

República de Cuba

Ministerio de Educación Superior

Universidad de Cienfuegos

“Carlos Rafael Rodríguez”



Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

Procedimiento para la modelación matemática del ciclo de trabajo de la Estación de Energía Distribuida de Cruces.

Trabajo de Diploma

en opción al Título de Ingeniero Mecánico

Autor: Roselí Curbelo Marchena

Tutor:-Dr.C José Ramón Fuentes Vega

-MSc. Mario Aranzola Rodríguez

Cienfuegos junio, 2016

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

...A mis antepasados, por formar en mis raíces el empeño del trabajo ennoblecedor...

...A mi padre, de quien el carácter sacrificado es mi fuente de perseverancia y mi instrumento para obtener las fuerzas al enfrentar los obstáculos de la vida...

...A mi madre, cuyos logrados sueños alientan la esperanza del ser humano en lo desconocido...

...A mi hermana, por quien vale demostrar que es reconfortante el mérito solo si es grande el sacrificio...

...A mi sobrino, cuya presencia y amor incondicional hacen de cada día una maravilla vivida por la que vale envejecer, mientras sea a su lado...

...A mi mentora Beatriz, de quien recibí la primera observación científica del mundo y convirtió mi sed de curiosidad en una búsqueda y posterior encuentro de mi persona...

...A mis tutores de quienes el aporte y la supervisión ha garantizado mi satisfacción en los resultados del proyecto...

...A algunos buenos amigos que en la época moderna mostraron con su bondad que el menos bueno está tan necesitado de cariño como los hambrientos de pan y a otros que con fortaleza y carácter hacen que el mundo a veces parezca un lugar más sencillo...

...A los profesionales de la Ciudad Nuclear ejemplo de sacrificio abnegado y amor a la profesión...

...A la educación cubana por crearme orgullosa de mi tierra y consciente de sus realidades...

...A lo divino por dotarme de generosidad para con las criaturas del mundo, de gratitud para con la tierra que se me permitió ver y de paciencia para el tiempo pues solo él sabe solucionar sabiamente lo que al ser humano atormenta...

RESUMEN.

El presente trabajo se desarrolla en la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Cruces, la cual funciona con fueloil como combustible fundamental y trabaja entre 17 y 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 fueloil y otro para la generación neta diaria de la central, los que predicen en buen grado, el comportamiento de las variables dependientes, aun cuando son susceptibles de perfeccionamiento.

TABLA DE CONTENIDOS.

Tabla de contenidos.	VI
Introducción	1
Capítulo I: La generación distribuida en la generación eléctrica	6
1.1.-Introducción.	6
1.2.-La generación de electricidad: elementos de su desarrollo histórico.	6
1.3.-Generación distribuida: factores de desarrollo	10
1.4.-Concepto de Generación Distribuida de Energía	12
1.4.1.-Conceptualización.	12
1.4.2.-Clasificación de la generación distribuida.	14
1.5.-Desventajas de la generación tradicional.	15
1.6.-Ventajas de la GD y barreras para su aplicación.	17
1.6.1.-Ventajas de la GD.	17
1.6.2.-Barreras en el campo de aplicación de la GD	21
1.6.3.-El futuro de la generación distribuida y sus impactos sobre el sector de energía.	23
1.7.-Los grupos electrógenos	27
1.7.1.-Los grupos electrógenos dentro de la energía distribuida.	27
1.7.2.-Características del caso de estudio: La Central Eléctrica de GD de Cruces.	32
1.8.-Conclusiones parciales	33
Capítulo II: Metodología de trabajo.	34
2.1.-Introducción.	34
2.2.-La Central Eléctrica de Energía Distribuida de Cruces	34
2.2.1.-Caracterización de la Central Eléctrica de Energía Distribuida de Cruces.	34
2.2.2.-Condicionantes para el desarrollo del trabajo.	42
2.3.-La metodología de trabajo.	43
2.4. Conclusiones parciales	46
Capítulo III: Análisis de resultados.	48

3.1. Introducción.	48
3.2. Análisis estadístico de resultados	48
3.2.1 Análisis de normalidad.	48
3.2.2 Análisis de regresión para las dos variables dependientes.	50
3.3.-Análisis físico de los resultados.	61
3.4.-Conclusiones parciales	63
Conclusiones generales	64
Recomendaciones	65
Bibliografía	66

INTRODUCCIÓN

“La energía es la fuerza elemental y el medio sobre los cuales se construye toda la cultura humana”

Jeremy Rifkin

La problemática energética y medioambiental, ambas muy asociadas, están hoy en primer plano de importancia, a nivel internacional. El agotamiento progresivo de los yacimientos de petróleo por el uso desmedido de esta fuente de energía, la ausencia de otras fuentes que en el mediano plazo las sustituyan, los variables precios y los conflictos que se generan con el propósito de adueñarse de sus principales yacimientos, colocan la problemática energética en los principales titulares de la prensa y tema obligado de debate en numerosos eventos internacionales. Asociados al uso desmedido de la energía, los problemas medioambientales que se originan: cambio climático, lluvias ácidas, contaminación ambiental, debilitamiento de la capa de ozono, entre otros, gravitan negativamente sobre la humanidad y realzan la importancia del uso racional de las fuentes de energía y la necesidad del uso de las fuentes renovables.

En medio de este panorama, la atención se centra en los grandes consumidores: el transporte, el sector domiciliario, la industria y la generación de electricidad. (Ver figura 1)

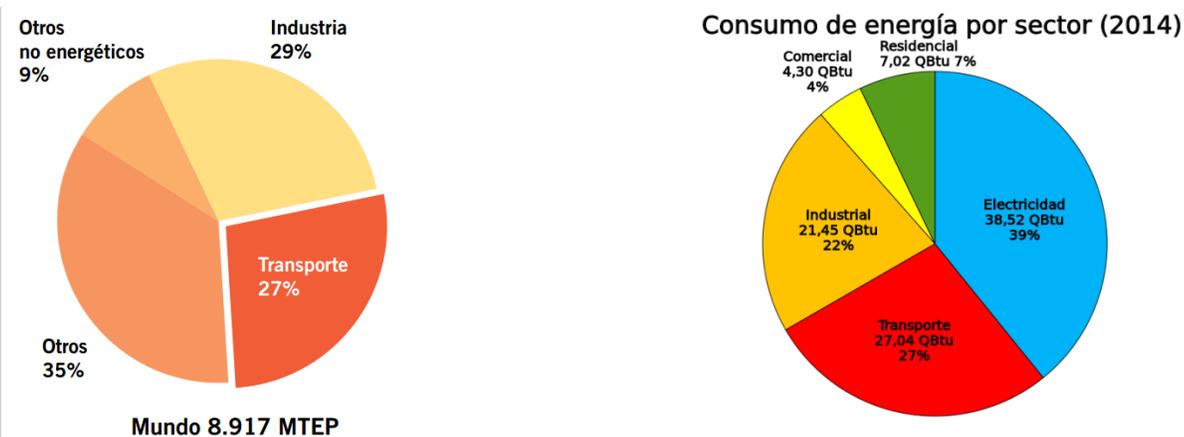


Fig. 1. Consumo de energía final de energía por sector en el mundo y en Estados Unidos. (Trentadue & Carranza, 2014; Wikipedia, 2015).

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.

El uso de los GE en Cuba es reciente. Hourné-Calzada et al (2012), realizan un importante estudio sobre los GE de fueloil en Cuba. En tal sentido refieren, que en el 2004, el país sufrió una severa crisis en el Sistema de Generación Electro Energético Nacional (SEN), conformado en aquel entonces por grandes plantas con elevados índices de consumo de combustible y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico. Esta situación 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 fueloil, 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.

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 fueloil, si bien se mantienen en activo GE que trabajan con combustible diesel.

Como los emplazamientos de generación distribuida con GE de fueloil, 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-Calzada 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 fueloil.
- 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 monitoreo 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 fueloil). 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 fueloil "Cruces" y "Yaguaramas" son de tecnología Hyundai y funcionan ininterrumpidamente según lo establecido por el Sistema Electro Energético Nacional (SEN). Las ocho centrales diesel son plantas generadoras de reserva para el horario pico, cuando hay una alta demanda de energía. (Rodríguez Pérez et al, 2014).

El presente trabajo se desarrolla en la central eléctrica de fueloil "Cruces". 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 215 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.

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 ha limitado el alcance del trabajo de diploma, si bien la metodología que se emplee, servirá de base para la ampliación del trabajo de investigación en el futuro. Por tal razón, se propone como **Problema de Investigación** del actual trabajo de diploma el siguiente:

La ausencia de un procedimiento que posibilite la modelación matemática del ciclo de trabajo de los motores de fueloil de la central eléctrica de energía distribuida de Cruces, 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 definición de un procedimiento para la obtención de modelos matemáticos del ciclo de trabajo de la central eléctrica de energía distribuida de Cruces, facilitará el trabajo posterior de perfeccionamiento de los modelos obtenidos, 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:

Aplicar un procedimiento para la modelación matemática de la estación de energía distribuida de Cruces, que facilite el proceso de obtención definitiva de modelos representativos de su ciclo de trabajo, 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 del ciclo de trabajo, en especial de los motores, en función de la significación que muestren en su desempeño.
- Establecer el procedimiento más adecuado para el procesamiento de la base de datos.
- Elaborar los modelos matemáticos representativos del ciclo de trabajo.

Fundamentación del trabajo:

En primer lugar el presente trabajo de investigación es de interés de la central eléctrica de energía distribuida de Cruces, 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 va a 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 fueloil, 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.

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 se inicia con la generación de electricidad, a partir de diversas fuentes (mediante la transformación de energía mecánica, química, térmica, eólica e hidráulica, entre otras, en energía eléctrica), y continúa con la transmisión y distribución de esta energía a los grandes centros de consumo.

A lo largo de la historia, se han planteado dos filosofías para suministrar energía a los usuarios: la generación centralizada (Fig. 1.1) y la generación distribuida (Fig. 1.2). La primera se caracteriza por tener grandes centrales generadoras, ubicadas lejos de los centros de consumo, que generan grandes bloques de potencia, que debe ser transportada a niveles de tensión muy elevados para disminuir las pérdidas hasta las ciudades (grandes centros de consumo), para luego ser distribuida entre los consumidores finales; mientras la generación distribuida (GD) se caracteriza porque las centrales generadoras se encuentran ubicadas cerca de los centros de carga y se conectan directamente a la red de distribución, de esta forma el usuario puede interactuar con las redes de interconexión eléctrica sin incurrir en los costos de transmisión. 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 Álvarez & Serna Zárate, 2012).

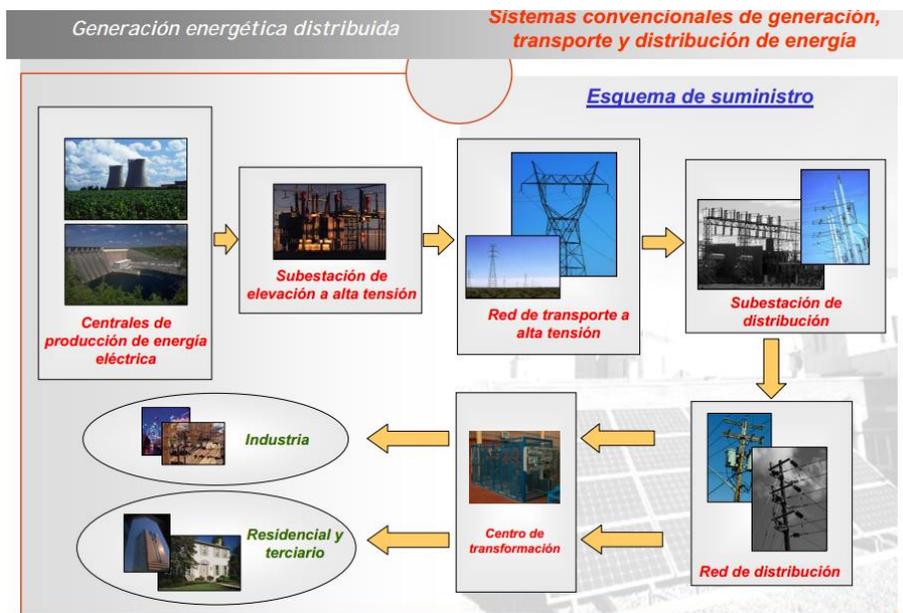


Fig. 1.1 Sistemas convencionales de generación, transporte y distribución de energía

Fuente: Del Amo Martínez, 2007.



Fig. 1.2 La generación eléctrica distribuida

Fuente: Del Amo Martínez, 2007.

En sus comienzos, la generación eléctrica se hacía de manera distribuida, mediante sistemas de vapor, gas, carbón o hidráulico. A medida que la demanda comenzó a aumentar, la energía se convirtió en un insumo fundamental para la producción de bienes y servicios, dando paso a la generación de manera centralizada, la cual se consolidó como la estructura base para cumplir con la demanda exigida por los usuarios.

Se suele citar como curiosidad histórica (Segura Heras, 2005), que en 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. Precisamente, el nombre de Central, proviene del hecho de que la generación eléctrica estaba situada en el "centro geométrico" del consumo que "crecía" a su alrededor. Realmente, esto ocurrió con todas las centrales que se construyeron en los primeros años, ya que los generadores eléctricos eran de corriente continua y, a pesar de los intentos pioneros de transporte a distancia, especialmente los de Marcel Deprez, entre 1882 y 1886 (hasta 57 km) y H. Fontaine en 1886 de unos 30 km, la tensión relativamente modesta que se podía alcanzar hacía inviable el transporte de la energía eléctrica fuera de la zona de generación, ya que los rendimientos obtenidos en esas experiencias fueron inferiores al 50%. 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. El rendimiento del transporte, entre los bornes del generador y el consumo, alcanzó valores del orden del 83%.

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. (Fernández Beites, 2012)

Los proyectos de GD incluyen todo tipo de energías renovables (fotovoltaica, aerogeneradores, mini hidráulica, biomasa, mareo motriz, geotérmica y energía por fenómeno de inducción electromagnética y efecto corona), como también de energía convencional (máquinas de combustión interna y micro-turbinas). Debe añadirse la tecnología innovativa de las células de combustible y la tecnología de almacenaje como baterías, imanes superconductores y condensadores. (Valencia Quintero, 2008). En la figura 1.3 se muestran las tecnologías de GD.

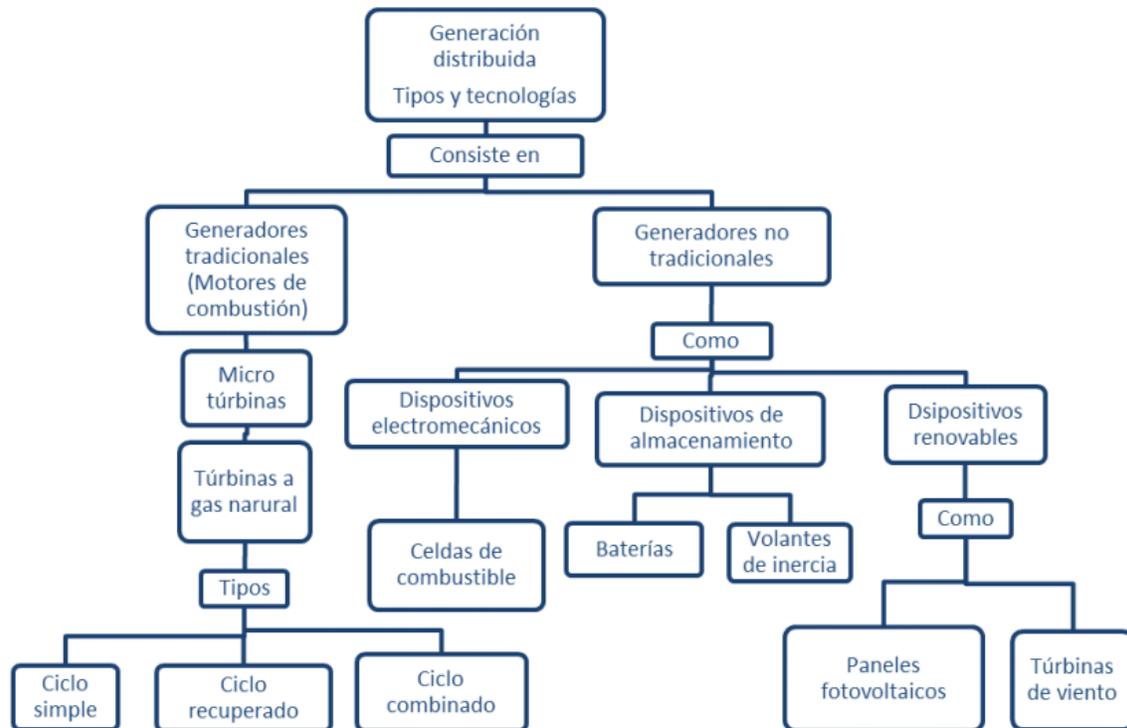


Fig. 1.3 Tecnologías utilizadas en la generación distribuida

Fuente: Distributed generation technologies, definition and benefits, 2004

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.

En relación a las pérdidas de la línea, los sistemas eléctricos de potencia poseen unidades generadoras y demandas ubicadas en distintos puntos del sistema que están interconectados por líneas de transmisión de grandes longitudes. Si la demanda es considerable y el sistema de transmisión está congestionado, entonces las pérdidas de energía pueden ser significativas. Estas pérdidas dependen de la resistencia de la línea y la corriente que fluya por ella, usualmente a este tipo de pérdidas se las denomina pérdidas térmicas. Una correcta ubicación de la GD reduce las pérdidas totales del sistema y una ubicación incorrecta aumenta las pérdidas del sistema (Pacheco, 2010).

Según Kashem et al (2006), la International Energy Agency (IEA) encontró que las pérdidas por transmisión y distribución suponen un 7% de la producción bruta en kWh. El estudio también encontró que durante periodos de altas temperaturas, las líneas se dilatan y la conductividad decrece, y las pérdidas pueden alcanzar el 40%. La Energy Information Administration (EIA)

estadounidense encontró que la tecnología DG puede suponer que el costo de la energía sea un 30% más bajo cuando se desplaza el gasto de transmisión y distribución y el sistema DG se despliega en sitios concretos. De esta forma se obtiene una interesante alternativa a la construcción de nuevas líneas de potencia, transformadores, etc. Las ventajas son mayores en áreas congestionadas, donde permitir nuevas redes de transmisión es difícil.

1.3.-Generación distribuida: factores de desarrollo

La importancia de la GD se comenzó a resaltar en los últimos años cuando muchos países liberaron sus mercados eléctricos (Ackermann, Andersson & Soder, 2004) y comenzaron a incentivar la evolución de nuevas tecnologías de generación (IEA, 2007). Otro de los factores que está generando un creciente interés en la GD es la contribución al desarrollo sostenible, ya que esta se asocia comúnmente con la producción de energías limpias (IEA, 2007).

El incremento de la demanda energética, unido a las restricciones que los Estados imponen en materia medioambiental a la construcción de nuevas centrales de producción y la ampliación de la infraestructura del actual sistema de potencia, constituyen factores decisivos en la apertura del mercado a un nuevo escenario.

El desarrollo actual de la GD y la aceleración que previsiblemente, va a experimentar en los próximos años tienen 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; González-Longatt, 2010; IEA, 2002).

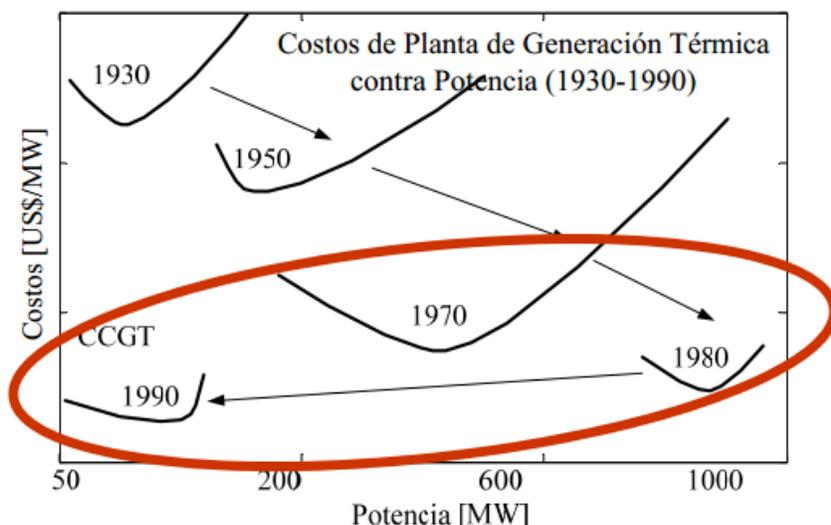
1. Reestructuración del sector eléctrico, que elimina la planificación centralizada y establece la libre competencia de la generación.
2. Saturación de la capacidad actual del sistema de potencia ante demandas fuertemente crecientes. Problemas de ubicación de las grandes centrales y de ampliación de 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 que preocupan a los responsables del sistema y a la sociedad global en el suministro de energía y facilita la planificación del abastecimiento frente a previsiones inciertas de demanda.
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

inviabilidad económica 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. Potenciación de 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. 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.
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. Si bien hacia 1980, la reducción en el costo por MW se obtenía aumentando el tamaño de la planta generadora, hacia 1990 se produce un cambio en ese comportamiento, obteniéndose el



punto óptimo para potencias menores. (Ver figura 1.4)

Fig. 1.4 comportamiento de los costos de plantas de generación contra potencia generada.

Fuente: González-Longatt (2010)

Por otro lado, la GD puede contribuir a la seguridad energética, elevando los niveles de confiabilidad del sistema. Lo que pueda hacer la GD en este punto depende, en gran parte, de políticas energéticas concebidas para incentivar el uso de energías alternativas a un precio justo para el usuario. Los cambios regulatorios relacionados con la actividad de generación, están inmersos en incertidumbres debidas, principalmente, a la volatilidad en los precios de los combustibles, cambios climáticos y posibles aumentos súbitos de la demanda. Una forma de apoyar las políticas energéticas es a través de estudios que permitan identificar las consecuencias a largo plazo.

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 GD es identificada generalmente como 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. (Ackermann, Andersson & Soder, 2004). A pesar de lo anterior, no existe aún una definición comúnmente aceptada para la GD, e

incluso, la propia denominación difiere según la fuente documental. En ocasiones se utiliza el término Generación Dispersa o más raramente, el de generación "in-situ".

Tomando la definición de varios autores Francisco Fernández et al (2010) expresa: Según la definición del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers, 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 autores la definen como:

- 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 Jiménez & Marín Quintero, 2012).
- Recursos energéticos distribuidos a pequeña escala en redes de baja y media tensión. (González Herrera et al, 2015)
- 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 (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE, referenciado por Segura Heras, 2005).
- 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-Longat, 2008).
- Fuente de potencia eléctrica conectada directamente a las redes de distribución o del lado del consumidor (Ackermann et al, 2001).
- Generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas, pero que no implica una tecnología en particular.(Distribution Power Coalition of America, DPCA referenciado por LABEIN TECNALIA, 2007)
- 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 Fernández et al, 2010)
- 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 de los combustibles utilizados. (Francisco Fernández et al, 2010)

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.

Según el criterio de Segura Heras (2012) y González-Longat (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 puede clasificarse de acuerdo con varios criterios: según la tecnología utilizada, se clasifica en renovable y no renovable. En la siguiente figura se muestran las tecnologías más utilizadas y el tamaño típico por módulo.

<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>Biomasa, 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. 1.5 Tecnologías renovables y no renovables de GD y su tamaño típico por módulo.

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 (Álvarez & Serna Zárate, 2012):

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.

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 períodos 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 de esta forma 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.

Según Valencia Quintero (2008), la generación eléctrica tradicional tiene cinco tipos de problemas: (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, la autora 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 la autora 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 propio Valencia Quintero (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 células de combustible 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 generación por electricidad distribuida 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. Adicionalmente, la GD alimentada a gas permite obtener electricidad de alta calidad necesaria en aplicaciones de alta tecnología y da al consumidor un mayor control sobre el consumo de su energía”.

La implementación de la GD en un sistema de interconexión trae muchas ventajas, de tipo técnico, económico y ambiental (González Herrera et al, 2015; Álvarez Álvarez & Serna Zárate, 2012; Francisco Fernández et al, 2010):

Beneficios técnicos

Los beneficios técnicos son variados y pueden resumirse en los siguientes: 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.

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.

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.

En el trabajo “Distributed resources and electric system reliability”, Richard Cowart (2001) considera tres puntos de vista a considerar en la confianza de la generación distribuida:

- el punto de vista de clientes individuales;
- de un grupo de clientes y su compañía local de distribución
- el mercado como un todo y operadores del sistema.

Se destacan algunas formas por las cuales la GD 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 demandan servicio ininterrumpido.

Los clientes que instalan la GD al lado de su medidor, 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 períodos sin suministro de energía.

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 generación distribuida, están los grupos electrógenos (GE), que han mostrado una mayor posibilidad de uso por su facilidad de operación, simpleza, seguridad y confiabilidad.

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

Hasta ahora se ha presentado un programa que estimula el desarrollo de la GD, que conduce hacia un nuevo modelo del sector de negocios de la generación de electricidad en los sistemas de micro y mini-generación. La GD con fuentes de energías renovables y tecnologías con alta eficiencia energética, resultan imprescindibles para satisfacer plenamente los requisitos, cada vez más exigentes, de los diferentes tipos de usuarios que demandan energía eléctrica de alta calidad y fiabilidad (LABEIN TECNALIA, 2007).

Sin embargo, no todos los factores y agentes implicados contribuyen en la misma medida en el desarrollo de sistemas que promueven iniciativas en el sector 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 Álvarez & Serna Alzate, 2012; Pacheco (2010), 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.

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.

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.

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 horade 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 sobrecostes, 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.

En la figura 1.6 se presentan algunos porcentajes de participación en GD respecto a la producción total de energía en cada país. Chile y México son los países latinoamericanos con mayor participación en generación distribuida, con un 10% y un 8% respectivamente.

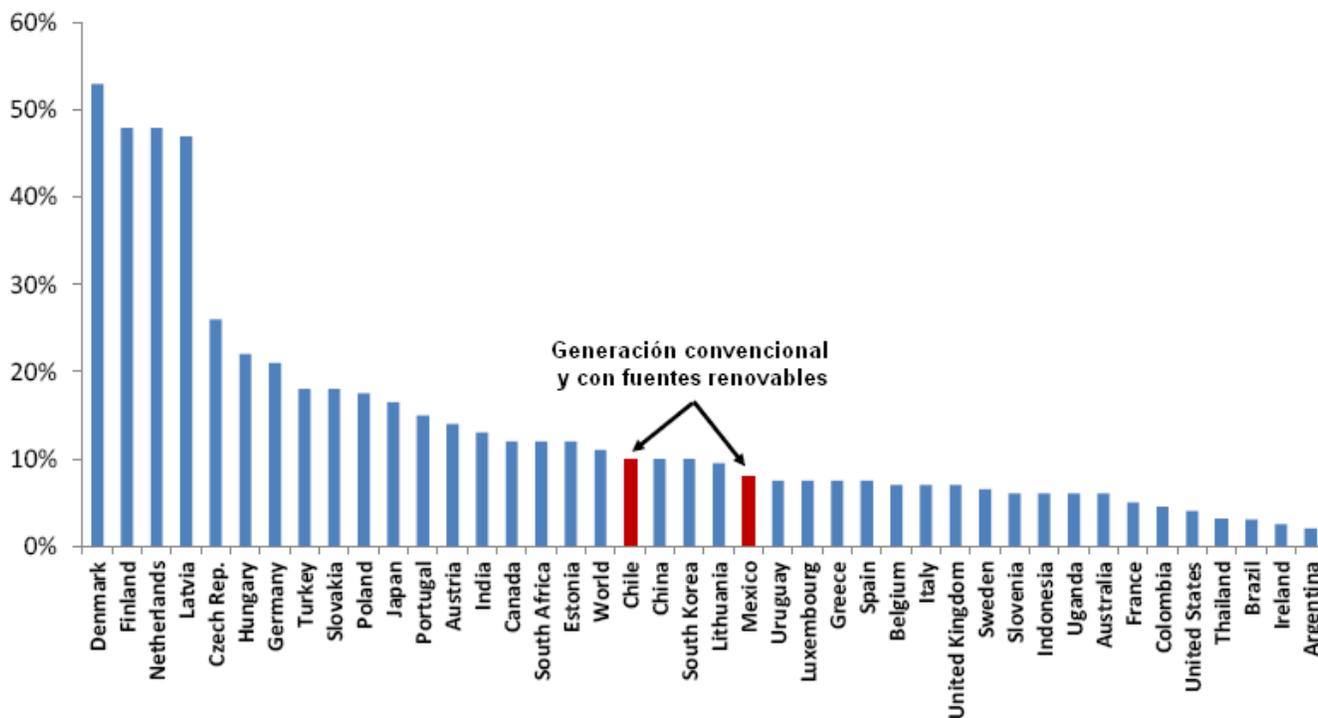


Fig. 1.6 Participación en la GD respecto a la generación convencional de varios países.

Fuente: Perspectives for Distributed Generation with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean, 2011.

Pacheco (2010), LABEIN TECNALIA (2007), Segura Heras (2005) y OECD (2002) brindan una panorámica de las posibilidades de las tecnologías más utilizadas en la GD.

-Generadores eólicos: 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.

-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. El trabajo puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica, mientras el calor, a partir de la recuperación del calor de los gases de escape, puede generar, entre otros, agua caliente, vapor, calor de proceso o frío.

-Turbinas a gas: Son pequeñas turbinas con potencia de hasta 500 kW, que contemplan la generación de energía eléctrica o pueden operar en mini-sistemas de cogeneración. Pueden utilizar diferentes combustibles, pero principalmente gas natural, GLP o biogás y permiten obtener eficiencias alrededor del 30%. Los gases de combustión tienen una temperatura de 600°C; por lo que ofrecen una alta seguridad de operación; tienen un bajo costo de inversión; el tiempo de arranque es corto (10 minutos); y requieren un mínimo de espacio físico. Su costo de mantenimiento y su eficiencia eléctrica son ligeramente inferiores a las de los motores térmicos con combustibles fósiles.

-Micro-turbina a gas: Es un desarrollo tecnológico de la turbina a gas, pero en menor escala. Se desarrolló pensando en el transporte, pero encontraron un nicho en la GD. Su frecuencia de rotación es muy alta. Las unidades individuales se extienden de 30-200 kW, sus temperaturas de combustión pueden asegurar niveles de emisiones NO_x muy bajos. Hacen mucho menos ruido que un motor de tamaño comparable. El gas natural es el combustible más común, aunque existen algunas de biogás. La desventaja principal del micro-turbina a gas son los altos precios en comparación con motores de gas.

-Micro-turbinas hidráulicas: En el micro-central hidroeléctrico se utilizan 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. Sus beneficios son referidos a la no contaminación ambiental; tiene un mantenimiento mínimo y su rendimiento es mayor a las

demás tecnologías de GD. Una de sus mayores desventajas es el flujo irregular que se puede dar en pequeños ríos a lo largo del año, la cual puede ser reducida si se represa el agua. La potencia utilizable en una central hidráulica depende, además del caudal, del salto de agua y de la eficiencia de los componentes que intervienen en la generación de electricidad.

-Térmica/solar: Es el calentamiento del agua (para uso residencial, comercial o industrial), por medio de la utilización de colectores solares, los cuales funcionan de acuerdo con los principios de transmisión de calor a través de los materiales.

-Fotovoltaica/solar: Es la generación de energía eléctrica a través de paneles solares, formados por celdas solares, que son dispositivos compuestos de silicio, que producen una corriente eléctrica cuando incide sobre ellas la luz solar. Su típica estructura está constituida por un número de módulos dispuestos en una estructura en paralelo y en serie, para obtener el nivel deseado de tensión de salida. La potencia de un solo módulo varía entre 50 y 100W, de acuerdo con el número de las celdas solares que estén conectadas. A diferencia de otras unidades de GD, los sistemas fotovoltaicos poseen un costo de inversión alto, y un costo de operación muy bajo. No generan calor y son intrínsecamente de escala pequeña. Tiene una gran variedad de aplicaciones, pero se les utiliza mucho en poblaciones rurales, la agricultura, variadas aplicaciones de iluminación y en sistemas remotos de telecomunicaciones, dónde la confiabilidad y los bajos costes de mantenimiento son los requisitos principales.

-Celdas combustibles: Es una tecnología en desarrollo, que utiliza el hidrógeno y el oxígeno para generar electricidad, a través de procesos químicos. La celda combustible es, en general, alimentada directamente con hidrógeno, o este es extraído de otros combustibles fósiles. Poseen una eficiencia de conversión muy alta (35-60%), comparadas con tecnologías convencionales. Su eficiencia limita las emisiones de gases que provocan efectos invernaderos (CO_2). 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.

-Biomasa: Esta presenta características de combustión inferiores, comparada con los combustibles fósiles, debido a su baja densidad energética y alta humedad, además de la imposibilidad de almacenarla durante mucho tiempo porque se deteriora. Sin embargo, su potencial es lo suficientemente elevado como para justificar el estudio y desarrollo de tecnologías que permitan un uso eficiente de la misma como fuente de energía.

-Moto-generadores: Es un conjunto formado por un motor térmico acoplado a un alternador/generador de energía eléctrica. Se emplean normalmente en emergencia, pudiendo también ser usado para el suministro total de las cargas de la unidad consumidora, para gestión de carga (peak-shaving) o aún en sistemas de cogeneración en diversos sectores. Los motores de diesel

es la tecnología más comúnmente usada para la GD. Es una tecnología probada con costo de capital bajo, rango de operación alto, rápida puesta en marcha, eficiencia de conversión eléctrica relativamente alta, y una alta fiabilidad en su funcionamiento. 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 fueloil

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.

En función del ciclo, los motores pueden funcionar en cuatro tiempos (cuatro carreras del émbolo y dos vueltas del cigüeñal) o de dos tiempos (dos carreras del émbolo y una vuelta del cigüeñal).

En cuanto a la refrigeración, el fluido refrigerante podrá ser un líquido, normalmente agua, evacuando el calor en un radiador; o el aire, utilizando un ventilador, aplicado sobre todo en motores de pequeña potencia.

Las principales desventajas de estos motores de combustibles fósiles son: el ruido, costes de mantenimiento y emisiones altas, particularmente de óxidos de nitrógeno (NOx). 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.

En LABEIN TECNALIA (2007) se brinda una visión del desarrollo de la GD (Ver Fig. 1.7) y las características más importantes de las tecnologías consideradas maduras y semi-maduras (Fig. 1.8).

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. Niveles de desarrollo de las tecnologías de GD.

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. Características de las tecnologías más maduras en la GD.

Se considera como rendimiento eléctrico la relación de la energía producida entre la energía aportada.

1.7.-Los grupos electrógenos

1.7.1-Los grupos electrógenos dentro de la energía distribuida.

Un grupo electrógeno, es una máquina que mueve un generador eléctrico, a través de un motor de combustión interna.

Según Francisco Fernández et al (2010), entre las tecnologías que mayor difusión encuentran en la GD, se encuentran los denominados Grupos Electrógenos (GE). 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). De igual manera, el 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. 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.

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.

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 tarieta 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 predispuestas 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 Fernández 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.

Los GE de fueloil forman parte del régimen base, sincronizados a la red, con un modo de entrega de potencia continua.



Fig. 1.9. Grupos electrógenos.

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

La Central Eléctrica de GD de Cruces, está enclavada en las proximidades del poblado de Cruces, en el área que antes ocupaba la Fábrica de Tableros de Bagazo

Pro-Cuba.

Como ya se expresó, la planta consta de 3 baterías de GE de fueloil, 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, menores que el actual consumo específico de la CTE “Carlos Manuel de Céspedes”, una de las más eficientes del país, que es de 267 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.

¿Cómo afectan estos factores el desempeño del motor? ¿Qué medidas pueden tomarse y en qué medida mejorarán su desempeño? Son aspectos que puede resolver una adecuada modelación matemática del ciclo de trabajo, entre otras cuestiones, que surgirán con la profundización en el estudio de estas instalaciones.

1.8.-Conclusiones parciales

Al finalizar el capítulo arribamos a las siguientes conclusiones:

- La GD, en sus diferentes variantes, constituye una promisoría 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 Fueloil de Energía Distribuida de Cruces. 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 Cruces

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

Los GE de fueloil que se encuentran instalados en el municipio de Cruces, inaugurados el 17 de noviembre del 2007, cuentan con tres baterías de 4 motores cada una. Cada motor trabaja junto a un generador, para suministrar corriente eléctrica al SEN. Los motores comprados en Corea del Sur, fueron concebidos para su uso en navíos, mas, la política energética de Cuba se planteó la posibilidad de su empleo en tierra, en las centrales eléctricas de GD.

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-generador 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 Dong (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 100 m 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 100 mm de espesor y galv perf 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 Himsen 9H21/32, 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/m³ 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 recepciona 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 fueloil 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 2, se encuentra montado un intercambiador de tubo y coraza de forma horizontal, tipo cerrado, AEU, el cual tiene la función de

calentar el combustible fueloil, 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 fueloil, 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 fueloil, 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 fueloil, 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 fueloil que suministra CUVENPETROL (Refinería de Petróleo de Cienfuegos), la empresa contratada para abastecer a la Central de fueloil de Cruces 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 fueloil que se recibe en la Central Eléctrica de GD de Cruces

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 Cruces

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 32 m³/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 Dong (2005) y de Cuevas Pérez (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 Cruces 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 Septiembre y Febrero, 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. Felizmente, en estos momentos se realizan pruebas para instalar flujómetros por batería o motor, para medir el consumo de combustible.

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 fueloil, además del lodo procedente del proceso de mejoramiento del fueloil, 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 Septiembre del 2015.

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 Cruces.

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 diesel, fueloil y lodos, 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 I, correspondiente al mes de Febrero. En la tabla se muestra la generación de cada motor de la batería, tomada en 3 horas diferentes del día: 6am, 6pm y 12:00.

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 ($LI_{Ant_{bateria}}$) menos la actual de cada batería ($LI_{Act_{bateria}}$) entre las horas transcurridas desde la lectura anterior (HL_{Ant}) hasta la lectura actual (HL_{Act}).

$$Ih_{bateria} = \frac{LI_{Ant_{bateria}} - LI_{Act_{bateria}}}{HL_{Ant} - HL_{Act}} \quad (2.2)$$

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).

$$Ih_{motor} = \frac{Ih_{bateria}}{C_m}$$

(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 fueloil 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 verificará la normalidad de las variables dependientes.
- 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 fueloil 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 normalidad.

Para la variable dependiente Generación neta diaria:

A manera de ejemplo se tomará el ejemplo del mes de septiembre. Se tomaron 30 valores con rango desde 9330,5 a 34129,5 kW

Distribuciones Ajustadas:

<i>Normal</i>
media = 25626,4
desviación estándar = 6075,11

Este análisis muestra los resultados de ajustar una distribución normal a los datos de Generación neta diaria. Los parámetros estimados para la distribución ajustada se muestran arriba.

Pruebas de Bondad de Ajuste para Generación neta diaria

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

	<i>Normal</i>
DMAS	0,106644
DMENOS	0,12468
DN	0,12468
Valor-P	0,739476

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Generación neta diaria proviene de una distribución normal, con 95% de confianza.

Pruebas de Normalidad para Generación neta diaria

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,910139	0,0162939

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Generación neta diaria puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk

está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que Generación neta diaria proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

En la figura 3.1 se muestra el histograma de frecuencias para la generación neta diaria y en la figura 3.2 el correspondiente al diagrama de caja y bigotes, que muestra la ubicación de la media y la desviación estándar. Los dos puntos alejados muestran registros mal reflejados en los datos.

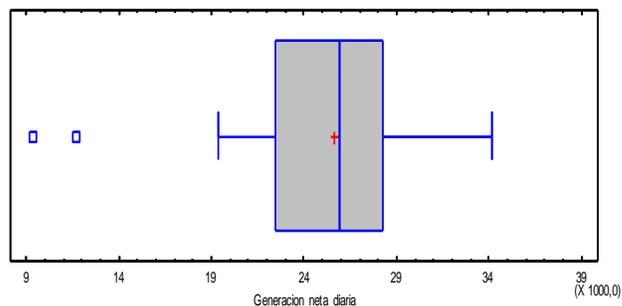
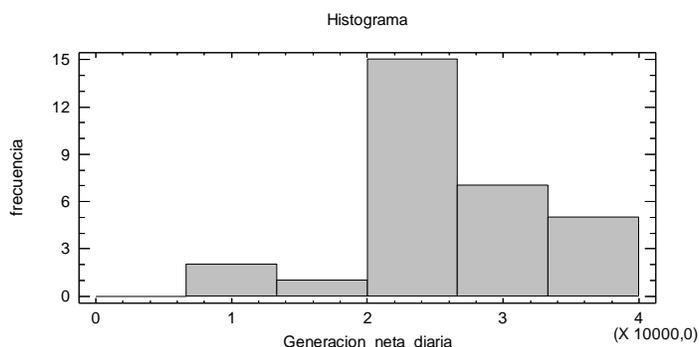


Fig. 3.1 Histograma de frecuencias para la generación neta diaria **Fig. 3.2 Diagrama de caja y bigotes**

En conclusión, dados los resultados de ambas pruebas, se puede decir que los datos provienen de una distribución normal.

Para la variable dependiente consumo de fueloil.

Al igual que en el caso anterior, tomaremos como ejemplo el mes de septiembre. Igualmente se toman 30 valores con rango desde 30252,0 a 83338,0 litros

Distribuciones Ajustadas

Normal
media = 59112,4
desviación estándar = 10181,1

Este análisis muestra los resultados de ajustar una distribución normal a los datos de Consumo Fueloil. Los parámetros estimados para la distribución ajustada se muestran arriba.

Pruebas de Normalidad para Consumo Fueloil

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,972133	0,641455

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Consumo Fueloil puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Consumo Fueloil proviene de una distribución normal, con 95% de confianza.

Pruebas de Bondad de Ajuste para Consumo Fueloil

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	Normal
DMAS	0,0759778
DMENOS	0,101514
DN	0,101514
Valor-P	0,916648

Esta ventana muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si Consumo Fueloil puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que Consumo Fueloil proviene de una distribución normal, con 95% de confianza.

En la figura 3.3 se muestra el histograma de frecuencias para el consumo de fueloil y en la figura 3.4 el correspondiente al diagrama de caja y bigotes, que muestra la ubicación de la media y la desviación estándar. El punto alejado muestra un registro mal reflejado en los datos.

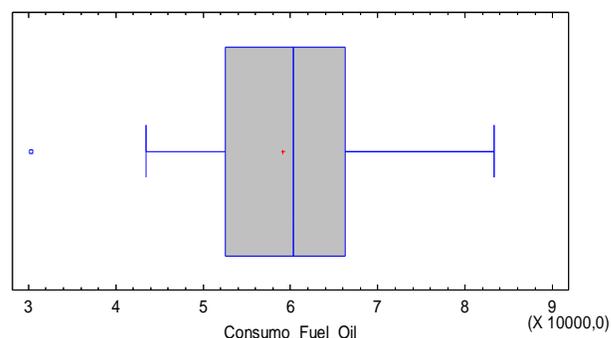
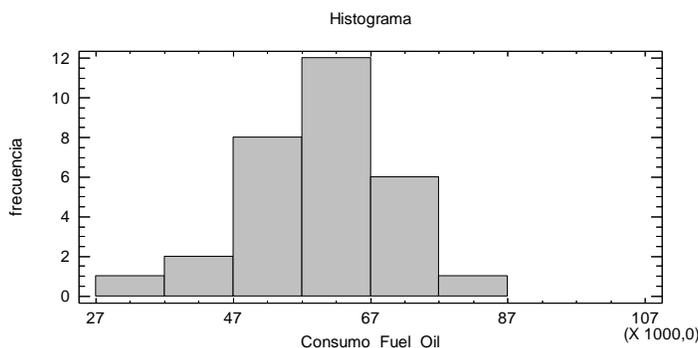


Fig. 3.3 Histograma de frecuencias del consumo de fueloil **Fig. 3.4 Diagrama de caja y bigotes**

En conclusión, dados los resultados de ambas pruebas, se puede decir que los datos provienen de una distribución normal.

En el caso del diesel, también se realizó la prueba de normalidad. No la incluimos, por cuanto éste se utiliza sólo en el arranque y parada, y no existen datos que vinculen el funcionamiento del motor con el momento de uso de este combustible, razón por la cual no pudo establecerse ninguna dependencia de correlación.

3.2.2 Análisis de regresión para las dos variables dependientes.

Para el consumo de fueloil:

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. Este es el caso de las variables sombreadas en dicha tabla, que si se eliminan el valor de r cuadrado del modelo cae al 82.15%.

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

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T-Student	Valor-P
CONSTANTE	-3,00705E6	848628,	-3,54343	0,0029
Pag_BT	20679,5	15695,1	1,31757	0,2074
Pot	1582,53	482,367	3,28076	0,0051
Horastrab	1741,79	331,044	5,2615	0,0001
P_mot	29496,8	15314,5	1,92607	0,0733
PE_Fill	18689,0	16240,7	1,15076	0,2678
p_turb	-18749,8	7852,78	-2,38767	0,0306
P_E_Rad	-85693,3	28670,6	-2,98889	0,0092
Enf_ac	3035,63	1230,97	2,46605	0,0262
TE_Cam	31763,2	10698,1	2,96906	0,0096
T_inc	-1048,44	504,134	-2,07969	0,0551
Pa_C	-59554,5	17622,4	-3,37948	0,0041
Pa_arr	-1239,93	403,706	-3,07137	0,0078
E_Tur	1119,64	332,113	3,37128	0,0042
Dev	-1091,67	365,928	-2,98329	0,0093

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 fueloil

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2,56784E9	14	1,83417E8	6,28	0,0005
Residuo	4,38154E8	15	2,92103E7		
Total (Corr.)	3,00599E9	29			

Cuando el valor -P es menor que 0.05, el análisis de varianza muestra que una relación significativa existe entre la variable dependiente y las independientes, si se opera con un nivel de significancia del 5%. En nuestro caso, como el valor-P da valores muy inferiores a 0.05 tenemos argumentos para plantear que nuestro modelo es altamente significativo.

Para este modelo el valor de R-cuadrado es 85,424 %, o sea, que está explicando que ese por ciento representa la variabilidad de los datos. El por ciento restante de 100, representa errores de medición o fallas del modelo actual para ajustarse a los datos. Se puede no obstante decir, que es un valor muy adecuado. Otros parámetros del modelo son los siguientes:

- El R-cuadrado ajustado se utiliza para comparar diferentes modelos con diferentes valores de coeficientes, y en este caso nos dio un 71,8197 %.
- El error estándar de estimación, es la estimación de cuanto puede variar el resultado de la predicción del modelo, y en este caso es de 5 404,65 l, para un promedio de 59 112 litros, o sea, por debajo del 10%.
- El error absoluto medio, que es el calor absoluto del valor de los residuos, es 2852,44.
- El estadístico Durbin-Watson nos muestra una medida de correlación serial en los residuos. Si los residuos varían aleatoriamente deben estar alrededor de 2. En este caso es igual a 2,59107. Un P-valor pequeño podría indicar que alguna tendencia a través del tiempo no ha sido computada. Como en nuestro caso el valor de P=0,7844, entonces no hay correlación significativa al nivel de significancia del 5%.

El análisis de regresión múltiple arrojó el modelo de regresión lineal siguiente, con 14 variables independientes:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de fueloil} : & -3.00705 \cdot 10^6 + 20679.5 \cdot \text{Pag_BT} + 1582.53 \cdot \text{Pot} + 1741.79 \cdot \text{Horastrab} + 29496.8 \cdot P_mot + \\ & + 18689.0 \cdot PE_Fill - 18749.8 \cdot p_turb - 85693.3 \cdot P_E_Rad + 3035.63 \cdot \text{Enf_ac} + 31763.2 \cdot TE_Cam - \\ & - 1048.44 \cdot T_inc - 59554.5 \cdot Pa_C - 1239.93 \cdot Pa_arr + 1119.64 \cdot E_Tur - 1091.67 \cdot dev \end{aligned}$$

En la figura 3.5 se muestra la comparación del consumo predicho por el modelo y el consumo observado.

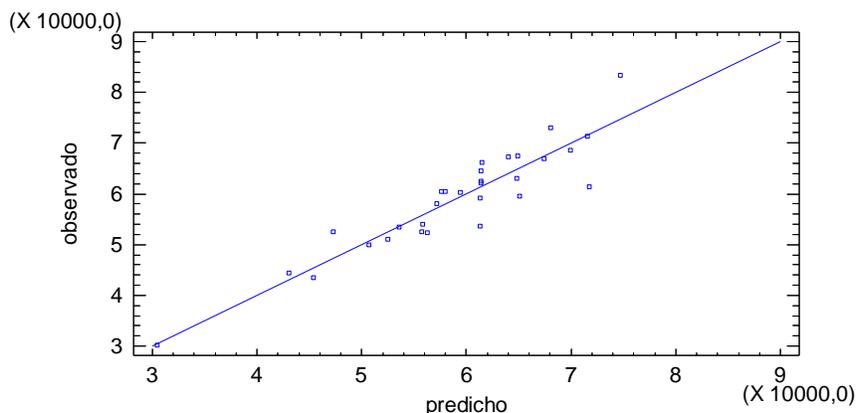


Fig. 3.5 Gráfico de consumo de fueloil

Análisis de residuos:

A continuación se muestra la tabla con los valores atípicos, en ella se enlistan todas las observaciones que tienen residuos Estudentizados mayores a 2, en valor absoluto. Los residuos

Estudentizados miden cuántas desviaciones estándar se desvía cada valor observado de Consumo Fueloil del modelo ajustado, utilizando todos los datos excepto esa observación. En este caso, hay 2 residuos Estudentizados mayores que 2, pero ninguno mayor que 3.

Tabla 3.3 Residuos Atípicos

	Y		Residuo	
Fila	Y	Predicha	Residuo	Estudentizado
10	83338,0	74673,6	8664,38	2,42
23	61328,0	71748,1	-10420,1	-2,83

Puntos Influyentes:

La tabla 3.4 de puntos influyentes, enlista todas las observaciones que tienen valores de influencia mayores que 3 veces la de un punto promedio de los datos, ó que tienen un valor inusual de DFITS. Valor de Influencia es un estadístico que mide que tan influyente es cada observación en la determinación de los coeficientes del modelo estimado. DFITS es un estadístico que mide que tanto podrían cambiar los coeficientes estimados si la observación se eliminara del conjunto de datos. La distancia de Mahalanobis, mide la distancia de un punto al centro de la colección de puntos en el espacio de las n variables independientes y está relacionado con la influencia sobre el modelo. En este caso, un punto promedio de los datos tendría un valor de influencia igual a 0,5. No hay puntos con más de 3 veces el valor de influencia promedio. Hay 7 datos con valores inusualmente grandes de DFITS.

Tabla 3.4 Puntos influyentes

Fila	Influencia	Distancia de Mahalanobis	DFITS
1	0,786879	102,415	2,22901
10	0,42069	19,3678	2,06632
14	0,851795	159,962	-1,54753
19	0,89482	237,244	4,47265
22	0,550275	33,2948	1,67673
23	0,320357	12,2326	-1,946
24	0,675668	57,3659	1,51001

Verificación de la normalidad:

Los valores se mueven en un rango desde -2,83444 a 2,42478

Distribución Ajustada:

Normal
media = 0,0584887
desviación estándar = 1,06911

Este análisis muestra los resultados de ajustar una distribución normal a los datos de SRESIDUOS. Los parámetros estimados para la distribución ajustada se muestran arriba.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para SRESIDUOS

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

	<i>Normal</i>
DMAS	0,0821386
DMENOS	0,11523
DN	0,11523
Valor-P	0,820569

Aquí se muestran los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si SRESIDUOS puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. Pruebas de Normalidad para SRESIDUOS:

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,977913	0,795626

Muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si SRESIDUOS puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Debido a que el valor-P más pequeño de todas las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Las figuras 3.6 y 3.7 muestran la gráfica Cuantil-Cuantil y el Histograma para SRESIDUOS, respectivamente, las cuales muestran fehacientemente que se trata de una distribución normal.

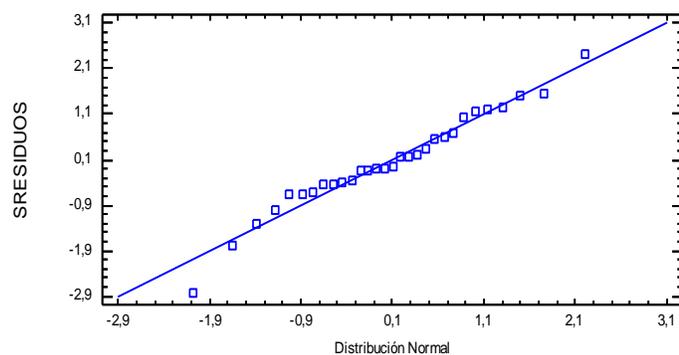


Fig. 3.6 Gráfica Cuantil-Cuantil

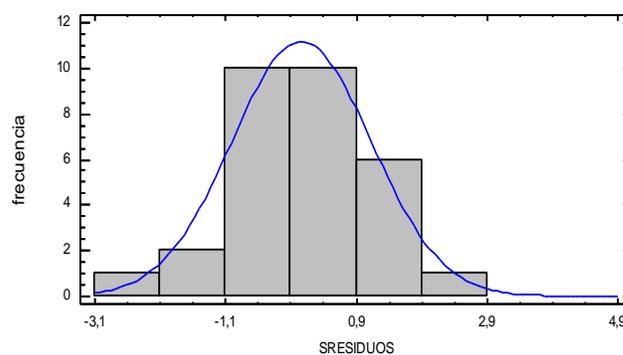


Fig. 3.7 Histograma para SRESIDUOS

A continuación se verifica el supuesto de que la media de los residuos es aproximadamente cero y la varianza constante.

Prueba de Hipótesis para SRESIDUOS

Media Muestral = 0,0584887

Mediana Muestral = -0,0662135

Desviación Estándar de la Muestra = 1,06911

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 0,299648

Valor-P = 0,766583

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de los signos

Hipótesis Nula: mediana = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico para Grandes Muestras = 0,182574 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,855127

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de rangos con signo

Hipótesis Nula: mediana = 0,0

Alternativa: no igual

Rango medio de valores menores a la mediana hipotética: 13,4375

Rango medio de valores mayores a la mediana hipotética: 17,8571

Estadístico para Grandes Muestras = 0,349662 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,726589

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: sigma = 1,0

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 33,1467

Valor-P = 0,543721

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Aquí se muestran los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de SRESIDUOS. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de SRESIDUOS es igual a 0,0, versus la hipótesis alterna de que la media de SRESIDUOS es no igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de los signos evalúa la hipótesis de que la mediana de SRESIDUOS es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana SRESIDUOS es no igual a 0,0. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de rangos con signo evalúa la hipótesis nula de que la mediana de SRESIDUOS es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana SRESIDUOS es no igual a 0,0. Se basa en comparar los rankeos promedio de los valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes, pero son un tanto menos potentes que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de SRESIDUOS es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de SRESIDUOS es no igual a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%.

En conclusión, ese residuo sigue una distribución normal de media aproximadamente cero y varianza constante, cumpliendo los supuestos del modelo de regresión lineal planteado.

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

Variabes independientes significativas del modelo:

Tabla 3.5. Variables estadísticamente significativas para el análisis de regresión múltiple de la generación neta diaria.

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimación</i>	<i>Estándar</i>	<i>T-Student</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	-9025,97	3101,02	-2,91065	0,0071
Horastrab	1359,77	58,6735	23,1753	0,0000
Pa_C	3331,78	1236,72	2,69405	0,0120

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 3.6 se muestran los resultados.

Tabla 3.6 Análisis de varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	1,02901E9	2	5,14505E8	336,44	0,0000
Residuo	4,12906E7	27	1,52928E6		
Total (Corr.)	1,0703E9	29			

R-cuadrada = 96,1422 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,8564 por ciento

Error estándar del est. = 1236,64

Error absoluto medio = 834,63

Estadístico Durbin-Watson = 2,67758 (P=0,9798)

Como quiera que el número de variables independientes es reducido y el nivel de significación de las horas de trabajo es tan alto, es por ello que el valor de r cuadrado da un valor elevado.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Generación neta diaria y 2 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

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

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 96,1422% 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 95,8564%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1236,64. Este valor puede usarse para construir límites para nuevas observaciones. El error absoluto medio (MAE) de 834,63 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 0,0120, que corresponde a Pa_C. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, ese término es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95,0%. Consecuentemente, no se elimina ninguna variable del modelo.

En la figura 3.8 se muestra la comparación de la generación neta diaria predicha por el modelo y la observada.

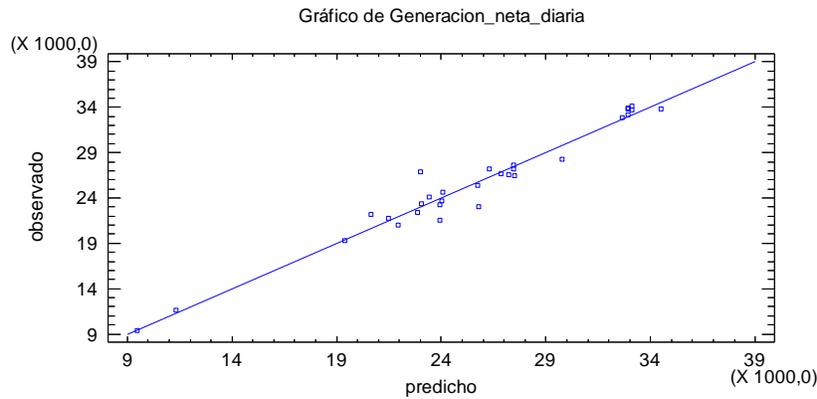


Fig. 3.8 Generación neta diaria

Análisis de los residuos:

Datos/Variable: E.SRESIDUOS (Residuos Estudentizados)

Los valores con rango desde -2,38979 a 3,93282

Distribuciones Ajustadas:

<i>Normal</i>
media = 0,0296735
desviación estándar = 1,10928

Este análisis muestra los resultados de ajustar una distribución normal a los datos de E.SRESIDUOS. Los parámetros estimados para la distribución ajustada se muestran arriba. Se puede evaluar si la distribución normal ajusta los datos adecuadamente.

Pruebas de Normalidad para E.SRESIDUOS

<i>Prueba</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Valor-P</i>
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,898873	0,00808219

Muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E.SRESIDUOS puede modelarse adecuadamente con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk está basada en la comparación de los cuartiles de la distribución normal ajustada a los datos.

Pruebas de Bondad-de-Ajuste para E.SRESIDUOS:

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0,125389
DMENOS	0,123577
DN	0,125389
Valor-P	0,733105

Muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si E.SRESIDUOS puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las dos pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que E.SRESIDUOS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Las figuras 3.9 y 3.10 muestran la gráfica Cuantil-Cuantil y el Histograma para SRESIDUOS, respectivamente, las cuales muestran fehacientemente que se trata de una distribución normal.

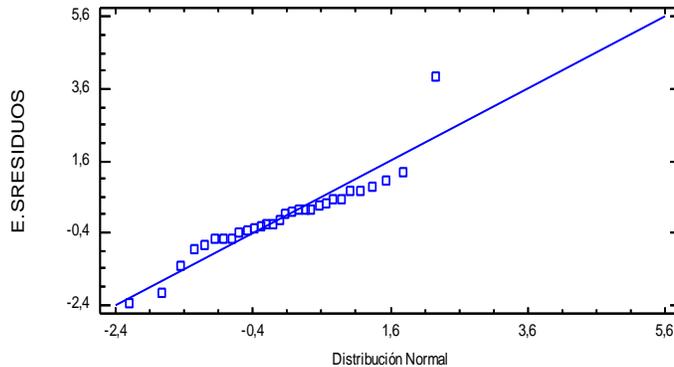


Fig. 3.9 Gráfica Cuantil-Cuantil
Prueba de Hipótesis para E.SRESIDUOS

Media Muestral = 0,0296735

Mediana Muestral = 0,0341423

Desviación Estándar de la Muestra = 1,10928

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 0,146517

Valor-P = 0,884527

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de los signos

Hipótesis Nula: mediana = 0,0

Alternativa: no igual

Estadístico para Grandes Muestras = 0,0 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 1,0

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de rangos con signo

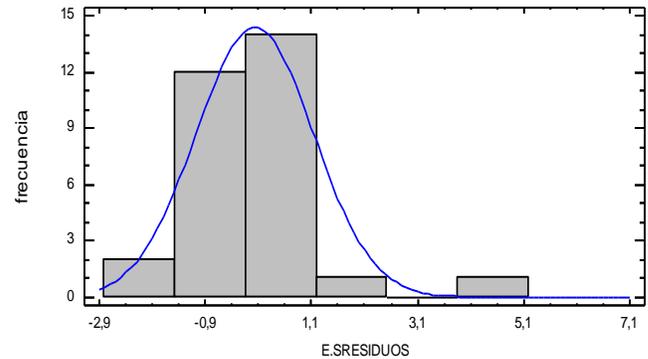


Fig. 3.10 Histograma ESRESIDUOS

Hipótesis Nula: mediana = 0,0

Alternativa: no igual

Rango medio de valores menores a la mediana hipotética: 15,4667

Rango medio de valores mayores a la mediana hipotética: 15,5333

Estadístico para Grandes Muestras = 0,0 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 1,0

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: sigma = 1,0

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 35,6847

Valor-P = 0,365864

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Se muestran los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de E.SRESIDUOS. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de E.SRESIDUOS es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la media de E.SRESIDUOS es no igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de los signos evalúa la hipótesis de que la mediana de E.SRESIDUOS es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana E.SRESIDUOS es no igual a 0,0. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba de rangos con signo evalúa la hipótesis nula de que la mediana de E.SRESIDUOS es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana E.SRESIDUOS es no igual a 0,0. Se basa en comparar los rankeos promedio de los valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%. La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes pero son un tanto menos potentes que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de E.SRESIDUOS es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de E.SRESIDUOS es no igual

a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0%.

Podemos concluir que los residuos se distribuyen normalmente con media aproximadamente cero y varianza constante.

3.3.-Análisis físico de los resultados.

Sobre el modelo de consumo de fueloil:

Se analizará a continuación, a partir de la expresión de consumo de fueloil, 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 una mal funcionamiento de la instalación:

- 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.

Sobre 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.

3.4.-Conclusiones parciales

- Queda demostrado que existe una distribución normal estándar de los datos, lo cual indica que es representativa la muestra de la población y es muy conveniente desde el punto de vista estadístico, por ser una de las distribuciones más estudiadas.
- 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.
- El comportamiento de los residuos, los cuales siguen una distribución normal estándar, cumple los supuestos del modelo de regresión lineal en ambas variables dependientes.

CONCLUSIONES GENERALES

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

1. El trabajo de diploma cumple con los objetivos propuestos.
2. Los dos modelos obtenidos identifican los factores que influyen tanto en el consumo de fueloil como en la generación neta diaria a partir de las 46 variables analizadas, si bien ambos son susceptibles de perfeccionamiento, a partir de la ampliación de la base de datos.
3. El procedimiento de regresión lineal múltiple posibilitó obtener expresiones que, aunque provisionales, predicen en buen grado el comportamiento de las variables dependientes.
4. El modelo de consumo de fueloil, dependiente de 14 factores, posibilita en forma preliminar, justificar mejoras constructivas y de operación, a partir de la variación independiente o combinada de dichos factores.
5. El modelo de generación de la central eléctrica depende de un grupo reducido de parámetros, uno de los cuales resulta obvio, aun sin el modelo. Por ello, hay que proyectarse en ampliar la base de datos para buscar su perfeccionamiento y en determinar, a partir de la generación de cada GE, un modelo de generación de potencia del motor, que podrá establecerse en función de un mayor número de parámetros significativos, partiendo del hecho de que la generación de la central va a depender de la generación específica de cada motor.

RECOMENDACIONES

Se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Continuar con el desarrollo del trabajo, enfatizando en la ampliación de la base de datos para el futuro perfeccionamiento de los modelos obtenidos.
2. Gestionar el software que posibilita la lectura de la base de datos digital
3. Valorar entre otros factores, de forma preliminar, la incidencia de los cambios de la temperatura ambiente en el consumo de fueloil y el incremento de consumo que presupone la utilización de un sistema de enfriamiento común para el motor y el aire a la salida del turbocompresor.
4. Valorar la posibilidad de elaborar un modelo para el consumo del diesel, a partir de la base de datos digitalizada, puesto que permite relacionar tiempo de funcionamiento con diesel con parámetros de funcionamiento del motor.
5. Elaborar un modelo de generación de potencia del motor, en función de parámetros significativos del mismo.
6. Establecer relación con investigadores de otras provincias que trabajan actualmente en esta temática.

BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Revista Electric Power Systems Research*, (No. 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.
- Carvajal Quintero, S. X., & Marín Jiménez, J. D. (2013). Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico. *Tecnura*, 17(35) : 77–89.
- 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.
- Cuevas Pérez, E. (2015). *Evaluación Técnico-Económico del calentador de fueloil perteneciente a la Central Eléctrica de Cruces* (Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico). Universidad de Cienfuegos, Cuba, Facultad de Ingeniería.

- 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](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](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 fueloil 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>

- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and Analysis*. McGraw-Hill Internacional.
- 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 microsistema 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(3). Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012014000300012&script=sci_arttext
- 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>
- Trentaude, C., & Carranza, H. (2014). La eficiencia energética en el transporte, un megayacimiento posible. *Petrotecnia*, 14–37.
- Valencia Quintero, J. P. (2008). Generación Distribuida. Democratización de la energía eléctrica. *Criterio Libre. Universidad Nacional de Colombia, Año 6(8)*: 105–112.
- 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

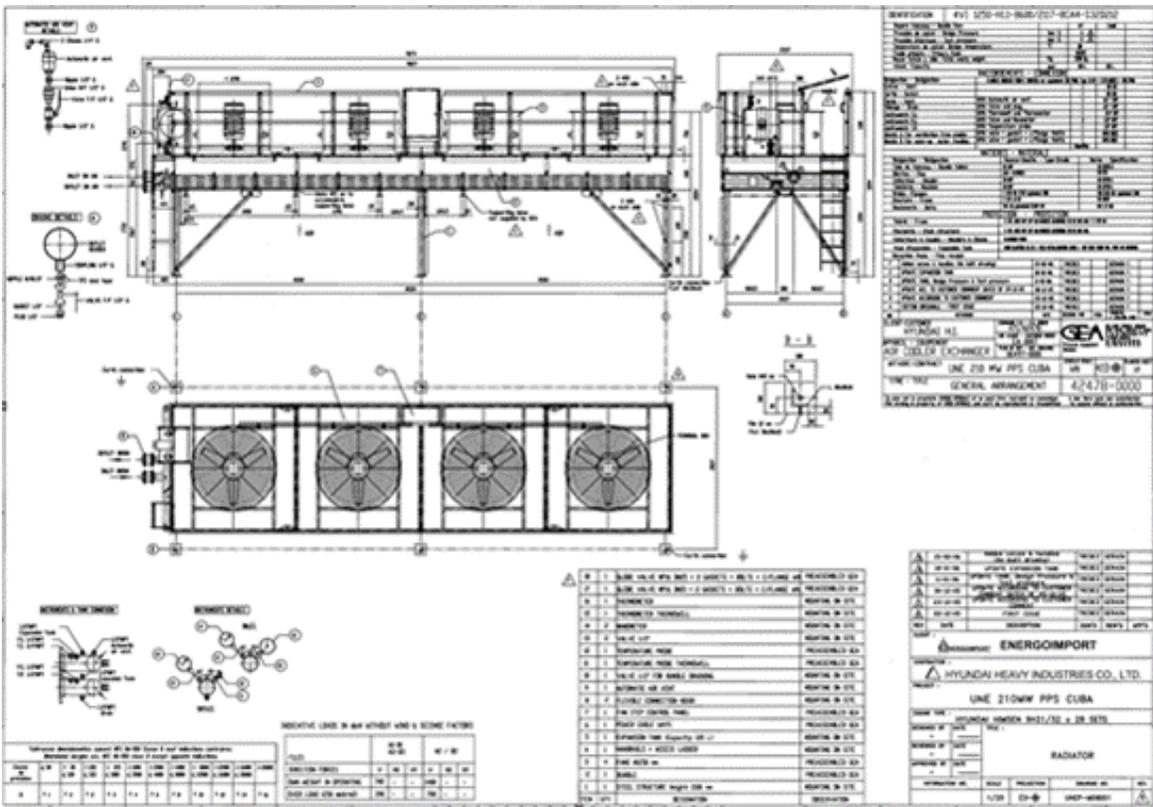


Fig. 3. Estructura del radiador con sus 4 ventiladores.

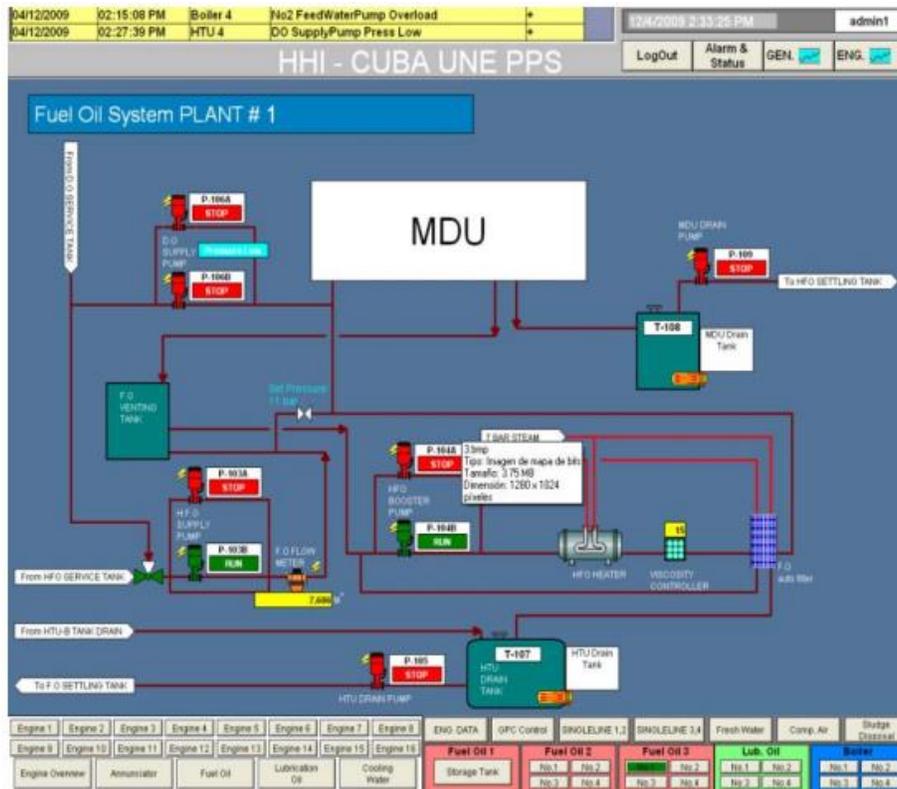


Fig. 4 Ventana principal de gestión del MDU en el Scada

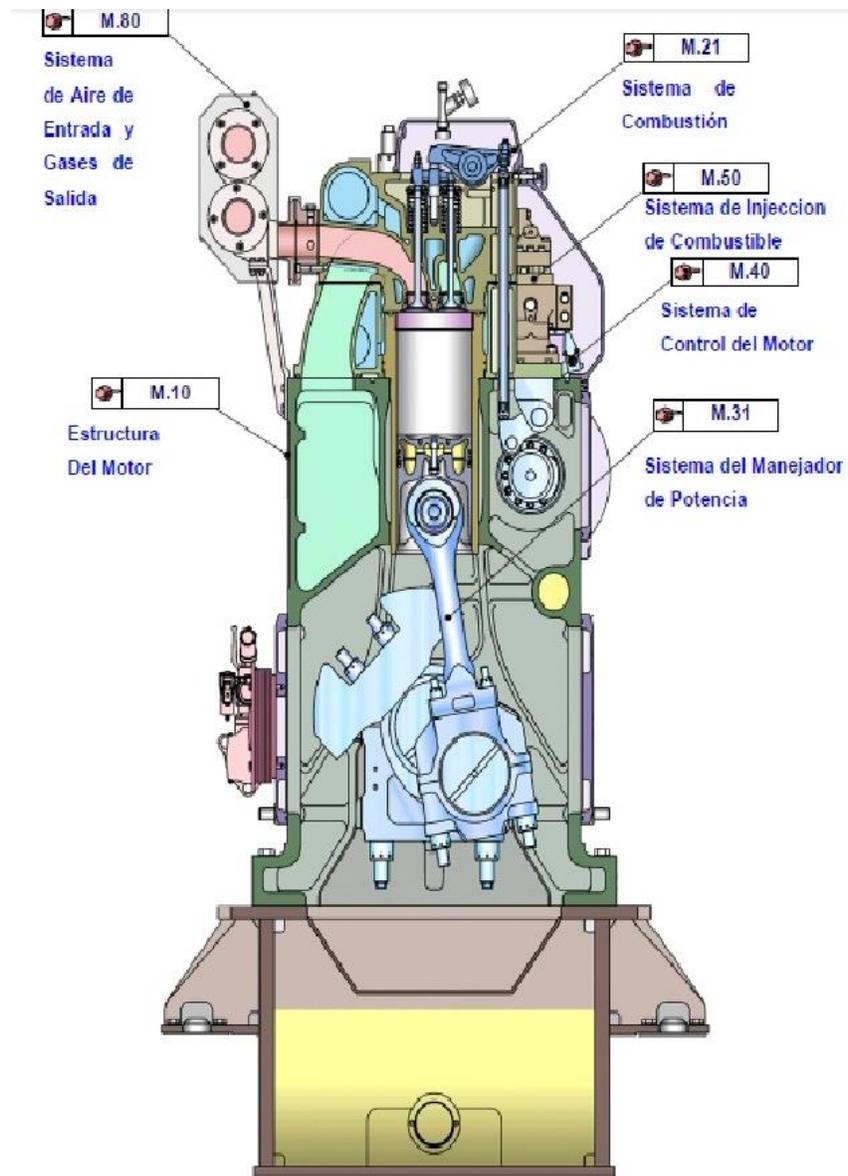


Fig. 5. Vista vertical del motor posicionándose en el otro extremo del generador

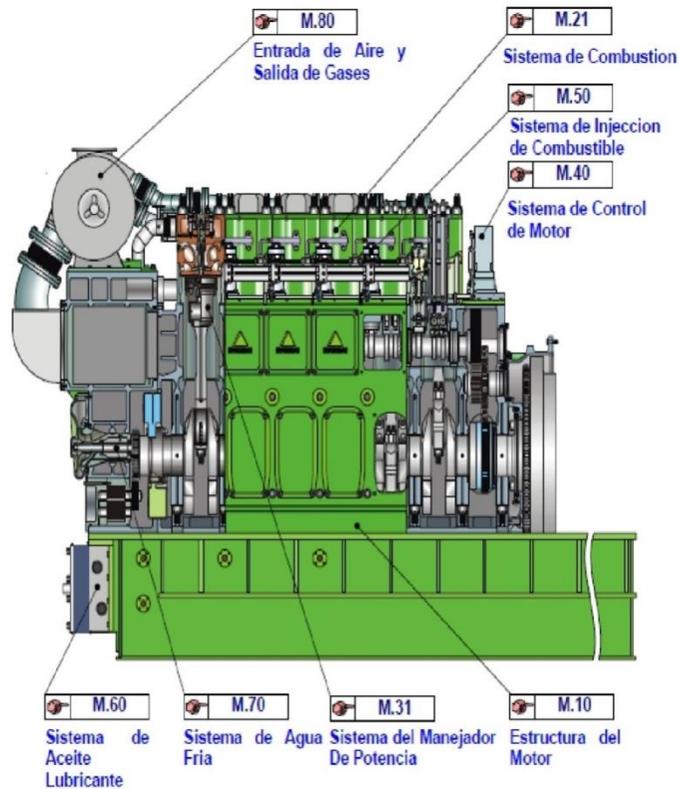


Fig. 6. Vista horizontal del motor, posicionado a la derecha del generador.

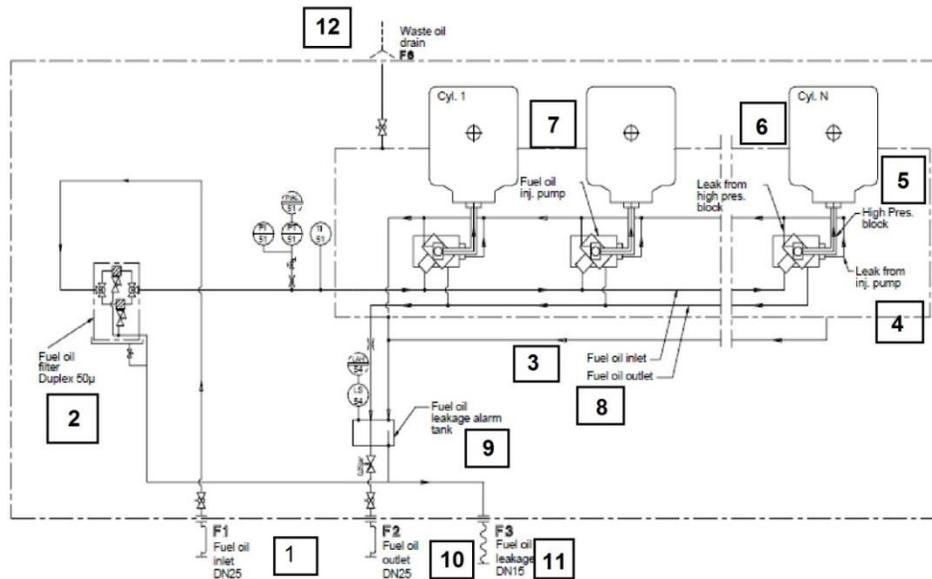


Fig. 7. Sistema de combustible interno

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	≤ 1,5	-	≤ 3,0
Presión aceite con bomba prelubricación	Bar	0,1 ~ 0,2	-	-	-
Temp. aceite lubricación entrada motor	° 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	-	≥ 1,5	≥ 2,0
Cambio de filtro por caída de presión	Bar	1.2	-	-	-
Presión Aceite Lubricación Turbo	Bar	2,0 ~ 4,0	≤ 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	° C	110 ~ 140	-	≥ 150	-
Temperatura DO entrada motor	° 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)	° 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	° C	75 ~ 85	-	≥ 90	≥ 95
Temperatura aire dentro del contenedor	° C	30 ~ 45	-	> 45	-
DT dentro y fuera del contenedor	° C	< 10	-	-	-
Temperatura gases entrada turbo	° C	450 ~ 520	-	≥ 580	-
Temperatura gases salida turbo	° C	250 ~ 380	-	-	-
Temperatura gases salida cilindros	° C	250 ~ 390	-	≥ 450	-
Desviación temp. gases respecto a media	° 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: 1-9-2015)

Hora	Pot	Vel	Vel	Ind	Combustible	Aceite de lub						Sist H2O											
						Temp	Presión	nivel	temp	P mot	PE Fill	dPFil	p turb	P.E Rad	P.s Rad	niv	Pag BT	Pag aT	E Rad	s Rad	Enf air	Enf ac	TE Cam
Normal	act	mot	turbo	gob	7_10	110-149	50-75	60-73	4-5	5-6	0.2-1	2-4	0.7-0.9	0.1-0.3	75-85	1.5-4.5	2.5-4.5	75-85	35-50	30-40	40-50	75-78	77-87
8	60	898	3146	4,1	9,3	135	48	63	4,6	5,3	0,7	3,2	0,9	0,2	85	2,2	3	46	35,4	35	39	76	80
10	85	898	3818	5,5	9	134	60	67	4,3	5	0,7	2,9	0,9	0,2	85	2	3	53	39,7	39	46	76	82
12	85	897	3817	5,6	9	137	60	67	4,2	4,9	0,7	2,8	0,9	0,2	85	2	2,8	55	41,5	41	48	76	83
14	85	898	3811	5,6	9	135	60	69	4,2	4,8	0,6	2,8	0,9	0,2	85	1,8	2,8	57	44,9	44	51	76	83
16	85	900	3816	5,6	9,2	135	60	69	4,2	4,8	0,6	2,8	0,9	0,2	85	1,8	2,8	57	45,7	45	51	76	83
18	85	889	3749	5,6	9,2	135	60	68	4,2	4,8	0,6	2,9	0,8	0,2	85	2	3	57	42,8	44	50	76	83
20	85	889	3750	5,6	9,2	134	60	66	4,2	4,8	0,6	2,9	0,9	0,2	85	2	3	54	42,4	41	48	76	83
22	85	889	3750	5,6	9,2	134	60	66	4,2	4,8	0,6	2,9	0,9	0,2	85	2	3	54	42,4	40	48	76	83
						T sist gases						Pres				T gener		Exc gener					
Hora	Temp air																						

Tabla. 2.2 Reporte Consumo empresa correspondiente al mes de Febrero del 2015.

MES	2			PLAN	13505			LECTURA INICIO DE MES			PÉRDIDAS MENSUAL:			FM	
DÍAS	29			PLAN DIARIO	465,69			MAD	DÍA	PICO	PÉRDIDAS DIARIAS:			0,0	1
MINEM GEB USO PLANTA 220V G FUEL-OIL				505811			377975			#####			Nº del Metro		
Día	LECTURA			PLAN DIARIO (kWh)	CONSUMO REAL DIARIO (kWh)				DIF REAL / PLAN	ACUM REAL	ACUM PLAN	DIF REAL / PLAN	Nombre del Operador		
	MAD	DÍA	PICO		MAD	DÍA	PICO	TOTAL							
1	5E+05	378146	146159	466	149	171	67	387	-79	387	466	-79	Anibal Sanchez Crespo		
2	5E+05	378299	146216	466	165	153	57	375	-91	762	931	-169	Anibal Sanchez Crespo		
3	5E+05	378427	146271	466	130	128	55	313	-153	1075	1397	-322	Omar Pairol Cuellar		
4	5E+05	378587	146334	466	131	160	63	354	-112	1429	1863	-434	Omar Pairol Cuellar		
5	5E+05	378709	146381	466	127	122	47	296	-170	1725	2328	-603	Jacinto Medina		
6	5E+05	378826	146447	466	146	117	66	329	-137	2054	2794	-740	Jacinto Medina		
7	5E+05	378905	146488	466	110	79	41	230	-236	2284	3260	-976	Amaury sotolongo		
8	5E+05	378987	146528	466	123	82	40	245	-221	2529	3726	-1197	Amaury sotolongo		
9	5E+05	379063	146571	466	132	76	43	251	-215	2780	4191	-1411	Anibal Sanchez Crespo		
10	5E+05	379174	146618	466	117	111	47	275	-191	3055	4657	-1602	Anibal Sanchez Crespo		
11	5E+05	379251	146656	466	106	77	38	221	-245	3276	5123	-1847	Omar Pairol Cuellar		
12	5E+05	379332	146695	466	117	81	39	237	-229	3513	5588	-2075	Omar Pairol Cuellar		
13	5E+05	379385	146735	466	84	53	40	177	-289	3690	6054	-2364	Jacinto Medina		
14	5E+05	379435	146773	466	110	50	38	198	-268	3888	6520	-2632	Jacinto Medina		
15	5E+05	379565	146837	466	131	130	64	325	-141	4213	6985	-2772	Amaury sotolongo		
16	5E+05	379705	146894	466	157	140	57	354	-112	4567	7451	-2884	Amaury sotolongo		
17	5E+05	379833	146942	466	129	128	48	305	-161	4872	7917	-3045	Anibal Sanchez Crespo		
18	5E+05	379948	146984	466	115	115	42	272	-194	5144	8382	-3238	Anibal Sanchez Crespo		
19	5E+05	380061	147022	466	102	113	38	253	-213	5397	8848	-3451	Omar Pairol Cuellar		
20	5E+05	380144	147067	466	108	83	45	236	-230	5633	9314	-3681	Omar Pairol Cuellar		
21	5E+05	380207	147107	466	126	63	40	229	-237	5862	9779	-3917	Ariel Madrazo		
22	5E+05	380330	147160	466	114	123	53	290	-176	6152	10245	-4093	Ariel Madrazo		
23	5E+05	380454	147207	466	118	124	47	289	-177	6441	10711	-4270	Amaury sotolongo		
24	5E+05	380635	147265	466	143	181	58	382	-84	6823	11177	-4354	Amaury sotolongo		
25	5E+05	380773	147309	466	121	138	44	303	-163	7126	11642	-4516	Anibal Sanchez Crespo		
26	5E+05	380833	147343	466	107	60	34	201	-265	7327	12108	-4781	Anibal Sanchez Crespo		
27	5E+05	380902	147394	466	107	69	51	227	-239	7554	12574	-5020	Omar Pairol Cuellar		
28	5E+05	380987	147443	466	112	85	49	246	-220	7800	13039	-5239	Omar Pairol Cuellar		
29	5E+05	381102	147483	466	147	115	40	302	-164	8102	13505	-5403	Ariel Madrazo		
30				466	0	0	0	0	0	8102	13971	-5869			
31				466	0	0	0	0	0	8102	14436	-6334			
	Total			466	3584	3127	1391	8102	7636	8102		8102			

Tabla 2.3. Consumo fuel, diesel y lodos

Fuel Oil										Diesel										Lodo									
Mes: feb-16										Mes: septiembre										Mes:									
RM-307000										MES										RM-50000+CM									
Existencia al inicio										Existencia al inicio mes:										Lodo al inicio el mes:									
Entrada	Residuo	Displor	Calorific	Generación	Al ración	mm	ctera	cm	Existencia	Consumo	CE Total	CE sin Diesel	Entrada	Tanque	Exist. 1	Tanque	Exist. 2	Existencia	Coas.To	Coas.Arral	Coas.Generación	M ras	Coastime	Lodo Exist	Extracc	Drenaje	Prod Disl	Lodo teoriz	
1	48467	0,9571	3694,41	293512	5077	5513	651298	66294	216,18	209,57	1	0	1481	39810	1410	37563	77393	1765	1765	0	1	156	175	54357	0	2488	575	871	
2	47582	0,9571	3694,41	291427	5227	5363	653598	65292	214,43	207,88	2	0	1480	39776	1590	36912	76688	705	705	0	2	157	174	53974	0	1996	1613	921	
3	47889	0,9571	3621,29	345145	3308	5082	600413	81064	224,29	216,26	3	0	1482	39844	1568	36174	76018	670	670	0	3	155	176	54740	0	0	766	1139	
4	47435	0,9571	3691,63	256530	5600	4990	589531	58357	217,39	210,66	4	0	1482	39844	1515	34335	74379	1639	1639	0	4	150	181	56652	0	0	1312	815	
5	43029	0,9571	3691,48	278011	5710	4880	578564	62016	215,30	206,91	5	0	1482	39844	1280	35255	73079	1300	1300	0	5	148	183	57415	0	0	763	782	
6	0	0,9571	3691,48	238801	6170	4420	522235	54309	217,67	210,95	6	0	1481	39810	1190	30258	70068	3011	3011	0	6	146	185	58175	0	0	760	695	
7	73617	0,9571	3691,29	173430	5867	4725	538028	37844	208,85	202,40	7	0	1481	39810	1148	28881	68631	1377	1377	0	7	144	187,5	59124	0	0	943	528	
8	24454	0,9571	3691,29	229705	6091	4439	531582	50900	212,08	205,54	8	0	1482	39844	1091	27028	66872	1819	1819	0	8	141	190	60070	0	0	946	671	
9	70800	0,9572	3691,07	228085	5924	4666	531259	51083	214,40	207,77	9	42340	2367	68329	1458	39198	107527	1685	1685	0	9	138	193	61201	0	0	1131	685	
10	43047	0,9572	3691,07	238085	5962	4628	546812	53534	215,25	208,58	10	0	2367	68329	1427	38155	106484	1043	1043	0	10	159	172,5	53398	0	8353	1150	738	
11	47857	0,9572	3690,87	263586	6063	4523	534852	60017	217,95	211,21	11	0	2362	68185	1374	36375	104360	1924	1924	0	11	155	175,8	54663	0	0	1265	642	
12	47484	0,9590	3689,69	303872	6335	4335	512220	63916	220,65	213,80	12	0	2360	68127	1345	35404	103531	1029	1029	0	12	149	181,8	56958	0	0	2295	857	
13	119575	0,9590	3689,69	243635	5883	4905	579516	52279	205,76	199,38	13	0	2368	68357	1197	30488	98445	4886	4886	0	13	147	184	57795	0	0	837	702	
14	36310	0,9590	3689,69	258527	5335	5235	618476	57330	212,24	206,14	14	0	2370	68415	1170	29601	98016	829	829	0	14	145	186	58555	0	0	760	746	
15	43414	0,9590	3689,69	269314	5436	5134	606352	61338	216,42	211,35	15	0	2370	68415	1154	28424	96839	1177	1177	0	15	140	191	60147	0	0	1592	775	
16	23153	0,9590	3689,69	211632	5863	4927	582115	47594	208,90	202,90	16	0	2370	68415	1071	26382	94797	2042	2042	0	16	150	181,5	56843	0	4756	1452	635	
17	70503	0,9590	3688,72	224832	5483	5105	603128	49488	211,07	204,46	17	0	2373	68501	1020	24746	93249	1548	1548	0	17	146	185,3	58289	0	0	1446	692	
18	73367	0,9590	3688,72	242673	5322	5268	622372	54323	214,67	207,95	18	0	2372	68472	974	23291	91763	1486	1486	0	18	145	186,2	59176	0	722	1064	852	
19	96393	0,9590	3688,10	223144	4928	5862	668889	50076	215,21	208,50	19	0	2372	68472	934	22838	90510	1233	1233	0	19	138	193	61201	0	0	2570	684	
20	24474	0,9590	3688,28	220315	5145	5443	643269	50094	218,05	211,25	20	0	2372	68472	880	20368	88841	1669	1669	0	20	132	199	63447	0	0	2246	671	
21	72336	0,9572	3688,28	263008	5050	5340	634485	61880	207,60	201,15	21	0	2372	68472	842	19211	87663	1158	1158	0	21	128	203	64932	0	0	1485	877	
22	72423	0,9572	3688,28	310784	5050	5360	658846	70064	215,29	209,07	22	0	2374	68529	774	17177	85706	1977	1977	0	22	143	188	59313	0	6157	1138	965	
23	43964	0,9572	3684,64	280363	5161	5429	641580	63450	222,38	215,95	23	0	2374	68529	738	16122	84631	1035	1035	0	23	136	195	61952	0	0	2639	893	
24	32786	0,9571	3685,74	293631	4916	5874	670506	63860	208,14	201,60	24	0	2374	68529	536	10533	79062	3389	3389	0	24	132	199,3	63559	0	0	1607	921	
25	48063	0,9571	3685,74	242120	4970	5820	663930	54441	215,21	208,44	25	0	2370	68415	435	8459	76847	2215	2215	0	25	141	190,5	60109	0	5384	1934	659	
26	47262	0,9571	3686,36	273495	5086	5304	650295	60957	213,32	206,63	26	0	2365	68371	370	6469	74740	2107	2107	0	26	137	194	61577	0	0	1468	817	
27	24422	0,9572	3686,43	226308	5316	5272	628844	51813	218,36	212,89	27	0	2361	68196	289	4709	72863	1875	1875	0	27	134	197	62701	0	0	1124	721	
28	0	0,9592	3686,43	237586	5778	4812	588336	54308	219,27	212,40	28	0	2363	68371	195	2898	71169	1636	1636	0	28	131	200	63820	0	0	1119	754	
29	95970	0,9592	3686,43	247193	5420	5170	610802	53704	208,33	201,83	29	0	2288	66022	194	2880	68902	2267	2267	0	29	128	203	64932	0	0	1112	783	
30					5743	4847	572668	38154	\$?D1V?!	\$?D1V?!	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30						0		
31											31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31							0	
Tot	1610822	0,9579	3686,52	7423979			2E+06	220,10	213,20	Tot	42340						52614	52614	0	Tot					0	31056	39718		

Tabla 2.4 Generación neta diaria. Ejemplo batería

EMPLAZAMIENTO: FUE OIL (CRUCES)					Turno	Recibe	
					7A-7P	Amaury	
					7P - 7A	Jacinto	
Metros de generación Bateria I					Bateria I		
Hora	M-I	M-II	M-III	M-IV	Hora	Totalizador	Insumo
06:00	57962160	60748784	59244508	59295388	06:00	29544130	7937383
18:00	57978344	60764960	59259748	59311888	18:00	29606126	7939440
00:00	57983604	60770216	59264692	59317432	00:00	29626432	7940100
Gen. por Maquina	23288	23272	20752	22596	Total	86956	2879
Gen. Neta Total	89908					BRUTA	89835

