

Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia Electromecánica
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

*Título: Suministro Eléctrico mediante grupos electrógenos al
circuito de Cabonico para situaciones excepcionales.*

Autor: Yoanquis Castillo Borges

Tutores: M Sc. Yordan Guerrero Rojas

M Sc. RaFael Antonio Castillo Díaz

Moa /2013

“Año 55 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: **Yoanquis Castillo Borges** autor de este trabajo de Diploma, así como los tutores M.Sc Yordan Guerrero Rojas y M.Sc Rafael Antonio Castillo Díaz declaramos la propiedad intelectual de este servicio al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cómo y cuándo estime conveniente.

Diplomante: **Yoanquis Castillo Borges**

M.Sc Yordan Guerrero Rojas

M.Sc Rafael Antonio Castillo Díaz

PENSAMIENTO

Educación es depositar en cada hombre toda la obra humana que le ha antecedido: es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente hasta el día en que vive; es ponerlo a nivel de su tiempo, para que flote sobre él, y no dejarlo debajo de su tiempo, con lo que no podrá salir a flote; es preparar el hombre para la vida.

*José Martí Pérez
Apóstol Nacional de Cuba*

En el mismo hombre suelen ir unidos un corazón pequeño y un talento grande. Pero todo hombre tiene el deber de cultivar su inteligencia, por respeto a sí mismo y al mundo.

*José Martí Pérez
Apóstol Nacional de Cuba*

DEDICATORIA

Dedico la culminación de este trabajo a:

- *A mi familia, en especial a mi Esposa e Hijo, por soportar mis largas horas de ausencia, por su paciencia, dedicación y apoyo incondicional para que lograra esta meta.*
- *A mis compañeros de estudio que me acompañaron siempre en los momentos buenos y malos de mi carrera.*
- *A mis Padres con profundo cariño, respeto y admiración, que siempre me han apoyado y ayudado en mi formación profesional y que constantemente están exigiendo lo mejor de mí, como ser humano.*
- *A mi Hermana que me alienta y ayuda en los momentos difíciles para que siga adelante.*
- *A mis amigos que siempre me apoyaron y me ayudaron para que fuera posible que llegara hasta este momento tan especial.*

A todos muchas gracias...

El Autor

AGRADECIMIENTOS

- *Quiero agradecer a la Revolución cubana, a Fidel, por haberme dado la oportunidad de estudiar para graduarme satisfactoriamente, algo que no hubiera sido posible sin la formación profesional con que cuento hoy y así poder servirle mejor.*
- *A mis tutores el M.Sc. Yordan Guerrero Rojas y al M.Sc. Rafael Castillo Díaz, por ayudarme durante la realización de este trabajo y en todo momento de la vida que lo he requerido.*
- *A todas aquellas personas que de una manera u otra supieron darme lo mejor de si para contribuir con el desarrollo de este trabajo.*

A todos muchas gracias...

El Autor

Resumen

En este trabajo de diploma se realiza un estudio de las características generales del Grupo Electrónico de Cabonico perteneciente al municipio Mayarí, en caso de situaciones excepcionales y normales de trabajo en paralelo con el Sistema Energético Nacional (SEN). Se abordan los aspectos teóricos prácticos fundamentales del funcionamiento isócrono y las acciones prácticas que se deben realizar en ambos casos, análisis de la potencia de generación y el flujo tecnológico del grupo, además de sus características técnicas fundamentales. Se dejan plasmadas las características de demanda de la localidad de Cabonico, la generación del mismo, así como las particularidades del circuito que lo integra. Este es suficiente para satisfacer la demanda de la localidad ante situaciones excepcionales. Además de realizar una valoración de cómo puede influir la generación de este grupo en la contaminación del medioambiente.

Abstract

In this diploma work it is carried out a study of the general characteristics of the Group Electrogeno of Cabonico belonging to the municipality Mayari, in the event of exceptional and normal situations of work in parallel with the National Energy System (SEN). The fundamental practical theoretical aspects of the operation isocrono and the practical actions are approached that should be carried out in both cases, analysis of the generation power and the technological flow of the group, besides their fundamental technical characteristics. They are left captured the characteristics of demand of the town of Cabonico, the generation of the same one, as well as the particularities of the circuit that it integrates it. This is enough to satisfy the demand of the town before exceptional situations. Besides carrying out a valuation it can influence the generation of this group in the contamination of the medioambiente of how.

Índice

Introducción general.....	1
Capítulo 1. Marco Teórico y Metodológico de la Investigación.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2. Situaciones excepcionales.	1
1.3 Fundamentos de Máquinas Sincrónicas.	3
1.3.1 Generalidades	3
1.3.2 Trabajo isócrono.....	5
1.4 Generación Distribuida.....	8
1.4.1 Los Regímenes de Operación para Generación Distribuida (GD).....	12
1.4.2 Ventajas y Desventajas de la Generación Distribuida.....	13
1.4.2.1 Ventajas de la aplicación de la Generación Distribuida en Cuba	15
1.4.3 Los GED como parte de la generación distribuida.	15
1.4.4 Sistemas de distribución comerciales.....	17
1.4.5 Sistemas de distribución urbana.	17
1.4.6 Sistemas de distribución rural.	17
1.5 Esquemas de subestaciones de distribución.....	18
1.6. Conclusiones del capítulo.....	25
Capítulo 2. Materiales y métodos.	26
2.1 introducción	26
2.2. Flujo tecnológico del Grupo Electrógeno Diesel de Cabonico.....	26
2.2.1 Localización.....	27
2.2.2 Estación de combustible.....	27
2.2.3. Motores de Combustión Interna Diesel.	28
2.2.4. Generadores Eléctricos	29
2.2.5. Transformadores 0,48/13,8kV	29
2.2.6. Transformador de Fuerza.....	29
2.3 Circuito Cabonico.	34
2.4 Comportamiento de la demanda.	34
2.5 Comportamiento de la generación.	38
2.6 Comportamiento de la demanda vs generación.	38

2.7 Conclusiones del capítulo.....	41
Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	42
3.1 Introducción.....	42
3.2 Análisis del comportamiento de la demanda.	42
3.3 Análisis del comportamiento de la generación para situaciones excepcionales.....	42
3.4 Desventajas y Ventajas de la aplicación de la Generación Distribuida en localidad de Cabonico del municipio Mayarí	44
3.5 Impacto social y ambiental de la generación diesel.	45
3.6 Conclusiones del capítulo.....	47
Conclusiones generales.	48
Recomendaciones.....	49
Bibliografía.	50
Anexos	

Introducción general

El empleo de grupos electrógenos tanto diesel como fuel para aplicaciones industriales o del sector terciario (alimentación residencial) es una vía aplicada por diferentes naciones para fomentar y fortalecer el uso de las micro redes, donde estas máquinas juegan el papel fundamental entre las fuentes generadoras.

La generación alternativa mediante fuentes de energía renovable es muy variable y no permite mantener fiablemente la frecuencia en los valores óptimos de utilización, es por ello que en los micros redes aún es necesaria la presencia de la generación convencional.

En Cuba la generación diesel y fuel han alcanzado un desarrollo importante para satisfacer al sector residencial y algunas entidades estatales de primera categoría. Estas instalaciones han jugado un papel decisivo en las situaciones de emergencia que ha afrontado el país.

La cercanía de estas favorece a los clientes la continuidad en servicio de estas instalaciones aún cuando las condiciones de generación han mejorado desde el 2006 hasta la fecha.

En el poblado Cabonico se encuentra un emplazamiento de grupos electrógenos con capacidad de 0.920 MW conectado a la red de distribución de 13.8 kV. Ante la posibilidad de una situación excepcional, es necesario determinar las características de operación de esta instalación y las posibilidades que tendría el grupo electrógeno de asimilar distintos por cientos de la potencia instalada en el circuito de la localidad.

La **Situación Problemática** de la investigación la constituye:

En ocasiones el emplazamiento Cabonico tiene que asumir la demanda del circuito residencial de la localidad, por lo que se hace necesario conocer las características de funcionamiento a 75% y 85 % de capacidad para lograr una adecuada disponibilidad técnica y lograr la asimilación de las cargas durante su trabajo aislado en situaciones excepcionales.

El **Problema** a investigar lo constituye:

Desconocimiento de las características de funcionamiento del grupo electrógeno Cabonico durante la asimilación de las cargas en régimen isla durante situaciones excepcionales.

Hipótesis:

Si se conocen las características de las cargas que serán alimentadas por el grupo electrógeno de Cabonico perteneciente al municipio Mayarí, se podrá conocer el comportamiento del mismo y establecer una correspondencia entre la demanda y la generación.

A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo general del trabajo:**

Establecer la relación demanda-generación del grupo electrógeno de Cabonico durante su operación en isla.

Y se definen los siguientes **Objetivos Específicos:**

- 1- Documentar la información que permita establecer la relación demanda-generación.
- 2- Evaluar la asimilación de demanda por parte del emplazamiento Cabonico en régimen isla.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **Tareas de trabajo:**

1. Búsqueda bibliográfica y sistematización de los conocimientos relacionados con el tema.
2. Caracterización del circuito de distribución Cabonico.
3. Establecimiento de la relación entre las diferentes situaciones que presente la carga y el comportamiento del grupo electrógeno durante el trabajo en isla para situaciones excepcionales.
4. Evaluación del impacto social y ambiental.

Capítulo 1. Marco Teórico y Metodológico de la Investigación.

1.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza una búsqueda bibliográfica que permite tener una breve reseña acerca de los trabajos precedentes, permitiendo determinar la importancia de este tipo de emplazamiento (Generación distribuida), ventajas y desventajas. Exponiendo las diferentes situaciones excepcionales que se pueden presentar, así como los fundamentos del trabajo isócrono.

1.2. Situaciones excepcionales.

Las situaciones excepcionales en Cuba están determinadas por un grupo de condiciones que están establecidas y recogidas en las leyes, empezando por la Constitución de la República y la Ley 75 de la Defensa Civil. El surgimiento, desarrollo y funcionamiento de los grupos electrógenos están ligados indiscutiblemente a estas leyes, por lo que se hace necesario explicar el capítulo 2 de la Ley 75 de la Defensa Nacional referido a las situaciones excepcionales que en su sección primera plantea las siguientes disposiciones generales:

ARTÍCULO 9: Las situaciones excepcionales constituyen estados de ese carácter que se establecen, de forma temporal, en todo el territorio nacional o en una parte de él, en interés de garantizar la defensa nacional o proteger a la población y la economía en caso o ante la inminencia de una agresión militar, de desastres naturales, otros tipos de catástrofes u otras circunstancias que por su naturaleza, proporción o entidad afecten el orden interior, la seguridad del país o la estabilidad del Estado.

En correspondencia con la Constitución de la República de Cuba y la presente Ley, pueden declararse las situaciones excepcionales siguientes:

- El estado de guerra o la guerra;
- La movilización general; y
- El estado de emergencia.

ARTÍCULO 11: Las autoridades facultadas por el Consejo de Defensa Nacional pueden establecer, con carácter obligatorio, en dependencia de la situación excepcional que se declare y en el territorio en que esta se encuentre vigente, entre otras, algunas o la totalidad de las medidas siguientes:

- a) Las dirigidas a preservar el orden interior, reforzar la protección de las entidades y garantizar la vitalidad de la población y la economía;
- b) La evacuación de los ciudadanos de sus lugares de residencia, con el propósito de protegerlos contra los peligros de la guerra, de los desastres naturales u otros tipos de catástrofes, así como facilitar las condiciones necesarias para su supervivencia;
- c) Las que tengan como objetivo la protección de los extranjeros que se encuentren en el territorio nacional, acorde con los tratados internacionales;
- d) Las destinadas a la protección de los bienes que integran el patrimonio nacional;
- e) La evacuación de las cargas seleccionadas de los puertos, aeropuertos, depósitos y almacenes hacia lugares seguros;
- f) La regulación del oscurecimiento y enmascaramiento de la luz;
- g) El llamado a las filas del servicio militar o la movilización de los ciudadanos durante el tiempo que resulte necesario;
- h) La adopción de un sistema especial de identificación;
- i) La regulación de la circulación y los cambios de domicilio de las personas;
- j) Las que regulen el funcionamiento de los medios de difusión y de comunicación, de manera ajustada a las condiciones del momento; y
- k) La implantación de un régimen especial de entrada y salida del territorio nacional.

En la Sección Segunda referida al Estado de guerra o la guerra, plantea:

ARTÍCULO 14: El estado de guerra o la guerra es la situación excepcional de mayor trascendencia que se declara en todo el territorio nacional, con el objetivo de emplear todas las fuerzas y recursos de la sociedad y el Estado para mantener y defender la integridad y la soberanía de la patria.

En la Sección tercera referida a la Movilización general, plantea:

ARTÍCULO 17: La movilización general es la situación excepcional que se establece en todo el territorio nacional para alcanzar, de forma gradual y progresiva, la completa disposición combativa del país y situarlo en condiciones de mantener su integridad y soberanía, mediante la realización de un conjunto de medidas y actividades en el que participan los órganos y organismos estatales, las entidades económicas, instituciones sociales y los ciudadanos.

En la Sección cuarta referente al Estado de emergencia, establece:

ARTÍCULO 20: El estado de emergencia, de conformidad con el artículo 67 de la Constitución, se declara en caso o ante la inminencia de desastres naturales o catástrofes u otras circunstancias que por su naturaleza, proporción o entidad afecten el orden interior, la seguridad del país o la estabilidad del Estado, en todo el territorio nacional o en una parte de él y durante su vigencia se puede disponer la movilización de la población.

1.3 Fundamentos de Máquinas Sincrónicas.

Las máquinas sincrónicas son las encargadas de la generación de electricidad, es básicamente un proceso tecnológico de transformación de energía principalmente de mecánica en eléctrica. Los grupos electrógenos forman parte de este tipo de máquinas que en una época solo se utilizaban para emergencias, sus principales usos eran en hospitales, hoteles, unidades militares, industrias y diversos centros turísticos.

1.3.1 Generalidades

Se llama sincrónica, la máquina eléctrica de corriente alterna de dos devanados, uno de los cuales se conecta a la red eléctrica de frecuencia fija w_1 , mientras que el otro es excitado con corriente directa $w_2=0$.

Para los Grupos Electrónicos se utilizan los Generadores Sincrónicos (GS) de más baja velocidad. Estos generadores con un gran número de polos ($2p > 4$) tienen rotores hechos de polos salientes con excitación de corriente directa (CD). Los polos de los rotores se hacen de laminaciones para reducir la pérdida adicional del rotor pero el cuerpo de este y el núcleo están hechos de acero sólido magnético. Con un gran número de polos el devanado del estator se construye para un menor número de acoplamientos de

ranura/polo, en muchos casos entre 6 y 12. El número de ranuras por polos y fase está entonces entre 2 y 4. [Socorro, 2011].

La mayor parte de la energía eléctrica que consumimos se produce con auxilio de los turboalternadores y los hidrogenadores trifásicos sincrónicos. Los primeros se ponen en rotación mediante turbinas de gas o vapor. Mientras que los turbogeneradores se ponen en movimiento por hidroturbinas. Habitualmente se utilizan generadores compuestos de tensión estabilizada, conformado por un generador sincrónico y un estabilizador de tensión adosado a él o dispuesto en la instalación de maniobra junto al automatismo.

Existen además pequeñas unidades generadoras que utilizan máquinas sincrónicas que son accionadas por motores de combustión interna diesel y se destinan a la alimentación de cargas autónomas de vital importancia para la economía y la sociedad, en caso de emergencia, o para la producción de energía eléctrica suplementaria o de reserva. Por lo general se suministran grupos electrógenos completos para potencias de hasta 3 500 kVA aproximadamente.

Si la demanda de potencia es mayor, se pueden emplear varias máquinas en paralelo. Como los grupos electrógenos deben estar siempre listos para entrar en servicio, debe establecerse un adecuado plan de mantenimiento, que incluya arranques de prueba a intervalos regulares.

Durante el arranque de los grupos electrógenos que no son autoexcitados se puede emplear un alternador eléctrico alimentado por baterías para el arranque del motor de combustión y para la excitación se emplea la corriente directa proveniente de estas mismas baterías o de la rectificación de la corriente alterna proveniente del alternador, o en las unidades mayores de 1 000 kW, se puede recurrir a la inyección de aire comprimido en los recintos de combustión para el arranque del motor. En el primer caso deberá instalarse un cargador y en el segundo un compresor auxiliar alimentado de la red pública.

En las unidades muy pequeñas se debe arrancar manualmente mediante una cuerda retráctil. Los grupos electrógenos tienen un arranque instantáneo, pero los parámetros de

trabajo lo alcanzan paulatinamente. Presentando dificultades para trabajar aisladamente con cargas que no admiten interrupciones mayores que algunas centésimas de segundo.

Los grupos electrógenos pequeños se fabrican en forma de un bloque integrado, de manera que todos sus componentes queden contenidos en un módulo con forma de paralelepípedo con manijas que lo hacen fácilmente transportable por el hombre.

Estos equipos deben proveerse un adecuado aislamiento acústico, instalando amortiguadores de vibraciones y disponiendo de cimientos separados de los muros en el caso de edificios. Como las máquinas térmicas poseen importantes pérdidas de calor, se deben disponer dispositivos de ventilación del local suficientes para evacuar el calor generado.

Cabe acotar que el volumen de aire necesario para la combustión de los motores alternativos resulta muy pequeño en relación con el necesario para la ventilación. Asimismo en el camino de escape de los gases de combustión deben instalarse dispositivos silenciadores y cámaras de insonorización.

1.3.2 Trabajo isócrono.

Cuando un generador síncrono alimenta una carga aislada, los fenómenos son algo más complejos. Considerando que se parte de un punto de régimen permanente, se produce un aumento de la potencia demandada. Si no se produce un incremento de igual magnitud en la potencia del motor primario, ese aumento del par resistente del generador hace que el rotor se frene ligeramente.

El nuevo punto de equilibrio tendrá lugar para una frecuencia y tensión en bornes ligeramente menor y un ángulo de carga distinto. Si, como es normal, si desea mantener la frecuencia del inducido dentro de márgenes muy estrechos es preciso, dotar a la turbina de un regulador de potencia (a veces también denominado regulador de velocidad). La misión de este regulador es mantener constante la velocidad de giro del rotor, y para ello debe conseguir que la potencia mecánica suministrada por la turbina o motor primario, una vez descontadas las pérdidas (mecánicas, en el hierro del estator y en el cobre de los devanados), sea igual a la potencia activa generada.

La característica ideal de un regulador de este tipo representada en un diagrama potencia-frecuencia (Figura 1.1) debe ser, por tanto, una recta horizontal. Una característica de este tipo recibe el nombre de *astática*.

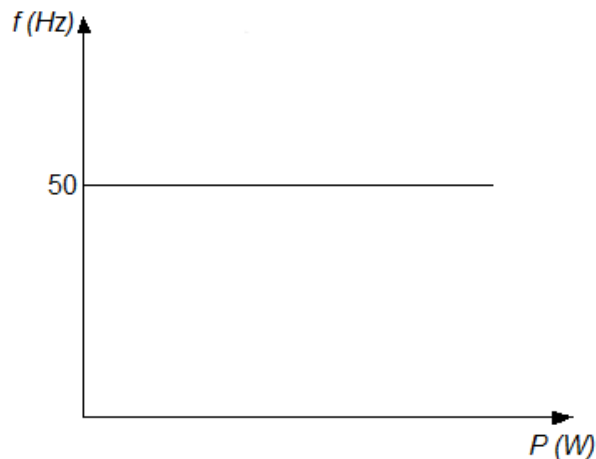


Figura 1.1. Característica astática de un regulador de potencia.

El problema que plantea una característica de este tipo surge cuando el generador debe funcionar alimentando la carga en paralelo con otra máquina. El funcionamiento en paralelo sería imposible, ya que no habría un único valor de la frecuencia, común a ambos generadores, que definiese unos valores bien determinados de las potencias aportadas por uno y otro generador. En la práctica, uno de los generadores funcionaría en vacío y el otro suministraría toda la potencia, es decir, resultaría sobrecargado.

Para evitar esto, las características potencia-frecuencia de los generadores no se definen como rectas horizontales, sino que se les da una cierta inclinación. Quiere esto decir que cuando un generador pasa de funcionar en vacío a funcionar en plena carga, su frecuencia varía ligeramente. La pendiente negativa de estas rectas, denominada *estatismo*, es de unos pocos puntos porcentuales (una variación de frecuencia de alrededor de 1 Hz entre vacío y plena carga). Esta característica recibe el nombre de *característica estática*.

Cuando dos generadores funcionan en paralelo, la potencia que aporta cada uno, es decir la que aporta cada motor primario si se desprecian las pérdidas (P_1 y P_2 en la Figura 1.2),

viene ahora perfectamente determinada por la intersección de cada una de las rectas con el valor común de la frecuencia (50 Hz en este ejemplo)

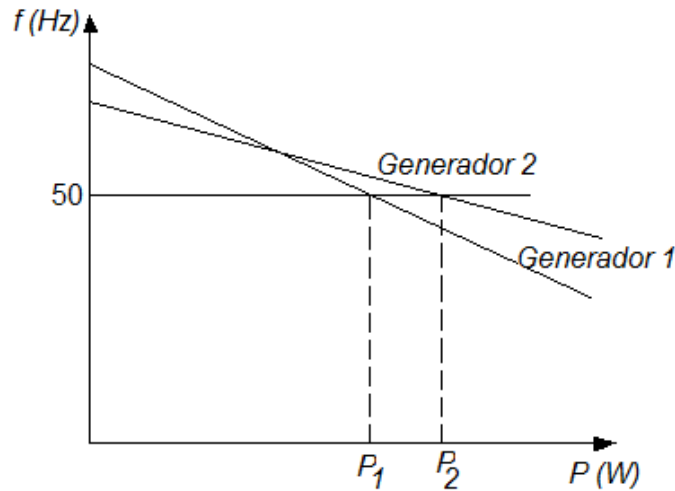


Figura 1.2. Características estáticas. Reparto de potencias entre dos generadores.

El funcionamiento de dos generadores en paralelo entre sí y aislados de un sistema de potencia es como sigue. El alternador 1 alimenta una carga aislada, cediendo una potencia inicial P_1 . Si la potencia demandada aumenta, la velocidad disminuirá inicialmente y se producirá un descenso de potencia. Como consecuencia también descenderá la frecuencia. Si continúa aumentando la potencia demandada ha de entrar el generador 2 ajustándose a las condiciones establecidas por el generador 1 y absorbiendo o asimilando un por ciento de la carga conectada. El efecto inmediato es un aumento de la potencia que cede la turbina y el restablecimiento de la frecuencia del microsistema.

Se ha conseguido así una característica «estática» del regulador, como la indicada en la Figura 1.3, pasando del punto inicial 1 al punto 2. Para compensar la disminución de frecuencia que se produce, lo que hay que hacer es incrementar la potencia del motor primario que acciona al generador. El efecto que se consigue con ello equivale desplazar la característica del regulador hacia arriba, de modo que vuelva a recuperar la frecuencia inicial, pero generando ahora una potencia P_2 mayor. [Devyn, 2012]

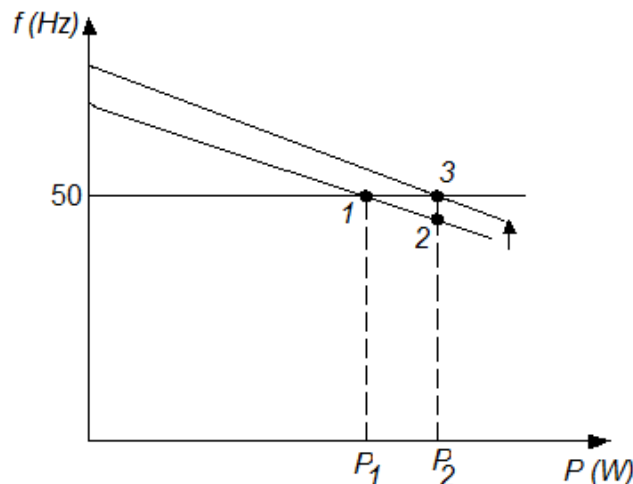


Figura 1.3. Efecto de la regulación secundaria.

1.4 Generación Distribuida

La Generación Distribuida representa un cambio en la producción de energía eléctrica centralizada, convierte a los sistemas de potencia hasta hace poco unidireccionales en pluridireccionales, posibilitando la inyección de potencia en distintos puntos de la red.

La naciente industria eléctrica urbana se fundamentó en la generación en el sitio de consumo. Luego, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia el esquema de Generación Centralizada, precisamente porque la central eléctrica era el centro geométrico del consumo, mientras que los clientes crecían a su alrededor. Sin embargo, se tenían restricciones tecnológicas de los generadores eléctricos de corriente continua y su transporte máximo por la baja tensión, que era de 30 a 57 km.

Con el paso del tiempo, la generación de energía eléctrica se estructuró con corriente alterna y transformadores, (lo que permitió llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación) bajo estas condiciones, se perdió el concepto de Generación Centralizada, ya que las grandes centrales se encuentran en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca del suministro del combustible y el agua.

Además los factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y de demanda eléctrica (alta tasa de crecimiento), plantearon la necesidad de alternativas tecnológicas para asegurar, por un lado, el suministro oportuno y de calidad de la energía eléctrica y, por el otro, el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales. Una de estas alternativas tecnológicas es generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar del consumo, incorporando ahora las ventajas de la tecnología moderna y el respaldo eléctrico de la red del sistema eléctrico. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como Generación In-Situ, Generación Dispersa, o más cotidianamente, Generación Distribuida.

Aunque no existe una definición como tal, diversos autores han tratado de explicar el concepto. A continuación se presentan las más representativas [González *et al*, 2008].

1. *La Coalición de Potencia Distribuida de América (DPCA- Distributed Power Coalition of America)*: La generación de potencia distribuida es una tecnología de generación de potencia a pequeña escala, que proporciona potencia eléctrica a clientes de sitios más cercanos que la estación central de generación. Una unidad de potencia distribuida puede conectarse directamente al consumidor o a las utilidades del sistema de transmisión o distribución.
2. *La Conferencia Internacional de Sistemas Eléctricos de Alto Voltaje (CIGRE- International Conference on High Voltage Electric Systems)*:

La generación distribuida es:

- No planeada centralmente.
 - Despacho diario no centralizado.
 - Conectado usualmente a la red de distribución.
 - Menores que 50 ó 100 MW.
3. *La Agencia de Energía Internacional (IEA-International Energy Agency)*: La generación distribuida es la planta generadora que sirve a un cliente in-situ, o la que proporciona apoyo a una red de distribución, conectado a la red a los niveles de voltaje de distribución. Las tecnologías generalmente incluyen máquinas pequeñas incluso las

microturbinas, celdas de combustible y fotovoltaicas. Generalmente no incluye la potencia del viento, ya que la mayor parte de la potencia del viento se produce en campos de viento, contruidos específicamente para ese propósito, en lugar de reunir requerimiento de potencia de in-situ.

4. El *Departamento Americano de Energía (US DOE- United States Department Of Energy)*: La generación distribuida son pequeños generadores de electricidad modular colocados cerca de la carga cliente además puede permitir utilidades para disminuir o eliminar las inversiones costosas en la actualización de los sistemas de transmisión y distribución, y les proporciona buena calidad a los clientes, la energía es más fiable y proporciona un ambiente más limpio.

Otra definición del *US DOE* establece que las Fuentes de Energía Distribuidas (FED) se refieren a una variedad de pequeñas tecnologías modulares generadoras de potencia. Los sistemas de fuentes de energía distribuida tienen un rango en tamaño y capacidad de unos 20 kW hasta 50 MW. Ellos comprenden un conjunto de tecnologías, ambos, el lado de suministro y el lado de demanda, que pueden localizarse en o cerca de dónde se usa la energía.

5. El *Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI- Electric Power Resource Instituted)*: El Instituto hace la definición de GD implícita en una apreciación global de la integración de las fuentes de energía distribuida. Esto establece que el nuevo sistema también podría integrar transparentemente un arreglo de la generación de potencia distribuida instalada localmente (como las celdas de combustible y renovables) así como los recursos del sistema de potencia. Las fuentes de potencia distribuidas inferiores a 20 MW por unidad podrían desplegarse en ambos lados, del suministro y el consumidor de energía, como recursos esenciales que transmiten fiabilidad, capacidad y eficacia. El sistema de distribución de hoy, y las limitaciones de control mecánico y de arquitectura, prohíben, en efecto, este reforzamiento de la funcionalidad del sistema.

Por otra parte, otra definición del *EPRI* de fuentes distribuidas incluye la pequeña generación (1kW a 50MW) y/o dispositivos de almacenamiento de energía típicamente

situados cerca de las cargas cliente o en subestaciones de subtransmisión y de distribución.

6. *El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE- Instituted of Electrical and Electronic Engineers)*: La Norma para interconectar las fuentes distribuidas con el Sistema de Potencia Eléctrica de IEEE, define la generación distribuida como las facilidades de generación eléctrica conectadas a un SEP, a través de un punto de acoplamiento común; un subconjunto de fuentes distribuidas.

Algunas otras definiciones están implícitas en esta. Los SEP son áreas que entregan la potencia eléctrica a una carga (esto puede incluir unidades de generación) que sirven a SEP locales. El punto dónde un SEP Local se conecta al SEP principal o mayor capacidad, recibe el nombre de punto de acoplamiento común. Finalmente *IEEE*, establece la generación distribuida como la producción de electricidad con 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.

7. *La Asociación Americana de Gas (AGA- American Gas Association)*: La generación distribuida (DG) es la colocación estratégica de pequeño unidades generadoras de potencia (5 kW a 25 MW) en/o cerca de las cargas cliente. Situada al lado de los clientes, la generación distribuida puede usarse para manejar necesidades de servicio de energía o ayuda a aumentar la calidad de potencia y fiabilidad. Localizado en los sitios de utilidad como las subestaciones, la generación distribuida puede proporcionar apoyo a la red de transmisión y distribución (T&D) y extiende la posibilidad de entregar potencia a clientes en áreas restringidas. Las tecnologías de la generación distribuida incluyen fuentes tales como: las turbinas industriales de gas, las máquinas reversibles, las celdas de combustible, las microturbinas, la eólica, y fotovoltaica.
8. *La Comisión de Energía de California*: Las fuentes de energía distribuida son tecnologías de generación de potencia en pequeña escala (típicamente en el rango de 3 kW a 10 MW) localizadas cerca de dónde se usa la electricidad para proporcionar una alternativa o una mejora del sistema de potencia eléctrico tradicional.

Analizando las definiciones anteriores, se puede constatar que es muy difícil establecer un criterio común en lo que se refiere al rango de potencia. Además, no existe una definición de GD legal, sólo definiciones basadas en el rango de potencia de los sistemas de GD instalados en cada región.

Por lo tanto resulta atractivo y conveniente utilizar el rango de potencia según la *IEEE*, esta norma no hace ninguna referencia al margen de potencias de los generadores, tanto en la Generación Distribuida como en la Generación Descentralizada o de Emergencia pero en general se acepta que va desde unos 2 kW hasta 20 MW los de mayor tamaño y de 5 kW a 500 kW los de menor tamaño [<http://www.ge.com>] respectivamente.

- La *Generación Distribuida* corresponde a pequeñas unidades menores de 2 kW hasta 20 MW conectadas a la red de distribución de media tensión.
- La *Generación Descentralizada o de Emergencia* corresponde a unidades de generación entre 5 kW a 500 kW conectadas por lo general en baja tensión, ubicadas en el punto de consumo, son sistemas de emergencia o respaldo (stand by). Las mismas crecen en número y potencia si se considera su utilización en hospitales, hoteles, unidades militares, bancos, centros turísticos, etc. En muchos casos estos pueden ser utilizados para mantener la red como reserva, o ampliarse para reducir la demanda en horario pico y en otros casos necesarios. [<http://www.ge.com>].

En Cuba, se usa la definición de *Generación Distribuida empleada por IEEE*: como la producción de electricidad con instalaciones que van desde los 2 kW a los 20 MW en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico. [González, 2008].

1.4.1 Los Regímenes de Operación para Generación Distribuida (GD).

Los regímenes de operación de los sistemas de GD más usados están en dependencia de los requerimientos particulares del sistema eléctrico que se desea alimentar. Los más comunes se exponen a continuación:

- *Carga base:* Se utiliza para suministrar la energía eléctrica en forma continua; opera en paralelo con la red de distribución y usa la red del SEP Centralizado para respaldo y mantenimiento, conocido como régimen en Isla.
- *Proporcionar carga en punta:* Se utiliza para suministrar la energía eléctrica en período punta, con lo que disminuye la demanda máxima del consumidor, ya que el costo de la energía en este período es el más alto, trabajando en paralelo con la red.
- *Generación aislada o remota:* Se usa para generar energía eléctrica en el modo de autoabastecimiento, debido a que no es viable a partir de la red eléctrica, (sistema aislado o falta de la capacidad del suministrador) definido como sistemas de Generación de Emergencia.
- *Soporte a la red de distribución:* De forma eventual o periódicamente, la empresa eléctrica requiere reforzar su red eléctrica instalando pequeñas plantas, incluida la subestación de potencia, debido a altas demandas en diversas épocas del año, o por fallas en la red, respaldado por los sistemas de Generación de Emergencia e Isla.
- *Almacenamiento de energía:* Se puede tomar en consideración esta alternativa cuando es viable el costo de la tecnología a emplear, las interrupciones son frecuentes o se cuenta con fuentes de energía renovables, para este caso las fuentes de GD más usuales son las celdas fotovoltaicas.

Estos regímenes en dependencia del consumidor permiten que la GD se aplique para servir un suministro eléctrico de menor costo, que influya en el mejoramiento de la calidad de la energía de los sistemas, contribuyendo a la reducción de picos de la demanda eléctrica y a la sostenibilidad del servicio eléctrico aumentando la confiabilidad en la producción de energía distribuida.

1.4.2 Ventajas y Desventajas de la Generación Distribuida

La generación eléctrica tradicional, es decir a partir de termoeléctricas o centrales eléctricas, tiene tres tipos fundamentales de problemas:

1- La construcción y el desmantelamiento: La construcción de una gran central es un proyecto a largo plazo con el objetivo de satisfacer la demanda existente sin poder olvidar las nuevas inversiones de desarrollo local o regional previstas en el futuro. Además, cada

uno de estos proyectos es diferente, exigiendo cada vez un diseño y una construcción exclusiva. Además, necesitan extensos terrenos, volumen grande de materiales, mano de obra especializada, estudios detallados sobre su impacto ambiental en la región de la instalación.

De lo anteriormente expuesto aparece uno de los inconvenientes, que es el largo tiempo de ejecución de la obra.

2- El funcionamiento y el servicio que presta: La forma en que se produce la energía eléctrica en grandes centrales alejadas de los grandes consumidores, obliga a mantener una larga red de transmisión y distribución de energía, con los adecuados transformadores para los cambios del voltaje. Este gran sistema en su funcionamiento trae consigo que existan pérdidas de transmisión de la energía. 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 eléctrico siga alimentando a la carga adecuadamente.

Además, extensas redes de transporte en áreas remotas o poco controladas puede 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 estas personas.

En los países desarrollados los problemas se identifican con la calidad del servicio y la fiabilidad del suministro. Todos han sido testigos de caídas de tensión o de apagones del suministro en horas pico en épocas con gran aumento de la demanda.

Hoy día, y cada vez más, parte de la vida cotidiana se basa en mecanismos electrónicos u ordenadores.

Por lo tanto la fiabilidad del suministro de la electricidad es un alto requisito.

3-En el ambiente: Al final, 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. [Stamatius, 2001].

1.4.2.1 Ventajas de la aplicación de la Generación Distribuida en Cuba

En el país la aplicación de la GD presenta las siguientes ventajas, obtenidas a partir de los programas de la Revolución Energética:

- Valores mínimos de consumo de combustible por kWh generado: estas máquinas al ser de última generación producen 220 g/kWh como promedio de diesel o fuel oil, según el tipo de motor y su objetivo.
- Valores de potencia unitaria cuya capacidad, en caso de avería, no tiene impacto significativo en la disponibilidad del sistema.
- Distribución geográfica adecuada, lo cual contribuye a la protección del servicio eléctrico de la población y los objetivos económicos y sociales ante desastres naturales, tecnológicos y averías.
- Disponibilidad mayor de un 90% y muy por encima del 60% de las plantas termoeléctricas en nuestro actual sistema. [Castro, 2006]

1.4.3 Los GED como parte de la generación distribuida.

Las capacidades instaladas en los grupos electrógenos en estos sistemas no eran representativas hasta el 2006, existían en GEE 68.6 MW. La potencia instalada de los grupos electrógenos en batería hasta el 2005 era de 229.1 MW. [UNE, 2006]

Entre las fuentes no renovables para la generación distribuida en el país tenemos los grupos electrógenos Diesel y Fuel Oil.

El país contrató con la Revolución Energética un total de cuatro mil ciento cincuenta y ocho grupos electrógenos diesel de emergencia (GEE) para centros vitales, lo que representa una capacidad instalada de 711, 8 MW. En septiembre del 2006 se habían instalados tres mil quinientos cincuenta y siete para una capacidad de 435 MW como se muestra en la (Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Centro vitales donde se han instalados grupos electrógenos de emergencia

CENTRO VITALES EN CUBA	# DE GEE
Centros de Salud	1 064
Centros de Elaboración de Alimentos	1 013
Bombes y Potabilizadoras de Agua	292
Centros Vinculados a la Educación	231
Hoteles y Centros vinculados al Turismo	230
Otros Centros Vitales de la Economía	727

La inversión en Grupos Electrógenos (GE) Diesel comienza a mediados del 2005 y a partir de este momento se comienzan a instalar en Emplazamientos Aislados y Baterías a lo largo de todo el país, previsto a instalar 1137 MW de las tecnologías MTU, GUASCOR y SCANIA.

Los **GE Diesel**: son grupos electrógenos de consumo de combustible diesel, de gran eficiencia en la generación de energía eléctrica, pero presentan altos valores de consumo de combustible, aceite y refrigerantes, además de presentar altos valores en costos de mantenimientos y reparaciones, en tiempos de operación no muy grandes.

Según pronósticos de los especialistas de regímenes de la Unión Eléctrica, para los años 2008, 2009 y en lo adelante, se generará con GE diesel durante siete horas al día con el objetivo de cubrir las máximas demandas en los picos, y disminuir en el año los gastos. En Septiembre del 2007 estaban instalados en todo el país **1 304 MW**. [González, 2008]

Los **GE Fuel Oil** que se instalaron durante el 2006 y 2007 están agrupados en sesenta Emplazamiento, de estos cuarenta serán de tecnologías HYUNDAI con unidades de 1,7 y 2,5 MW y los de tecnología MAN B&W serán veinte unidades de 1.4, 1.7, 3.8, 8.7 y 18 MW. Estos emplazamientos tendrán un régimen de funcionamiento de veinticuatro horas al día. El ciclo de mantenimiento planificado es de mil horas para la HYUNDAI y la MAN B&W entre las mil horas y las dos mil horas anuales. Las reparaciones capitales se

realizarán cada veinticuatro mil horas y treinta mil horas de funcionamiento, es decir, de treinta y cuatro a cuarenta y dos meses. El tipo de combustible a utilizar para los emplazamientos es de menor calidad que el diesel, pero resulta factible la utilización de este tipo de tecnología debido a que se puede garantizar el suministro a los emplazamientos con el crudo de extracción nacional. En julio 2006 se habían instalado 1747 MW. [Gómez, 2007].

1.4.4 Sistemas de distribución comerciales.

Es un término colectivo para sistemas de energía existentes dentro de grandes complejos comerciales y municipales, tales como edificios de gran altura, bancos, supermercados, escuelas, aeropuertos, hospitales, puertos, etc. Este tipo de sistemas tiene sus propias características, como consecuencia de las exigencias especiales en cuanto a seguridad de las personas y de los bienes, por lo que generalmente requieren de importantes fuentes de respaldo en casos de emergencia.

1.4.5 Sistemas de distribución urbana.

Alimenta la distribución de energía eléctrica a poblaciones y centros urbanos de gran consumo, pero con una densidad de cargas pequeña. Son sistemas en los cuales es muy importante la adecuada selección en los equipos y el dimensionamiento.

1.4.6 Sistemas de distribución rural.

Estos sistemas de distribución se encargan del suministro eléctrico a zonas de menor densidad de cargas, por lo cual requiere de soluciones especiales en cuanto a equipos y a tipos de red. Debido a las distancias largas y las cargas pequeñas, es elevado el costo del kWh consumido.

En muchos casos es justificado, desde el punto de vista económico, la generación local, en una fase inicial, y sólo en una fase posterior, puede resultar económica y práctica la interconexión para formar una red grande. [Socorro, 2011].

1.5 Esquemas de subestaciones de distribución.

Un esquema de Barras, es la disposición que presentan las barras o juegos de barras por niveles de tensión y que ofrecen mayor o menor nivel de flexibilidad en una subestación eléctrica.

Dentro de los esquemas existentes en las subestaciones normalizadas de CADAFE, se tiene el mostrado en la figura 1.4:

Esquema de barra simple.

Está conformado por una sola barra continua a la cual se conectan directamente los diferentes tramos de la subestación.

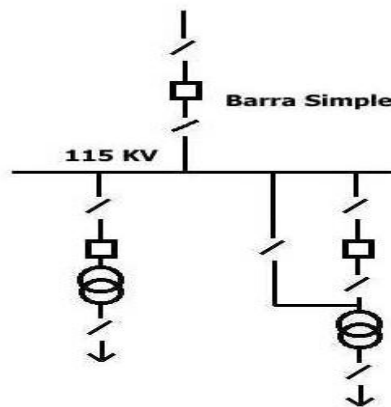


Figura. 1.4 Esquema de subestación de barra simple.

Utilización:

- Aéreas donde los cortes de servicio afectan a cargas poco importantes.
- En el diseño normalizado de las subestaciones tipo: Radial I, Radial II y Nodal III.

Ventajas:

- Fácil operación e instalación simple.
- Costo reducido

- Requiere poco espacio físico para su construcción.
- Mínima complicación en la conexión de los equipos y el esquema de protecciones.

Desventajas:

- No existe flexibilidad en las operaciones (El mantenimiento de un disyuntor exige la salida completa del tramo involucrado).
- Falla en barra interrumpe el servicio totalmente.
- Las ampliaciones de barra exigen la salida de la subestación en su totalidad.

Esquema de barra seccionada por un disyuntor.

Está constituido por dos (2) barras principales como se muestra en la figura 1.5, con posibilidad de acoplamiento entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados.

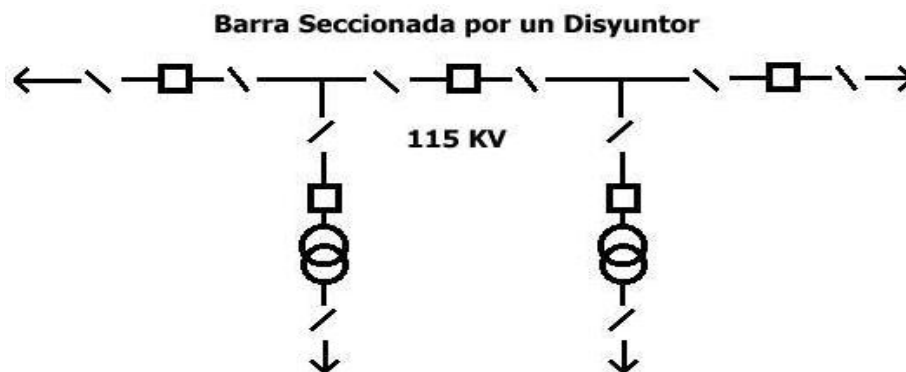


Figura. 1.5 Esquema de subestación con barra seccionada por disyuntor.

Utilización:

- En el diseño normalizado de las subestaciones tipo: Nodal III con acoplador de barra.

Ventajas:

- Fácil mantenimiento de los tramos conectados a la barra
- Requiere poco espacio físico para su construcción.

- Para fallas en barra, queda fuera de servicio el tramo de la sección de barra afectada.
- Mayor continuidad del servicio

Desventajas:

- Falla en barra puede originar racionamiento.
- El mantenimiento de un disyuntor deja fuera de servicio el tramo al cual está asociado.

Esquema de barra simple con seccionadores en derivación.

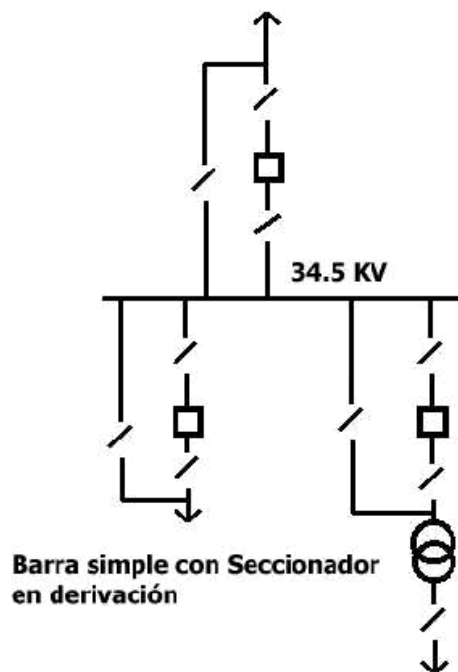


Figura. 1.6 Esquema de subestación con barra simple con seccionador en derivación.

Similar al esquema de barra simple, y difieren en que los tramos tienen adicionalmente un seccionador en derivación (By-Pass) como se muestra en la figura 1.6.

Utilización:

- En el diseño normalizado de las subestaciones tipo: Radial II.

Ventajas:

- Similar al esquema de barra simple, pero permite realizar labores de mantenimiento en los tramos sin interrumpir el servicio, a través del seccionador en derivación (By-Pass)
- Requiere poco espacio físico para su construcción.

Desventajas:

- Falla en barra interrumpe totalmente el suministro de energía.
- Las ampliaciones de barra exigen la salida de la subestación en su totalidad.

Esquema de barra doble (mixta).

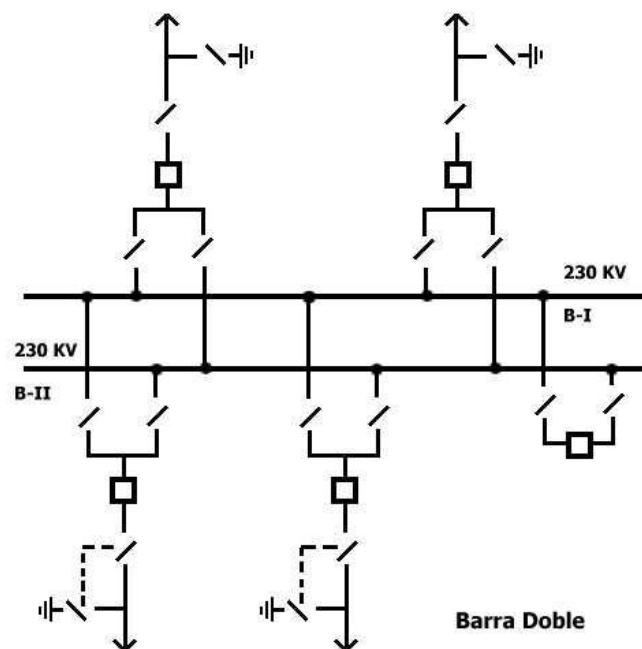


Figura. 1.7 Esquema de subestación con barra mixta.

Está constituido por dos (2) barras principales, las cuales se acoplan entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados.

Utilización:

- En las instalaciones relacionadas directamente con la red troncal del sistema interconectado.

Ventajas:

- Las labores de mantenimiento pueden ser realizadas sin interrupción del servicio.
- Facilita el mantenimiento de seccionadores de barra, afectando únicamente el tramo asociado.

Desventajas:

- La realización del mantenimiento en un disyuntor de un tramo, requiere la salida del tramo correspondiente.
- Requiere de gran espacio físico para su construcción.

Esquema de barra principal y transferencia.

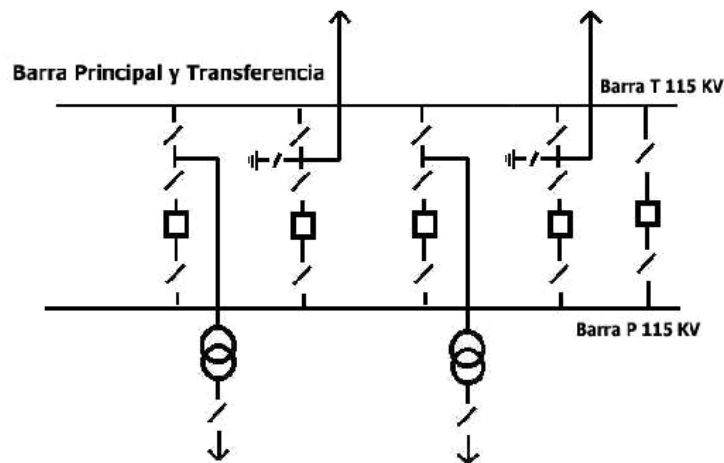


Figura. 1.8 Esquema de subestación con barra principal y transferencia.

Está constituido por una barra principal y una de transferencia, que permita la transferencia de tramos.

Utilización:

- En el diseño normalizado de las subestaciones tipo: Nodal I y Nodal II.

Ventajas:

- Permite la transferencia de carga de un tramo, durante el mantenimiento del disyuntor correspondiente
- Facilita el mantenimiento de seccionadores de línea y transferencia, afectando únicamente el tramo asociado.
- Requiere de poco espacio físico para su construcción.

Desventajas:

- Para la realización del mantenimiento de la barra y los seccionadores asociados, es necesario desenergizar totalmente la barra.

Esquema de barra doble con disyuntor y medio de salida.

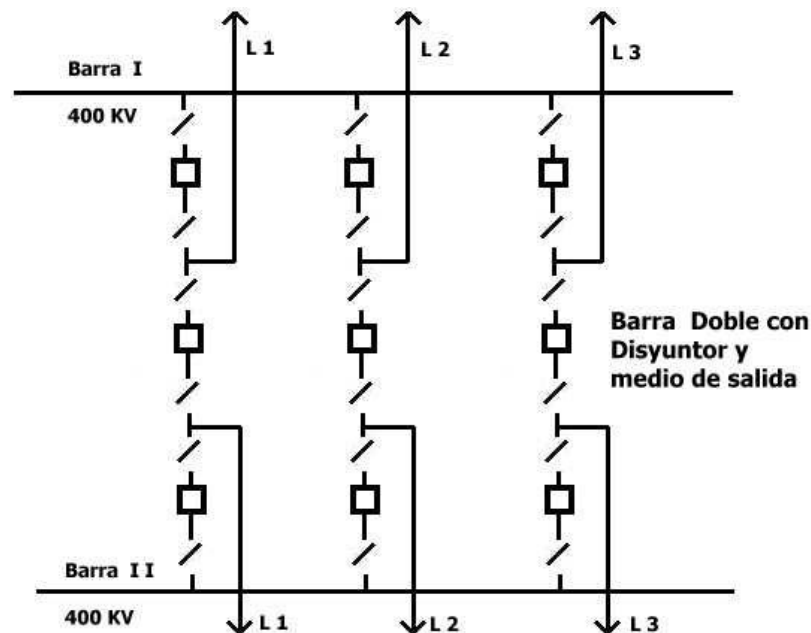


Figura. 1.9 Esquema de subestación con barra doble con disyuntor y medio de salida.

Constituido por dos (2) barras principales interconectadas a través de dos (2) tramos de disyuntor y medio (1-1/2) a los cuales las salidas están conectadas.

Utilización:

- En el diseño normalizado de las subestaciones tipo: Nodal 400 T

Ventajas:

- No necesita tramo de enlace de barra
- El mantenimiento de un disyuntor se puede realizar sin sacar de servicio el tramo correspondiente.

Desventajas:

- Para la realización del mantenimiento de los seccionadores conectados directamente al tramo, es necesario dejar fuera de servicio el tramo correspondiente.
- Requiere gran espacio físico para su construcción.

1.6. Conclusiones del capítulo

1. El estudio bibliográfico demuestra que ya existen algunos trabajos relacionados con la puesta en funcionamiento de los grupos electrógenos en Cuba, pero no muchos que profundicen en el análisis del comportamiento de la generación en función de la demanda.
2. Queda evidenciado que los grupos electrógenos juegan un rol importante en el funcionamiento de las redes eléctricas bajo el concepto de generación distribuida.

Capítulo 2. Materiales y métodos.

2.1 introducción

En este capítulo se hace una descripción del flujo tecnológico del grupo electrógeno de Cabonico perteneciente al municipio Mayarí, además de una caracterización de los elementos que lo componen. Se realiza un análisis del circuito que es alimentado por este grupo, así como de los principales clientes, haciendo énfasis en el estudio del comportamiento de la demanda y de la generación.

Para la realización de la investigación mediante entrevistas y análisis de documentos se obtiene la caracterización del emplazamiento y el circuito que este alimenta.

2.2. Flujo tecnológico del Grupo Electrógeno Diesel de Cabonico.

El funcionamiento del grupo electrógeno está determinado por el trabajo de forma conjunta de un grupo de equipos e instalaciones independientes, que coordinadamente sustentan la labor del mismo.

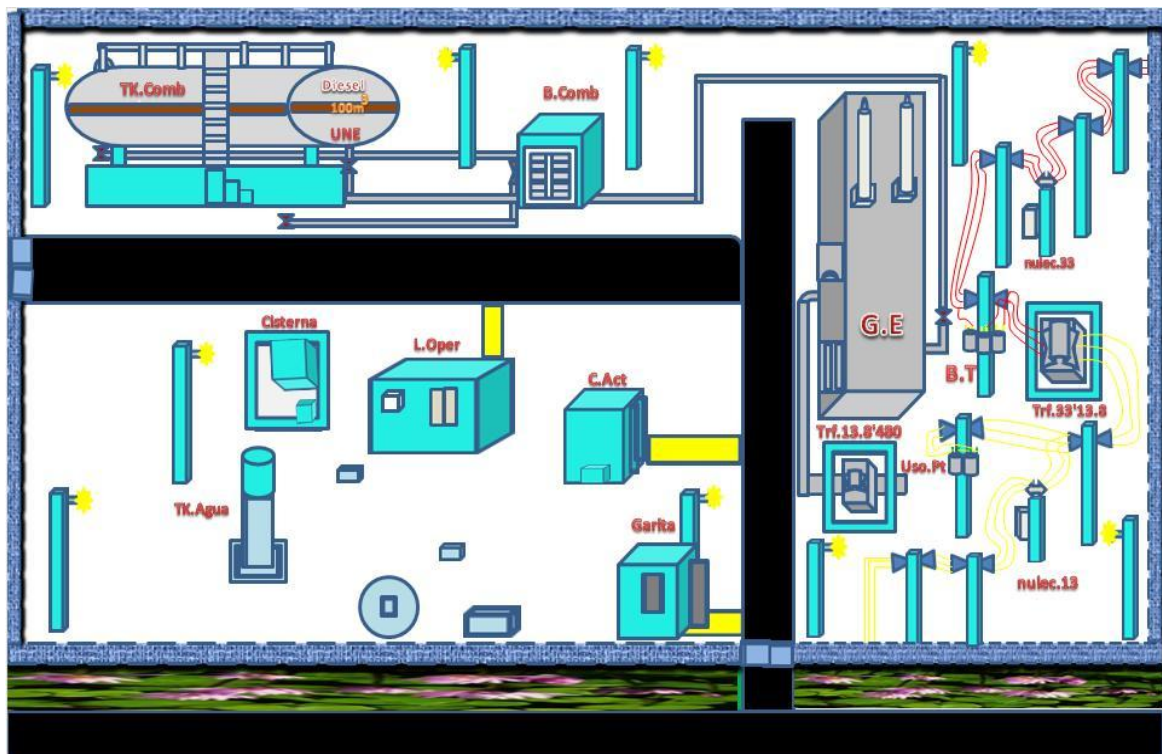


Figura 2.1 Esquema del emplazamiento Cabonico.

En la figura 2.1 se muestra un esquema del emplazamiento. A continuación se describe el funcionamiento de cada una de estas instalaciones y equipos.

2.2.1 Localización

El grupo electrógeno del Asentamiento Cabonico, tiene como año de construcción desde agosto de 2005 hasta abril 2006, se encuentra situado en el barrio de Pueblo Nuevo, Cabonico, Nicaro, Mayarí, Holguín. Se ubica frente al camino de la CPA Mártires del Corintha, con una extensión de 71 m, por el fondo limita con el río Cabonico a una distancia de 90 m, por el lateral izquierdo saliendo del inmueble, limita con terreno de la CPA a una distancia de 7 m, extensión 26 m, mientras que por el lateral derecho saliendo del inmueble limita con el terreno particular de Teresa Nodal a una distancia de 10 m. La instalación del objetivo ocupa un área total de 2272 m².

2.2.2 Estación de combustible

En su proceso tecnológico interviene una Estación de Combustible con 1 tanque para la recepción del diesel, ubicado a 2 m de altura, de capacidad de 100 m³, el cual se utiliza para las operaciones diarias, el combustible es trasladado hasta el grupo electrógeno (GED) por medio de una bomba de recepción con capacidad de trasiego de 60 m³/h a una presión de 2,5 bar. Al llegar la paila a la instalación se sitúa en la plataforma de descarga conectando la toma de la válvula M1 la cual se abre solamente para la descarga, se abre la válvula M2 y la válvula M3, abiertas estas 3 válvulas se conecta la bomba de combustible Mexicana de 3510 rpm que extrae el combustible de la paila y lo expulsa al tanque de recepción, la válvula M4 es la de drenaje del tanque que se abre cuando el tanque contiene agua y mantiene su función de drenaje hasta que comienza a salir trazas de combustible, la válvula M5 es la que se abre para la salida del tanque y luego se abre la válvula M6 que es la entrada al Grupo Electrónico, este combustible va al tanque de uso diario del motor serie 2000 MTU 18 V con 1800 rpm. Este tanque tiene una capacidad de 1000 litros y contiene una bomba de combustible que automáticamente se pone en funcionamiento cuando este tanque llega a un nivel por debajo del 28% de su capacidad. Cuando llega a un nivel de llenado por encima del 82 % este se desconecta sin dificultades.

En la figura 2.2 se muestra un esquema de esta instalación.

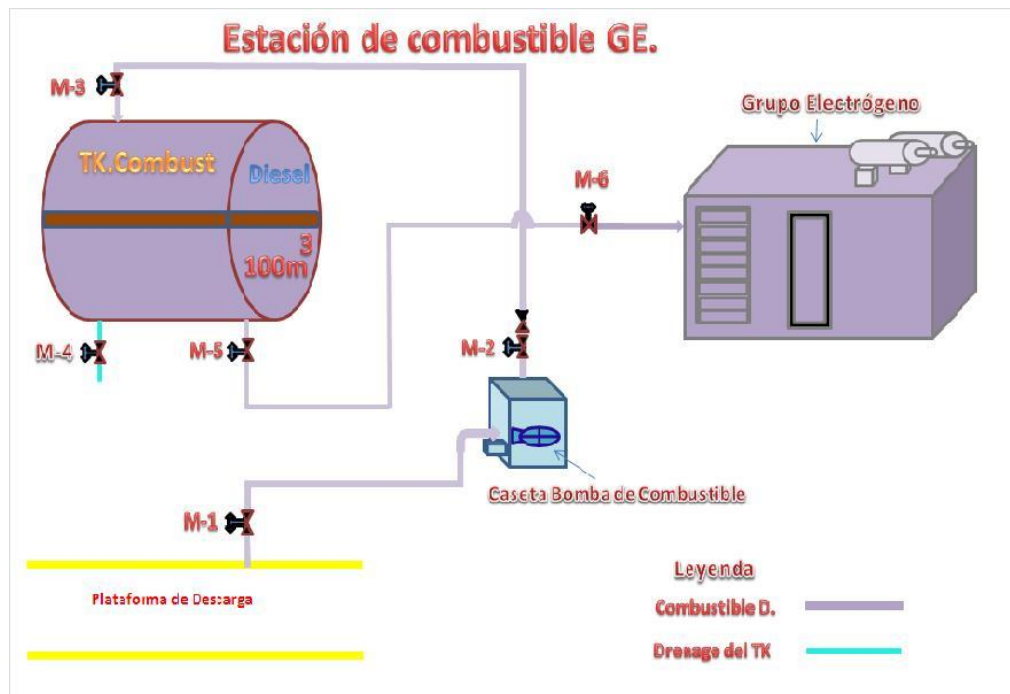


Figura 2.2 Esquema de la estación de combustible.

2.2.3. Motores de Combustión Interna Diesel.

En el Motor de Combustión Interna (MCI) se quema el combustible a través de los procesos del ciclo de trabajo de estos: admisión, compresión, explosión o fuerza y escape, el combustible (diesel) que se quema se convierte en energía mecánica útil, para generar una potencia de 1150 kW. Estos motores diesel son estacionarios, de cuatro tiempos, con 16 cilindros. Poseen un sistema de enfriamiento por aire y con líquido refrigerante. La refrigeración directa con aire se emplea en motores Diesel con potencias de hasta 200 kW y la cantidad de aire de refrigeración ronda los $70 \text{ m}^3 / \text{kWh}$. Tienen además un sistema de regulación: que controla el motor, vigila los estado operativos, la velocidad de rotación (en dependencia del estado operativo), y visualiza los estados de funcionamiento erróneos (códigos de fallo), además de tener un sistema de inducción o aspiración que suministra aire limpio al motor a la temperatura y cantidad correcta, cuenta también con un sistema

de lubricación que reduce la fricción entre las partes móviles del motor, y un sistema para el combustible que lo regula y transporta en tiempo y con suficiente presión a la cámara de combustible de cada cilindro. Además cuenta con una Unidad de Control del Motor (ECU) en el Sistema de Gestión del Motor (MDEC), que garantiza la operatividad y protege al motor.

2.2.4. Generadores Eléctricos

La transformación de la energía mecánica a eléctrica ocurre en el generador que compone el grupo electrógeno, los cuales son sincrónicos, trifásicos, tetrapolares, con una potencia activa al 75 % de 690 kW y máxima de 920 kW al 100 %. El rotor de cada una de estas máquinas está directamente acoplado al eje de los MCI, por lo que gira a la misma velocidad que estos, es decir, a 1800 r.p.m.

Tiene un sistema de enfriamiento por aire, además de tener un sistema auto excitado que mantiene una excitación constante en dependencia de la demanda de la carga. Están asegurados por 30 parámetros a proteger que garantizan la seguridad de estos.

Una vez garantizado la velocidad sincrónica y teniendo como referencia el voltaje, frecuencia, y la secuencia de fase, los generadores se sincronizan (presentan dos modos de sincronización en paralelo o en isla) cerrando los interruptores que los enlazan a los transformadores de 0,48/13,8kV.

2.2.5. Transformadores 0,48/13,8kV

El transformador es el encargado de elevar la tensión de 0,48 kV a 13,8 kV, con una potencia de 1250 kVA, alimentan a través de un sistema de cuchillas y uno de drop outs trifásicos y un panel (k02 a k09) ubicados en la subestación.

2.2.6. Transformador de Fuerza

El transformador de fuerza de 1 000 kVA, es el encargado de elevar la tensión de 13.8 kV a 34.5 kV además se encarga de conectar el grupo electrógeno a la subestación Cabonico, que alimenta por la red de distribución al circuito del mismo nombre. También

se alimenta de este un transformador reductor para el uso de planta de 13.8/0.48 kV, con una potencia de 0.25 MVA y dos transformadores de 7.62/0.22 kV, con una potencia de 37.5 kVA cada uno, que alimenta el Panel General de Distribución (PGD), el alumbrado, los equipos de comunicación, las máquinas y las bombas de succión del diesel.

2.2.7. Estructura técnica

La instalación de un grupo electrógeno está compuesta por un motor de combustión interna y un generador, las características de los mismos se darán a continuación.

Datos Técnicos del Motor Diesel:

- Denominación del motor: 18v 2000 G-1, Marca MTU-S 2000 Alemania.
- Número de cilindros: 18
- Temperatura del aire de carga del motor: 35-54 °C.
- Presión de aire de carga entrada cilindros 75 % y 100 % - 2.4 a 3.04.
- Número de revoluciones: 2100.
- Potencia continua, con sobrecargas de un 10 % de la potencia de diseño: 1150 kW.
- Consumo de lubricantes: 0.5 % del consumo del combustible por hora.
- Peso del motor: 7210 Kg.

Enfriamiento: Líquidos refrigerantes, con aditivos anticorrosivos y antiespumantes.

Datos Técnicos del Generador Sincrónico:

- Tipo: MJB 400 MB 4 B2.
- Cantidad de polos: 4 polos.
- Generador sincrónico: 3 fases.
- Temperatura ambiente: 40°C.
- Factor de potencia: 0.8.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Voltaje nominal: 480 V.
- Corriente nominal: 1383 A

- Potencia activa: 1150 kVA
- Eficiencia: 96,1%.
- Enfriamiento: aire.

Datos Técnicos del Transformador Elevador:

- Conexión interna de los devanados: Δ / Y_n .
- Voltaje del primario: 480 V.
- Voltaje del secundario: 13,8 kV.
- Potencia: 2,5 MVA.
- Enfriamiento: por aceite y por aire.
- Corriente nominal: 104.7 A.

Datos Técnicos del Transformador de Uso Planta (alumbrado, equipos de comunicación, máquinas centrífugas, bombas de succión de diesel):

- Conexión interna de los devanados: Y.
- Voltaje del primario: 13.8 kV.
- Voltaje del secundario: 0.12 y 0.24 kV.
- Potencia: 10 a 15 kVA.
- Enfriamiento: Por aceite.
- Corriente nominal: 3 A.

Datos Técnicos del Transformador de Fuerza:

- Conexión interna de los devanados: Y/ Δ .
- Voltaje del primario: 34.5 kV.
- Voltaje del secundario: 13.8 kV.
- Potencia: 1000 kVA.
- Enfriamiento: Por aceite.
- Corriente nominal: 17.5 - 41.8 A.

2.2.8 Protecciones eléctricas

Los elementos o máquinas que componen el grupo electrógeno poseen un conjunto de protecciones eléctricas con la finalidad de garantizar el estado técnico del equipamiento y su correcto funcionamiento.

Protecciones conectadas a los transformadores de tensión:

25: synchro-check (únicamente para funcionamiento en paralelo).

27: falta de tensión.

59: sobre tensión.

81: frecuencia fuera de límites (máxima y mínima).

Protecciones conectadas a los transformadores de corriente al lado de la línea (solamente para funcionamiento en paralelo):

67: corriente máxima direccional (no es necesario si se utiliza el 87G).

67N: corriente máxima direccional homo polar (sobre TI toroidal, para una mejor sensibilidad).

Protecciones mecánicas generales de grupo, conectadas a los detectores:

49T: temperatura del estator (recomendada para alternadores de más de 2 MVA).

49T: temperatura de los cojinetes (recomendada para alternadores de más de 8 MVA).

64F: protección de tierra del rotor.

Subestación Cabonico.

Características de funcionamiento y Monolineal.

La energía proveniente del interruptor 4470 de la subestación Santa Rita alimenta al juego de cuchillas O 138 y O 139, así como al interruptor NuLec O 137, que se encargan de alimentar al transformador de fuerza de 1 000 kVA, que es el encargado de elevar la tensión de 13.8 kV a 34.5 kV además se encarga de conectar el grupo electrógeno a la subestación Cabonico, que alimenta por la red de distribución al circuito del mismo nombre. También se alimenta de este un transformador reductor para el uso de planta de

13.8/0.48 kV, con una potencia de 0.25 MVA y dos transformadores de 7.62/0.22 kV, con una potencia de 37.5 kVA cada uno, de estos se alimentan el Panel General de Distribución (PGD), el alumbrado, los equipos de comunicación, las máquinas y las bombas de succión del diesel.

En la figura 2.3 se muestra el Monolineal de la subestación Cabonico.

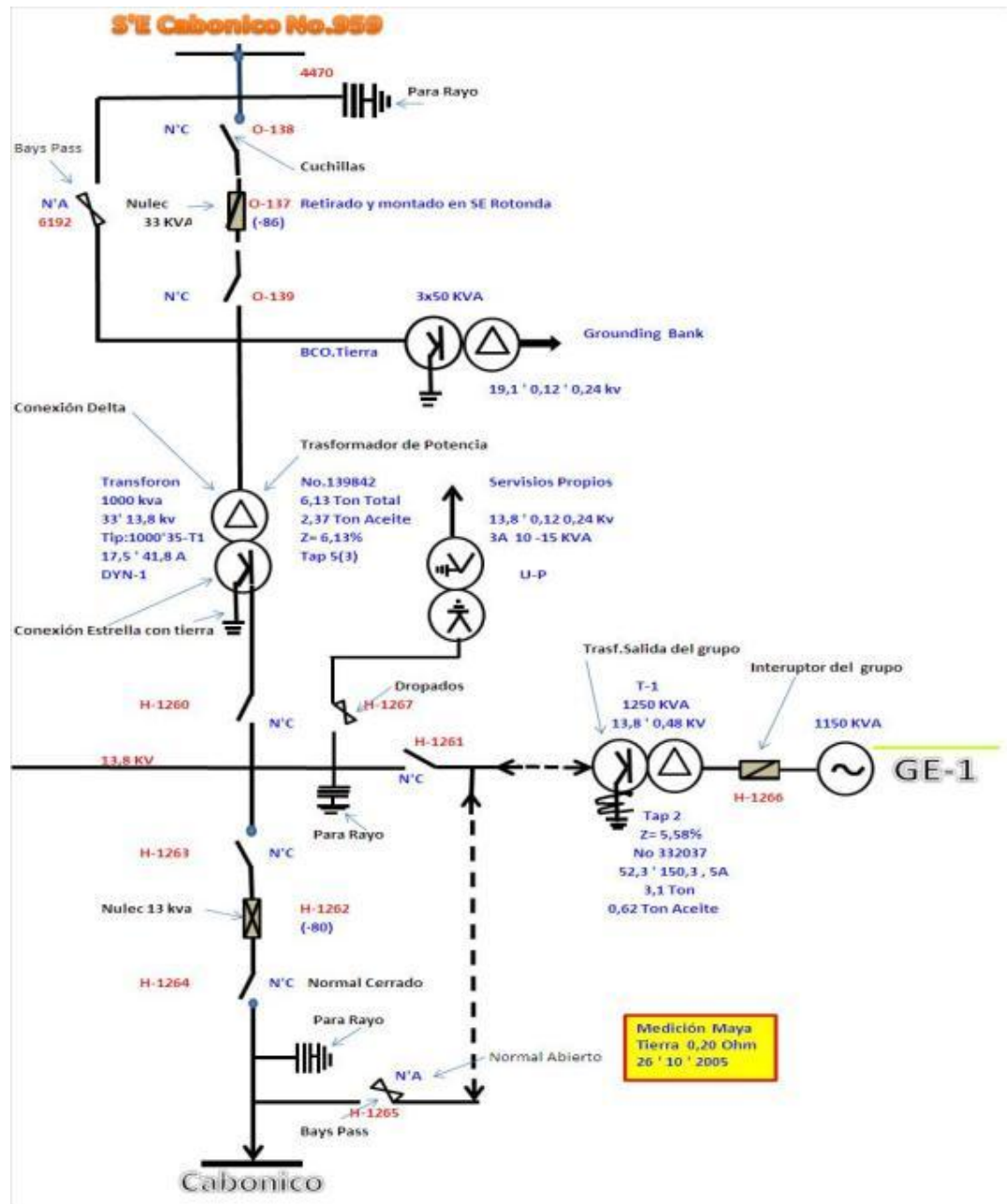


Figura 2.3 Monolineal de la subestación Cabonico.

A continuación se describe el circuito que es alimentado por esta subestación.

2.3 Circuito Cabonico.

Caracterización del circuito de Cabonico.

Circuito de Cabonico: Alimentado por la subestación del mismo nombre con un nivel de tensión de 34.5 kV que lo reduce a 13.8 kV, está caracterizado por tener conductores de aluminio de 78 mm y 35 mm con un voltaje de 13.8 kV que alimenta a 689 viviendas, en la parte residencial, también alimenta a consumidores caracterizados como menores dentro los cuales se encuentran, 3 consultorios, 4 escuelas, 1 campismo popular, 1 panadería, 3 bodegas y otros sectores de las mismas similitud. También son alimentados por el circuito, consumidores mayores, dentro los cuales se encuentran, 2 bombes de agua, 3 talleres de carpinterías particulares.

Se debe significar que el bombeo de la Fábrica Cmte. René Ramos Latour de Nicaro, es un consumidor mayor que cuando el grupo trabaja en isla no alimenta a dicho bombeo, ya que el mismo se alimenta a una tensión de 34.5 kV.

2.4 Comportamiento de la demanda.

Mediante el tratamiento estadístico de las datas de demanda obtenidas de las mediciones de los interruptores NuLec correspondientes al año 2012 y que aparecen registradas en el anexo 1, se obtienen las curvas que caracterizan el comportamiento de la demanda Para ello es necesario determinar el promedio de la demanda horaria, diaria y mensual.

Este proceso se realiza en Microsoft Excel de Windows, calculando con la función promedio y seleccionando el rango de datos correspondiente a las demandas descargadas. Además con la función “Máximo” se determina el mayor valor de demanda horaria y mensual.

Tabla 2.1. Demanda mensual promedio del circuito de Cabonico

A ñ o	M e s e s	D e m a n d a k W
2 0 1 2	e n e r o	2 0 0 ,9
2 0 1 2	f e b r e r o	2 0 2 ,6 7
2 0 1 2	m a r z o	2 0 0 ,2
2 0 1 2	a b r i l	2 0 6 ,3 6
2 0 1 2	m a y o	2 0 4 ,6
2 0 1 2	j u n i o	2 0 2 ,2 5
2 0 1 2	j u l i o	2 0 3 ,4
2 0 1 2	a g o s t o	2 0 7 ,2
2 0 1 2	s e p t i e m b r e	2 0 4 ,7 3
2 0 1 2	o c t u b r e	2 0 8 ,6
2 0 1 2	n o v i e m b r e	2 0 3 ,6 4
2 0 1 2	d i c i e m b r e	2 0 5 ,0
V a l o r M á x i m o		2 0 8 ,6

En la figura 2.4 se muestra el comportamiento de la demanda promedio del circuito de Cabonico en el año 2012.

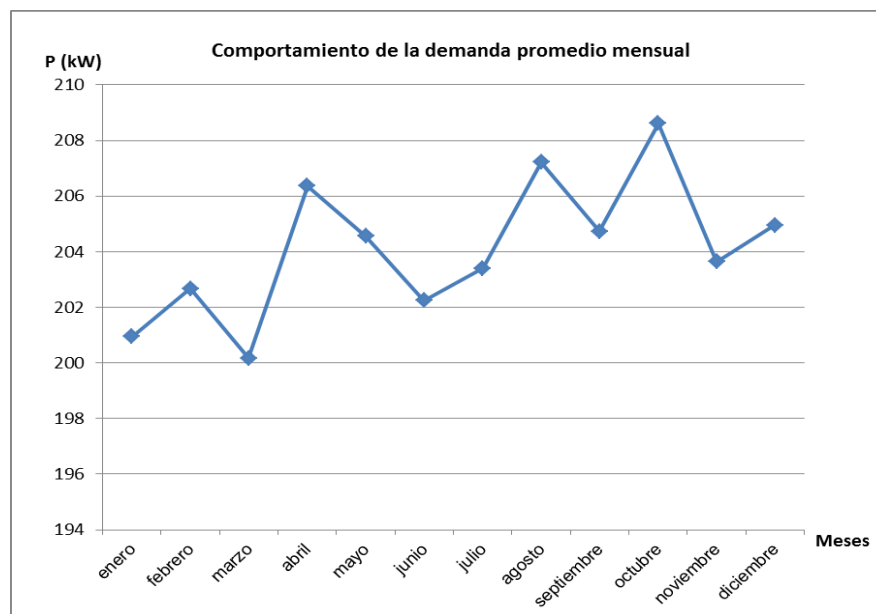


Figura 2.4 Comportamiento de la demanda promedio mensual del circuito Cabonico.

En la tabla 2.2 se muestra un caso tipo de comportamiento de la demanda horaria, es apreciable como aún en el horario pico, no se obtienen valores superiores a los 330 kW.

Tabla 2.2. Demanda horaria del día 29 de octubre del circuito de Cabonico.

Horas	Demanda (kW)	Horas	Demanda (kW)
00 am	105	12 pm	288
01 am	134	13 pm	278
02 am	146	14 pm	282
03 am	138	15 pm	246
04 am	145	16 pm	301
05 am	167	17 pm	313
06 am	185	18 pm	326
07 am	252	19 pm	275
08 am	326	20 pm	211
09 am	290	21 pm	187
10 am	272	22 pm	140
11 am	237	23 pm	125

En la figura 2.5 se muestra el comportamiento de la demanda para este día.



Figura 2.5 Comportamiento de la demanda horaria.

Como se muestra en la figura 2.5 la demanda horaria máxima no sobrepasa los 350 kW, este comportamiento es típico para la data tratada durante el desarrollo del trabajo.

En la tabla 2.3 se muestran los días y meses donde la demanda alcanzó los mayores valores, correspondiendo a los meses de invierno y verano.

Tabla 2.3 Días y meses de mayor demanda.

Meses de mayor demanda.	Días de mayor demanda
Octubre	4, 6, 7, 10, 12, 15,18 y 25.
Agosto	5, 6, 7, 8, 9, 10,14 y 15.
Abril	4, 7, 10, 11, 12, 20,21 y 30.
Diciembre	2, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 29 y 30.

En la tabla 2.4 aparecen los valores de máxima demanda por meses, donde se destacan los 225. 5 kW y 230. 4 kW de los meses de verano.

Tabla 2.4 Registros de máxima demanda.

Meses	Demanda Máxima (kW)
Enero	214
Febrero	217.7
Marzo	219.8
Abril	220
Mayo	224
Junio	217.1
Julio	217
Agosto	225.5
Septiembre	230.4
Octubre	223.71
Noviembre	220.3
Diciembre	220

El resto de las curvas de demanda mensual se encuentran en el anexo 2 del trabajo.

2.5 Comportamiento de la generación.

De igual forma que para la demanda se procede para el análisis de las datas de generación, determinando los valores promedios y máximos.

El emplazamiento es capaz de entregar 920 kW nominales. A continuación se muestra el comportamiento de la generación en los últimos meses de estudio. (Ver figura. 2.6)

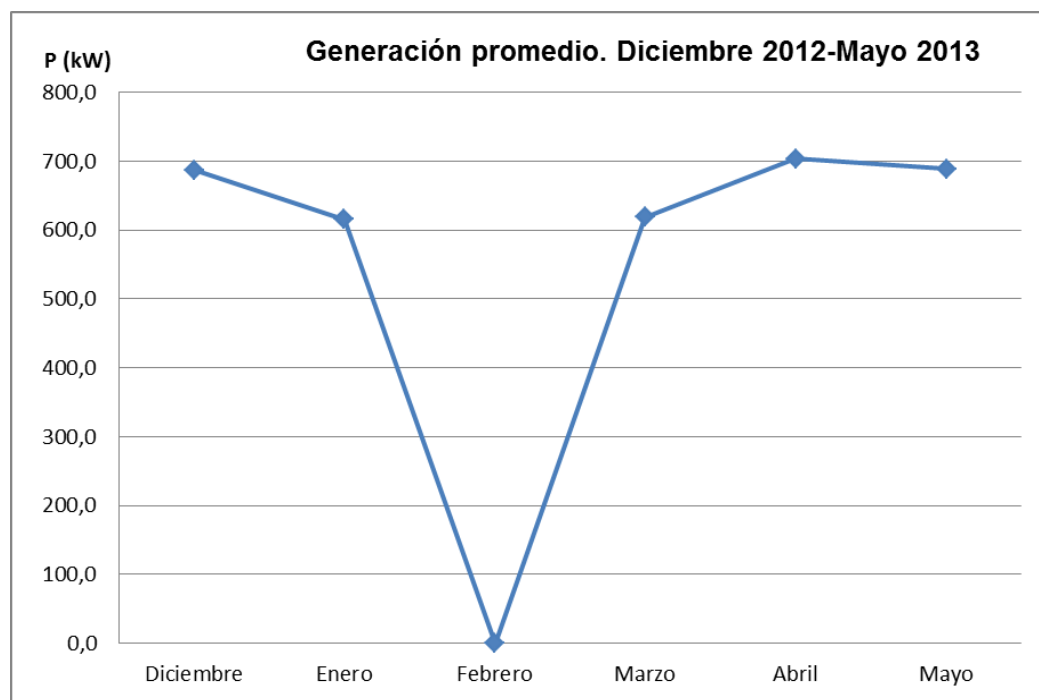


Figura 2.6 Comportamiento de la generación.

La curva 2.6 muestra la generación al 75 % de capacidad nominal durante los meses de diciembre, abril y mayo, en enero y marzo el grupo redujo al 67 % su capacidad promedio. Durante el mes de febrero no se generó.

2.6 Comportamiento de la demanda vs generación.

En (Gómez, 2007) se plantean los tipos de potencia a los que pertenecen estas máquinas, PRP, por lo que a plena capacidad solo funcionarían por tiempo limitado, mientras operan a capacidad limitada por tiempo ilimitado.

Potencia declarada por el fabricante.

La norma DIN 6271/ Parte 2 [3], establece entre otros, dos regímenes de trabajo para los motores diesel:

- ☐ Régimen continuo (código ICXN)
- ☐ Régimen continuo de tiempo limitado (código IXN)

Las potencias declaradas para cada régimen son potencias netas al freno.

Hay que tener en cuenta las potencias de los medios auxiliares impulsados por el propio motor diesel, cuyas potencias han de deducirse de la potencia declarada; por ejemplo, el accionamiento de los 3 ventiladores. Hay otros medios que se consideran como partes componentes del motor y que ya han sido tomados en cuenta por el fabricante al declarar la potencia: por ejemplo, la bomba de inyección del combustible, el cargador de aire enfriado.

Potencia de régimen continuo (ICXN).

La potencia declarada por el fabricante para este régimen la puede entregar el motor continuamente, sin límite de tiempo con una sobrecarga del 10% admisible durante una hora cada 12 horas de funcionamiento continuo.

Este sería el régimen de un grupo electrógeno empleado para generar energía eléctrica durante 24 horas diarias y 365 días al año.

Potencia de régimen continuo de tiempo limitado (IXN)

La potencia declarada por el fabricante para este régimen la puede entregar el motor continuamente, pero sin sobrepasar un número de horas de funcionamiento al año, la que se puede exceder en un 10% solo para recuperación (períodos de segundos).

Hay fabricantes que declaran hasta 1000 horas anuales para este régimen, otros 500 horas y otros 300 horas.

Este sería el caso de un grupo electrógeno empleado para generar energía eléctrica solo durante una situación de emergencia; por ejemplo, cuando falla el suministro normal proveniente del SEN.

Funcionando en cualquiera de estas condiciones, la capacidad instalada supera las exigencias de la demanda del circuito Cabonico, tal como se muestra en la figura 2.7.

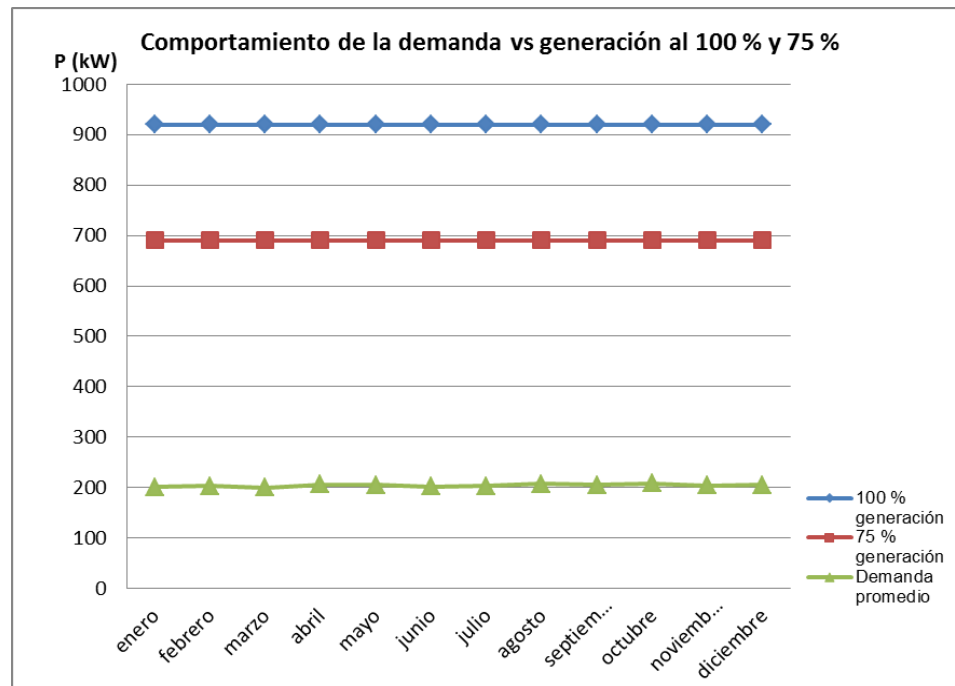


Figura 2.7 Comportamiento de la generación plena y al 75 % contra la demanda promedio.

2.7 Conclusiones del capítulo.

- La demanda promedio del circuito Cabonico es inferior a la capacidad instalada en el emplazamiento diesel del mismo nombre.
- Los valores de demanda máxima corresponden a los meses de verano e invierno.
- La ubicación y capacidad del emplazamiento le permite satisfacer al circuito Cabonico y aportar al SEN el exceso de potencia.

Capítulo 3. Análisis de los resultados.

3.1 Introducción.

En el presente capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos en la investigación para dar respuestas a los objetivos del trabajo. A través de la demanda con respecto a la generación, además de una valoración medioambiental.

3.2 Análisis del comportamiento de la demanda.

De las curvas del anexo 2 es apreciable el comportamiento de la demanda del circuito, donde solo en los meses de febrero y septiembre la demanda experimentó un comportamiento con tendencia a la uniformidad. En el resto de los meses los valores promedios de la demanda oscilan desde los 190 kW a los 225 kW, con picos de 350 kW en el mes de octubre.

3.3 Análisis del comportamiento de la generación para situaciones excepcionales.

Generación al 100% contra demanda al 100%.

La capacidad de generación mostrada en la figura 2.7 demuestra la posibilidad del emplazamiento de satisfacer la demanda del circuito Cabonico.

En la figura 3.1 se muestra el amplio margen de generación disponible cuando el emplazamiento funciona al 100 %.

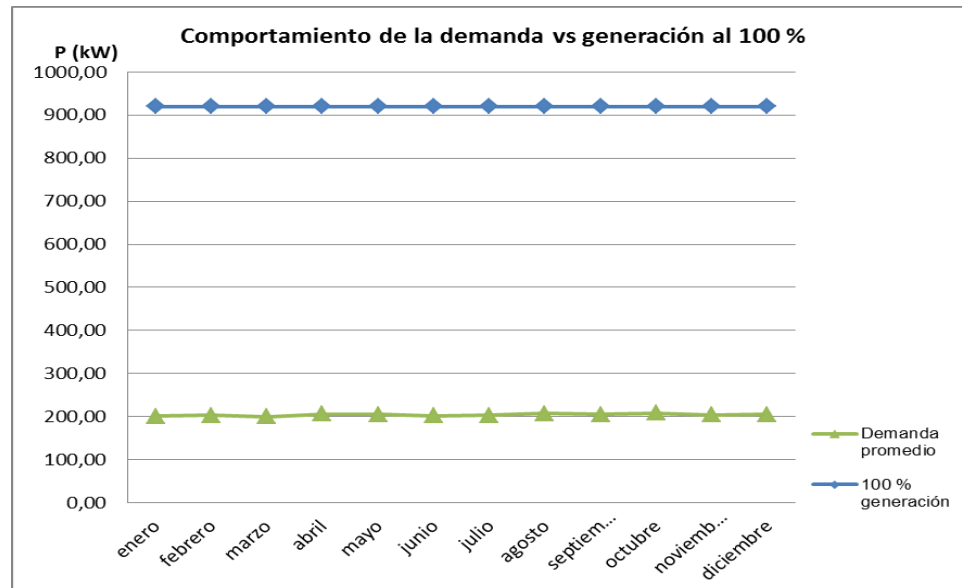


Figura 3.1 Correspondencia entre la demanda promedio y la generación al 100 %.

Generación al 75% contra demanda al 100%.

El porcentaje de funcionamiento establecido por la UNE para los grupos electrógenos diesel es 75. Para este nivel de generación la demanda aún se encuentra por debajo, por lo que puede ser asumida por el emplazamiento, tal como se refleja en la figura 3.2.

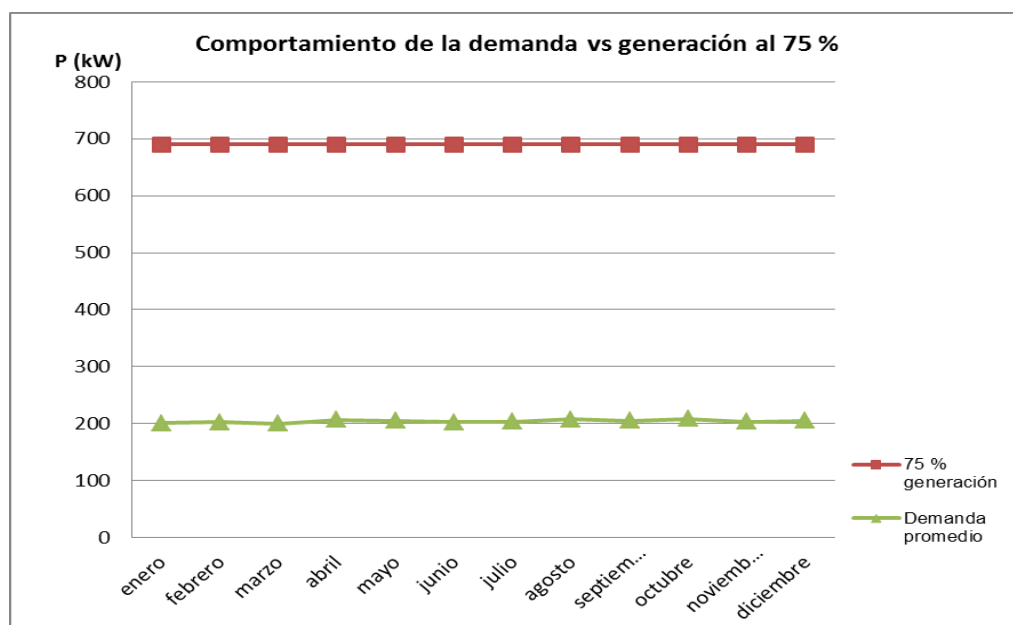


Figura 3.2 Correspondencia entre la demanda promedio y la generación al 75 %.

La operación del emplazamiento al 75% de su capacidad posibilita que este entregue una potencia de 690 kW, considerando que la demanda a suplir es del orden de los 200 kW, potencia que prevalece en la mayor parte del año, se puede inferir que es suficiente con una generación al 75% para cubrir las necesidades del circuito Cabonico y mantener una reserva para los picos de demanda instantánea.

Generación al 85% contra demanda al 100%.

Si se desea incrementar la capacidad de generación al 85 % por necesidades de alimentar a otro circuito o incremento de la demanda, en la figura 3.3 se muestra la disponibilidad de 500 kW en el emplazamiento.

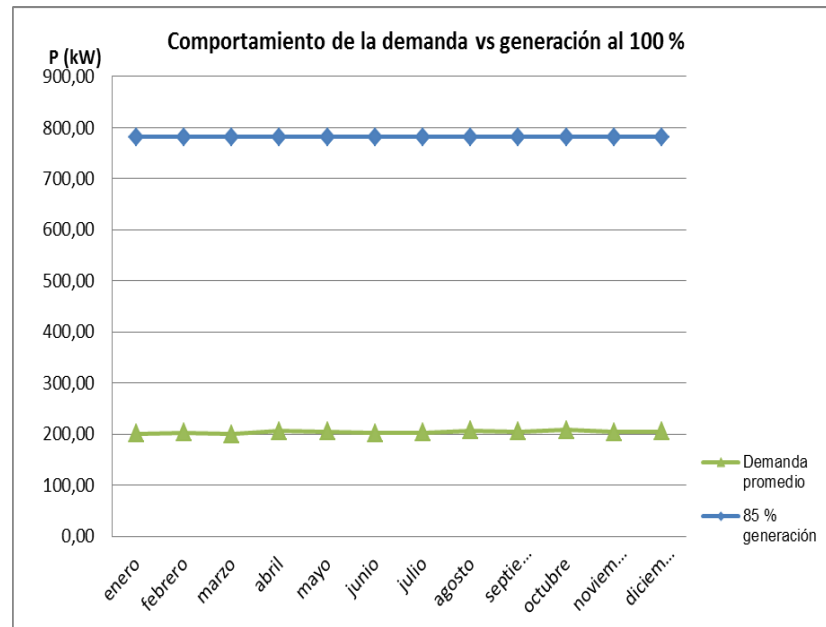


Figura 3.3 Correspondencia entre la demanda promedio y la generación al 85 %.

3.4 Desventajas y Ventajas de la aplicación de la GD en localidad de Cabonico.

Este grupo posee un grupo de ventajas y desventajas en dependencia del lugar del emplazamiento y otros factores los cuales veremos a continuación:

Desventajas:

1. Contaminación al medio ambiente por la expulsión de gases tóxicos producto de la combustión interna del motor primario.
2. Valores elevados de consumo de combustible por kWh generado: 228 g/kWh como promedio de diesel, por encima del normado a nivel nacional (223 g/kWh).
3. Insuficiente planificación y demora del mantenimiento del grupo.

Ventajas:

1. Disponibilidad al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) en los horarios picos.
2. Generación de energía eléctrica en caso de situaciones excepcionales.
3. Confiabilidad en la energía suministrada a la red de distribución cuando trabaja en conjunto con el SEN.

3.5 Impacto social y ambiental de la generación diesel.

Considerando que los grupos electrógenos son máquinas de emergencia, con limitaciones de tiempo de operación, la sobreexplotación reduce considerablemente su vida útil.

Es importante considerar que una desconexión del SEN no está exenta de ocurrir, ya ha sucedido, y se ha conectado el 100% de la demanda al emplazamiento, quedando resuelto el problema de suministro de electricidad a 706 clientes, a los que se les garantiza este servicio y con él todas las necesidades básicas que se derivan del mismo. (Alimentación).

El comportamiento eficiente de la generación de electricidad con el grupo electrógeno del emplazamiento de Cabonico está orientado hacia la prevención de accidentes que afecten directamente al medio circundante. En tabla 3.1 se han identificados los posibles efectos negativos asociados a la generación de energía eléctrica por este grupo.

Tabla 3.1 Impactos ambientales asociados al transporte de combustible por tuberías

Accidente que provoca	Factor	Impactos ambientales
Escape de vapores	Aire	Disminución de la calidad del aire Incremento local de la temperatura.
Escape de vapores	Hombre	Aumento de enfermedades respiratorias Quemaduras y malestares.
Derrame de combustible	Económico	Pérdidas económicas.
Derrame de combustible	Suelo	Degradación del suelo Pérdida del ecosistema endémico.
Derrame de combustible	Agua	Contaminación de las aguas Inutilización del agua para fines comunes.

El proceso de caracterización de los impactos ambientales es de suma importancia, pues posibilita la comprensión de la dimensión exacta en el análisis desarrollado, determinando cómo repercute sobre el medio cada uno de los impactos ambientales que tienen lugar en el proceso de transporte de combustible por tuberías.

La identificación de los factores ambientales susceptibles a afectaciones se torna necesaria (tabla 3.2), pues anuncia los posibles cambios y brinda la posibilidad de prepararse para ello.

Tabla 3.2 Factores ambientales susceptibles a afectaciones

Medio	Medio socioeconómico
Suelo	Hombre, Aspectos sociales, Aspectos económicos
Agua	Hombre, Aspectos sociales, Aspectos económicos
Aire	Hombre, Aspectos sociales, Aspectos económicos

Los impactos ambientales expuestos en la tabla 3.1 producen efectos indirectos y negativos como incremento de la presión sanguínea, la aceleración del ritmo sanguíneo, la contracción de los capilares de la piel y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental del hombre, expuestos también a enfermedades respiratorias.

3.6 Conclusiones del capítulo 3.

1. Al analizar la demanda con respecto a la generación se puede plantear que el grupo electrógeno ha sido sobredimensionado, en tres veces lo que necesita el poblado de Cabonico con respecto a los valores de generación al 75 % y 85 %.
2. Se puede decir que este grupo electrógeno es suficiente para satisfacer la demanda del poblado de Cabonico en situaciones excepcionales.
3. Este grupo solo se utiliza en ocasiones para la sincronización en paralelo con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN), por lo que la contaminación ambiental en la zona donde está enclavado es reducida.

Conclusiones generales.

1. Queda evidenciado que los grupos electrógenos juegan un rol importante en el funcionamiento de las redes eléctricas bajo el concepto de generación distribuida, para mejorar la potencia reactiva de la red, en caso de situaciones excepcionales y para satisfacer la demanda en horario pico.
2. Se documentó el comportamiento del Grupo Electrógeno de Cabonico del municipio Mayarí durante su operación en isla y paralelo con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) y se caracterizó el circuito que alimenta el Grupo Electrógeno de Cabonico.
3. La demanda promedio del circuito Cabonico es inferior a la capacidad instalada en el emplazamiento diesel del mismo nombre, lo que permite satisfacer al circuito Cabonico y aportar al SEN el exceso de potencia. Siendo los meses de mayor demanda abril, agosto, octubre y diciembre.
4. Al analizar la demanda de la localidad de Cabonico y conocer las características de funcionamiento a 75% del grupo electrógeno se puede plantear que el mismo ha sido sobredimensionado y puede asimilar las cargas de trabajo en situaciones excepcionales, sin dificultades

Recomendaciones.

1. Considerar lo establecido en este trabajo como material de consulta en el emplazamiento Cabonico.
2. Realizar la simulación para el funcionamiento del emplazamiento Cabonico alimentando otro circuito.
3. Profundizar en el estudio empleando junto al GED alguna fuente alternativa con potencial en la zona estudiada.

Bibliografía.

- [1]. BATISTA-MARRERO, W. L. Metodología para la determinación de las reservas energéticas en el SEN. Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2004.
- [2]. CASAS-FERNÁNDEZ, L. Sistema Electroenergético. ISPJAE. 1991.
- [3]. CASTRO RUZ, F. Material de estudio de la revolución energética. Periódico Granma. Marzo, 2006.
- [4]. DAIMLERCHRYSLER A.G. Guía para la Operación en Régimen Automático de las Baterías MTU de ocho Grupos Electrógenos. Manual Técnico. MCV Comercial S.A. Junio, 2008 p.
- [5]. GÓMEZ-DOMÍNGUEZ, R. Suministro Eléctrico mediante grupos electrógenos al municipio Moa para Situaciones Excepcionales. Tesis de Grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 2007.
- [6]. GONZÁLEZ-FUENTES, YASEL ALFONSO. Evolución del Sistema Eléctrico de Potencia hacia la Generación Distribuida. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Trabajo de diploma, Moa, 2008.
- [7]. GONZÁLEZ-LONGATT, F Y FORTOUL, C. Review of the Distributed Generation Concept: Attempt of Unification. Aril, 2008.
- [8]. IEEE No.1547: Standard for DR Interconnection with power Systems.
- [9]. ISO 8258: Grupos electrógenos de corriente alterna arrastrados por motores alternativos de combustión interna.
- [10]. ISO 3046-1: Motores alternativos de combustión interna.
- [11]. Ley 75 de la defensa civil. Gaceta Oficial de la República.
- [12]. MTU Friedrichshafen GMBH Daimler Chrysler off – Highway (Alemania). Descripciones de Funcionamiento del Motor Diesel. 2005.
- [13]. MTU. Explotación de una Batería. Manual Técnico. Cuba: CNCI, Febrero 2006. 38 p.
- [14]. Norma de operación del panel de control de MV de los grupos electrógenos en baterías. Manual Técnico. Febrero, 2006. p 15
- [15]. RHONDEL DEVYN, A PHILIP. Estudio de máquinas sincrónicas, 2012.

- [16]. SOCORRO BATISTA, ADRIAN D. Análisis de penetración eólica mediante simulación en Matlab del Sistema Híbrido Diésel-Eólico de Gibara. Trabajo de diploma. ISMM, 2011.
- [17]. STAMATIOS DIOLETTAS, J. LLOVERAS. Las ventajas de la generación eléctrica distribuida. 2001.
- [18]. UNIÓN ELÉCTRICA. Dirección de Generación Distribuida. Generación Distribuida en Cuba julio 2007. PPT. Julio, 2007. p 11. Unión Eléctrica. Experiencia de la UNE en la Revolución Energética. PPT. Marzo, 2006. p. 32
- [19]. UNIÓN ELÉCTRICA. Estrategia de atención a la Generación Distribuida. PPT. 2006. p 45.
- [20]. UNIÓN ELÉCTRICA. Energía Eólica. Nuevas fuentes y tecnología para generar electricidad. PPT. 2006. p. 7
- [21]. UNIÓN ELÉCTRICA. Programa para el mejoramiento del Sistema Eléctrico Nacional. PPT. Abril, 2007. p. 43

Sitios Web de Internet:

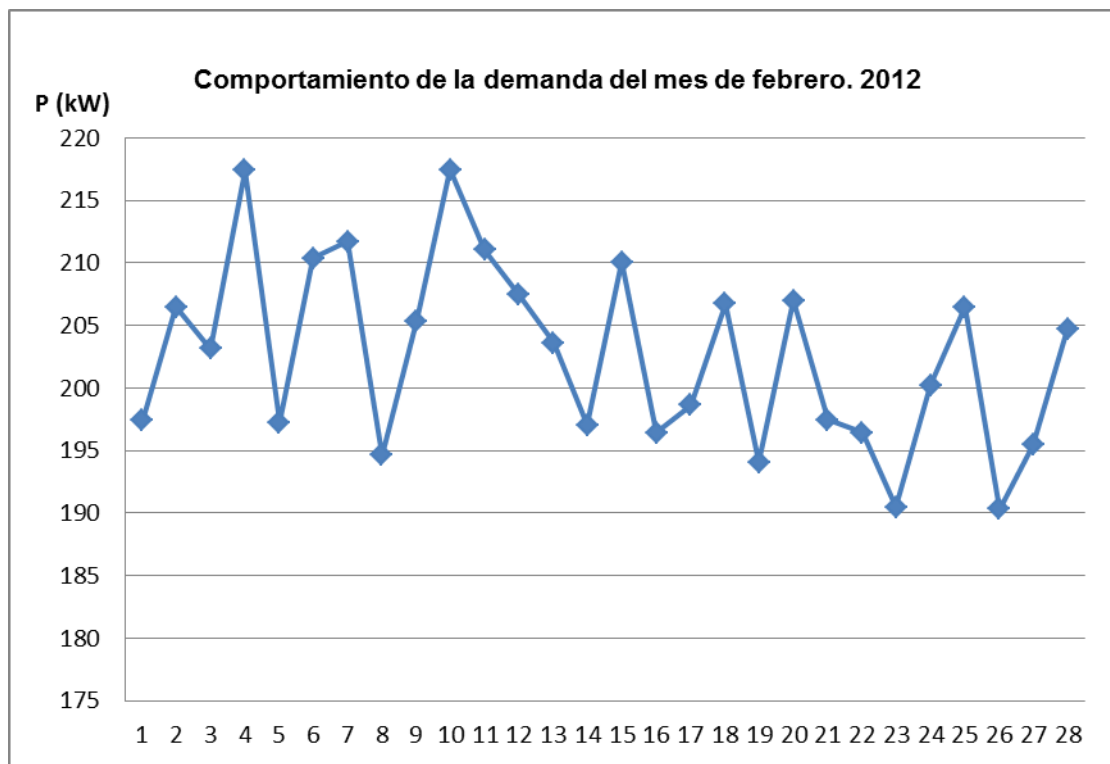
- [1]. http://one.cu/aec_web/tablas_excel/08Energia.xls
- [2]. <http://www.energia.inf.cu/tabloide.pdf>
- [3]. <http://www.hidro.cu/hidroenergia.htm>
- [4]. http://www.conae.gob.mx/bm/wbCONAE/CONA_generacion_distribui#_Toc29882930
- [5]. <http://www.energuia.com>
- [6]. www.quascorefoton.org
- [7]. <http://www.pr.rimed.cu/sitios/energia/PAGINAS/ehidraulica.htm>
- [8]. <http://www.uamerica.edu.co/pub/Mecanica/PlantasTermicas/GENERACION%20DISTRIBUIDA.pdf>.
- [9]. www.ge.com.
- [10]. <http://www.nulec.com.au>
- [11]. <http://www.sheiderelctrica.com>

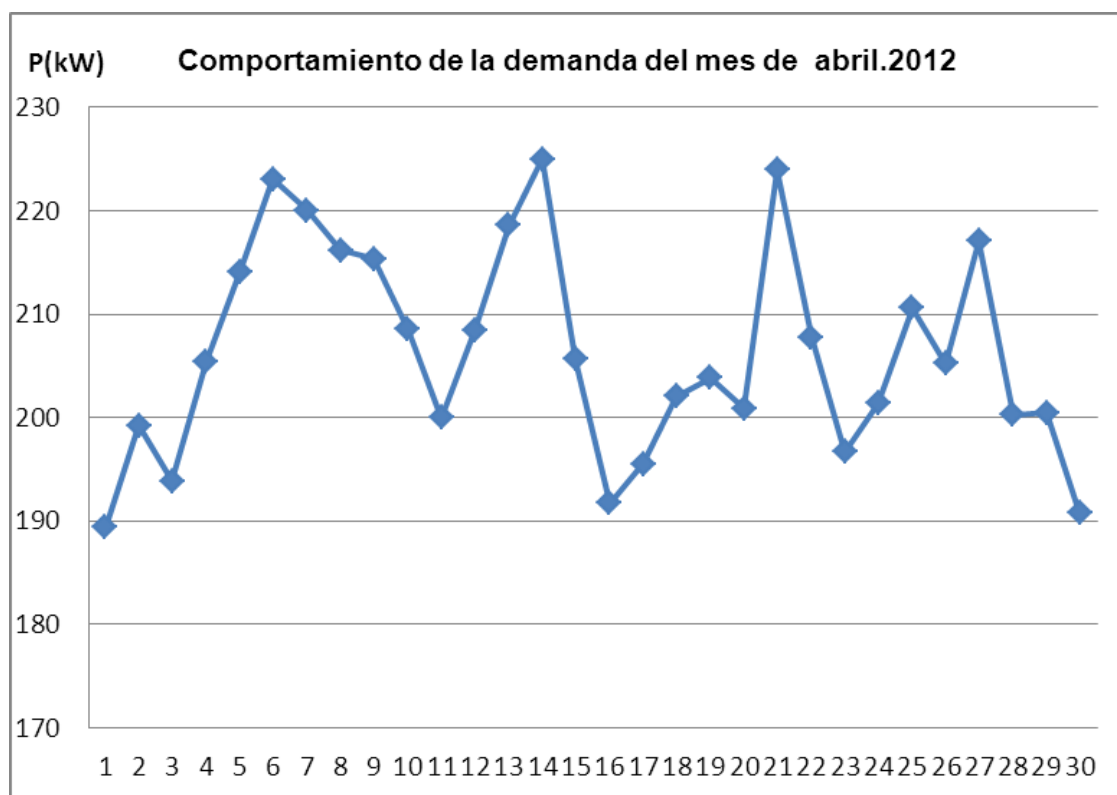
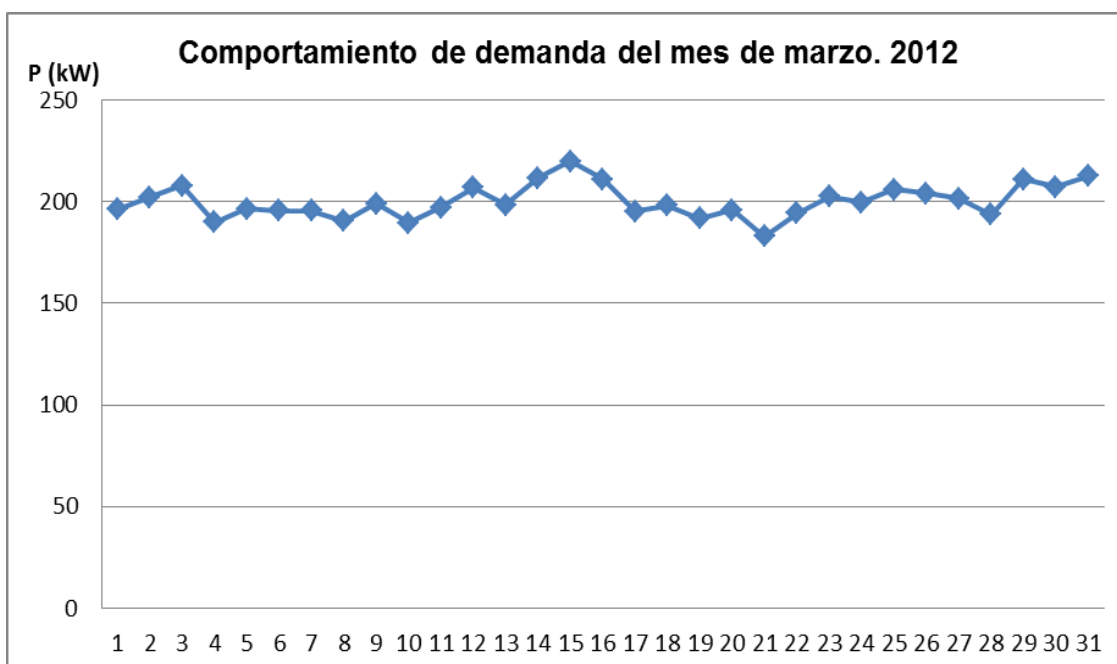
Softwares

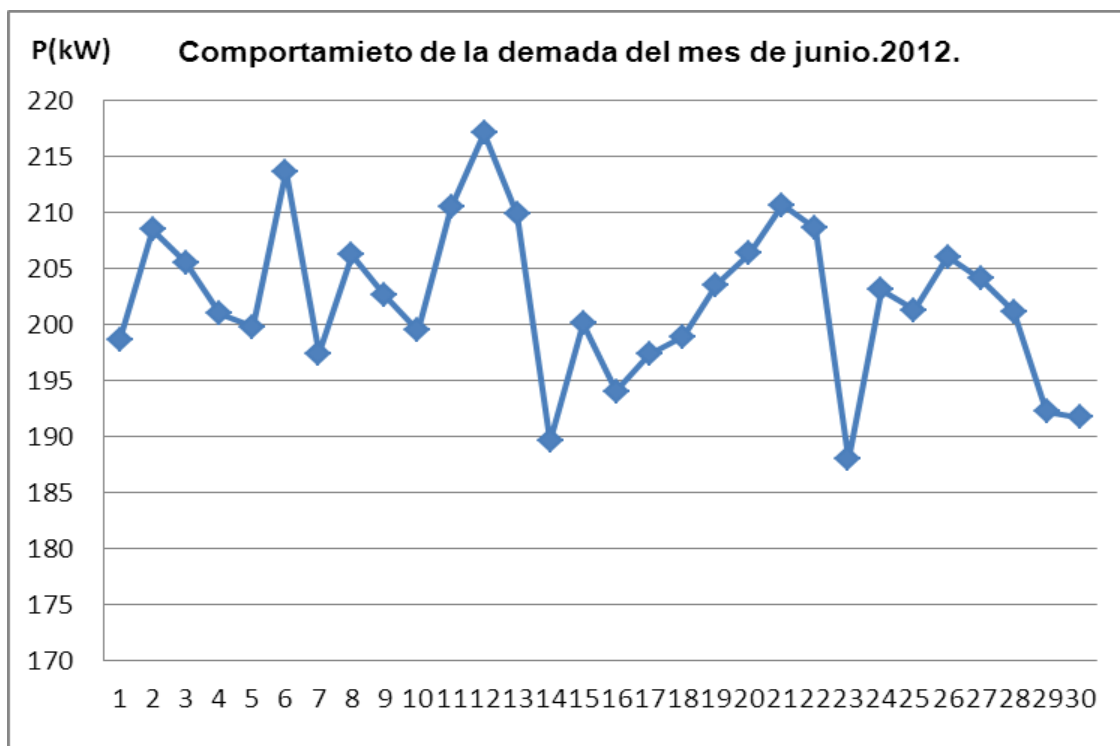
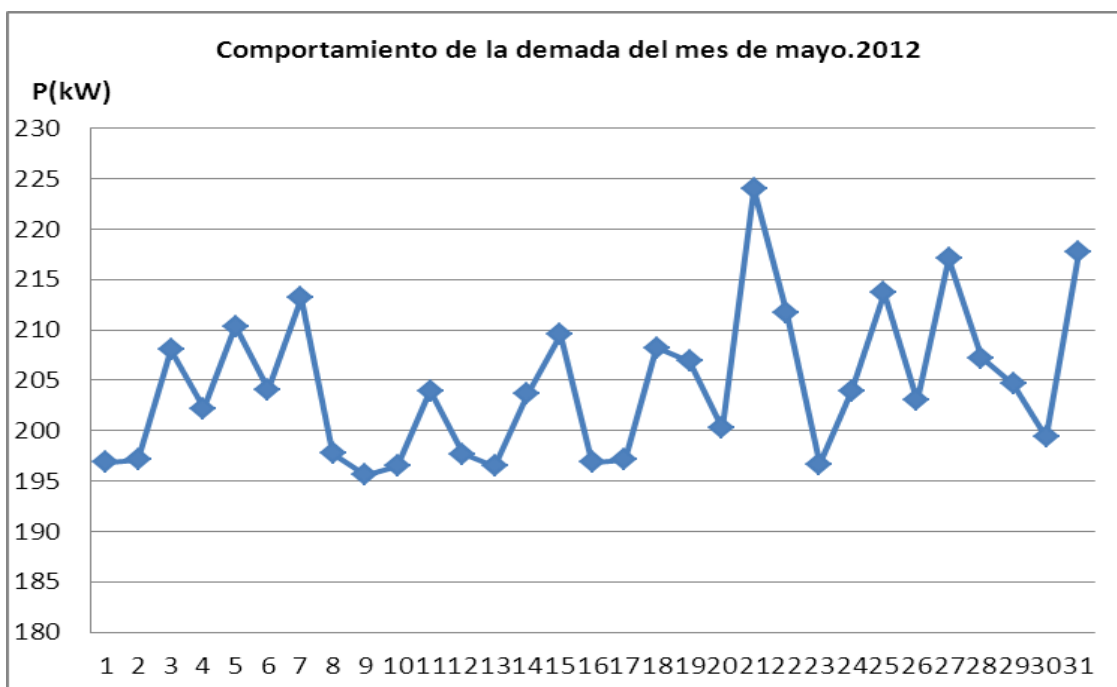
EROS. Software de medición de las variables eléctricas de la batería, y de comunicación con el Despacho Provincial.

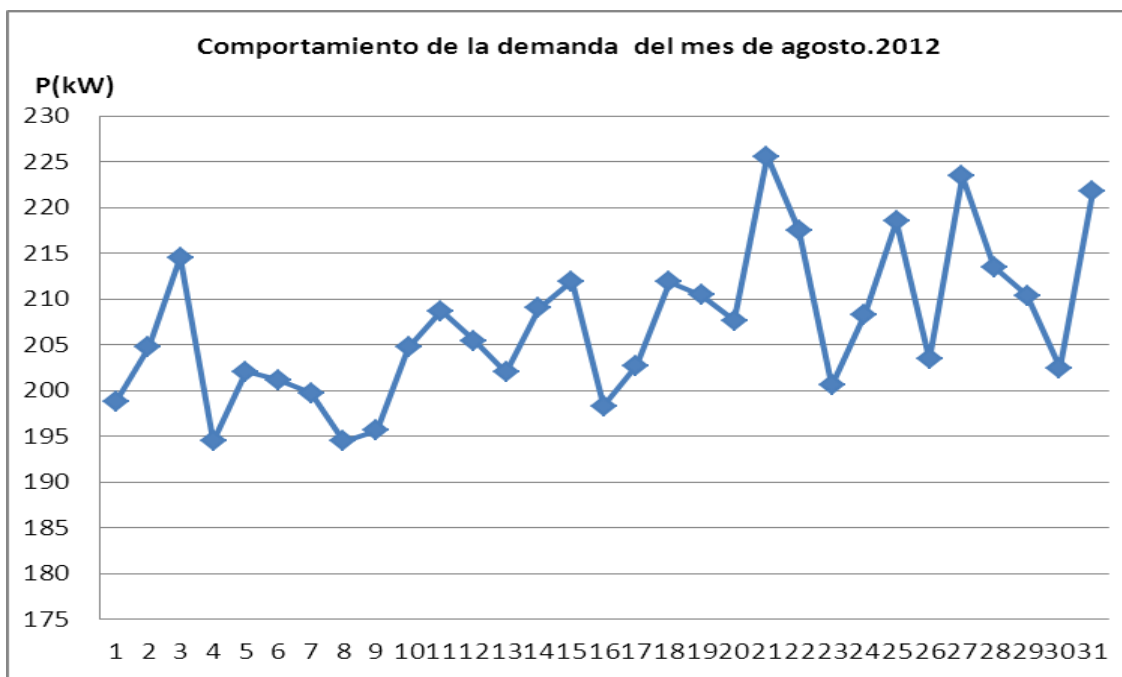
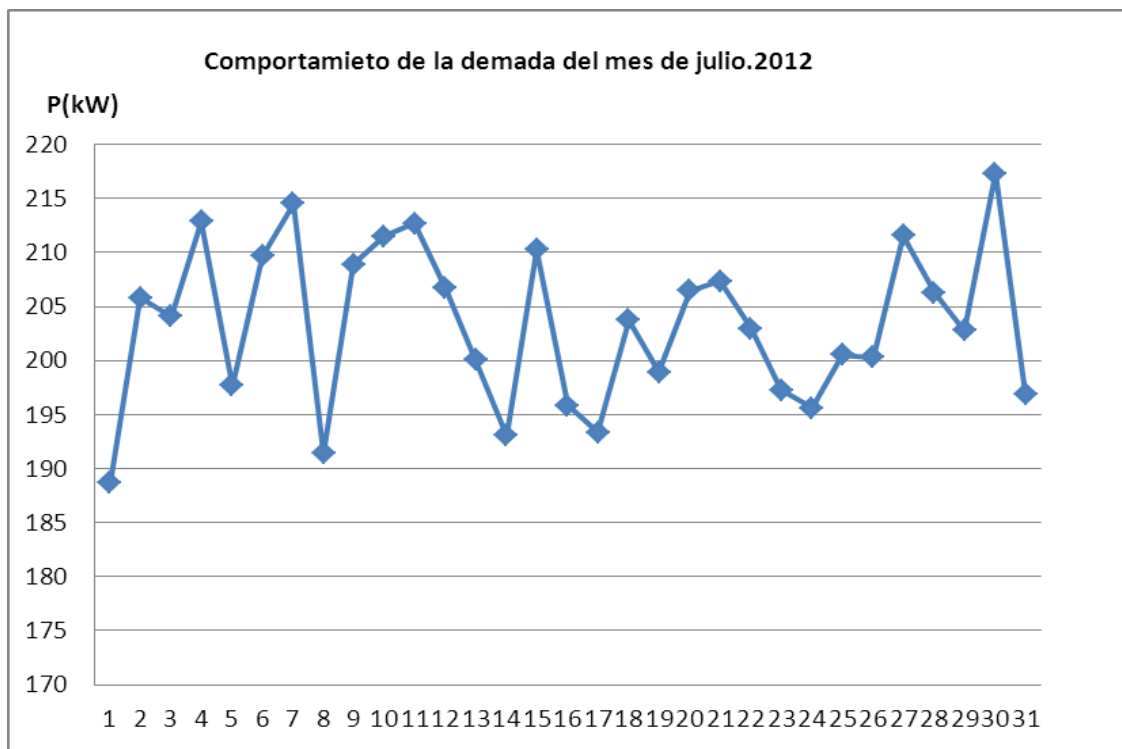
WSOS, Versión 5. Software utilizado para descargar los datos obtenidos de las lecturas de los interruptores NuLec.

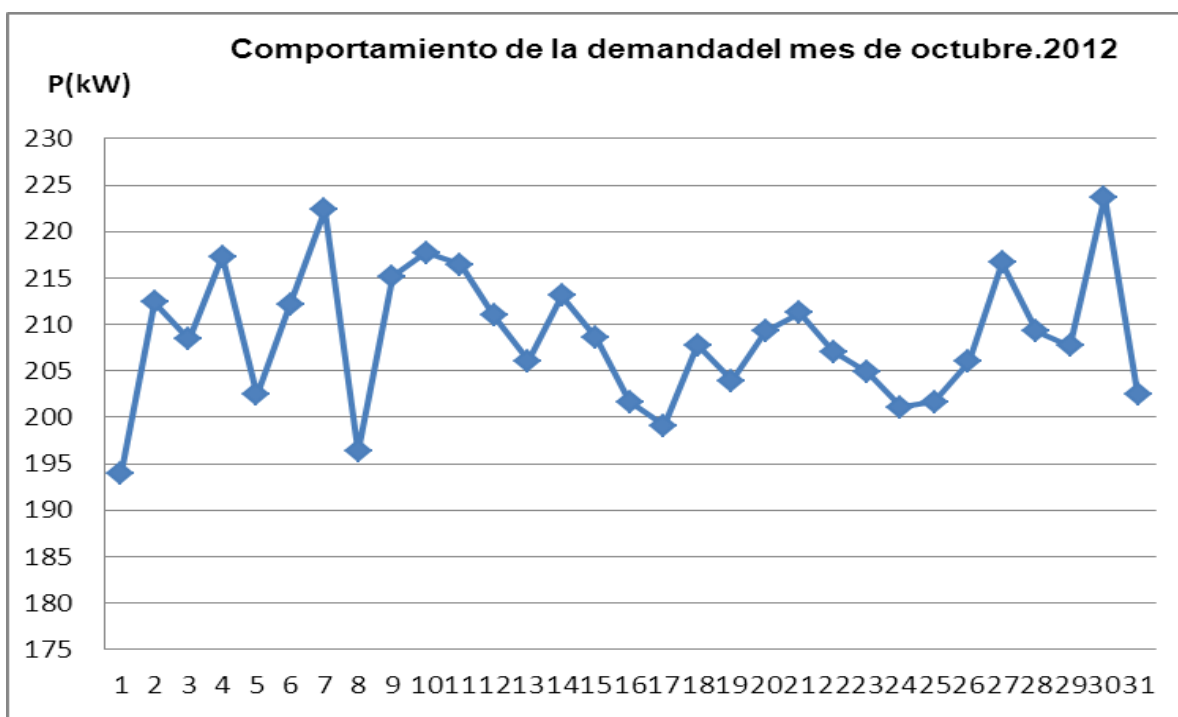
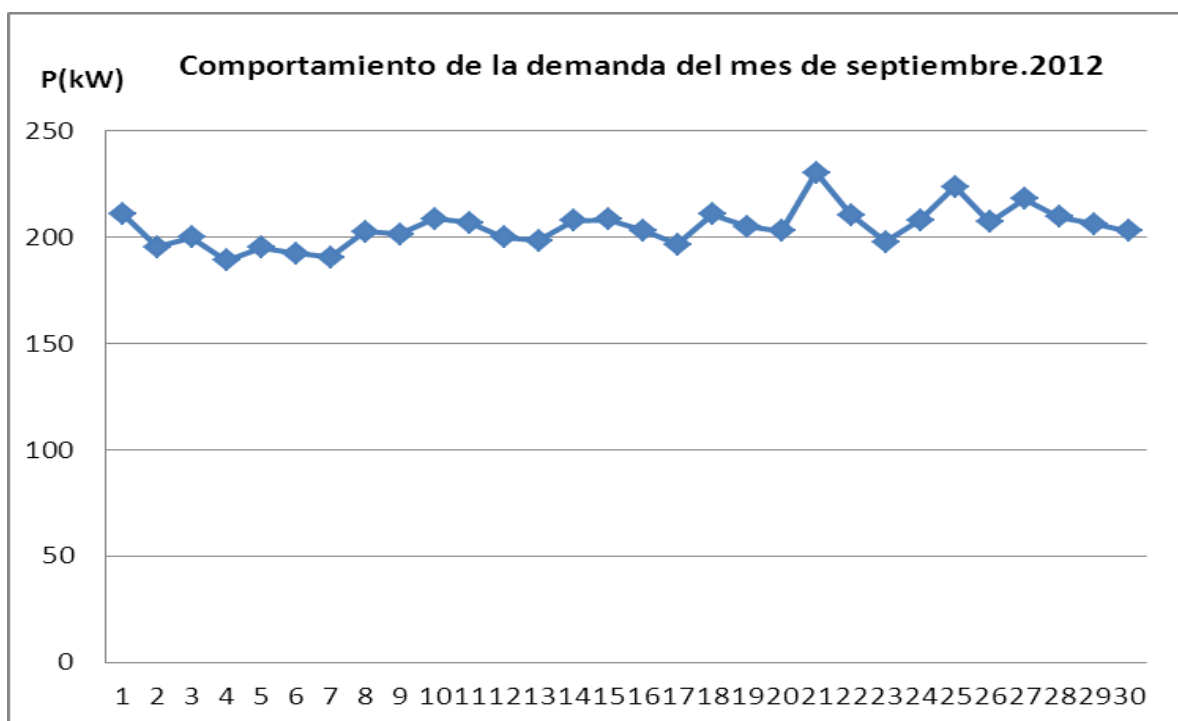
MICROSOF EXEL, Utilizado para el procesamiento de los datos generados por el grupo electrógeno de Cabonico.

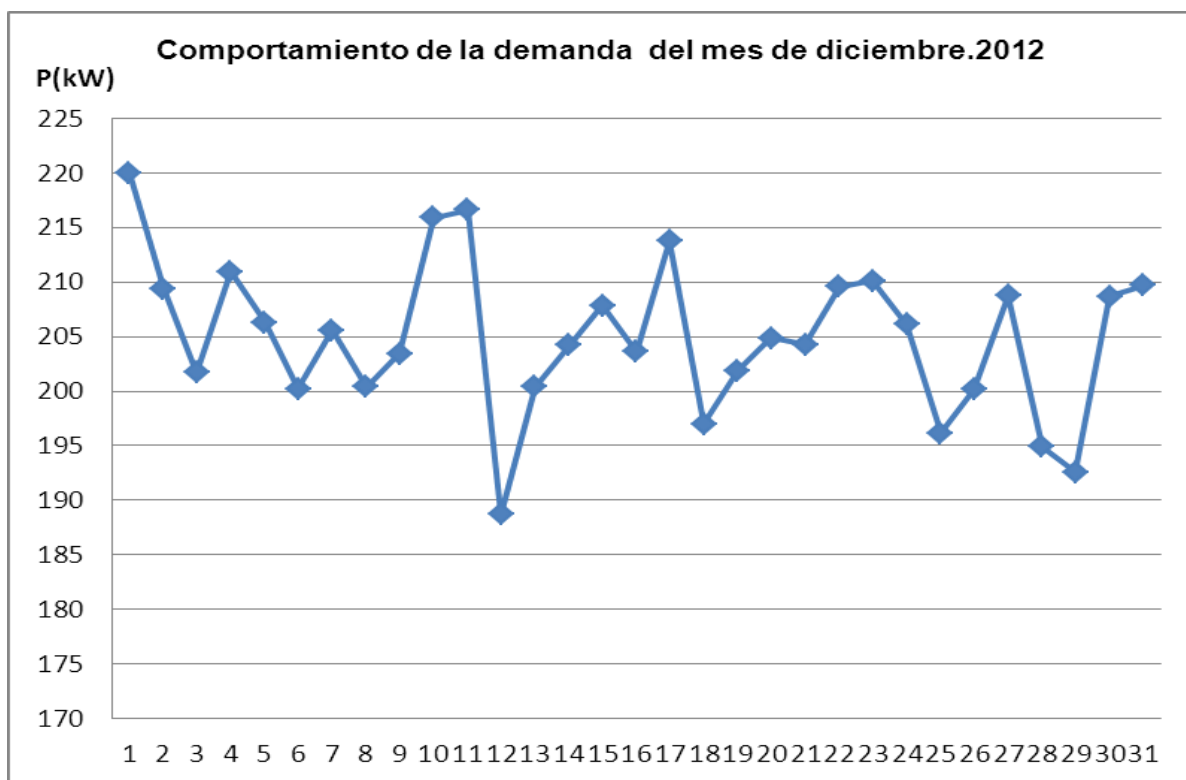
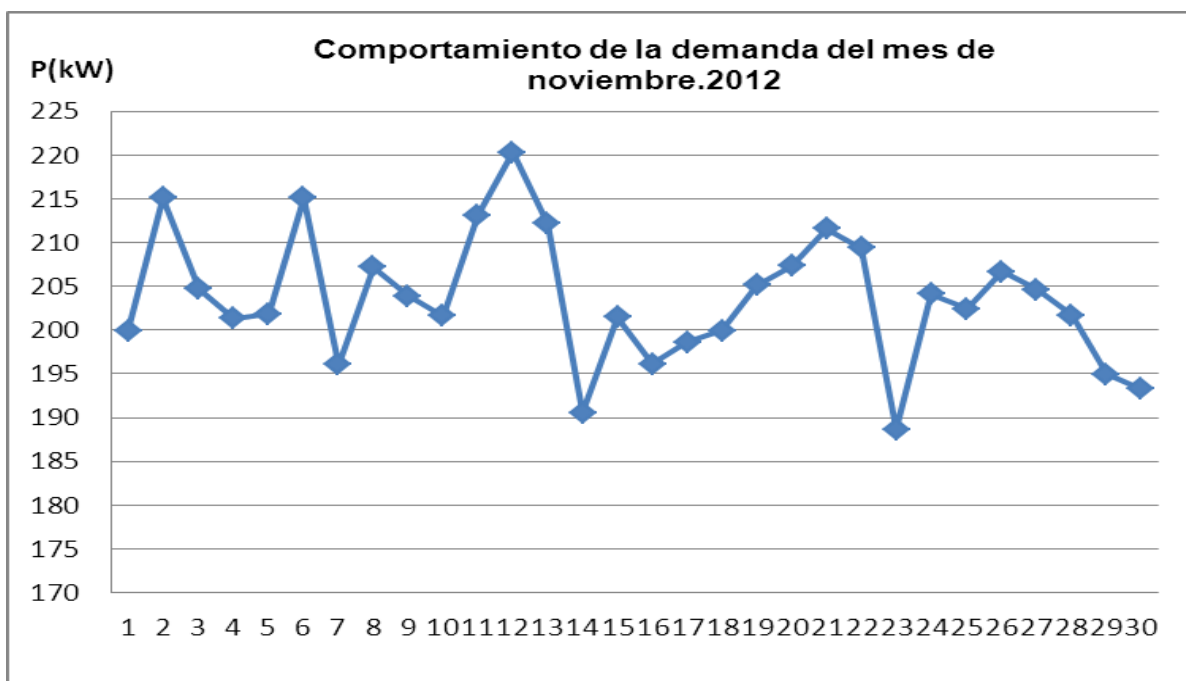
Anexo 2. Curvas de demanda mensual.











Anexo 3. Datos de generación del grupo electrógeno de Cabonico.**Datos de generación del grupo electrógeno.**

Fecha	Generación	Horas de trabajo
3.12.12	561	1
4.12.12	626	1
6.12.12	2298	3
8.12.12	907	2
9.12.12	1506	2
10.12.12	1121	2
12.12.12	861	1
14.12.12	569	1
18.12.12	878	1
19.12.12	1156	2
26.12.12	1409	2
28.12.12	932	1
13.01.13	1414	3
15.01.13	806	1
16.01.13	1245	2
22.01.13	561	1
21.2.13	155	0
4.3.13	1533	2
5.3.13	731	1
13.3.13	1825	3
14.3.13	249.isla	1
15.3.13	1480	2
8.4.13	1516	2
9.4.13	1503	3
17.4.13	1385	2
18.4.13	884	1
19.4.13	826	1
20.4.13	2082	4
25.4.13	2235	3
5.5.13	2310	3
6.5.13	6067	10
7.5.13	1078	1
8.5.13	2328	3
10.5.13	674	1
11.5.13	1219	3
13.5.13	2015	2
14.5.13	3323	5
15.5.13	2178	3
16.5.13	3206.isla	8
17.5.13	1392	3
18.5.13	796	1
19.5.13	317.isla	1
21.5.13	1633	2
22.5.13	2461	4
23.5.13	1767	2
28.5.13	2019	3
30.5.13	8079	12
31.5.13	3670	5