistas, se acrecientan y las medidas para asegurar la fiabilidad y protección del medio ambiente, prolongan excesivamente los períodos constructivos.

2. La manera como se produce la electricidad en grandes centrales alejadas del sitio del consumo, obliga a mantener una larga red de transmisión y distribución con los adecuados transformadores para los cambios del voltaje. Este gran sistema necesita para funcionar de una energía, que constituye una pérdida del sistema. Además, el sistema tiene que mantener algunos de sus componentes siempre en disponibilidad para los casos de emergencia. Usualmente en la generación, esto se consigue teniendo un grupo de reserva, con una capacidad igual al generador más grande que esté operando en el sistema, para que cuando falle uno, el sistema siga sirviendo la carga adecuadamente.

A esto el autor añade que, las paradas de una línea de una central eléctrica, por necesidades de mantenimiento o reparación, constituye siempre una gran dificultad para el Sistema Electro Energético Nacional, dificultad, que dada la complejidad de estas instalaciones, se prolonga por períodos considerables de tiempo, necesarios para dar solución a la problemática existente. Otra dificultad de las

grandes centrales, en cuanto a su funcionamiento, está relacionada a la complejidad de las paradas y puestas en funcionamiento de estas grandes y complejas instalaciones.

3. En los países desarrollados, los problemas se identifican con la calidad del servicio y la fiabilidad del suministro. Toda la población ha sido testigo de caídas de tensión o de apagones, provocados por fallas, necesidades de mantenimiento o excesos en la demanda. Por ejemplo, en verano cuando numerosos aires acondicionados se ponen en funcionamiento a la misma hora del día o en horas pico, que coinciden con el incremento de la demanda en el sector doméstico. Hoy día, cuando en la vida cotidiana se utilizan toda una serie de equipos eléctricos y electrónicos, cuando las NTIC han ocupado un lugar tan importante en el trabajo y en la vida social, la fiabilidad del suministro de la electricidad es un requisito de elevada importancia.

A lo anterior se añade que los sucesos del 11 de septiembre demostraron la vulnerabilidad de las grandes plantas de generación a los ataques terroristas. Por otro lado, las pérdidas debidas a cortes en el suministro provocados por los desastres naturales tienden a aumentar por la incidencia conjunta de dos factores: la agudización de los fenómenos provocados por el cambio climático y el desarrollo de una sociedad muy informatizada, en la que incluso una leve caída de tensión genera dificultades.

4. La generación eléctrica, aparte de su impacto ambiental en la fase de construcción y de funcionamiento, es el más importante emisor de CO₂ en la atmósfera. A ello pudieran sumarse, los impactos negativos que pueden provocar las centrales eléctricas nucleares, por desperfectos, ataques terroristas o fenómenos naturales, que pudieran llevar a la falla, como el caso de la Central de Fukushima en Japón o Chernovil en Ucrania.
5. Globalmente, hay 1800 millones de seres humanos sin acceso a algún tipo de energía comercial. La mayoría de ellos viven en los países menos desarrollados, donde la infraestructura es insuficiente o no existe. Llevar extensas redes de transporte a áreas remotas o poco controladas pueden hacer su mantenimiento y su operación imposible o extremadamente caro. Por lo tanto, es muy improbable que proyectos de generación tradicional alcancen a satisfacer las necesidades, continuamente crecientes, de esta porción de la población mundial.
6. Pacheco (2010) añade: Uno de los principales problemas que se le pueden adjudicar a las grandes unidades de generación eléctrica, es el problema de la coexistencia con el ecosistema. Los grandes volúmenes de electricidad que se demanda en el último tiempo, van acompañados también de una mayor nivel de contaminación por parte de las generadoras, ya sea aire, agua, suelo, etc. Los precios de la energía eléctrica hoy están muy lejos de reflejar los costos ambientales en los cuales

se incurren. Es decir, el precio que se le paga a una central térmica por cada MWh, no debería ser el mismo que se le paga a una central eólica por cada MWh. La teoría de las externalidades permite incluir en el precio este costo ambiental, presentando entonces la generación distribuida una alternativa a la generación con alto impacto ambiental.

1.6.-Ventajas de la GD y barreras para su aplicación.

1.6.1.-Ventajas de la GD.

El empleo de GD en el sistema eléctrico presenta numerosas ventajas. Estas se pueden clasificar en tres grupos: ventajas técnicas, económicas y medioambientales (González et al, 2015; Álvarez & Serna, 2012; CETENMA, 2012; Francisco et al, 2010):

Técnicas

- Aumento de la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, ya que se reducen las probabilidades de fallos por caídas de las líneas de alta tensión al disminuir su porcentaje de uso.
- La GD puede ayudar en la demanda en horas punta y en los programas de gestión del consumo. Puede evitar la sobrecapacidad instalada, puesto que un aumento en la carga no se compensaría a través de grandes plantas centralizadas (fósiles o renovables), ya que las pequeñas plantas de GD son más apropiadas para responder a los cambios de la demanda. Igualmente, puede ayudar en la fiabilidad y continuidad del sistema, ya que la implantación de GD conlleva muchos lugares de generación y no solamente una gran generación centralizada. La GD, ante cortes en el suministro centralizado, puede trabajar en “isla”.
- La GD puede aumentar la calidad de la onda eléctrica mediante su conveniente localización y las características de la energía inyectada a la red.
- La GD puede reducir las pérdidas de energía eléctrica tanto en las redes de distribución como de transporte. La adecuada ubicación de los sistemas de GD reduce el flujo de potencia que conlleva la disminución de las pérdidas energéticas y la mejora del perfil de tensiones. La reducción de las pérdidas en el transporte y distribución de energía eléctrica aumenta la capacidad de distribución de la red eléctrica.
- La GD interviene en la estabilidad del sistema, ya que se puede utilizar como suministro de reserva de la energía necesaria. Puede suministrar diversos servicios auxiliares como: la inyección/consumo de potencia reactiva para estabilizar tensión, gestión de posibles congestiones a través de potencia activa o participación en los mercados de ajuste y reservas.

- Los sistemas de GD son modulares y proporcionan flexibilidad al sistema eléctrico de distribución. Esto implica una instalación sencilla y en un corto período de tiempo. Además, proporciona una gran ventaja en el funcionamiento y en el mantenimiento del sistema, así como, en la flexibilidad de su capacidad total, aumentando o disminuyendo el número de módulos (variabilidad de su tamaño y localización).
- La utilización de generación en los picos de máxima demanda, incremento de la eficiencia del sistema, disminución de las pérdidas al reducirse la distancia de transmisión, operación de la red de distribución con los perfiles de voltajes más estables y disminución de la probabilidad de fallas. Además, si llegara a producirse una falla en el sistema de potencia, se podría restablecer el servicio en el menor tiempo posible, debido a que se cuenta con múltiples respaldos (menores complejidades de la asistencia técnica, los suministros de piezas de repuesto para la reparación, los equipos de respaldo que pueden suplir el trabajo, etc.), menores complejidades y tiempo de reparación y al trabajar muchas de las instalaciones en baterías, las fallas no serían de todo el sistema, sino de una parte del mismo. Todo esto se traduce en un aumento de confiabilidad del sistema.

Beneficios económicos

- Al ser los equipos más pequeños y flexibles podrían producirse en masa por parte de la industria, lo que disminuiría su costo considerablemente. La disminución de las pérdidas por transporte también se refleja en un ahorro económico por parte del operador, el consumo de combustible se reduce al aumentar la eficiencia del sistema, se disminuyen los costos que hay que pagar por penalizaciones en el momento de dejar de suministrar energía eléctrica a una determinada zona, debido a que la confiabilidad del sistema se incrementa y finalmente una reducción de costos en los picos de máxima demanda.
- Reducción de las inversiones en infraestructura eléctrica. La GD puede suministrarlos aumentos de carga local necesarios, instalándolas en localizaciones determinadas, por lo que pueden reducir o evitar la construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, mejorar los sistemas eléctricos existentes y reducir la capacidad de los sistemas de transporte y distribución durante la etapa de planificación. Instalando GD se reduce la construcción de centrales eléctricas convencionales. Esta reducción de costes, derivados de la implantación de GD, permite reducir el precio de la electricidad.

Beneficios medioambientales

La posibilidad de producir energía mediante fuentes renovables como paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas, reduce drásticamente la emisión de CO₂ al aire, así como también el uso eficiente de la energía eléctrica en los procesos de cogeneración, hacen que se produzca energía limpia y amigable con el medioambiente. Al estar asociadas las emisiones al combustible consumido, los menores consumos específicos de estas instalaciones garantizan un inferior impacto al medio ambiente. Al estar más próximas las instalaciones al consumidor, se reducen las líneas eléctricas, el uso de transformadores, y por tanto, las pérdidas eléctricas en conducción, que a la larga representan emisiones al ambiente. Habría además que considerar que la sencillez del sistema, implica menos equipos e instalaciones, que para producirlos hay que emplear materias primas, equipos e instalaciones, transporte, etc., que representan a su vez energía y emisiones ambientales. La ventaja económica de disminución en redes de transporte y centros de transformación, implica una reducción del impacto visual, mejor aceptación social y menores inversiones.

Beneficios para el usuario

- Producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, o en el sitio del cliente, o en lugares aislados, donde no puede llegar la red de distribución de una gran central eléctrica.
- Generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes; destacándose la cogeneración, con la cual se maximiza el uso racional de los combustibles empleados.
- Puede expresarse entonces que la GD es un sistema que comprende la generación de energía eléctrica localizada, cercana al centro de carga con almacenamiento y administración de la misma, que puede trabajar de forma aislada o integrada a la red eléctrica, para proporcionar múltiples beneficios en ambos lados del medidor.
- Incremento de la confiabilidad.
- Aumento de la calidad de la energía.
- Reducción del número de interrupciones.
- Uso eficiente de la energía.
- Menor costo de la energía.
- Uso de energías renovables.
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.

- Disminución de emisiones contaminantes.

Beneficios para el suministrador

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

Por las ventajas generales y los beneficios para quienes generan y los usuarios, entre las tecnologías que se han ido introduciendo en los sistemas eléctricos con la concepción de la GD, están los grupos electrógenos (GE), que han mostrado una mayor posibilidad de uso por su facilidad de operación, simpleza, seguridad y confiabilidad.

Valencia (2008), refiere: La GD responde a los problemas de la generación tradicional. Por lo tanto las ventajas se catalogan en los mismos cinco tipos:(1) en la producción y en la construcción, (2) en el funcionamiento, (3) en el servicio, (4) en el ambiente y (5) en lo social.

1. La tecnología de la GD es modular y puede ser producida en masa por la industria, esto significa que sus costos bajarán con la producción masiva, además, una estandarización de los componentes, de la interconexión y de los permisos de instalación facilitará su producción e implementación. La producción en masa hará las unidades de la GD disponibles para comprarlas e instalarlas en un tiempo muy corto. Aparte de los grandes parques eólicos, los proyectos de energía renovable son de pequeña escala, en los que el usuario puede ser desde una empresa generadora hasta una casa residencial. Así, la GD es un modelo donde la energía renovable tiene todas las oportunidades de surgir. El uso de la GD puede difundir más la energía renovable y comunicar sus beneficios ampliamente.
2. Una generación dispersa y basada en las fuentes energéticas locales, diversifica los recursos y aumenta la autosuficiencia de una región. Generadores pequeños interconectados, formando una micro red, pueden ofrecer un servicio fiable, ya que la probabilidad de un fallo de todos es muy baja. Cuando un componente falla, es muy fácil para los otros compartir la carga. Generalmente, la

GD hará el sistema eléctrico menos vulnerable a desastres naturales o provocados. A esto se puede añadir la conveniencia de la GD para proyectos de cogeneración. Una gran parte de la energía primaria se consume para producir calor, ya sea en las residencias o en la industria. Debido a que la GD está en el sitio del consumo, facilita la explotación del calor que en otros casos se rechazaría. Casi toda la tecnología de la GD permite los proyectos de cogeneración. Hay tecnologías de turbinas de gas y celdas combustibles que son adecuadas para proyectos de ciclo combinado. Así, en los proyectos de la GD hay un aumento de la eficiencia.

3. La decisión de uso de la GD por una empresa eléctrica, le ayuda a afrontar los problemas del aumento de la demanda en regiones urbanas o rurales, donde la distribución es restringida. Así, el uso de la GD por parte de la empresa permite, evitando costos extensos y obras largas, suministrar la demanda. Si se usa la GD como reserva, puede aliviar la carga de la red en horas pico. El uso, finalmente, de la GD por empresas eléctricas o consumidores disminuye drásticamente las pérdidas de energía en el transporte y la distribución.
4. El uso de las energías renovables, donde sea posible, el aumento de la eficiencia, la disminución de las pérdidas del transporte, la posibilidad del uso de combustibles renovables o menos contaminantes tal como el gas natural, convierten la GD en un importante contribuidor de la disminución de los impactos ambientales. En general, se puede decir que los proyectos de GD se enfocan a un mayor desarrollo sostenible. Comparado con la producción de energía eléctrica en estaciones centrales, la GD produce menos contaminación y es más confiable y eficiente, energéticamente. Por ejemplo, la GD elimina las pérdidas de electricidad en cerca de un 8%, que ocurren cuando la electricidad se desplaza desde la estación central a través de las líneas de transmisión hasta el lugar de consumo.
5. Ventajas para Cuba: permitió la eliminación de los apagones en menos de un año; eficiencia elevada por sus bajos valores de insumos e índices de consumo de combustible; reducción de las pérdidas de transmisión y reducción de las pérdidas por eliminación de doble transformación (Llosas , 2010)

1.6.2.-Barreras en el campo de aplicación de la GD

Existen una serie de barreras que impiden la implementación masiva de este tipo de instalaciones. Las más notorias son las barreras técnicas, económicas y regulatorias. En tal sentido, Álvarez & Serna (2012); Pacheco (2010); Villa (2012), expresan:

En primer lugar existe una tendencia a privilegiar los esquemas centralizados, entre otras cuestiones por desconocimiento y escepticismo con respecto a las tecnologías existentes de GD. Claro, gestionar miles de generadores dispersos es un desafío mucho mayor para los operadores del sistema, que controlar un puñado de grandes generadores centralizados.

La IEA presenta como un inconveniente implícito en los sistemas de GD los altos costos de inversión por unidad de kW instalado.

Barreras Tecnológicas: Todavía existe una falta de conocimiento de las tecnologías de GD; muchas de ellas aún están en etapa de investigación con un alto costo asociado. Ejemplo las celdas fotovoltaicas

Existen barreras técnicas, que incluyen las relacionadas con el nivel de desarrollo de las tecnologías y con la interconexión de los sistemas de generación a las redes de distribución. La falta de madurez de algunas tecnologías se traduce en menor eficiencia, fiabilidad, tiempo de vida, etc., y supone una barrera a su implementación, que puede ser reducida incrementando proyectos de demostración.

Redes de distribución típicamente radiales: es decir, están diseñadas para llevar el flujo de energía en una sola dirección, mientras que la generación distribuida requiere de flujos que se muevan en ambas direcciones, por lo tanto surge la necesidad de tener sistemas de distribución enmallados o en anillo.

En el caso concreto de las tecnologías de GD renovables, su producción depende de la disponibilidad del recurso, lo que generalmente es impredecible. Dicha producción puede variar mucho durante su operación y se pueden producir desvíos significativos en los programas de compra de energía de los distribuidores. En el caso de las tecnologías de GD no renovables (cogeneración), la producción de energía eléctrica también puede verse afectada, en este caso, por las necesidades de energía térmica del propietario del equipo. Todo ello puede representar un obstáculo para que la generación no centralizada se incorpore a los mercados de energía.

Las barreras de interconexión incluyen las exigencias de las compañías distribuidoras dirigidas a la compatibilidad con la explotación de la red (especificaciones relativas a localidad de suministro, fiabilidad y continuidad, seguridad, medida, distribución local y control). Las redes de distribución no están preparadas técnicamente para conectar GD, pues fueron diseñadas para conectar cargas, no generadores. Por lo que la conexión de dichos generadores puede acarrear problemas de estabilidad, fiabilidad, flujos bidireccionales, etc. Es necesario, por lo tanto, adoptar normativas técnicas de interconexión que aseguren la fiabilidad, seguridad y calidad del suministro y acelerar el desarrollo de los sistemas y tecnologías de controlen GD.

Barreras de regulación y de mercado: en la mayoría de los países subdesarrollados, los sistemas regulatorios no consideran a la generación distribuida como un aspecto diferente a la generación convencional, por lo que explícitamente la penalizan.

Hoy día, a pesar de que existen reglamentaciones que definen los requisitos de los procedimientos, estas son aún más restrictivas, sobre todo por la falta de experiencia con este tipo de generación. Por otro lado en muchos casos los marcos regulatorios no fueron concebidos considerando la GD, sino para el 100% de generación central. Por ejemplo, en la mayoría de los países subdesarrollados, los sistemas regulatorios no consideran a la GD como un aspecto diferente a la generación convencional, por lo que explícitamente la penalizan.

Las barreras regulatorias incluyen los problemas existentes a la hora de obtener licencias de instalación (problemas medioambientales, sociales, etc.), que involucran en muchos casos a autoridades locales, regionales y nacionales, haciendo el proceso largo y tedioso.

La barrera económica por la falta de madurez de algunas tecnologías y su poca difusión, hacen que los costos iniciales y de mantenimiento sean elevados, lo que implica plazos de amortización muy altos, que se traducen en un mayor riesgo para el inversor.

Los efectos resultantes de la instalación de generadores distribuidos (aumento o disminución de pérdidas, mejoramiento o empeoramiento de la calidad del suministro, inversiones evitadas o necesidad de nuevas inversiones), pueden dar lugar a ahorros y sobrecostos, cuyo reparto puede influir positiva o negativamente a la hora de estudiar la viabilidad de un proyecto de GD.

1.6.3.-El futuro de la generación distribuida y sus impactos sobre el sector de energía.

Chuqui (2014); Torres (2011); Pacheco (2010) y Segura (2005) y brindan una panorámica de las posibilidades de las tecnologías más utilizadas en la GD.

- **Turbinas de gas:** Las turbinas son generadores de electricidad que queman combustible para crear una rotación de alta velocidad en un generador de electricidad. La turbina de gas es una máquina térmica que desarrolla trabajo al expandir un gas. El aire comprimido se mezcla con combustible y se quema bajo condiciones de presión constante. Las turbinas responden con rapidez a los cambios de carga, ya que poseen relativamente poca inercia. Poseen una disponibilidad del 90-95%. No causan problemas de parpadeo (flicker) ni de armónicos. Generan menos ruido y vibración que los motores alternativos al ser de mayor peso.

- **Generadores eólicos:** La energía del viento se ha utilizado principalmente en molinos de viento, los cuales han permitido principalmente el bombeo de agua, molienda de productos agrícolas y en los últimos años, en generación de electricidad. Una de las características de este recurso es su condición aleatoria y variable, por cuanto depende de condiciones atmosféricas. Esto lleva a que se requieran exhaustivas mediciones como condición previa para el desarrollo de proyectos destinados a su aprovechamiento.

En términos generales se distinguen cuatro escalas de aplicaciones de la energía eólica con fines de generación eléctrica:

1. Sistemas eólicos a gran escala, conectados a la red eléctrica, también denominados parques eólicos. Potencias superiores a 1 MW.
2. Sistemas medianos, utilizados para abastecer pequeños poblados, que requieren sistemas de respaldo por medio de generadores diesel. Potencias superiores a 100 kW e inferiores a 1 MW.
3. Sistemas pequeños, utilizados para abastecer pequeñas comunidades, que constan de una turbina eólica, un generador diesel de respaldo y un banco de baterías. Potencias superiores a 1 kW e inferiores a 100 kW.
4. Sistemas individuales por vivienda, que constan básicamente de una turbina eólica y baterías para el almacenamiento de energía. Potencias inferiores a 1kW.

Las turbinas eólicas cada año cuestan menos por unidad de energía instalada. El costo por unidad de energía eólica de sistemas de gran escala en lugares con vientos adecuados puede ser más barato que el recurso energético hídrico. Por otro lado, estos sistemas, ya sea en cualquier escala, permiten tener acceso a la energía en distintos lugares; hay años de sequía pero no hay años sin viento.

- **Turbinas Hidráulicas:** A pequeña escala (micro-turbina y mini-turbina), consiste en una turbina conectada a un generador eléctrico junto a las estructuras civiles necesarias que regulan el caudal del afluente convirtiendo la energía Cinética de agua en energía eléctrica. La potencia generada depende del caudal y de la diferencia de altura entre el nivel de la presa y el nivel de la turbina. De las fuentes de ER es la que posee mayor índice de eficiencia alrededor del 80% a 85%.
- **Micro CH:** Las micro-centrales hidroeléctricas son micro-turbinas hidráulicas con potencia de hasta 1.000 kW, movidas por la energía potencial del agua que, acopladas a un alternador, generan energía eléctrica para el abastecimiento localizado.

- **-Pequeñas eólicas:** Son pequeñas turbinas aerogeneradores con potencia de hasta 100 kW, movida con la fuerza del viento e instalada en locales específicos de presencia puntual de corrientes de viento.
- **-Mini usina para cogeneración:** Equipamiento de pequeño porte, acoplado a una fuente primaria de energía con una potencia de hasta 300 kW, en el cual se genera simultáneamente calor y trabajo siendo que este podrá ser aprovechado para la generación de energía eléctrica, mientras el primero, a través de la recuperación del calor de los gases de escape puede generar, entre otros, agua caliente, vapor, calor de proceso o frío.
- **-Microturbinas:** Son pequeñas turbinas con potencia de hasta 500 kW que contemplan a la generación de energía eléctrica o pueden operar en mini-sistemas de cogeneración. Pueden utilizar diferentes combustibles, pero principalmente gas natural o biogás.
- **Sistemas Solares Fotovoltaicos (FV):** Es la forma en que se convierte la energía solar en electricidad. Su eficiencia en generar energía eléctrica llega alrededor del 26-30%. Es importante indicar que para sistemas aislados de la red, ésta forma de fuente de ER es la mejor opción para generar electricidad.

Los sistemas de generación FV se pueden dividir en tres segmentos:

1. Aislado: se aplica este funcionamiento a zonas que no tiene acceso a la red de distribución y requieren el uso de baterías y de un regulador de carga.
 2. Híbrido: placas solares conectadas en paralelo con otra fuente de energía como la eólica.
 3. Paralelo con la red: el consumo de energía es suplido por los paneles solares o por la red de distribución, conmutando por medio de un inversor. De esta forma, no necesita de baterías ni regulador de carga.
- **Celda de Combustible:** Las celdas de combustible se pueden considerar como motores compactos, utilizan hidrógeno y oxígeno para generar electricidad. El sector de transporte es el principal potencial mercado para las celdas del combustible. La generación de potencia, sin embargo, se ve como un mercado en el cual las celdas de combustible podrían ser comercializadas más rápidamente. Las celdas de combustible poseen una eficiencia de conversión muy alta (35% - 60%), comparadas con tecnologías convencionales. Su eficiencia limita las emisiones de gases que provocan efectos invernaderos CO₂. Como no hay combustión, otras emisiones nocivas también son bajas. La celda de combustible puede funcionar con una confiabilidad muy alta y así también podría complementar el abastecimiento de electricidad de la red.

- **Generación con Biomasa:** Esta es la energía que se obtiene de residuos forestales (fibro-leñosos) o agrícolas, además de desechos industriales y urbanos. La electricidad generada a partir de los recursos biomásicos puede ser comercializada como “energía verde”, pues no contribuye al efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Algunos posibles usos de la biomasa es en fincas granjeras, donde se reduce el impacto al ambiente al utilizar los residuos de éstas en producir electricidad.
- **Motores alternos:** los motores alternos, llamados también reciprocantes o motores de combustión interna, son motores en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan a un embolo o pistón que se desplaza en el interior de un cilindro, haciendo girar un cigüeñal y obteniendo un movimiento de rotación.

Estas características, combinadas con la capacidad de funcionamiento durante una interrupción de potencia, los hace la elección principal para los suministros de respaldo. La potencia de los equipos de generación de este tipo más comúnmente utilizados es menor de 1 MW.

En la actualidad, se utilizan principalmente como motores:

- Los motores de gas natural
- Los motores con combustible diesel y fuel oil

Poseen una mayor flexibilidad ante variaciones de carga que las turbinas de gas y son capaces, en función de su diseño de utilizar diversos combustibles como energía primaria.

Estos motores son clasificados en función de su velocidad de rotación, como unidades de alta, media y baja velocidad. A pesar de haber sido inventados hace más de un siglo, no se puede afirmar que hayan alcanzado su grado máximo de desarrollo tecnológico, pues todavía se están desarrollando mejoras con respecto a su eficiencia, potencia específica y nivel de emisiones. Además, el uso de nuevos materiales ha posibilitado la reducción del peso, costo y pérdidas por calor.

Estos motores también se pueden clasificar en función de diferentes aspectos. En función del encendido, se distinguen el Motor Otto, o de encendido provocado en el que la combustión se inicia mediante una chispa y el Motor Diesel, o de encendido por compresión, de rendimiento superior por aprovechar mejor el combustible.

Desventajas de los motores combustión fósiles son: Altos niveles de ruido, altos costos de mantenimiento, las emisiones de NO_x y SO_x, alto costo del combustible, la eficiencia se ve influenciada

la altura, ya que disminuye al aumentar la altitud. Estas emisiones pueden disminuir, utilizando convertidores catalíticos, los cuales son una tecnología probada de control de emisiones. Los grandes sistemas pueden usar una reducción catalítica selectiva (SCR), con el fin de reducir emisiones a un costo más conveniente que un generador de dimensiones menores.

Una visión del desarrollo de la GD en la (Ver Fig.1.7) y las característica más importantes de las tecnologías consideradas maduras y semi-maduras (Fig.1.8) (LABEIN TECNALIA, 2007).

TECNOLOGÍAS DE GD	Maduras	Motor alternativo Turbina de gas Minihidráulica Eólica Solar térmica Fotovoltaica Residuos
	Semi-maduras	Biomasa Microturbina Pila de combustible
	Emergentes	Marina Geotérmica
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	Maduras	Bombeo Batería
	Semi-maduras	Térmico Volante Aire a presión
	Emergentes	Hidrógeno SMES Ultracapacidades
SISTEMAS DE INTERCONEXIÓN		

Fig.1.7 Desarrollo de generación distribuida.

Tecnologías	Energía primaria	Potencia (MW)	Rendimiento eléctrico ¹ (%)	Coste inversión ² (€/kW)	Disponibilidad comercial
Motor alternativo	Gas natural, diesel, biogás, propano	0,08-20	28-42 % (gas natural) 30-50 % (diesel) 80-85 % (cogeneración)	500-900	Actual
Turbina de gas	Gas natural, biogás, propano	0,25-500	25-60 % 70-90 % (cogeneración)	600-1400 (CHP)	Actual
Minihidráulica	Agua	0,01-10	80-90 %	1000-1800	Actual
Eólica	Viento	0,005-5	43 %	1100-1700	Actual
Solar térmica³	Sol	0,0002-200	13-21 %	3500-8000	Actual
Fotovoltaica	Sol	< 0,001-0,1	14 %	5000-7000	Actual
Biomasa	Biomasa		32 %	1500-2500	Actual
Microturbina	Gas natural, hidrógeno, propano, diesel, biogás	0,025-0,4	25-30 % Hasta 85 % (cogeneración)	900-2000	Actual (limitada)

Fig.1.8 Característica más importantes de las tecnologías consideradas maduras de la generación distribuida.

1.7.-Los grupos electrógenos.

1.7.1-Los grupos electrógenos dentro de la energía distribuida.

Según Francisco et al (2010) los GE se ha convertido en un elemento de extrema necesidad y seguridad en grandes tiendas, negocios y todo lugar donde exista una movilidad de personas. En la red eléctrica, los GE han sido utilizados, por lo general, para compensar las interrupciones de energía de las redes de

distribución, donde la falta de esta puede causar daños importantes o donde la red eléctrica no está disponible, es insuficiente o no es rentable (lugares muy apartados o de difícil acceso donde llevar la electricidad de forma tradicional no es económico por las grandes distancias; por ejemplo: islas o pequeños asentamientos en parajes intrincados). Aun cuando la red de alimentación de energía eléctrica en un sistema cualquiera se mantenga en general sin problemas en el servicio, es recomendable la colocación de grupos electrógenos en todos los edificios donde existan posibilidades de riesgos personales (policlínicos, hospitales, etc.), así como también en edificios de más de tres pisos de altura, teatros, clubes y estadios deportivos; lugares, donde por su importancia económica o social, sea necesario el servicio continuo de electricidad. Pueden prestar servicios generando: 1.-De forma continua durante 24 horas; 2.-De forma intermitente, para servicios donde es necesario equilibrar los consumos y cubrir picos de consumo; 3.-Como servicio de emergencia, en hospitales, sanatorios, etcétera.

Cuando los GE están conectados a una red eléctrica pueden caracterizarse por su conexión de forma aislada o varias unidades en paralelo (baterías); esta forma de GD trae nuevas consecuencias técnicas en la red, como son:

- Las redes dejan de ser radiales para convertirse en anillos con varias unidades generadoras, por lo que se obtienen flujos de potencia y de cortocircuito en varias direcciones.
- Se tienen más altas constantes de tiempo y se deben tener más cortos tiempos de limpieza por problemas de estabilidad.
- Se requiere un cambio en el sistema de protecciones que garantice una calidad del suministro eléctrico a los consumidores durante las condiciones de operación normal y de emergencia, lo cual constituye un reto para los ingenieros en protección.

Según la norma ISO 8528 (1993) los GE poseen dos regímenes de funcionamiento:

- Grupos de generación o producción.
- Grupos de emergencia.

Sus modos de operación son los siguientes:

- **Operación continua a carga constante:** Operación del grupo sin tiempo límite, tomando en consideración los períodos de mantenimiento. Ejemplo: Operando como carga base en ciclo combinado.

- **Operación continua a carga variable:** Operación del grupo sin tiempo límite, tomando en consideración los períodos de mantenimiento. Ejemplo: Cuando el grupo opera en una localización donde no existe otra instalación o donde la alimentación de la instalación existente no es confiable.
- **Operación limitada a carga constante:** Se define como la operación del grupo limitada en tiempo a carga constante. Ejemplo: Cuando el grupo opera en paralelo con alguna instalación o con el sistema durante los períodos de carga pico.
- **Operación limitada en tiempo a carga variable:** Se define como la operación del grupo limitada en tiempo a carga. Ejemplo: Cuando el grupo realiza función de soporte básico a una instalación dada (grupo de emergencia) ante la falta de la alimentación a la instalación.

Los motores de estas instalaciones poseen una gran flexibilidad ante las variaciones de carga y son capaces, en función de su diseño, de utilizar diversos combustibles como energía primaria. Un GE consta de las siguientes partes:

- **Motor:** Representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Generalmente, los motores diésel son los más utilizados en los GE por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.
- **Regulador del motor:** Es un dispositivo mecánico, diseñado para mantener una frecuencia de rotación constante del motor independientemente de las variaciones de carga. La frecuencia de rotación del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que su variación afectará a la frecuencia de la potencia de salida.
- **Sistema eléctrico del motor:** El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, baterías, y los sensores y dispositivos de alarma de los que dispone el motor. Normalmente, un motor dispone de un sensor de presión de aceite, un termo contacto de temperatura y un contacto en el alternador de carga del motor, para detectar un fallo de carga en la batería.
- **Sistema de refrigeración del motor:** Puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua o aceite consta de un radiador y un ventilador interior para enfriar sus propios componentes.
- **Alternador:** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto-excitado, autorregulado y sin escobillas, acoplado con precisión

al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento pueda ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores.

- **Depósito de combustible y bancada:** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.
- **Aislamiento de la vibración:** El GE está dotado de tacos anti-vibración, diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Estos aisladores están colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada.
- **Silenciador y sistema de escape:** El silenciador va instalado al motor para reducir la emisión de ruido.
- **Sistema de control:** Puede ser de diferentes tipos y se instala para controlar el funcionamiento y salida de funcionamiento del GE y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. Su manual proporciona información detallada del sistema que está instalado en el GE.
- **Interruptor automático de salida:** Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida, adecuado para el modelo y régimen de salida del GE con control manual. Para GE con control automático, se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida.
- **Otros accesorios instalables en un GE:** Además de lo mencionado anteriormente, existen otros dispositivos que nos ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del GE. Para la regulación automática de la velocidad del motor se puede emplear una tarjeta electrónica de control para la señal de entrada "pick-up" y salida del "actuador". El pick-up es un dispositivo magnético que se instala justo en el engranaje situado en el motor, y éste, a su vez, está acoplado al engranaje del motor de arranque.
- El actuador sirve para controlar la frecuencia de rotación del motor en condiciones de carga. Cuando la carga es muy elevada la frecuencia de rotación del motor aumenta para proporcionar la potencia requerida y, cuando la carga es baja, la velocidad disminuye, es decir, el fundamento del actuador es controlar de forma automática el régimen de velocidad del motor sin aceleraciones bruscas, generando la potencia del motor de forma continua. Normalmente el actuador se acopla al dispositivo de entrada del fuel oil del motor.
- Cuando el GE se encuentra en un lugar muy apartado del operario y funciona las 24 horas del día es necesario instalar un sistema para restablecer el combustible gastado. Consta de los siguientes elementos:

- Sistema de trasiego: Consta de un motor eléctrico de 220 VCA en el que va acoplado una bomba que es la encargada de suministrar el combustible al depósito. Un flotante para indicar el nivel máximo y mínimo, detecta un nivel muy bajo de combustible en el depósito y activa la bomba de trasiego.
- Cuando la temperatura ambiente es muy baja, se dispone de un dispositivo calefactor denominado resistencia de pre-caldeo, que ayuda al arranque del motor. Los GE refrigerados por aire suelen emplear un radiador eléctrico, el cual se pone debajo del motor, de tal manera que mantiene el aceite a una cierta temperatura. En los motores refrigerados por agua, la resistencia de pre-caldeo va acoplada al circuito de refrigeración, esta resistencia se alimenta de 220 VCA y calienta el agua de refrigeración para calentar el motor. La misma dispone de un termostato ajustable; en él seleccionamos la temperatura adecuada para que el GE arranque en breves segundos.
- Alternador: Si se hace girar una espira, cuyos extremos estén unidos a dos anillos, bajo la acción de un campo magnético norte-sur, se genera una f.e.m. alterna; el valor de la frecuencia dependerá de la frecuencia de giro para un número determinado de polos.
- Generadores controlados por transformador: El estator principal proporciona energía para excitar el campo de excitación por medio del transformador rectificador. El transformador combina elementos de tensión y corriente derivados de la salida del estator principal, para formar la base de un sistema de control de circuito abierto, el cual es de naturaleza auto-reguladora. El propio sistema compensa las magnitudes de intensidad y factor de potencia, mantiene la corriente de cortocircuito y tiene adicionalmente buenas características de arranque de motores eléctricos. Los alternadores trifásicos suelen estar controlados por un transformador trifásico, para mejorar el comportamiento con cargas desequilibradas. Opcionalmente se puede suministrar con un transformador monofásico para facilitar la reconexión a varias tensiones trifásicas y monofásicas.
- Arranque manual o automático: El arranque manual se produce a voluntad, en función de las necesidades. Generalmente el accionamiento de arranque se suele realizar mediante una llave de contacto o pulsador de arranque de una Unidad Electrónica de Control (ECU), con todas las funciones de vigilancia. Cuando se produzca un calentamiento del motor, cuando falte combustible o cuando la presión de aceite del motor sea muy baja, la ECU lo detectará deteniendo el funcionamiento del motor automáticamente. Existen ECU que funcionan tanto en modo manual o automático; estas detectan un fallo en la red de suministro eléctrico, obligando el arranque inmediato del GE. Normalmente, en los grupos automáticos se instalan cajas predisuestas que contienen básicamente un relé de paro y otro de arranque, además de tener instalados en el conector

todos los sensores de alarma y reloj de los que disponga el GE. Instalado aparte, un cuadro automático en el que van instalados los accionamientos de cambio de red al GE.

Con relación a nuestro país, el propio Francisco et al (2010) expresa que la máxima dirección del Gobierno cubano ha decidido para los próximos años utilizar de forma intensiva los GE considerando las ventajas que hoy plantea este tipo de generación distribuida.

Los GE diesel que se han instalado en el país trabajan en régimen de emergencia, sin sincronización a la red, y en régimen de producción, aislado o en baterías. En este régimen los GE, con capacidades que van desde 7 kVA hasta de 500 kVA en su mayoría, alimentan pequeñas cargas de importancia social o económica como panaderías, policlínicos y empresas, y la idea es que se han utilizados para aliviar al sistema en horarios picos, al asumir su carga cuando esta se desconecte de la red.

Cuando funcionan en régimen de producción conformando baterías, las mismas pueden trabajar en régimen normal o en emergencia; en ambas condiciones se encuentran sincronizadas en paralelo con la red de distribución.

1.7.2.-Características del caso de estudio: La Central Eléctrica de GD de Yaguaramas.

La Unidad de Generación Grupo Electrónico Fuel Oil Yaguaramas, perteneciente a la UEB EMGEF, MINEM, con domicilio legal en Yaguaramas, Municipio Abreus, Provincia Cienfuegos.

Como ya se expresó, la planta consta de 3 baterías de GE de fuel oil, cada una con 4 motores de 1,7 MW de potencia, que trabajan generalmente a un 85% de la carga. Los consumos específicos de estos motores son de 215 g/kW.h

Se conoce que en el caso de los motores diesel de vehículos, en dependencia de las características constructivas del motor, sus menores consumos específicos de combustible se alcanzan para coeficientes de aprovechamiento de la potencia entre 0,60 y 0,85, pero con este combustible y esta tecnología, se abre en este sentido un campo de investigación, que posibilite determinar los regímenes óptimos de operación.

El motor es sobrealimentado con un turbocompresor, con un sistema de post-enfriamiento con un radiador de agua, independiente del sistema de enfriamiento del motor. Esto es según diseño, pues en la actualidad el agua que circula por ambos radiadores, el del motor y el del turbocompresor es la misma.

Cada GE se encuentra encerrado en una especie de contenedor metálico, de reducidas dimensiones. Poseen un ventilador, instalado en una pared frontal respecto al motor, que contribuye a recircular el

aire en su interior y reducir la temperatura ambiente. No obstante ello, las condiciones ambientales del país, hacen que la temperatura al interior del mismo, en determinados horarios sea relativamente elevada. Según expresan los profesionales de la central, cuando el aire circula en una dirección tal, que favorece la alimentación del ventilador, las condiciones al interior del GE mejoran y a su criterio mejora el trabajo del motor.

La temperatura del aire atmosférico, en alguna medida incide en la temperatura del aire que ingresa al motor a través del turbocompresor. Si a su vez, el intercambiador de calor del turbo no reduce en la medida necesaria la temperatura del aire comprimido, entonces el aire ingresa al motor con menor densidad y se afecta la eficiencia volumétrica del motor, existiendo entonces menor cantidad de aire para la combustión más completa del combustible.

1.8.-La Central Eléctrica de GD de Cruces.

La Central Eléctrica de GD de Cruces, como ya expresamos, es similar a la de Yaguaramas, pues las unidades de generación son iguales y trabajan con similar régimen de funcionamiento. En el curso anterior se realizó un trabajo de diploma con el propósito de modelar matemáticamente el ciclo de trabajo del motor (Curbelo, 2016). Se obtuvo un modelo para el consumo de fuel oil y otro para la generación neta diaria.

Al realizar el análisis de regresión se introdujeron las variables independientes contenidas en los registros manuales mostrados y de las 46 variables consideradas, resultaron estadísticamente significativas sólo 14, de tal manera que se obtuvo por regresión múltiple el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de fueloil} &: -3.00705 \cdot 10^6 + 20679 \cdot 5 \cdot \text{Pag}_{BT} + 1582 \cdot 53 \cdot \text{Pot} + 1741 \cdot 79 \cdot \text{Horastrab} + 29496 \cdot 8 \cdot \text{P}_{mot} + \\ &+ 18689 \cdot 0 \cdot \text{PE}_{Fill} - 18749 \cdot 8 \cdot p_{turb} - 85693 \cdot 3 \cdot \text{P}_{E_{Rad}} + 3035 \cdot 63 \cdot \text{Enf}_{ac} + 31763 \cdot 2 \cdot \text{TE}_{Cam} - \\ &- 1048 \cdot 44 \cdot \text{T}_{inc} - 59554 \cdot 5 \cdot \text{Pa}_{C} - 1239 \cdot 93 \cdot \text{Pa}_{arr} + 1119 \cdot 64 \cdot \text{E}_{Tur} - 1091 \cdot 67 \cdot \text{dev} \end{aligned}$$

En el caso de la generación neta diaria se realiza el análisis de regresión múltiple de este modelo con semejante procedimiento, determinándose que sólo son estadísticamente significativas 2 variables, arribándose al siguiente modelo:

$$\text{Generación neta diaria} = -9025,97 + 1359,77 \cdot \text{Horastrab} + 3331,78 \cdot \text{Pa}_{C}.$$

Se realizó un análisis físico de los resultados.

Para el modelo de fuel oil:

- Hay dos factores **Pag BT** (presión de agua en baja) y **PE Rad** (Presión de entrada en el radiador): que representan la presión de agua en el sistema de enfriamiento. Como quiera que tanto el sistema de enfriamiento del motor, como del aire a la salida del turbocompresor, están interconectados, el flujo de circulación del agua garantiza en parte, tanto la temperatura de trabajo del motor como la del aire que ingresa a los cilindros y el enfriamiento del aceite de lubricación del motor. Un aumento en la carga del motor, genera más calor en su ciclo de funcionamiento y por tanto mayores requerimientos de enfriamiento, pero a su vez el aumento de carga está vinculado al consumo de combustible. En el caso del post-enfriamiento del aire en el turbocompresor, su temperatura incide sobre la eficiencia volumétrica del motor, al reducir la densidad del aire, y por tanto, en el consumo de combustible. Se debe recordar, no obstante, que **Pa BT**, es uno de los factores que arrojó menor significación en el modelo. Los efectos sobre la temperatura del aceite, se valorarán más adelante.
- Vinculado a lo anterior, la **TE Cam** (temperatura del agua a la entrada de las camisas), nos indica la temperatura de trabajo del motor y en qué medida el sistema de enfriamiento cumple con su misión de mantener los niveles de temperatura dentro de un determinado rango, lo cual tiene incidencia en la eficiencia del funcionamiento del motor y en su consumo de combustible.
- En el caso de **T inc** (Temperatura inicial del aire) tiene su incidencia en el consumo, pues en parte condiciona la temperatura a la salida del turbo y la de entrada del aire a los cilindros, y por tanto, la eficiencia volumétrica. Se debe recordar que estas instalaciones están dentro de una especie de contenedor, lo que hace que en nuestras condiciones se eleve considerablemente la temperatura ambiente. Con anterioridad se expresaba que según los propios operarios, en determinadas épocas del año, cuando la dirección del viento favorecía el trabajo de ventilación interior del MDU, se apreciaba un mejoramiento de las condiciones de trabajo del motor.
- La **Pa C** (Presión del aire de carga en la cámara de combustión) está también vinculada con el trabajo del turbocompresor y el adecuado llenado de los cilindros, o sea, con su eficiencia volumétrica.
- Sin lugar a dudas **Pot** (Carga con la que trabaja el motor), tiene un papel importante en la definición del consumo de fueloil, si bien las variaciones de carga se mantienen en estas instalaciones dentro de límites estrechos, en comparación con los motores de las máquinas automotrices que tienen una mayor variabilidad.
- Otro factor de clara incidencia en el consumo de fueloil es **Horas trab**, que representa las horas de trabajo de la instalación.

- Hay un grupo de factores: **P mot** (Presión del aceite en el motor), **PE Fill** (Presión del aceite en la entrada del filtro), **p turb** (Presión de aceite en la entrada del turbo) y **Enfac** (Temperatura del agua en la salida del enfriador de aceite), los cuales vinculan las condiciones de presión y temperatura del aceite, tan fundamentales para garantizar la correcta lubricación del motor y el turbocompresor y evitar así el incremento de las pérdidas friccionales en ambos, tan vinculadas al consumo de combustible. Tomando las presiones en diferentes puntos, se tiene la certeza de que no hay obstrucciones o salideros, que puedan impedir la correcta lubricación del conjunto. Al igual que en el caso de Pa BT, PE Fill, fue una de las variables que arrojó menor significación y que se valoró si eliminarla o no del modelo.
- La **Paarr** (Presión de arranque), como quiera que el motor arranca con aire comprimido, la efectividad del arranque y el consumo de combustible en esta etapa de funcionamiento del motor, dependen de la presión del aire.
- En el caso de **E Tur** (Temperatura de los gases del turbo), está referido a la temperatura de los gases de escape del motor que se derivan para el funcionamiento del turbocompresor. En la medida de la temperatura de estos gases, así será el funcionamiento del turbocompresor, del cual depende el llenado de los cilindros y por ende el consumo de combustible.
- Por último, **dev** (Temperatura en el devanado) tiene incidencia en el consumo de combustible del motor, pues al aumentar la temperatura del devanado se aumenta la resistencia, aumentan las pérdidas de cobre en el mismo y ello representa más carga para el motor, y por tanto, mayor consumo de combustible.

Para el modelo de generación neta diaria:

Es un modelo mucho más sencillo, en el que intervienen dos factores: uno de suma importancia que son las horas de trabajo de la instalación (Horastrab) y el otro factor es la presión del aire de carga en la cámara de combustión (Pa C), que como se expresó posee gran incidencia en el llenado del motor, en el desarrollo de su proceso de combustión, y por consiguiente, en la potencia generada por el mismo.

1.9.-Conclusiones parciales

Al finalizar el capítulo arribamos a las siguientes conclusiones:

- La GD, en sus diferentes variantes, constituye una promisoriosa tecnología de generación de energía eléctrica con múltiples aplicaciones y fuentes de energía.

- Dentro de ella, los GE, constituyen para nuestro país una solución a los incrementos de demanda, por sus bajos costos de inversión y sus favorables indicadores de consumo específico.
- Son tecnologías de reciente implantación en el país, y dentro de ella las de fueloil, las más recientes, ocupan un lugar fundamental por su peso específico en la generación durante gran parte del día.
- Lo reciente de su implantación, requiere de estudios que contribuyan a su mejor desempeño.
- La modelación matemática de su ciclo de funcionamiento, pudiera contribuir en el futuro a determinar los factores que mejoren su desempeño.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE TRABAJO.

2.1.-Introducción.

En este capítulo se realiza primeramente una descripción de las características fundamentales de la Central Eléctrica de fuel oil de Energía Distribuida de Yaguaramas. Con posterioridad se abordan los pasos contentivos del procedimiento propuesto para el procesamiento de datos. Como parte de la metodología de trabajo.

2.2.-La Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas

2.2.1.-Caracterización de la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Yaguaramas.

La Unidad de Generación Grupo Electrónico Fuel Oil Yaguaramas, perteneciente a la UEB EMGEF, MINEM, con domicilio legal en Yaguaramas, Municipio Abreus, Provincia Cienfuegos. Tiene dentro de su objeto social garantizar la generación eléctrica en situaciones de emergencia, para ello cuenta actualmente con 12 unidades de generación Hyundai 1.7 MW de fabricación surcoreana, las cuales están constituidas por motores de combustión interna de alto rendimiento que aprovechan al máximo el combustible fuel oil utilizado, dando como resultado un suministro de energía seguro y fácilmente ampliable con la menor afectación al medio ambiente.

Las Unidades de Generación tienen una capacidad de 1700 kW/h., producida por 12 máquinas Fuel Oil de 20400 kW/h. Con un consumo específico de combustible de 214 g/kW/h. Los motores fuel oil de 4 tiempos, estacionarios, turboalimentados y con enfriamiento por agua, inyección directa, culata, camisas e inyectores refrigerados con aceite, arranque por motor neumático, funcionan con combustible fuel oil, entregando la energía generada a una sub.-estación de 110 kV aledaña a la central. Esta ocupa un área de 15000 m². El objetivo fundamental es generar electricidad para la compensación del sistema eléctrico nacional en los horarios de mayor demanda. Inicia sus primeras pruebas el 5/01/2009.

Se encuentra ubicada en una zona rural, colinda por el norte con sub.-estación de 110 kV, a la cual está enlazada eléctricamente, por el Sur con antiguos potreros, por el este con circuito sur Aguada-Cienfuegos y por el Oeste con el poblado de Yaguaramas. El medio en el cual se inserta la entidad está clasificado como zona rural. El cuerpo receptor de residuales líquidos es terrestre el cual no constituye un recurso explotable de interés no tiene grado de contaminación. En la zona donde se encuentra ubicada la central fuel oil no posee desarrollo industrial. Es un territorio llano, los suelos

predominantes son sabanas arenosas permeables y de poca productividad. El complejo de vegetación aledaño a la instalación es escaso predominan hiervas y arbustos ya que constituían áreas de pastoreo. La actividad económica social fundamental del poblado es la relacionada con las actividades agropecuarias y servicios propios del poblado para satisfacer las necesidades de la población. La emisión de gases es uno de los problemas existentes en la actualidad ya que han surgido quejas y reclamaciones de un pequeño grupo de la comunidad, en este caso el que más cerca se encuentra al Emplazamiento.

Con relación a la explotación de esta tecnología Fidel Castro expresó un 5 de mayo de 2006: “Hemos encontrado, afortunadamente, algo más importante, el ahorro de energía, que es como encontrar un gran yacimiento”

Los motores son del tipo Hyundai Himsen 9H21/32 y cada batería está compuesta por:

- Cuatro motores de combustión interna, con sus sistemas de combustible, lubricante, aire y agua de enfriamiento, principalmente.
- Cuatro generadores eléctricos.
- Sistema de control.
- Caldera recuperativa.
- Planta estación de combustible.
- Estación de compresores.
- Además tienen incluido en común para la central una planta de tratamiento de agua.

Cubriendo al sistema motor-generator se encuentra el denominado MDU. La figura 1 del Anexo I, muestra la vista exterior del MDU, donde se observa el contenedor que cubre el motor y el generador y en la parte superior se encuentra el sistema de enfriamiento y el de tratamiento de agua.

La figura 2 del Anexo I, tomada del volumen 4 del Manual de Instrucción Eléctrica del motor Hyundai de 1700W, Cheonha (2005), muestra una vista del motor dentro del contenedor y su disposición con el panel eléctrico que reporta en tiempo real los parámetros de trabajo del MDU.

La cubierta del MDU, fue considerada para las condiciones originales de La Habana, aunque los parámetros de trabajo ideales son: temperatura ambiente de 32°C como mínimo y de 45-54°C como máximo, instalación a una altura límite superior de 100m sobre el nivel del mar, a una presión atmosférica de 1bar y una humedad relativa del 80 %.

El contenedor del sistema motor-generador tiene entre sus objetivos el aislamiento acústico para el motor diesel. Sus dimensiones externas en ancho, largo y alto son 2.438, 12.192 y 3.280 m, respectivamente. Sus paredes son de acero 2.0T, lana de vidrio de 100mm de espesor y galvperfl de 0.8T, el techo tiene las mismas características excepto que es de acero 3.2T.

El radiador está conformado por 4 ventiladores, un motor eléctrico y el sistema de expansión que se encuentra situado en el fondo del contenedor. La estructura que soporta los ventiladores debe estar a un mínimo de 1 m de altura, para garantizar que no haya obstáculos en la circulación del aire y para que no interrumpa las condiciones de mantenimiento del motor está situado a 2m del mismo. Los 4 ventiladores que permiten la entrada de aire tienen sus hojas de aluminio para evitar la oxidación y consecuentemente la infiltración de material corrosivo al motor.

La figura 3 del Anexo I, muestra la estructura del radiador con los 4 ventiladores que lo conforman.

El motor Hyundai Himsen9H21/32, posee 9 cilindros y entrega 1700 kW de potencia a una frecuencia de rotación de 900 rpm. La potencia por cilindro es de 200 kW, el diámetro del cilindro es de 210 mm, el desplazamiento del pistón es de 320 mm, el volumen del barrido del cilindro es de 11.1 dm³ mientras la velocidad promedio del pistón es 9.6 m/s. Así mismo la presión eficaz es de 24.1 bar, la relación de compresión es de 17:1, siendo la dirección de rotación a favor de las manecillas del reloj. La entrada de aire se produce a una temperatura de 32°C a razón de 12.428 kg/h, según condiciones ISO, siendo la densidad de ese aire 1.147 kg/m³ a 33 °C.

El motor está compuesto por varios sistemas que garantizan el correcto funcionamiento del mismo, estos sistemas son: de alimentación de combustible, de sobrealimentación de aire, de refrigeración,

El bloque de alimentación es una estructura hecha de molde de hierro e instalado al lado libre del motor, el cual proporciona pasillos moldeados y espacios para montar el equipo de cada sistema de fluido, donde los circuitos internos para agua, aceite y aire pueden ser completados sin tubería, y por lo tanto, proporcionan un mantenimiento más fácil.

El sistema de control está concebido para una seguridad confiable, eficiente, fácil supervisión y operación de la máquina, con los equipos auxiliares asociados y sistema eléctrico.

Los grupos electrógenos tienen instalado un SCADA (ver figura 4 del Anexo), que es supervisado en la sala de control remoto por el operador de turno, este monitorea un grupo de variables; mediante su interface gráfica le informa al operador si algunas de las variables están fuera de parámetro. Cuando el

valor del parámetro pasa del límite permitido, el sistema muestra una alarma visual y sonora del problema ocurrido, entonces el operador realiza acciones correctivas para devolver o restablecer el régimen de operación del equipo e informar al nivel superior del fallo: al Centro de Control de Generación radicado en la empresa y al Departamento Técnico del Grupo de la Central.

En muchas ocasiones es necesario un mantenimiento para la solución del problema, este mantenimiento que es correctivo, es una práctica muy costosa, ya que en ocasiones implica paradas no programadas, más los daños provocados por las fallas de los subsistemas.

Hay otro grupo de variables que en el Manual de Gestión GDECU, de la Unión Nacional Eléctrica, indican su lectura y registro en el modelo de control de régimen con el objetivo de chequear el proceso de producción y mantener la disponibilidad. Estas son verificadas por el operador de turno cada dos horas, en caso de encontrarse con alguna fuera de parámetros, se le informa al departamento técnico y el operador vuelve a realizar las acciones de comprobación para detectar si hay desviación de régimen.

En la tabla 2.1, se relacionan las variables que permiten leer cada un tiempo determinado el estado de los sistemas y subsistemas del MDU por los operadores de turno, los cuales son recogidos en el Book Instruction y en la carta régimen del fabricante Hyundai .Los sensores instalados en el motor (MDU), registran en tiempo real el valor de cada una de ellas.

Tabla 2.1. Variables del sistema de medidas por los operadores

Tabla 1. Variables del sistema medidas por los operadores.			
Nombre de la variable	Registrada por SCADA	Rango valor	U/M
Potencia activa	X	50~100	kW
Velocidad motor		891~909	rpm
Velocidad turbo		<4000	rpm
Índice gobernador		3.5~6	unidad
Combustible presión	X	7~10	bar
Combustible temperatura	X	110~140	°C
Aceite lubricante nivel		50~75	%
Aceite lubricante temperatura	X	60~70	°C
Aceite lubricante presión motor	X	4~5	bar
Aceite lubricante presión llenado		5~6	bar
Aceite lubricante presión diferencial		0.1~1	bar
Aceite lubricante presión turbo	X	2~4	bar

La caldera es una unidad de recuperación de calor sencilla, que comprende un generador de vapor y su función principal es suministrar vapor para calentar el combustible desde el proceso de descarga y trasiego, hacia las plantas de combustible, donde se realiza su tratamiento y limpieza, para obtener la temperatura necesaria para ser utilizado en el proceso de combustión en el motor.

El comportamiento del motor varía dependiendo de las condiciones de operación y del propio motor, por lo que se graba su comportamiento con frecuencia, lo cual provee una guía fiable para un mejor servicio y mayor disponibilidad, permitiendo a su vez que sea la guía para que se realice el mantenimiento preventivo. Un análisis de tendencia continua en referencia a los datos grabados, contribuye a diagnosticar la condición del motor con precisión. En la instalación en cuestión el software empleado para acceder y archivar los parámetros principales de motor es el WINCC perteneciente a la SIEMENS, y es manipulado exclusivamente por personal calificado del ATI, empresa que presta servicios informáticos en todo el país. Estos datos vistos en tiempo real son archivados cada 3 meses por tiempo indefinido.

Los gases de escape del motor poseen una temperatura máxima de 295°C dentro del silenciador, a 13.680 kg/h según condiciones ISO. La densidad de los gases de escape es de 0.621 kg/m² a 295 °C. La velocidad de salida de los mismos no está especificada en el manual, así como el calor emitido por radiación del motor y el calor emitido por radiación desde el generador, por lo que no hay forma de saber a través los datos del fabricante si el sistema de enfriamiento y ventilación del clima interior del MDU es el adecuado para el ritmo, las condiciones de trabajo interiores y ambientales a las que está expuesto el mismo.

La temperatura y presión del contenedor del motor, si no es debidamente enfriado, pueden influenciar en la potencia del motor, el consumo de combustible, la temperatura de gases de descarga, y en otros parámetros de funcionamiento.

La figura 5 del Anexo I, muestra una vista vertical del motor posicionándose en el otro extremo del generador, al final del MDU y la figura 6 del propio Anexo, una vista horizontal del motor, posicionado a la derecha del generador.

El sistema de combustible está formado por:

- Sistema de combustible exterior
- Sistema de combustible interior
- Sistema FHO.
- Sistema MDO.

El sistema de combustible exterior es general para todas las baterías de GE. En el mismo, se receptiona el combustible en los tanques y a través de una estación de bombas, se impulsa el combustible (precalentado en los tanques) hacia cada contenedor de preparación del mismo por batería.

El sistema de combustible interior es el que se ocupa de precalentar el fuel oil sucio hacia la centrífuga y de esta al tanque de uso diario o de servicio.

En la planta de tratamiento de combustible de la batería número 3, se encuentra montado un intercambiador de tubo y coraza de forma horizontal, tipo cerrado, AEU, el cual tiene la función de calentar el combustible fuel oil, para ser llevado hacia los motores con la viscosidad requerida y para utilizar en el proceso de combustión.

Aunque el combustible que se emplea en la central es el fuel oil, existe el sistema de combustible diesel, que se utiliza para el arranque, la parada y salida por emergencia. En este sistema el combustible no se precalienta ni se centrifuga.

Dotada de varias bombas de suministro y drenaje así como un controlador de viscosidad, un flujómetro (recientemente en uso para el estudio de un motor a la vez), un filtro automático y un calentador de fuel oil, cuya presión interna es de 12 bar con una temperatura interna de 95 ° y externa de 155°, el combustible es calentado durante aproximadamente 20 minutos, que es el tiempo durante el cual se emplea diesel para limpiar los conductos de los restos del fuel oil, hasta que este tenga la misma viscosidad del diesel, momento en que comienza su uso. La figura 7 del Anexo I, muestra un esquema del sistema de combustible interno.

La calidad del combustible incide sobre las características de la inyección, la cual afecta el rendimiento de la máquina, así como los intervalos entre mantenimientos. La variación en la calidad del combustible no sólo puede incrementar el ritmo de desgaste del equipo de inyección, sino que genera alteraciones en la cámara de combustión y en la temperatura de los gases de escape, lo cual afecta el consumo de combustible así como la composición de los gases de escape.

A continuación se muestran las propiedades del diesel y del fuel oil que suministra CUVENPETROL (Refinería de Petróleo de Cienfuegos), la empresa contratada para abastecer a la Central de fuel oil de Yaguaramas de sus necesidades de combustibles. Si las propiedades resultan alteradas, en comparación con los requerimientos, la entidad no recibe el combustible, pues así lo abala el contrato, pues ello incidiría negativamente en el consumo específico aceptado para estos motores que es de 215 g/kW.h. (Ver Tablas 2.1 y 2.2)

En relación con esto, existen discrepancias en la central. En la parada y en el arranque se trabaja con diesel durante aproximadamente 1 hora. Este consumo no se considera. Para una central que trabaje 5 horas esto tiene una significación diferente a una central, como ésta, que trabaja de 17-24 horas diarias.

Es decir, las plantas que trabajan menos número de horas exhiben consumos específicos de combustible más bajos. A esto habría que añadir las inexactitudes que se cometen al medir el consumo por aforo de tanques, a las 12 de la noche, con condiciones de iluminación que favorecen el error.

Tabla 2.1. Propiedades del fuel oil que se recibe en la Central Eléctrica de GD de Yaguaramas.

Determinación	Unidad	Método	Valor especificado	Resultado
Densidad a 15°	g/cm ³	ASTM D 1298	0.9959 máx	0.9647
Gravedad °API	° API	ASTM D 1298	10.5 mín	15.1
Agua por destilación	% v/v	ASTM D 95	0.50 máx	0.10
Azufre total	% m/m	ASTM D 4294	3 máx	2.123
Cenizas	% m/m	ASTM D 482	0.05 máx	0.038
Sedimentos por extracción	% m/m	ASTM D 473	0.10 máx	0.01
Carbón Conradson/Micro	% m/m	ASTM D 4530	15.0 máx	10.242
Temperatura de fluidez	°C	ASTM D 97	+16 máx	+3
Temperatura de inflamación	°C	ASTM D 93	62 mín	86.0
Viscosidad a50°	mm ² /s	ASTM D 445 ,D 88	450 máx	425.0
Sodio	ppm	ASTM D 5863,D1318	40 máx	8
Vanadio	Ppm	ASTM D 1548, D5863	150 máx	146
Aluminio + Silicio	ppm	ISO 10478	80 máx	<15
Asfaltenos	% m/m	IP 143	8 máx	5.01
Valor calórico neto	kcal/kg	ASTM D 240,D 4868	9500 mín	9688.22
Sedimento total envejecido	% m/m	ISO 10307-2	-	0.01

Tabla 2.2. Propiedades del diesel con que se recibe en la Central Eléctrica de GD de Yaguaramas.

Determinación	Unidad	Método	Valor especificado	Resultado
1-Densidad a 15 °C	g/cm ³	ASTM D 4052	0.015-0.055	0.8315
2-Azufre total	% mm	ASTM D 4294	0.50 máx	0.444
3-Agua de sedimento	% v/v	ASTM D 1796	0.05 máx	
4-Viscosidad a 40°C	mm/s	ASTM D 445	10-53	9422
5-Cenizas	% mm	ASTM D 482	0.01 máx	
6-Carbón Conradson/micro	% mm	ASTM D 4530	0.1 máx	0.026
7-No de Neutralización	mgKOM/g	ASTM D 974	0.5 máx	0.098
8-Temperatura de inflamación	°C	ASTM D 93	52 mín	
9-Color ASTU	-	ASTMD 6045	3.5 máx	
10-Destilación inicial	°C	ASTM D 85	Reportar	
10% Recorrido	°C		Reportar	
50% Recorrido	°C		235-300	230.0

90% Recorrido	°C		350 máx	125.0
Final	°C		Reportar	176.0
11-Índice de cetano	-	ASTM D 4737	45 mín	45
12-Corrosión al a 50 °C	-	ASTM D 130	1 máx	
13-Partículas contaminantes	mg/kg	ASTM D 6217	Reportar	
14-Estabilidad a la oxidación		ASTM D 2274	Reportar	
Apariencia		Visual	Claro y brillante	

El diesel que se recibe contiene menos del 0.5% de azufre.

Estación de compresores, la unidad de aire comprimido está diseñada para suministrar aire comprimido para el correcto funcionamiento del GE. Como la operación satisfactoria de la unidad principal depende del aire comprimido, ya que el mismo es utilizado en el sistema de arranque e instrumentación de los motores, es importante mantener el compresor de aire en buen estado técnico.

El compresor de aire es de 2 fases y 2 cilindros, posee una capacidad máxima de 32m³/h y la presión máxima de descarga es de 36 bar. Para la presión máxima consume 7.3 kW, la temperatura máxima del aire de admisión es de 50°C, su frecuencia de rotación es de 1750 rpm. El enfriamiento es producido por aire. La presión de trabajo del compresor es de 30 bar, la de diseño es de 36 bar y tiene una capacidad de 0.6 m³. La presión baja significa reducción de presión atmosférica de carga, que resulta en la presión más baja del cilindro y más consumo de combustible como consecuencia. La cantidad reducida de flujo de aire provoca el aumento de la temperatura de los gases de descarga y de los componentes del cilindro, así como un mayor consumo de combustible.

Sistema de enfriamiento: Es un intercambiador de calor de agua, de placas sostenidas en un bastidor de dos chapones, uno delantero fijo y uno trasero móvil, adyacente a ellas una columna de soporte y limitando los externos superior e inferior dos barras guías. Entre placas alternadas circulan 2 fluidos diferentes, mientras están posicionadas respectivamente a 180°; en este caso el aceite lubricante que sale del motor es enfriado por agua tratada, para volver a circular en el motor y enfriarlo internamente.

El motor tiene dos circuitos internos de enfriamiento por agua, los cuales son el sistema de baja temperatura (BT) y el sistema de alta temperatura (AT). La mayoría de los circuitos son modularizados y montados directamente al bloque de alimentación. El sistema de enfriamiento por agua está diseñado para usar agua fresca normal con inhibidor de corrosión, pero, es necesario tratarla. Los dos sistemas son enfriados con agua fresca. En el circuito de baja temperatura una válvula termostática controla la temperatura del agua, intercambiando agua con el circuito. El agua refrigerante de alta temperatura circula por bomba H.T internamente y fluye por la cabeza del cilindro y la camisa de agua, bajo

operación normal. La válvula del termostato H.T.W (High Water Temperature) controla la temperatura, intercambiando agua con un circuito externo. Se reemplaza completamente el agua de enfriamiento con agua recientemente tratada cada dos años.

La planta de tratamiento de agua: Tiene como función tratar el agua que se va a utilizar en los diferentes sistemas para prevenir la corrosión de los conductos y equipos. Es una planta de osmosis inversa, que tiene la finalidad de eliminar (en el sistema de pre-tratamiento) los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua cruda. La membrana con que cuenta la planta de osmosis, fácilmente se ensuciaría con estos sólidos en suspensión si no existiera este sistema de pre-tratamiento. (M., 2009)

Datos de los generadores.

El generador está diseñado para ser montado bajo techo, a una temperatura ambiente de 45 °C y una humedad relativa de más del 90%. Está compuesto por una máquina de campo magnético giratorio, en la cual los rotores cilíndricos cargan el embobinado excitado magnéticamente por corriente directa y los embobinados de campos giran dentro del estator, el cual contiene el embobinado de salida de corriente alterna. Los generadores incorporan un excitador de corriente y rectificadores giratorios montados en el eje, los cuales proveen la excitación de corriente para la máquina principal.

El enfriamiento interno del generador es con un abanico montado en el extremo del eje, que trae el aire de enfriamiento axialmente a través de la máquina.

El consumo de combustible en el terminal del generador es de 200 g/kW.h.

Los cojinetes son de una sola manga y la lubricación es automática, el generador está provisto con un calentador de corriente alterna de 220 V para prevenir la condensación mientras la máquina esté apagada.

Datos técnicos del rotor del generador eléctrico

Peso del rotor ----- 2655 kg

Momento de inercia ----- 648 kg- m²

Peso del generador ----- 7800 kg

Dimensiones del generador ----- W 1740 x L 2364 x H 1923

Insulación, protege el embobinado contra los gases corrosivos, vapor, polvo y aceite.

Embobinado del Rotor, el embobinado del estator de tres fases es del tipo capa doble y conectada en estrella. Los cuatro extremos del estator U, V, W, N y las conexiones de los polos excitadores +F1 y – F2 son sacados a la caja de conexión de cables.

Sistema de auto excitación, giratoria sin escobilla está alojado en la cajuela con un excitador del rotor montado en el chasis del generador.

Ajuste de voltaje, voltaje nominal puede ser ajustado en más menos 10% usando un fijador de valor de referencia, cuando el factor de potencia este entre 0,8 y 1.

Variación del voltaje en estado fijo, desde el estado de cero cargas hasta tener carga al factor de potencia establecido y la velocidad nominal con el sistema de control de excitación nominal, la variación de voltaje y condiciona fija está dentro de más menos 2,5% del voltaje nominal.

Eficiencia, se garantiza en un valor de 94 %.

Sobrecarga del generador, puede ser operado al 110% de la corriente nominal en cualquier periodo de 12 horas sin riesgos de una subida crítica de temperatura.

Subida de temperatura, en carga completa y factor de potencia nominal

- Bobinas del estator no exceder los 100°C
- Bobinas del rotor no exceder los 105°C

La subida de temperatura está basada en que el aire de entrada no exceda los 45°C.

Las especificaciones anteriores fueron tomadas de Cheonha (2005) y de Cuevas (2015)

En la tabla 1.1 del Anexo I, se muestra la Carta de Régimen de las Estaciones Hyundai de 1,7MW, elaborada por la Dirección de Energía Distribuida de la Unión Eléctrica.

2.2.2.-Condicionantes para el desarrollo del trabajo.

Como primera dificultad se puede mencionar la poca experiencia que existe, en general, con el trabajo con este tipo de instalaciones.

La mayor dificultad que se confrontó en el desarrollo del trabajo, no obstante, estuvo relacionada con la base de datos. Esta base de datos registra múltiples parámetros, varias veces cada segundo, de forma automática. Prácticamente registra al unísono semejantes parámetros que el registro manual, pero con

una frecuencia muy superior y mayor nivel de exactitud, pues se registran por sensores, donde no interviene el concurso del hombre. Estos datos se salvan cada tres meses.

Se contó con toda la cooperación de la Central Eléctrica de Yaguaramas para acceder a la base de datos y buena atención por parte de sus especialistas, pero, como se explicó en la introducción del trabajo, para leer la base de datos se necesita de un software, cuya inexistencia garantiza la seguridad de la información. Dicho software lo posee un funcionario en Santa Clara, de una empresa de servicios informáticos, pero como éste atiende varias provincias, posee gran movilidad y el contacto con el mismo se hace bastante difícil. En una ocasión, se logró acceder al software, pero se confrontaron problemas con su instalación. A partir de ese momento, se han realizado gestiones para instalarlo, pero sin resultados. Debido a que el trabajo de diploma está enmarcado en un tiempo estricto, se decidió prescindir de él, y por ende, de la base de datos que éste posibilita analizar.

En su lugar, se utilizó la base de datos obtenida manualmente. Como se trata de un ejemplar único, hubo necesidad de solicitarla, escanearla y pasar dato por dato al Excel. Se trata de lecturas tomadas cada 2 horas de 46 parámetros en cada uno de los 12 motores con que cuenta la instalación, a lo largo de todo un mes de trabajo. Esto limitó el alcance inicial del trabajo de diploma, razón por la que se decidió, apremiados por el tiempo, analizar un solo motor, en dos meses diferentes de trabajo, en condiciones climáticas diferentes, es decir, en los meses de Febrero y Marzo, aunque esto en las condiciones del país no es tan absoluto como pudiera serlo en países con estaciones de tiempo más definidas.

Los motores inician su trabajo con combustible diesel y concluyen su trabajo con el mismo combustible. Los operarios afirman que se trabaja una hora en la arrancada y otra hora en la parada con este combustible. En los controles no se especifican los parámetros que se corresponden con el uso de este combustible, lo que constituye una dificultad adicional de este trabajo.

Otra dificultad, que al parecer va a encontrar solución en un futuro próximo, es lo referido a que el consumo de combustible se mide diariamente, pero no es ni siquiera específico para cada motor o batería de motores, sino para toda la central eléctrica. Esto es una barrera para identificar incidencia de parámetros de funcionamiento de un motor o de condiciones de explotación en relación con su consumo.

Los datos de generación aparecen en un Excel aparte, denominado Consumo Empresa, que presenta estos datos a lo largo del mes. El consumo de combustible diesel y fuel oil, además del lodo procedente

del proceso de mejoramiento del fuel oil, aparecen en otro informe mensual, dentro de una hoja de cálculo denominada Combustibles. Ambos documentos están protegidos, razón por la cual sus datos no pueden ser copiados de los mismos.

2.3.-La metodología de trabajo.

Los parámetros que se recogen en la base de datos manual, cada 2 horas, todos los días, por cada uno de los 12 motores son los siguientes:

No.	Parámetro	Nomenclatura
1.-Del motor		
1	Potact	Carga con la que trabaja el motor, %
2	Vel. mot	Velocidad del motor, rpm
3	Vel turbo	Velocidad del turbo, rpm
4	Indgob	Índice del gobernador
5	Pres	Presión del combustible antes de entrar a la bomba, bar
6	Temp	Temperatura del combustible antes de entrar a la bomba, °C
2.-Del combustible		
7	nivel	Nivel de aceite en el cárter, %
8	temp	Temperatura del aceite de lubricación con que entra al motor, °C
9	P mot	Presión del aceite en el motor, bar
10	PE Fill	Presión del aceite en la entrada del filtro, bar
11	dP Fil	Diferencia de potencial (PE Fill – P mot), bar
12	P tur	Presión de aceite en la entrada del turbo, bar
3.- Del sistema de agua de enfriamiento		
13	P. E. Rad	Presión de entrada en el radiador, bar
14	P. s. Rad	Presión de salida en el radiador, bar
15	niv	Nivel en el tanque de expansión, %
16	Pag. BT	Presión de agua en baja, bar
17	Pag. aT	Presión de agua en alta, bar
18	E. Rad	Temperatura del agua en la entrada del radiador, °C
19	s. Rad	Temperatura del agua en la salida del radiador, °C
20	Enf. air.	Temperatura del agua en la entrada del enfriador de aire, °C
21	Enfac	Temperatura del agua en la salida del enfriador de aceite, °C
22	TE Cam	Temperatura del agua a la entrada de las camisas, °C
23	TsCam.	Temperatura del agua a la salida de las camisas, °C
4.-Del sistema de aire		
24	Temp. Aire amb.	Temperatura del aire fuera del MDU, °C
25	Temp. Aire T inc	Temperatura del aire dentro del MDU, °C
26	Temp. Aire air. C	Temperatura del aire que entra a la combustión, °C
27	PaC	Presión del aire de carga en la cámara de combustión, bar
28	Paarr.	Presión de arranque, bar
28	P Emer	Presión de emergencia, bar

30	P Válv.	Presión de la línea de alta para las válvulas de combustible y aceite, bar
31	Cil(1-9)	Temperatura sistema gases de escape, °C
32	E. Tur	Temperatura de los gases del turbo, °C
33	s. Tur	Temperatura a la salida de la turbina, °C
34	Pres.ac. Enf	Presión de enfriamiento del aire de carga, bar
5.-Del generador		
35	T gener	Temperatura del generador, °C
36	dev.	Temperatura en el devanado, °C
37	Coj	Temperatura en el cojinete, °C
38	Exc. gener.	Excitatriz del generador
39	Volt.	Voltaje, V
40	amp	Intensidad de Corriente, amperes

En realidad son 46 parámetros en cada motor, que en 12 mediciones diarias representan 552 parámetros diarios. En la tabla 2.1 del Anexo II, se muestra un ejemplo de medición diaria, correspondiente al 1ro de febrero del 2017.

En la tabla 2.2 del Anexo II, se muestra un ejemplo del documento Consumo Empresa, que muestra los datos de generación de la Central Eléctrica de Yaguaramas.

En la tabla 2.3 del Anexo II, se muestra la hoja de cálculo del Excel, con los datos correspondientes al consumo diario de combustible fuel oil , correspondiente al mes de Febrero.

En la tabla 2.4 del Anexo II, se muestra a manera de ejemplo, la hoja de cálculo de Excel, con los datos correspondientes a la generación en la batería III, correspondiente al mes de Febrero.

Para el procesamiento de los datos, se procede la siguiente forma:

De la tabla 2.4 del Anexo II, la generación por hora por motor (Gh_{motor}) se obtiene de la diferencia entre la Lectura metro generación anterior ($LM_{Ant_{motor}}$) menos la actual de cada motor ($LM_{Act_{motor}}$) entre las horas transcurridas desde la lectura anterior (HL_{Ant}) hasta la lectura actual (HL_{Act}).

$$Gh_{motor} = \frac{LM_{Ant_{motor}} - LM_{Act_{motor}}}{HL_{Ant} - HL_{Act}} \quad (2.1)$$

En esa propia tabla, el insumo por hora por batería se obtuvo de la diferencia entre la Lectura insumo anterior ($LI_{Ant_{batería}}$) menos la actual de cada batería ($LI_{Act_{batería}}$) entre las horas transcurridas desde la lectura anterior (HL_{Ant}) hasta la lectura actual (HL_{Act}).

$$Ih_{bateria} = \frac{LMAnt_{bateria} - LMAct_{bateria}}{HLAnt - HLAct} \quad (2.2)$$

Para determinar el insumo por hora por motor fue necesario utilizar matriz de generación y crear una matriz de uso para cada motor, asignándole un 0 cuando la generación es cero y 1 en caso contrario, luego sumar los valores para cada batería, obteniéndose la cantidad de motores que están funcionando en la batería correspondiente y luego dividir el insumo por hora por batería ($Ih_{bateria}$) entre dicha cantidad de motores (C_m).

$$Ih_{motor} = \frac{Ih_{bateria}}{C_m} \quad (2.3)$$

Luego la generación neta por hora por motor (gh_{motor}), está dada por la diferencia entre la generación por hora por motor (Gh_{motor}) menos el insumo por hora por motor (Ih_{motor}).

$$gh_{motor} = Gh_{motor} - Ih_{motor} \quad (2.4)$$

Se utilizan algunos artificios matemáticos que posibiliten el procesamiento. El procesamiento de la información disponible se realizará con el software Statgraphics v.5.

En primer lugar, se pretende buscar una expresión que muestre la correlación existente entre la generación neta por hora del motor, consumo de fuel oíl y de diesel con los parámetros registrados, a través de un modelo de regresión múltiple.

Dada la dificultad existente, de que los datos de consumo y generación son diarios, mientras que los datos de comportamiento están dados cada 2 horas de funcionamiento, hubo necesidad de promediar los datos diarios que muestra la tabla 2.1 del Anexo II, a manera de ejemplo.

Para el procesamiento, tanto en el caso de la generación como en los de consumo de combustible, se procederá de la siguiente forma:

- Se tomarán todas las variables independientes, procedentes de la tabla 2.1 del Anexo II, y se realizará un análisis de regresión múltiple.
- Se realizará un proceso de eliminación, a través del software, utilizando la prueba F. Un valor-P menor que 0.05 si se opera a un nivel de significancia de 5%, indica que una relación significativa de la forma especificada existe entre la variable dependiente y la independiente.
- Se eliminan las variables una a una, buscando que el valor de r cuadrado se mantenga dentro de los límites especificados, ya que este explica el por ciento de la variabilidad de la variable dependiente.

- Finalmente se realizó el análisis de los residuos, para verificar los supuestos del modelo.

2.4. Conclusiones parciales.

- A pesar de las limitaciones de la base de datos, ya analizadas en el desarrollo del capítulo, la existente, si bien no posibilita asegurar resultados definitivos, si permite desarrollar una investigación de tipo exploratoria, para iniciar la identificación de la incidencia de cada una de las variables independientes en las variables dependientes.
- El procesamiento de la base de datos manual de los 12 motores a lo largo del año, se sale del marco de las posibilidades del trabajo de diploma, dada la necesidad de transcribir un altísimo número de parámetros.
- El procesamiento de la información planificado, debe garantizar la obtención de los modelos de las variables dependientes fundamentales de la instalación: generación y consumo de combustible.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Introducción.

En el presente capítulo se muestran los principales resultados del trabajo, en primer lugar los referidos al procesamiento estadístico de la base de datos manual, el modelo matemático del consumo de fuel oil y el de generación neta diaria, como un resultado de la regresión múltiple desarrollada, y por último, un análisis de los factores contentivos de cada uno de los modelos.

3.2. Análisis estadístico de resultados

3.2.1 Análisis de regresión para las dos variables dependientes.

Para el consumo de fuel oil:

Al realizar el análisis de regresión se introdujeron las variables independientes contenidas en los registros manuales mostrados en la tabla 2.1 del Anexo II, a manera de ejemplo. De las 46 variables consideradas, resultaron estadísticamente significativas las mostradas en la tabla 3.1. Se tomaron como criterios la prueba T-Student, que define cuan significativa puede ser una variable para predecir determinada variable dependiente. En la tabla se muestran los valor-P de dicha prueba para cada una de las variables independientes. Si este valor-P es menor de 0,05 significa que dicha variable independiente es significativa para predecir el modelo, pero si no ocurre esto dicha variable puede ser eliminada del modelo, siempre y cuando no disminuya el r cuadrado por debajo de lo estipulado.

Tabla 3.1. Variables estadísticamente significativas para el análisis de regresión múltiple del consumo de fuel oil.

<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	176685,	45954,1	3,84481	0,0009
Horastrab	172,668	27,033	6,38729	0,0000
P_mot	-1353,54	451,416	-2,99844	0,0068
Enf_ac	231,861	74,0332	3,13185	0,0050
TE_Cam	-2185,55	615,226	-3,55244	0,0019
Pa_C	-4258,14	1460,06	-2,91641	0,0083
Dev	-70,7229	26,3238	-2,68665	0,0138

Como se observa la variable más influyente en el consumo de fuel oil son las horas de trabajo, por tener el menor valor de valor-P, lo cual tiene su lógica.

A continuación se realiza un análisis de varianza para comprobar la significación del modelo. En la tabla 3.2 se muestran los resultados.

Tabla 3.2 Análisis de Varianza para el modelo del consumo de fuel oil

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	2,39106E7	6	3,9851E6	13,41	0,0000
Residuo	6,24279E6	21	297275,		
Total (Corr.)	3,01534E7	27			

R-cuadrada = 79,2966 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 73,3813 por ciento

Error estándar del est. = 545,23

Error absoluto medio = 353,856

Estadístico Durbin-Watson = 2,34151 (P=0,6952)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Consumo Fuel Oil y 6 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Consumo_Fuel_Oil} = 176685, + 172,668*\text{Horastrab} - 1353,54*P_mot + 231,861*\text{Enf_ac} - 2185,55*\text{TE_Cam} - 4258,14*Pa_C - 70,7229*\text{dev}$$

Puesto que el valor-P en la tabla de análisis de varianza para el modelo de consumo de fuel oil es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 79,2966% de la variabilidad en Consumo Fuel Oil. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 73,3813%.

El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 545,23. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto.

El error absoluto medio (MAE) de 353,856 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una autocorrelación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Para determinar si el modelo puede simplificarse, note que el valor-P más alto de las variables independientes es 0,0138, que corresponde a dev. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, ese término

es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%. Consecuentemente, probablemente no quisiera eliminar ninguna variable del modelo

En la figura 3.1 se muestra la comparación del consumo predicho por el modelo y el consumo observado.

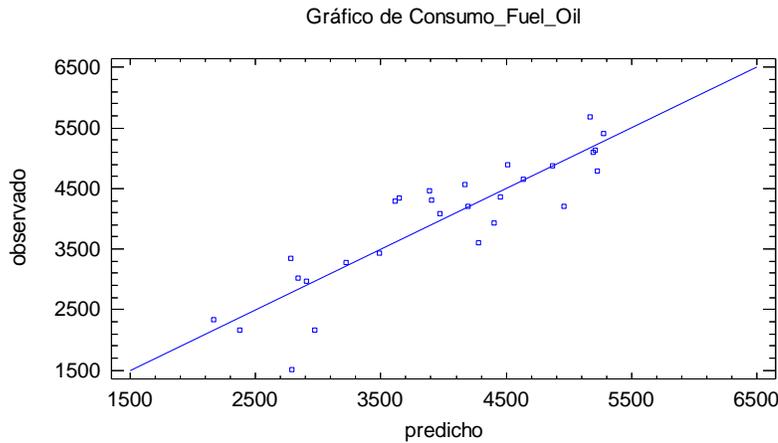


Fig. 3.1 Gráfico de consumo de fuel oil.

Para la Generación neta diaria:

Para el análisis de regresión múltiple de este modelo, se sigue el mismo procedimiento que en el caso anterior.

Variable dependiente: Generación neta diaria

Variables independientes significativas del modelo:

Tabla 3.3. Variables estadísticamente significativas para el análisis de regresión múltiple de la generación neta diaria.

		Error	Estadístico	
Parámetro	Estimación	Estándar	T	Valor-P
CONSTANTE	-330,802	308,885	-1,07096	0,2940
Horastrab	1128,98	26,7335	42,231	0,0000

Como se observa la variable más influyente en la generación neta diaria son las horas de trabajo, por tener el menor valor de valor-P, lo cual tiene su lógica.

A continuación se realiza un análisis de varianza para comprobar la significación del modelo. En la tabla 3.4 se muestran los resultados.

Tabla 3.4 Análisis de varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	6,1272E8	1	6,1272E8	1783,46	0,0000

Residuo	8,93247E6	26	343557,		
Total (Corr.)	6,21652E8	27			

R-cuadrada = 98,5631 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 98,5078 por ciento

Error estándar del est. = 586,137

Error absoluto medio = 480,983

Estadístico Durbin-Watson = 2,20749 (P=0,6889)

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Generación neta diaria y 1 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Generación_neta_diaria} = -330,802 + 1128,98 \cdot \text{Horastrab}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95,0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo así ajustado explica 98,5631% de la variabilidad en generación neta diaria. El estadístico R-Cuadrada ajustada, que es más apropiada para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 98,5078%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 586,137. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones, seleccionando la opción de Reportes del menú de texto. El error absoluto medio (MAE) de 480,983 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos. Puesto que el valor-P es mayor que 0,05, no hay indicación de una auto correlación serial en los residuos con un nivel de confianza del 95,0%.

Para determinar si el modelo puede simplificarse, note que el valor-P más alto de las variables independientes es 0,0000, que corresponde a Horastrab. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, ese término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%. Consecuentemente, probablemente no quisiera eliminar ninguna variable del modelo.

En la figura 3.2 se muestra la comparación de la generación neta diaria predicha por el modelo y la observada.

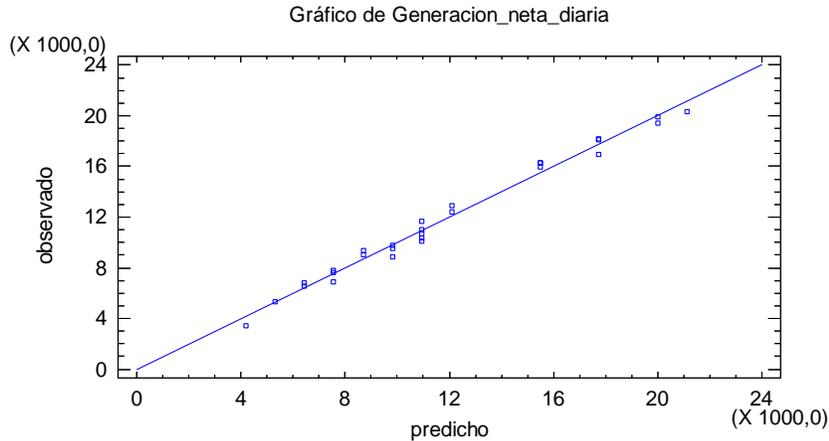


Fig. 3.8 Generación neta diaria

3.3.-Análisis físico de los resultados.

Sobre el modelo de consumo de fuel oil:

Se analizará a continuación, a partir de la expresión de consumo de fuel oil, los factores que intervienen en la misma, no obstante, a la hora de valorar la incidencia de uno u otro factor, hay que tener en cuenta no sólo la magnitud del coeficiente que le antecede, sino también las unidades y el valor que alcanza el factor en el trabajo del GE. Todos los parámetros analizados están dentro del rango de variación establecido, cualquier parámetro fuera del rango es indicio de un mal funcionamiento de la instalación:

- Vinculado a lo anterior, la **TE Cam** (temperatura del agua a la entrada de las camisas), nos indica la temperatura de trabajo del motor y en qué medida el sistema de enfriamiento cumple con su misión de mantener los niveles de temperatura dentro de un determinado rango, lo cual tiene incidencia en la eficiencia del funcionamiento del motor y en su consumo de combustible.
- La **Pa C** (Presión del aire de carga en la cámara de combustión) está también vinculada con el trabajo del turbocompresor y el adecuado llenado de los cilindros, o sea, con su eficiencia volumétrica.
- Otro factor de clara incidencia en el consumo de fuel oil es **Horas trab**, que representa las horas de trabajo de la instalación
- Hay un grupo de factores: **P mot** (Presión del aceite en el motor) y **Enfac** (Temperatura del agua en la salida del enfriador de aceite), los cuales vinculan las condiciones de presión y temperatura del aceite, tan fundamentales para garantizar la correcta lubricación del motor y el turbocompresor y evitar así el incremento de las pérdidas friccionales en ambos, tan vinculadas al consumo de

combustible. Tomando las presiones en diferentes puntos, se tiene la certeza de que no hay obstrucciones o salideros, que puedan impedir la correcta lubricación del conjunto.

- Por último, **dev** (Temperatura en el devanado) tiene incidencia en el consumo de combustible del motor, pues al aumentar la temperatura del devanado se aumenta la resistencia, aumentan las pérdidas de cobre en el mismo y ello representa más carga para el motor, y por tanto, mayor consumo de combustible.

Sobre el modelo de generación neta diaria:

Es un modelo mucho más sencillo, en el que interviene un solo factor: es de suma importancia que son las horas de trabajo de la instalación (Horastrab) ya que fue el único factor de la modelación.

3.4.-Sobre las mediciones de consumo de combustible del motor.

Una de las dificultades fundamentales encontradas en el trabajo es el del consumo de combustible, puesto que el mismo, como ya se expresó, se mide una sola vez en el día y para toda la central eléctrica, con métodos además poco precisos.

Por tal razón, partiendo de la existencia este año en el centro de equipos de medición de consumo de tipo ultrasónico (TDS -100), que no requieren desmontajes de instalación, se pensó en la posibilidad de medir el consumo en varias jornadas en el motor objeto del trabajo.

La primera variante que se manejó fue utilizar el destinado al área de Inversiones, pero el equipo llegó sin el catálogo. Por varias vías se trató de solucionar el problema, pero hoy en día aún no está en el centro. Esto produjo demora en el desarrollo de las pruebas. El equipo que Inversiones mostró, como medidor de combustible, no es el que utiliza el CEEMA para tales fines.

Como última alternativa se acudió al CEEMA, pero coordinar transporte para Yaguaramas, personas con diferente nivel de ocupación, necesarios para la medición y disponibilidad de la central eléctrica, retrasaron aún más el inicio de las mediciones.

Se pudo medir un solo día, pero se presentaron varias dificultades:

- Mucha vibración en los conductos de combustible
- Poco espacio para accionar, en un contenedor que cubre la instalación.
- Imposibilidad de medir, por espacio reducido, el combustible de retorno, que puede ser de importancia en un motor de tales dimensiones.

No fue posible incluso, realizar mediciones de temperatura en puntos clave (entrada y salida del turbo, temperatura del escape, entre otros).

De las mediciones realizadas de consumo, solo 10 mostraron valores aceptables, aun cuando el equipo mostraba que había confiabilidad en las mediciones.

Por tal razón, se decidió no incluirlas en el modelo de consumo de combustible, ni incluir el proceso de medición del consumo de combustible dentro de la metodología.

3.5.-Conclusiones parciales

- La confiabilidad de los datos puede considerarse alta, pues sólo se detectan casos muy aislados de mediciones inadecuadamente reflejadas.
- Las variables significativas en cada modelo, poseen desde el punto de vista estadístico y lógico, incidencia en las variables dependientes. No obstante, la ampliación de la base de datos a los 12 motores, la instalación de flujómetros para la medición individual del consumo de los motores y el acceso a la base de datos digital, pueden representar una mejora sensible en el perfeccionamiento de ambos modelos.
- No obstante las deficiencias apuntadas, la predicción de ambos modelos es adecuada.

CONCLUSIONES GENERALES

Al concluir el trabajo de diploma se arriba a las siguientes conclusiones:

- El trabajo de diploma cumple con los objetivos propuestos.
- Los modelos obtenidos identifican factores que influyen en el consumo de fuel oil y en la generación neta diaria, aunque una posterior profundización en el trabajo debe perfeccionar los resultados alcanzados.
- El procedimiento de regresión lineal múltiple, no obstante, arroja expresiones que, aunque con carácter provisional, predicen en buen grado el comportamiento de las variables dependientes.
- El modelo de consumo de fuel oil obtenido, posee un menor número de variables significativas que el obtenido en la Central Eléctrica de Cruces.
- Este modelo debe posibilitar en forma preliminar, evaluar parámetros constructivos o de operación que inciden en el desempeño del motor.
- Sin lugar a dudas, la medición del consumo de combustible en el motor de referencia, hubiera posibilitado dar un gran paso de avance en la obtención de un modelo matemático que con mayor exactitud describiera su comportamiento.
- El modelo de generación depende de un número muy reducido de parámetros, lo cual indica la necesidad de profundizar en el trabajo, ampliar la base de datos, si es posible mediante mediciones directas, a fin de buscar un modelo que refleje más fehacientemente los factores que inciden en este indicador.

RECOMENDACIONES

Se proponen las siguientes recomendaciones:

- Continuar con el desarrollo del trabajo ampliando la base de datos, en mayor período de tiempo, en otros motores, en diferentes períodos del año.
- Gestionar el software que posibilita el análisis de la base de datos digital de la instalación.
- Analizar con mayor profundidad la posibilidad de realizar mediciones de consumo, temperaturas y ruido en las Centrales Eléctricas de Energía Distribuida.
- Valorar de igual forma, el consumo de diesel, que no es despreciable y que se desestima en la actualidad, atentando contra los indicadores de las Centrales, que como la de Cruces y Cumanayagua, trabajan durante períodos prolongados en el día.

BIBLIOGRAFÍA.

- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Revista Electric Power Systems Research*, (57), 195–204.
- Álvarez Álvarez, C. A., & Serna Alzate, F. J. (2012). Análisis local y mundial de tendencias en generación distribuida. *CIDET*, 1–23.
- Benavides, P. (2009). Unión Europea: la segunda revisión estratégica de la energía. *Cuadernos de Energía*, 46–50.
- Buitrago Arroyave, L. F., & López Lezama, J. M. (2013). Valoración de los impactos técnicos de la generación distribuida en sistemas de energía eléctrica. *Tecnura*, 17(36), 50–60.
- Castillo Ramírez, A. (2011). Barreras para la implementación de generación distribuida: dos representantes de países desarrollados vs. un representante de país en desarrollo. *Tecnura*, 15 (29), 62–75.
- Cheonha-Dong, D.-G. (2005). *Instruction Book. Engine type H21/32* (Vol. I). Ulsan, Korea: Hyundai Himsen. Retrieved from <http://as.hyundai-engine.com>
- Corrales Barrios, L. B., & Ramírez Vázquez, A. (2013). Clasificación de fallas con redes neuronales para grupos electrógenos. *Ingeniería Energética*, XXXIV (2), 137–150.
- Cowart, R. (2001). Distributed resources and electric system reliability. *The Regulatory Assistance Project*, 1–36.
- CUBAENERGIA. (2012). *Observatorio ded energía renovable en América Latina y el Caribe: Cuba. Informe final*. (Tecnologías energéticas). Cuba: Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y Organización de las Naciones Unidas para Desarrollo Industrial (ONUUDI).
- Cuevas Pérez, E. (2015). *Evaluación Técnico-Económico del calentador de fuel oil perteneciente a la Central Eléctrica de Cruces* (Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico). Universidad de Cienfuegos, Cuba,

- Curbelo Marchena, R. (2016). *Procedimiento para la modelación matemática del ciclo de trabajo de la Estación de Energía Distribuida de Cruces*. (Trabajo de grado en opción del título de Ingeniera Mecánica). Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos Cuba.
- Dafermos, G., et al. (2015). *Energía distribuida* (v 1.1.). Buen Conocer - FLOK Society, Quito. Retrieved from <http://flokociety.org/docs/Espanol/2/2.3.pdf>
- De Armas Teyra, M., & Ruiz Pérez, A. (2013). Oscilaciones de Potencia, Tensión y Corriente en Unidades de Generación Distribuida. *Ingeniería Energética*, XXXIV (2), 108–118.
- Del Amo Martínez, L. (2007). Generación energética distribuida. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, de la Secretaría de Ahorro de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio*, 1–15.
- Dorta Herrera, S. (2009a). *Manual de Gestión. Energía Distribuida de electricidad en Cuba. 1ra parte* (GDECU.). Habana Cuba: Poligráfico Federico Engels. Retrieved from <http://s ic. oc. une. cu/gdecu>
- Dorta Herrera, S. (2009b). *Manual de Gestión. Energía Distribuida de electricidad en Cuba. 2da parte* (GDECU). Habana, Cuba: Poligráfico Federico Engels. Retrieved from <http://s ic. oc. une. cu/gdecu>
- Fernández Beites, I. (2012). Generación distribuida ¿la generación del futuro? *ENERGUIA*, XX, 144–148.
- Filgueiras Sainz de Rozas, M. L., & Castro Fernández, M. (2012). La capacidad de absorción para la innovación: estudio de caso en la Generación Distribuida Cubana. *Ingeniería Energética*, 33 (3). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012012000300005
- Fraga de Cal, B., & Fraga López, P. (2015). Desarrollo urbano con energía distribuida. *Dinamo Técnica*, (14), 15–19.

- Francesena - Bacallao, E., & Bravo de las Casas, artha. (2009). Consideraciones sobre la protección en la interconexión de la generación distribuida al sistema eléctrico de potencia. *Ingeniería Energética*, XXXII (1), 26–34.
- Francisco Fernández, M., Díaz Fuentes, R., Castro Fernández, M., & Costa Montiel, Á. (2010). Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba. *Revista Cubana de Ingeniería*, 1 (3), 41–50.
- González Herrera, D., Luna Russi, G., & Rivas Trujillo, E. (2015). Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados con base en la normatividad colombiana y estándares IEEE. *Ingeniería*, 20 (2), 299–315.
- González-Longatt, F. M. (2010). Generación distribuida. Una introducción. *Sistemas de Generación Distribuida*, 85.
- Hourné-Calzada, M. B., Brito-Vallina, M. L., Castillo-Serpa, A. M., Fraga-Guerra, E., & Díaz-Concepción, A. (2012). Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21 (3), 1–13.
- IEA. (2002). Security of supply in electricity markets: Evidence and policy issues. *International Energy Agency, Paris*.
- IEA. (2007). Contribution of renewables to energy security. *International Energy Agency, París*.
- ISO 8528. (1993). *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets* (First Edition).
- Kashem, M. A., Le, A. T. D., Negnevitsky, M., & Ledwich, G. (2006). Distributed generation for minimization of power losses in distribution systems. Presented at the Power Engineering Society General Meeting. Retrieved from http://www.eucontest.org/go.php?pdf=www.eusustel.be/public/documents_publ/WP/WP3/WP%203.4.1%20Distributed%20generation%20and%20grid%20integration%20issues.pdf

- LABEIN TECNALIA. (2007). *Guía Básica de la Generación Distribuida*. España: FENERCOM. Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid. Retrieved from <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-basica-de-la-generacion-distribuida-fenercom.pdf>
- Laino, L. D. (2009). Un Análisis de la Política Energética en Cuba. *Dialnet. Población y Desarrollo*, 34–42.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and Analysis*. McGraw-Hill Internacional.
- Llosas Albuérne, Y. (2010). La generación distribuida y sus beneficios en Cuba (pp. 1–16). Presented at the V TALLER EFESOS, Barcelona, España.: CYTED. Retrieved from http://www.cerien.upc.edu/jornades/VJIIE/ponencies/Yolanda_Cuba.pdf
- López Ceballos, M., Gallego R., R. A., & Hincapié Isaza, R. A. (2010). Mejoramiento del perfil de tensión en sistemas de distribución usando generación distribuida. *Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira, Año XVI (44)*, 310–315.
- López Lezama, J. M. (2011). Ubicación óptima de generación distribuida en sistemas de distribución usando un modelo de programación no lineal entero mixto. *Tecnura*, 15 (30), 101–110.
- López–Lezama, J. M., Padilha–Feltrin, A., & Gallego–Pareja, L. A. (2009). Ubicación optima de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica. *Ingeniería y Ciencia*, 5 (9), 9–23.
- McKellar., K. (2009). El Desarrollo de Empresas Rurales de Energía (REED). *Cuadernos de Energía*, 1–7.
- Medero López, J. (2005). Generación Distribuida. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena. España*, 40.
- Mojicar Caballero, S., & Reyes Collado, B. (2008). Estimación de la confiabilidad en sistemas de generación distribuida de electricidad. *Cienci@ en su PC. Revista especializada en temas ambientales*, 1–7.

- Noa Ramírez, A., Legrá Lobaina, A. A., & Rosario Ferrer, Y. (2015). Procedimiento para la operación de un micro sistema de grupos electrógenos diesel en situaciones excepcionales. *Ingeniería Energética*, 36 (1), 1–11.
- OECD. (2002). Distributed Generation in Liberalised Electric Markets. *International Energy Agency*.
- Pacheco, H. F. (2010). Adecuación de la generación distribuida en los sistemas de energía eléctrica actual. *EnerDossier*, 3–31.
- Rodríguez Pérez, B., Fernández Rodríguez, M., & Fernández Ocampo, N. (2014). Análisis del ciclo de vida de la generación distribuida en Cienfuegos. *Ingeniería Energética*, 35(No. 3). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012014000300012&script=sci_arttext
- Ruiz Urquiza, S. C. (2015). *El futuro del sector de energía eléctrica global* (p. 32). México, D. F.: Deloitte Touche Tohmatsu Limited. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/energy-resources/Futuro_Energia_Electrica.pdf
- Segura Eras, I. (2005). *Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica* (Tesis Doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia., España. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/1894/tesisUPV2271.pdf>
- SGestMan. (2014). Generación distribuida cubana. *Aplicaciones exitosas*. Retrieved from <http://www.sgestman.cu/sites/default/files/Adjunto%20Articulos/Aplicaciones%20Exitosas%20GEDCU.pdf>
- Torres Romero, Er. (2011). *Generación Distribuida: Estudio de Requerimientos para la Interconexión a la Red de Distribución* (Trabajo de grado en opción del título de Ingeniero Eléctrico). Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.

- Trentadue, C., & Carranza, H. (2014). La eficiencia energética en el transporte, un megayacimiento posible. *Petrotecnica*, 14–37.
- Valencia Quintero, J. P. (2008). Generación Distribuida. Democratización de la energía eléctrica. *Criterio Libre. Universidad Nacional de Colombia*, 6 (8), 105–112.
- Villa Pérez, D. (2012). *Análisis de los consumos internos en centrales eléctricas de generación distribuida*. (Trabajo de Diploma de Ingeniero Eléctrico). Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/3543/Dayan%20Villa%20P%C3%A9rez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wikipedia. (2015). Política energética de los Estados Unidos. Retrieved from https://es.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADtica_energ%C3%A9tica_de_los_Estados_Unidos

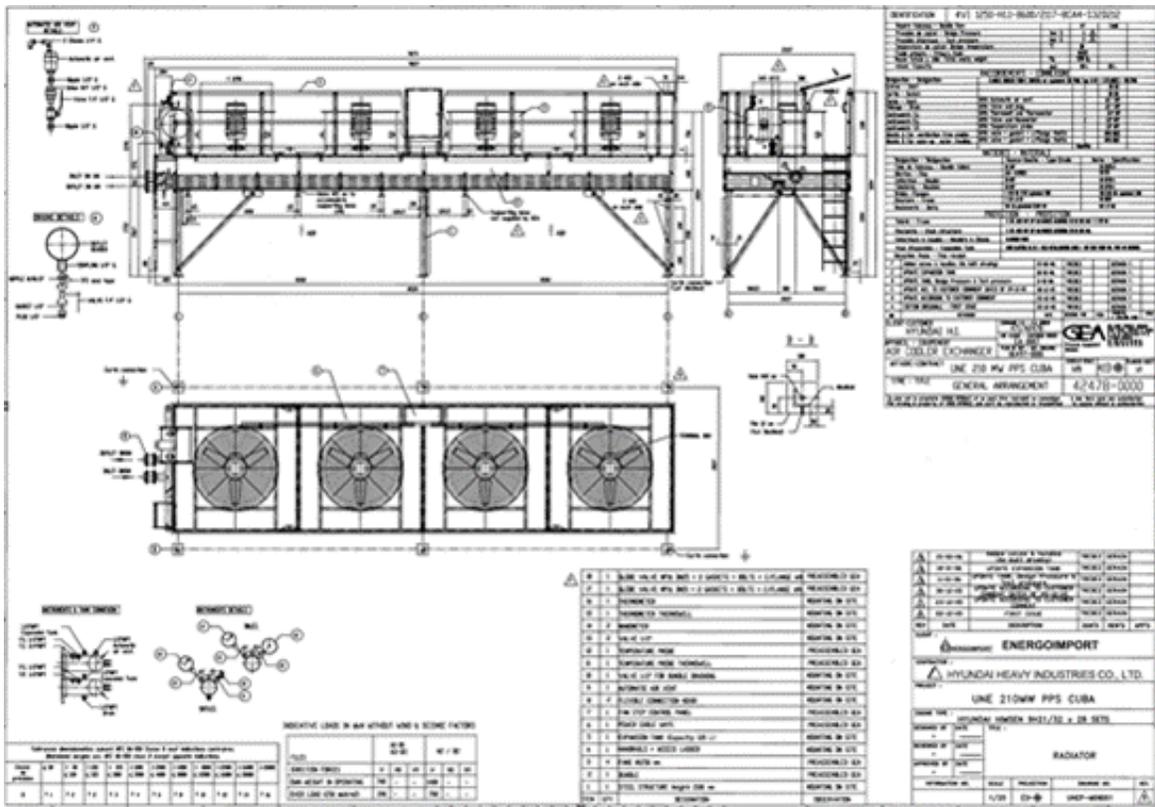


Fig. 3. Estructura del radiador con sus 4 ventiladores.

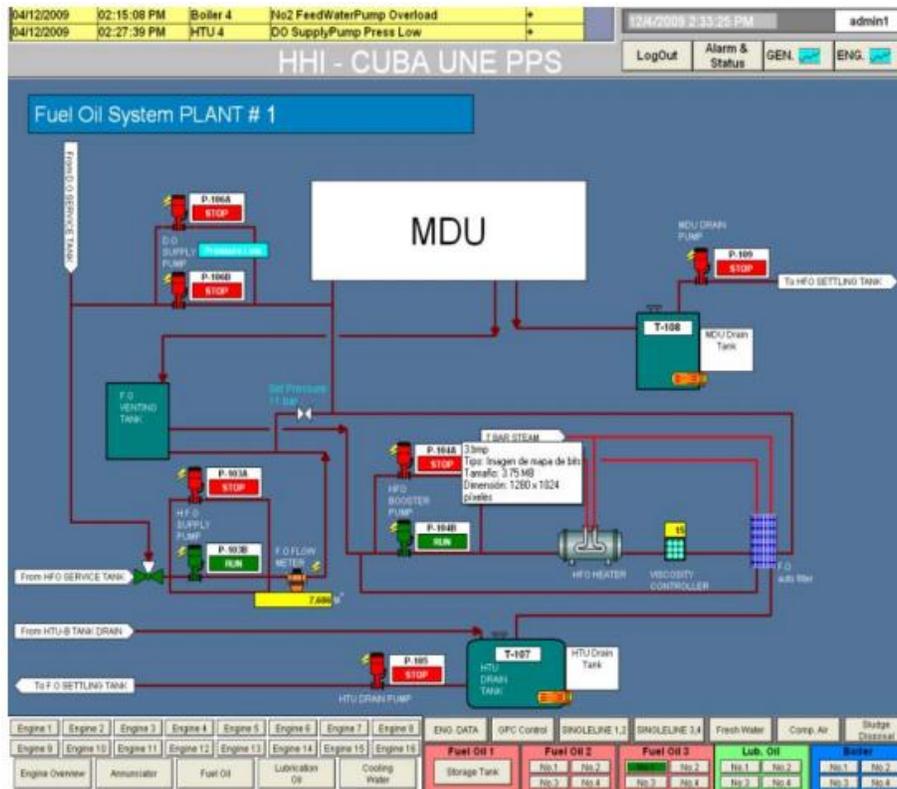


Fig. 4 Ventana principal de gestión del MDU en el Scada

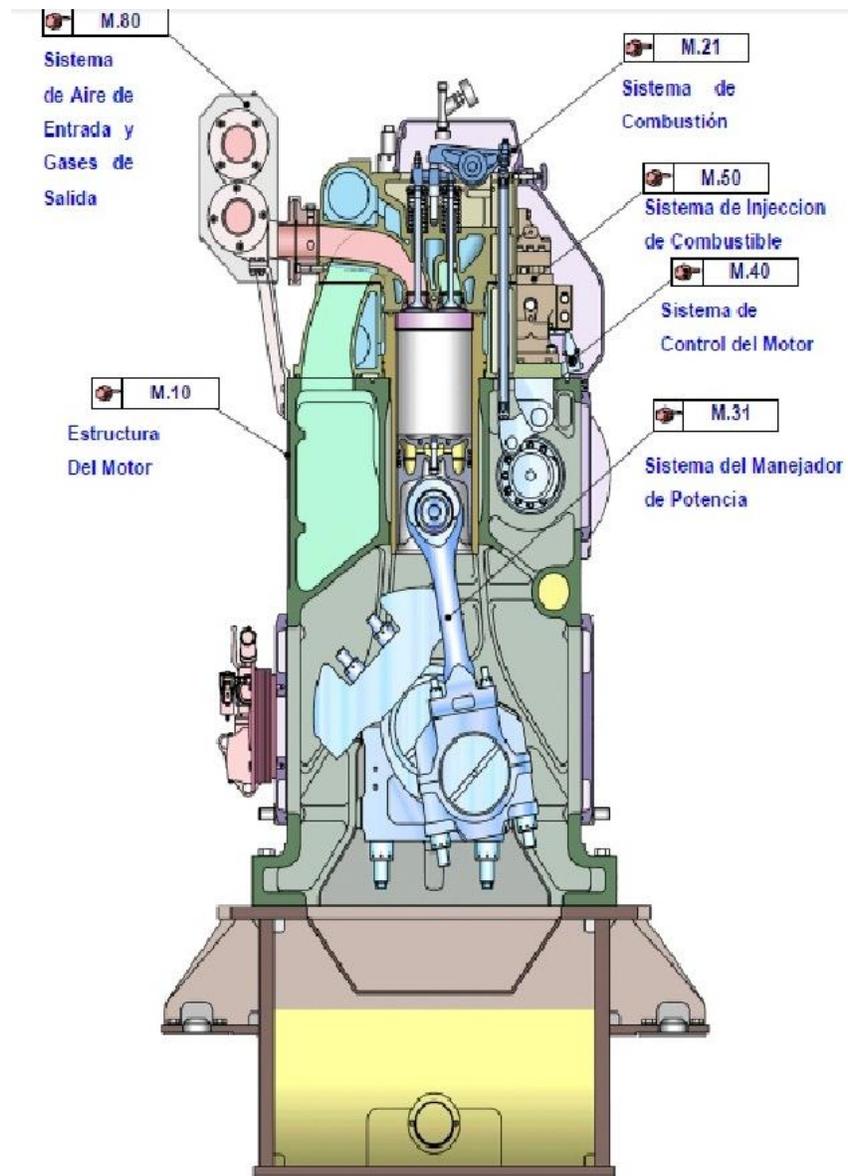


Fig. 5. Vista vertical del motor posicionándose en el otro extremo del generador

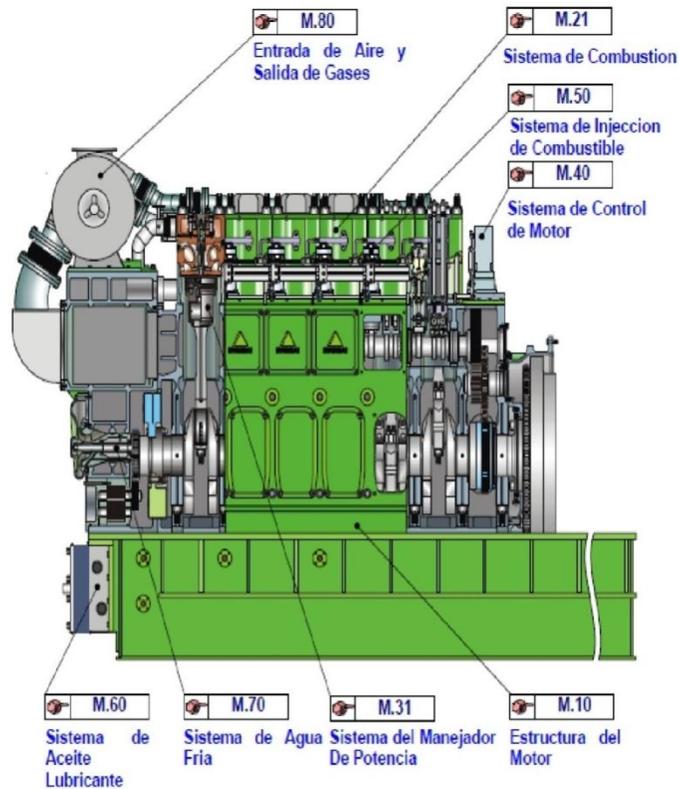


Fig. 6. Vista horizontal del motor, posicionado a la derecha del generador.

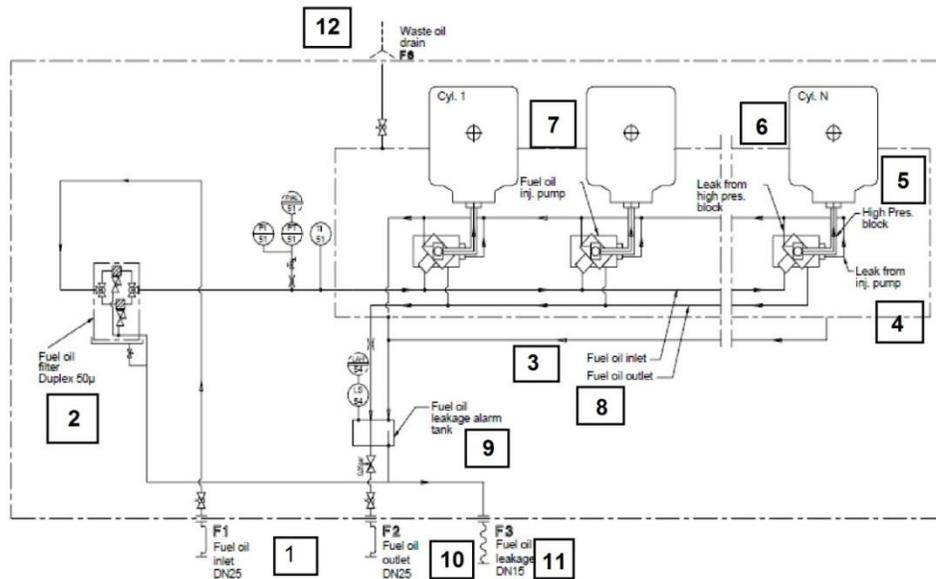


Fig. 7. Sistema de combustible interno

1.-Entrada de fueloil; 2.-Filtro doble de fueloil; 3.-Entrada del fueloil al bloque de alta presión; 4.-Fuga de la bomba de inyección; 5.-Bloqueo de alta presión; 6.-Fuga del bloqueo de alta presión; 7.-Bomba de inyección del fueloil; 8.-Salida del fueloil; 9.-Alarma de fuga del tanque de fueloil; 10.-Salida del fueloil; 11.-Fuga de fueloil; 12.-Fueloil no aprovechado en el proceso (Retorno).

Tabla 1.1. Carta de régimen de las estaciones Hyundai de 1.7MW

<i>Parámetros</i>	U/M	Normal	Alarma Baja	Alarma Alta	Disparo ó Entrada Reserva
Parámetros en MDU					
Parámetros eléctricos					
Voltaje de fase salida generador	V	4000 ~ 4300	-	-	-
Factor de potencia (Cos ϕ)	U	> 0,90	-	-	-
Potencia Activa	kW	850 ~ 1700	-	-	-
Potencia Reactiva	kVA	225 ~ 630	-	-	-
Corriente por fase	A	118 ~ 255	-	-	-
Frecuencia de la corriente	Hz	59,4 ~ 60,6	-	-	-
Potencia consumida auxiliares MDU	kW	30 ~ 42	-	-	-
Sistema de aire de arranque y control MDU					
Presión aire de arranque	Bar	25 ~ 30	≤ 20	-	-
P aire válvulas MDU	Bar	7 ~ 8	-	-	-
P aire válvula disparo emergencia MDU	Bar	7 ~ 8	-	-	-
Sistema de aceite lubricante					
Presión aceite Lubricación motor	Bar	4 ~ 5	$\leq 1,5$	-	$\leq 3,0$
Presión aceite con bomba prelubricación	Bar	0,1 ~ 0,2	-	-	-
Temp. aceite lubricación entrada motor	$^{\circ}$ C	60 ~ 70	-	≥ 80	-
Pres Ent LO Filt (PI-61)	Bar	5 ~ 6	-	-	-
Pres Sal LO Filt (PI-62)	Bar	4 ~ 5	-	-	-
Caída presión filtro aceite lubricación	Bar	0,2~ 1	-	$\geq 1,5$	$\geq 2,0$
Cambio de filtro por caída de presión	Bar	1.2	-	-	-
Presión Aceite Lubricación Turbo	Bar	2,0 ~ 4,0	$\leq 1,5$	-	-
Nivel Aceite Carter	%	50 ~ 75	-	-	-
Sistema de combustible					
Presión FO entrada motor esquema FO	Bar	7 ~ 10	≤ 6	-	-
Presión DO entrada motor esquema DO	Bar	7 ~ 8	≤ 6	-	-
Temperatura FO entrada motor	$^{\circ}$ C	110 ~ 140	-	≥ 150	-
Temperatura DO entrada motor	$^{\circ}$ C	30 ~ 45	-	-	-
Índice de Cremallera	mm	16 ~ 28	-	-	-
Desviación presión encendido respecto media	Bar	± 5	-	-	-
Índice de Gobernador	U	3,5 ~ 6	-	-	-
Sistema de aire de carga y gases de escape					
Presión aire de carga	Bar	1,0 ~ 3,2	-	-	-
Temp Aire Carga (TI-21)	$^{\circ}$ C	35 ~ 55	-	-	-
Presión de vacío aspiración del turbo	mmH ₂ O	90 ~ 115	-	-	-
Limpieza o cambio de filtro de aire	mmH ₂ O	≥ 120	-	-	-
Temp. agua AT salida motor	$^{\circ}$ C	75 ~ 85	-	≥ 90	≥ 95
Temperatura aire dentro del contenedor	$^{\circ}$ C	30 ~ 45	-	> 45	-
DT dentro y fuera del contenedor	$^{\circ}$ C	< 10	-	-	-
Temperatura gases entrada turbo	$^{\circ}$ C	450 ~ 520	-	≥ 580	-
Temperatura gases salida turbo	$^{\circ}$ C	250 ~ 380	-	-	-
Temperatura gases salida cilindros	$^{\circ}$ C	250 ~ 390	-	≥ 450	-
Desviación temp. gases respecto a media	$^{\circ}$ C	≥ 50	-	-	-

Presión Encendido en Cilindros	Bar	115 ~ 190	-	-	-
Velocidad motor	r.p.m.	891 ~ 909	-	1017	≥1035
Velocidad del turbo	r.p.m.	27600 ~ 40680	-	-	-
<i>Parámetros</i>	U/M	Normal	Alarma Baja	<i>Alarma Alta</i>	<i>Disparo ó Entrada Reserva</i>
Sistemas de enfriamiento					
Temp. agua enfriamiento salida motor	° C	75 ~ 87	-	-	-
Presión agua enfriamiento entrada radiador	Bar	0,7 ~ 0,9	-	-	-
Temp. agua enfriamiento salida radiador	° C	35 ~ 50	-	-	-
Presión agua enfriamiento salida radiador	Bar	0,1 ~ 0,3	-	-	-
Nivel agua tanque expansión	%	75 ~ 85	-	-	-
Temp. agua enfriamiento entrada motor	° C	75 – 78	-	-	-
Presión agua BT entrada motor	Bar	1,5 ~ 4,5	-	-	-
Presión agua AT entrada motor	Bar	2,5 ~ 4,5	-	-	-
Temp. agua entrada enfriador aire carga	° C	30 ~ 40	-	-	-
Temp. agua BT entrada enfriador aceite (TI-72)	° C	40 ~ 50	-	≥ 45	-
Temp. DO entrada enfriador	° C	40 ~ 50	-	-	-
Temp. DO salida enfriador	° C	35 ~ 40	-	-	-
Temp. aceite inyectores entrada motor	° C	35 ~ 58	-	-	-
Temp. aceite inyectores salida motor	° C	55 ~ 65	-	-	-
Nivel del tanque enfriamiento inyectores	%	90	-	< 90%	-
PE Enfr Iny (PI-302)	Bar	3 ~ 5	-	-	-
Temp. aceite inyectores entrada enfriador	° C	45 ~ 65	-	-	-
Temp. aceite inyectores salida enfriador	° C	35 ~ 50	-	-	-
Generador					
Temp. devanados generador (Tcont <45°C max)	° C	60 ~ 100	-	≥ 140	≥ 155
Temp. cojinete generador (Tcont <45°C max)	° C	55 ~ 75	-	≥ 90	≥ 100
<i>Parámetros</i>	U/M	Normal	Alarma Baja	<i>Alarma Alta</i>	<i>Disparo ó Entrada Reserva</i>
Sistema de combustible					
Nivel tanque sedimentación FO	%	40 ~ 60	-	-	-
Temp. tanque sedimentación FO	° C	75 ~ 85	-	-	-
Temp. tanque servicio FO	° C	80 ~ 98	-	-	-
Nivel tanque servicio FO	%	75 ~ 100	-	-	-
Nivel tanque servicio DO	%	50 ~ 75	-	-	-
Viscosidad FO	C St	11 ~ 13	-	-	-
Viscosidad DO trabajando por esquema FO	C St	2 ~ 4	-	-	-
Temperatura FO salida calentador	° C	120 ~ 140	-	-	-
Presión succión bomba suministro FO	Bar	0,5 ~ 1,5	-	-	-
Presión descarga bomba suministro FO	Bar	3,5 ~ 5,5	-	-	≤ 5,5
Presión succión bomba reforzadora FO	Bar	3,5 ~ 4,5	-	-	-
Presión descarga bomba reforzadora FO	Bar	7,0 ~ 10,0	-	-	≤ 7,5
TE cal FO (TI-106)	° C	90 ~ 120	-	-	-
Presión succión bomba suministro DO	Bar	0,5 ~ 1,5	-	-	-
Presión descarga bomba DO	Bar	4 ~ 6	-	-	-
Diferencial presión auto filtro combustible	Bar	0.2~0.4	-	≥ 0.8	-
Limpieza de auto filtro por presion diferencial	Bar	> 0.4	-	-	-

Nivel máximo Tk drenajes de HTU.	%	< 50	-	-	-
Nivel máximo Tk drenajes de MDU.	%	< 50	-	-	-
Purificadora de HFO					
Amperaje de motor de purificadoras FO	A	8	-	-	-
Temp. entrada calentador purificadora FO	° C	75 ~ 85	-	-	-
Temp. entrada centrifuga FO	° C	95 ~ 98	-	-	-
PE bomba purif LO	Bar	0 ~ 0.3	-	-	-
Presión entrada FO purificadora	Bar	0,45 ~ 0,55	-	-	-
Presión descarga purificadora FO	Bar	1,45 ~ 1,65	-	-	-
Flujo purificadora FO	Lts/h	1900 ~ 2100	-	-	-
Presión de Agua en purificadora FO	Bar	3 ~ 4	-	-	-
Purificadora de LO					
Amperaje de motor de purificadoras LO	A	8	-	-	-
Presión aire sistema baja presión	Bar	7 ~ 9	-	-	-
Temp. entrada calentador purificadora LO	° C	65 ~ 70	-	-	-
Temp. entrada centrifuga LO	° C	85 ~ 90	-	-	-
PE bomba purif LO	Bar	0 ~ 0.3	-	-	-
Presión entrada LO purificadora	Bar	0,45 ~ 0,55	-	-	-
Presión descarga purificadora LO	Bar	1,45 ~ 1,65	-	-	-
Flujo purificadora LO	Lts/h	1900 ~ 2100	-	-	-
Presión de Agua en purificadora LO	Bar	3 ~ 4	-	-	-
<i>Parámetros</i>	U/M	Normal	Alarma Baja	<i>Alarma Alta</i>	<i>Disparo ó Entrada Reserva</i>
Parámetros Compresores					
P aire tanque HP (PI-501)	Bar	25 ~ 30	-	-	-
P aire tanque LP (PI-502)	Bar	7 ~ 9	-	-	-
Presión aire línea LP (PI-503)	Bar	7 ~ 9	-	-	-
Parámetros Caldera					
Nivel del tanque alimentación caldera	mm	320 ~ 340	-	-	-
Temp. agua alimentar caldera	° C	60 ~ 70	-	-	-
Presión en cabezal retorno condensado	Bar	0 ~ 0,1	-	-	-
Presión succión bomba alimentar caldera	Bar	0 ~ 0,1	-	-	-
Presión descarga bomba alimentar caldera	Bar	10 ~ 12	-	-	-
Presión succión bomba circulación caldera	Bar	7 ~ 7,5	-	-	-
Presión descarga bomba circulación caldera	Bar	10 ~ 11	-	-	-
Nivel del domo	mm	280 ~ 300	-	-	-
Temperatura entrada gases caldera	° C	280 ~ 350	-	-	-
TS gas cald (TI-701)	° C	151 ~ 250	-	-	-
Caída presión gases en caldera	mmH ₂ O	0 ~ 85	-	-	-
Apertura Damper Caldera	%	50 ~ 100	-	-	-
Presión en domo de caldera	Bar	6,8 ~ 7,2	-	-	-
Presión en cabezal vapor caldera	Bar	6,8 ~ 7,2	-	-	-
Presión de aire baja presión en caldera	Bar	3 ~ 4	-	-	-
Presión agua tratada en caldera.	Bar	3 ~ 3,5	-	-	-
<i>Parámetros</i>	U/M	Normal	Alarma Baja	<i>Alarma Alta</i>	<i>Disparo ó Entrada Reserva</i>

Parámetros Parque Almacenamiento					
Nivel máximo Tk almacenamiento lodos	%	< 50	-	-	-
Nivel Tk almacén FO por encima de calentador	mm	> 200	-	-	-
Nivel tanques almacenamiento de aceite	%	> 25	-	-	-
Presión succión bombas descarga DO.	Bar	- 0,2 ~ 0,2	-	-	-
Presión succión bombas descarga FO.	Bar	- 0,5 ~ 0,2	-	-	-
Presión descarga bombas transferencia DO.	Bar	2 ~ 3	-	-	-
Presión descarga bombas transferencia FO.	Bar	3 ~ 4	-	-	-
Temp. FO salida Tk almacenamiento FO.	° C	65 ~ 70	-	-	-
Presión de vapor en calentadores de boca.	Bar	5,5 ~ 6,5	-	-	-
Parámetros PTA					
DP máxima circuito osmosis PTA.	Bar	1 ~ 2	-	-	-
Flujos agua tratada en PTA.	M ³ / h	1,5	-	-	-
Flujos agua de rechazo en PTA.	M ³ / h	1,5	-	-	-
Conductividad del agua tratada	µs/cm	< 100	-	-	-
PH agua tratada salida PTA.	--	8,3 ~ 9,0	-	-	-
Nivel tanque agua tratada en PTA.	%	50 ~ 75	-	-	-
Nivel depósito de agua cruda	%	50 ~ 75	-	-	-
Presión de agua cruda entrada PTA.	Bar	2 ~ 3	-	-	-
Presión máxima en elementos micro-filtro	Bar	0,5 ~ 1	-	-	-
Índices Generales					
CEC bruto Batería (ISO)	g/kWh	Según prueba 72 hrs			
CE Aceite Motores	g/kWh	< 1	-	-	-
CEC agua	L/kWh	< 0.03	-	-	-
Producción Específica Lodos	g/kWh	< 1	-	-	-

ANEXO II

Tabla 2.1 Muestra de una toma de datos manual diaria (Fecha: 1-2-2017)

Hora	Pot	Vel	Vel	Ind	Combustible	Aceite de lub							Sist H2O													
						Temp	Presión	gob	turbo	mot	PE Fill	dPFil	p turb	nivel	temp	temp	P.E Rad	P.s Rad	niv	Pag BT	Pag aT	E Rad	s Rad	Enf air	Enf ac	TE Cam
10	75	895	3536	4,0	8,8	115	75	67	4,1	4,8	0,7	3,4	0,75	0,25	85	2,2	3,2	49	36,4	36	38	76	78			
12	75	897	3581	4,0	8,5	118	75	67	4,1	4,8	0,7	3,4	0,75	0,25	85	2,2	3,2	50,5	37,2	39	42	76	78			
14	70	896	3436	3,5	8,2	116	75	66	4,1	4,8	0,7	3,4	0,75	0,25	85	2,2	3,2	52,5	38,8	37	39	76	78			
16	70	896	3435	3,5	7,8	118	75	68	4,0	4,8	0,7	3,4	0,75	0,25	85	2,2	3,2	53	39,2	39	40	76	78			
18	70	898	3423	3,5	7,9	117	75	66	4,1	4,8	0,7	3,4	0,75	0,25	85	2,2	3,2	52,5	38,6	38	40	76	78			
20	70	898	3431	3,5	7,9	118	75	66	4,1	4,8	0,7	3,4	0,7	0,2	85	2,2	3,2	51	36,8	36	40	76	78			
22	70	897	3440	3,5	7,9	117	75	65	4,1	4,8	0,7	3,4	0,7	0,2	85	2,2	3,2	49	37,4	34	39	76	78			
						T sist gases							Pres										T gener		Exc.gener	
Temp air																										
Hora																										

Tabla. 2.2 Reporte Consumo empresa correspondiente al mes de Febrero del 2017.

FECHA	MADRUGADA			DIA			PICO			CONSUMO TOTAL
	INICIAL	FINAL	CONSUMO	INICIAL	FINAL	CONSUMO	INICIAL	FINAL	CONSUMO	
01/02/2017	218847	218917	70	280658	280757	99	82737	82779	42	211
02/02/2017	218917	218996	79	280757	280856	99	82779	82812	33	211
03/02/2017	218996	219061	65	280856	280960	104	82812	82844	32	201
04/02/2017	219061	219136	75	280960	281019	59	82844	82872	28	162
05/02/2017	219136	219206	70	281019	281078	59	82872	82904	32	161
06/02/2017	219206	219268	62	281078	281182	104	82904	82944	40	206
07/02/2017	219268	219352	84	281182	281291	109	82944	82981	37	230
08/02/2017	219352	219444	92	281291	281396	105	82981	83021	40	237
09/02/2017	219444	219523	79	281396	281504	108	83021	83057	36	223
10/02/2017	219523	219583	60	281504	281598	94	83057	83080	23	177
11/02/2017	219583	219637	54	281598	281642	44	83080	83104	24	122
12/02/2017	219637	219693	56	281642	281670	28	83104	83126	22	106
13/02/2017	219693	219759	66	281670	281750	80	83126	83155	29	175
14/02/2017	219759	219822	63	281750	281829	79	83155	83187	32	174
15/02/2017	219822	219875	53	281829	281920	91	83187	83216	29	173
16/02/2017	219875	219977	102	281920	282032	112	83216	83248	32	246
17/02/2017	219977	220052	75	282032	282115	83	83248	83276	28	186
18/02/2017	220052	220121	69	282115	282175	60	83276	83303	27	156
19/02/2017	220121	220178	57	282175	282222	47	83303	83329	26	130
20/02/2017	220178	220218	40	282222	282312	90	83329	83358	29	159
21/02/2017	220218	220311	93	282312	282410	98	83358	83391	33	224
22/02/2017	220311	220373	62	282410	282487	77	83391	83409	18	157
23/02/2017	220373	220432	59	282487	282555	68	83409	83435	26	153
24/02/2017	220432	220503	71	282555	282636	81	83435	83462	27	179
25/02/2017	220503	220580	77	282636	282673	37	83462	83480	18	132
26/02/2017	220580	220630	50	282673	282720	47	83480	83511	31	128
27/02/2017	220630	220707	77	282720	282838	118	83511	83539	28	223
28/02/2017	220707	220799	92	282838	282942	104	83539	83565	26	222

Tabla 2.3. Consumo fuel.

		sgestman:		Fuel Oil														
		Formulado													1075623			
				Existencia de combustible al cierre del mes anterior														
	Entrada	Densidad Dia	Valor Calorico	Generación B.	l vacío(mm)100	Al vacío(mm)700	ectura en mm 10	ectura en mm 7	Existencia 100	Existencia 700	Existencia Tota	Consumo	CE	CE. FÍSICO		Cobertura		
1	24678	0,9473	9771,14	169031	4165	3146	4409	6240	519289	543102	1062391	37910	215,20	212,46	220,06	119,2		
2	50446	0,9472	9771,85	220826	3800	3650	4774	5736	562223	499310	1061533	51304	221,32	220,06	226,34	119,0		
3	0	0,9472	9771,85	185556	3800	4150	4774	5236	562223	455873	1018096	43437	225,59	221,73	230,65	108,7		
4	0	0,9472	9771,85	177723	4148	4150	4426	5236	521289	455873	977162	40934	221,21	218,16	226,19	98,9		
5	0	0,9472	9771,85	180129	4501	4156	4073	5230	479767	455352	935119	42043	224,52	221,08	229,56	88,9		
6	0	0,9472	9771,85	172485	4835	4156	3739	5230	440481	455352	895833	39286	220,44	215,74	225,36	79,5		
7	22759	0,9472	9771,85	201688	5225	3879	3349	5507	394591	479416	874007	44585	211,35	209,39	216,13	74,3		
8	47292	0,9475	9768,45	216272	5640	3333	2934	6053	345738	526856	872594	48705	212,57	213,38	217,52	74,0		
9	23110	0,9476	9767,31	244183	5441	3990	3133	5396	369164	469773	838937	56767	222,34	220,30	227,47	66,0		
10	23077	0,9490	9766,20	197046	5808	3753	2766	5633	325961	490362	816323	45691	223,10	220,05	228,25	60,6		
11	0	0,9490	9766,20	181167	5830	4219	2744	5167	323371	449878	773249	43074	228,51	225,63	233,78	50,4		
12	0	0,9490	9766,20	65332	5830	4392	2744	4994	323371	434849	758220	15029	232,70	218,31	237,80	46,8		
13	0	0,9430	9766,20	130660	5830	4732	2744	4654	323371	405312	728683	29537	219,37	213,17	224,35	39,7		
14	0	0,9430	9766,20	180746	5830	5213	2744	4173	323371	363499	686870	41813	221,11	218,15	226,21	29,8		
15	22527	0,9430	9764,79	138267	5638	5569	2936	3817	345973	332527	678500	30897	220,96	210,72	225,91	27,8		
16	23077	0,9431	9763,32	191764	5757	5637	2817	3749	331965	326611	658576	43001	216,55	211,48	221,55	23,1		
17	49709	0,9431	9760,36	226984	5334	6224	3240	3162	381760	275542	657302	50983	210,34	211,83	215,42	22,8		
18	47404	0,9450	9758,15	219554	5036	6645	3538	2741	416838	238913	655751	48955	210,12	210,71	215,22	22,4		
19	0	0,9450	9758,15	161894	5343	6644	3231	2742	380700	239000	619700	36051	212,20	210,44	217,29	13,8		
20	0	0,9450	9758,15	132552	5595	6644	2979	2742	351035	239000	590035	29665	217,54	211,49	222,65	6,7		
21	72501	0,9431	9755,78	106753	5024	6831	3550	2555	418250	222728	640978	21558	201,98	190,45	206,64	18,9		
22	70993	0,9431	9753,82	109191	5026	6281	3548	3105	418014	270583	688597	23374	218,21	201,88	223,18	30,2		
23	47813	0,9431	9752,60	161311	5302	5743	3272	3643	385527	317389	702916	33494	201,21	195,82	206,05	33,6		
24	0	0,9431	9752,60	210117	5302	6294	3272	3092	385527	269452	654979	47937	215,89	215,16	221,22	22,2		
25	0	0,9431	9752,60	231397	5302	6916	3272	2470	385527	215332	600859	54120	220,57	220,58	226,03	9,3		
26	49538	0,9431	9751,21	199482	5634	6399	2940	2987	346444	260318	606762	43635	207,29	206,30	212,42	10,7		
27	24506	0,9431	9750,57	112069	5784	6226	2790	3160	328787	275368	604155	27113	238,22	228,17	243,91	10,1		
28	24506	0,9431	9750,57	97820	5950	5944	2624	3442	309245	299902	609147	19514	196,43	188,14	201,12	11,3		

Tabla 2.4 Generación neta diaria. Ejemplo batería III.

Bruta	Neta	Insumo	% Insumo
54544	52428	2116	3,9
72226	69520	2706	3,7
62959	60628	2331	3,7
78413	75760	2653	3,4
65597	63108	2489	3,8
52494	50348	2146	4,1
86368	83464	2904	3,4
84349	81548	2801	3,3
81684	78832	2852	3,5
57704	55744	1960	3,4
78753	76296	2457	3,1
25237	24428	809	3,2
57687	55796	1891	3,3
82450	79696	2754	3,3
65033	62712	2321	3,6
75046	72564	2482	3,3
78971	76316	2655	3,4
76237	73712	2525	3,3
51850	49688	2162	4,2
51293	49504	1789	3,5
58102	56184	1918	3,3
50638	49008	1630	3,2
43974	42640	1334	3,0
80114	77384	2730	3,4
92440	89580	2860	3,1
88213	84552	3661	4,2
29477	29540	-63	-0,2
42854	41240	1614	3,8