



REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
FACULTAD DE METALURGIA ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma en Opción al Título Ingeniero Electricista.

*Título: Análisis del comportamiento de la Central Eléctrica Fuel Moa en
modo isla a partir de simulación en Power Factory.*

Autor: Osmany Miguel Peña Roche

Tutor: Ms. C Yordan Guerrero Rojas

Dr. C Ignacio Romero Rueda

*Moa – 2018.
“Año 60 de la Revolución”*



Declaración de Autoridad.

Yo: Osmany Miguel Peña Roche

Autor de este Trabajo de Diploma, certifico su propiedad a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Tutor

Autor



Pensamiento.

“Tomar precaución ayuda a que la vida sea más fácil, útil, eficiente y nos aleja del peligro que puede atentar en contra de nuestra creación”

Osmany Miguel Peña Roche



Dedicatoria.

Dedico este trabajo de diploma de una forma muy especial y antes que nada en este mundo a mi padre Osmany Peña Aguilar y a mi madre Maribel Roche Pérez, los cuales supieron educarme y comprenderme con su amor y cariño. A mi hermana Yarisbel Peña Roche quien me ha brindado su apoyo en todo este tiempo de mi superación y a mí novia Yamilet Grau Viñales quien todo el tiempo me estuvo encaminando en los momentos difíciles. También a todos mis familiares y amigos que de una forma u otra me han ayudado para alcanzar el éxito.

Para todos Gracias.

Osmany Miguel Peña Roche.



Agradecimientos.

A mi familia, mi novia y mis mejores amigos, quienes siempre han sido mi inspiración a superar cualquier dificultad a que me enfrentado, durante toda mi vida. A la Revolución un agradecimiento especial, por haberme dado la posibilidad de estudiar y a mi tutor el Ms. C Yordan Guerrero Rojas y el Dr. C Ignacio Romero Rueda, por ayudarme a que este sueño se haga realidad y formarme como un profesional. Al Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz quien ha sido guía en mis éxitos. A todas aquellas personas que de una forma u otra han colaborado para que este trabajo de diploma se realizara satisfactoriamente.

A todos

Muchas Gracias.



Resumen.

En el presente trabajo de diploma se desarrolla un análisis de los parámetros eléctricos de la Central Fuel Oil de Moa en modo Isla. Para la preparación de este estudio se simuló dicho sistema recurriendo al programa informático DlgSILENT Power Factory a través de la modelación matemática: Ecuaciones de Newton-Raphson creando modelos que responden a todos los componentes de la Central tales como: generadores, transformadores, consumidores internos y barras; se introdujeron los datos correspondientes a cada modelo, recogidos de los documentos técnicos en la misma Central al igual que se crearon modelos para la red de transmisión, subtransmisión y distribución. Empezando por la creación de líneas de transmisión con sus datos correspondientes, recogidos en las fichas técnicas de las Empresas Eléctricas de cada región y terminando con la formación de la red de distribución a través de la data de demanda extraída de los Nulecs en cada región agregándose paulatinamente las regiones desde Moa hasta Canela. A lo largo de la simulación se observó como el sistema aislado trabaja con toda normalidad al adicionar los circuitos desde Moa hasta Nicaro. Al agregar los circuitos de Nipe, Banes y Canela se experimenta una gran caída de tensión la cual responde a una inestabilidad en el sistema, indicando que la Central Fuel Oil de Moa, trabajando eficientemente hasta la region de Nicaro en cuanto a los parametros eléctricos mas importantes.



Abstract.

In the present work of diploma develops an analysis of the electrical parameters of the Moa Central Fuel Oil in Island mode. For the preparation of this study was simulated this system using the computer program DlgSILENT Power Factory through mathematical modeling: Equations of Newton-Raphson creating models that respond to all the components of the Central such as: generators, transformers, internal consumers and bars; the data corresponding to each model, collected from the technical documents in the same Central, were introduced as well as models were created for the transmission, subtransmission and distribution network. Beginning with the creation of transmission lines with their corresponding data, collected in the technical sheets of the Electric Companies of each region and ending with the formation of the distribution network through the demand data extracted from the Nulecs in each region, adding gradually the regions from Moa to Canela. Throughout the simulation it was observed how the isolated system works with all normality when adding the circuits from Moa to Nicaro. When adding Nipe, Banes and Canela circuits, a large voltage drop is experienced which responds to an instability in the system, indicating that the Moa Central Fuel Oil, working efficiently to the Nicaro region in terms of electrical parameters more important



ÍNDICE	
DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.	I
PENSAMIENTO.	II
DEDICATORIA.	III
AGRADECIMIENTOS.	IV
RESUMEN.	V
ABSTRACT.	VI
CAPÍTULO 1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.	5
1.1 REDES Y SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	5
1.1.1 Especificación técnica de un sistema de distribución.	6
1.1.2 Clasificación de los Sistemas de Distribución.	6
1.1.3 Sistemas de distribución industrial.	7
1.1.4 Sistemas de distribución comerciales.	7
1.1.5 Sistemas de distribución urbana.	7
1.1.6 Sistemas de distribución rural.	7
1.1.7 Características de operación.	8
1.2 ESQUEMAS DE SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN.	8
1.3 TRANSFORMADORES.	12
1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES.	12
1.5 LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN.	14
1.5.1 Grupos Electrógenos.	15
1.5.2 Condiciones de la conexión para el funcionamiento en paralelo.	17
1.6 PARTICULARIDADES DEL FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR A CARGA AUTÓNOMA.	24
1.7 SOFTWARE SIMULADOR.	25
1.8 NORMAS DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL MAN B&W	26
1.8.1 Alternador Sincrónico	29



1.9 OPERACIÓN EN MODO ISLA.....	31
CAPÍTULO 2. DEMANDA Y LÍMITES PERMISIBLES DE GENERACIÓN.....	33
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN MUNICIPAL.....	33
2.1.1 Características de las líneas de subtransmisión.....	33
2.1.2 Características de los circuitos de distribución.....	34
2.1.3 Circuitos residenciales del municipio Moa.....	35
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA CENTRAL FUEL OIL MOA.....	37
2.2.1 Descripción Técnica de la CTE Moa.....	38
2.2.2 Procedimiento para el arranque en Negro de la Central Fuel Oil Moa.....	39
2.2.3 Descripción del flujo tecnológico de la CTE de Moa.....	40
2.3 MOTORES DIÉSEL MAN.....	42
2.4 MODOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL FUEL OIL MOA.....	43
2.4.1 Modo paralelo con la red de suministro.....	43
2.4.2 Modos de funcionamientos auxiliares.....	44
2.5 ESTIMACIÓN DE DEMANDA.....	45
2.6 MODELOS PARA LA SIMULACIÓN.....	49
2.6.1 Modelos de la Central Eléctrica Fuel de Moa.....	49
2.7 SIMULACIÓN EN POWER FACTORY.....	56
CAPÍTULO 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS AMPLIANDO EL MODO AISLADO.....	59
3.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SIMULACIÓN A UN 20% DE GENERACIÓN CONTRA LA DEMANDA MÁXIMA RESIDENCIAL Y MINI ESTATAL.....	59
3.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SIMULACIÓN A UN 40% DE GENERACIÓN AGREGANDO A MI SISTEMA LAS FABRICAS PEDRO SOTTO ALBA, ERNESTO CHE GUEVARA Y LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA NUEVO MUNDO.....	60
3.3 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SIMULACIÓN A UN 60% DE GENERACIÓN AGREGANDO LOS CIRCUITOS DE BARACOA, SAGUA DE TANAMO Y EL RESTO DEL 0-570.....	61



3.4	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SIMULACIÓN A UN 80% DE GENERACIÓN AGREGANDO AL MODO AISLADO EL CIRCUITO DE NICARO.....	62
3.5	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SIMULACIÓN A UN 100% DE GENERACIÓN AGREGANDO LOS CIRCUITOS DE NIPE, BANES Y CANELA	63
3.6	VALORACIÓN TÉCNICA Y SOCIAL.....	67
	CONCLUSIONES.	68
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍAS	70
	ANEXOS	



Índice de figuras.

Figura. 1.1 Esquema de subestación de barra simple.	9
Figura. 1.2 Esquema de subestación con barra seccionada por disyuntor.	9
Figura. 1.3 Esquema de subestación con barra simple con seccionador en derivación.	10
Figura. 1.4 Esquema de subestación con barra mixta.	10
Figura. 1.5 Esquema de subestación con barra principal y transferencia.	11
Figura. 1.6 Esquema de subestación con barra doble con disyuntor y medio de salida.	11
Figura. 1.7. Esquema de conexión de alternadores sincrónicos para el funcionamiento en paralelo con el sistema (Núñez, 2010).	18
Figura 1.8 a) Generador conectado en paralelo con otra máquina de igual tamaño. b) Diagrama de casa correspondiente, en el momento en el que el generador 2 es puesto en paralelo con el sistema. c) Efecto de aumentar los puntos de ajuste del gobernador del generador 2 en la operación del sistema) Efecto de incrementar la corriente de campo del generador 2, en la operación del sistema (Núñez, 2010).	21
Figura 1.9 Diagrama de casa dos generadores de diferente potencia (Núñez, 2010).	21
Figura 1.10 a) Cambio en la distribución de potencia sin afectar la frecuencia del sistema. b) Cambio en la frecuencia del sistema sin afectar la distribución de potencia. c) Cambio en la distribución de potencia reactiva sin afectar el voltaje en los terminales. d) Cambio en el voltaje en terminales sin afectar la distribución de potencia reactiva (Núñez, 2010).	24
Figura. 2.1 Comportamiento de la demanda residencial y estatal. Diciembre 2017/Abril 2018.	45
Figura. 2.2 Comportamiento de la demanda de Moa por circuitos.	48
Figura. 2.3 Comportamiento de la demanda por subestaciones residenciales principales.	48



Figura 2.4 Conexión de los generadores MAN de 18400 kW a las Barras de 13,8 kV.....	51
Figura 2.5 Transformadores elevadores de salida conectado a las Barras de 13,8kV y a los 10 generadores MAN	52
Figura 2.6 Monolineal de la Central Fuel Oil de Moa en Power Factory	56
Figura 3.1 Comportamiento de los generadores G10 y G5 de la Central Fuel Oil de Moa con la demanda residencial y mini estatal.....	59
Figura 3.2 Comportamiento de los generadores G10, G5 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa con la demanda residencial, mini estatal, las fábricas de níquel y la Hidroeléctrica.....	61
Figura 3.3 Comportamiento de los generadores G10, G5, G8 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo asilado los circuitos de Baracoa, Sagua de Tanamo y el resto del 0-570.....	62
Figura 3.4 Comportamiento de los generadores G10, G9, G8, G5 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo aislado la demanda máxima del circuito de Nicaro	63
Figura 3.5 Comportamiento de los generadores de la Central Fuel Oil de Moa con 100% de generación teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo aislado los circuitos de Nipe, Banes y Canela.....	64
Figura 3.6 Comportamiento de la tensión de las Barras de la subestación que se encuentra en la Central Fuel Oil de Moa a partir de la simulación desde Moa hasta Canela	65
Figura 3.7 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Nicaro 220 kV	65
Figura 3.8 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Nipe 110 kV	66
Figura 3.9 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Banes 110 kV.....	66



Lista de tablas.

Tabla 1.1 Clasificación de las redes según los niveles de tensión.....	13
Tabla 1.2 Relación entre incremento de la temperatura en ° C y el aislamiento de un alternados sincrónico	30
Tabla 1.3 Relación de reducción de la temperatura en ° C del alternados sincrónico y la temperatura del ambiente	30
Tabla 2.1 Características de las líneas de Subtransmisión	33
Tabla 2.2 Subestaciones de distribución más importantes.	34
Tabla 2.3 Características de las líneas de distribución por circuitos.....	34
Tabla 2.4 Equipamiento y ubicación de la sala de Maquina.	38
Tabla 2.5 Equipamiento y ubicación del Anexo Eléctrico.....	38
Tabla 2.6 Equipamiento y ubicación de otras áreas	39
Tabla 2.7 Regiones que se fueron agregando al modo isla.....	46
Tabla 2.8 Demanda Máxima de los circuitos residenciales, mini estatales y estatales de Moa.....	47
Tabla 2.9 Comportamiento de las demandas de los circuitos estatales de Moa.....	47
Tabla 2.10 Potencia Activa(P) y Potencia Reactiva(Q) de los Paneles de Control	55
Tabla 2.11. Por cientos de explotación de la Central Fuel Oil de Moa.....	57



Introducción.

El suministro de la energía eléctrica es vital e indispensable para el desarrollo económico y social de cualquier país, de quien prácticamente todas las actividades de la sociedad moderna tienen dependencia, en mayor o menor grado, debe ser suficiente, estable, confiable y a un costo razonable con condiciones que aseguren un normal desarrollo.

En la década de los noventa en Cuba el 94% de la energía eléctrica era producida por el Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) Centralizado (tradicional), mientras que el 6% era suplido por fuentes renovables y no renovables de energía, teniendo en cuenta que la generación de electricidad mediante el empleo de combustibles fósiles actualmente se ha convertido en un problema económico insostenible; desde el 2006 hasta la actualidad el país elabora veintiocho programas para lograr la invulnerabilidad energética por medio de la Revolución Energética. A partir de entonces se comienzan a instalar fuentes generadoras de forma distribuida a lo largo de todo el país, creando una nueva estructura en el SEP tradicional, convirtiendo a las centrales eléctricas, en protagonistas iniciales de la Generación Distribuida.

Para que haya un equilibrio en cuanto a lo estable, confiable, suficiente y económico de la entrega de esta energía a sus consumidores se requiere de una compleja infraestructura de elementos tecnológicos, uno de estos elementos que ayudan a tal eficiencia es el implemento de programas informáticos capaces de hacer grandes simulaciones eléctricas que nos permiten el análisis inmediato y anticipado de todos los procesos eléctricos que ocurren en dichas centrales eléctricas (FUEL), uno de estos programas es el Power Factory que es el más capaz y eficiente de todos los programas a lo que simulaciones eléctricas se refieren, el cual a partir de simulaciones de cualquier magnitud nos puede dar una visualización anticipada de cualquier proceso o cambio eléctrico que se vaya a hacer en la central eléctrica (FUEL) ya que la manipulación en caliente de



dichos procesos puede ser fatal si no se tiene una idea de los parámetros eléctricos que se van a obtener.

Situación problemática.

Se ha convertido en un reto la operación en isla intencional con Grupos Electrónicos (GE), por la complejidad del diseño del sistema de protecciones, o por determinar qué potencia se debe generar en función de la carga conectada en isla. La desconexión de la Central Fuel Moa del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), conlleva al cumplimiento de requisitos para garantizar el adecuado funcionamiento de este tipo de generación. Estudios realizados han demostrado que la demanda del municipio se incrementa anualmente, hoy no se cuenta con un modelo para la simulación del comportamiento de los parámetros eléctricos fundamentales durante la asimilación de carga en la operación aislada, por lo que puede incurrirse en el método de prueba y error para el análisis de las variables eléctricas.

Problema.

¿Cómo responden los principales parámetros eléctricos de la Central Fuel Moa ante la asimilación de demanda en modo isla?

Objeto de Estudio.

Central Fuel Oil de Moa en Modo Isla

Campo de Acción.

Análisis del comportamiento de las principales variables eléctricas de la Central Fuel Oil de Moa en Modo Isla



Hipótesis.

Si se simula el comportamiento en isla de la Central Fuel Moa ante la asimilación de carga y se identifican los límites en la relación generación-demanda, se puede alcanzar un trabajo eficiente de la instalación, estableciendo una correspondencia entre los parámetros eléctricos y las respuestas de las máquinas durante este funcionamiento aislado.

Objetivo general.

Establecer un modelo para simular y obtener la relación entre los principales parámetros eléctricos de la Central Fuel Moa ante la asimilación de demanda en modo isla.

Objetivos específicos.

1. Documentar las referencias bibliográficas y fundamentos teóricos sobre el tema.
2. Caracterizar el sistema de distribución del municipio.
3. Simular el comportamiento de los parámetros eléctricos en función de diferentes porcentajes de demanda y generación.

Resultados esperados.

1. Actualización de la data de demanda y monolineal de la Central Eléctrica Moa.
2. Establecimiento de los límites permisibles para la operación eficiente de la instalación.
3. Simulación de la dependencia entre demanda y generación para diferentes porcentajes de funcionamiento.



Capítulo 1

Sistemas de Distribución.



CAPÍTULO 1. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

1.1 Redes y sistemas de distribución de energía eléctrica.

La red de transmisión de la energía eléctrica o sistema de transmisión de energía eléctrica es un subsistema del Sistema Eléctrico de Potencia cuya función es el suministro de energía desde la fuente de generación, generalmente a 220 kV, hasta la subestación de subtransmisión de 34,5 kV. A partir de la cual comienza la red de distribución a 13,8 kV hasta los usuarios finales (Núñez, 2010).

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- Subestación de Distribución: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas o circuitos.
- Circuito Primario: Consiste en la línea aérea o soterrada que sale de la subestación de distribución y alimenta a los transformadores monofásicos o trifásicos de los clientes finales.
- Circuito Secundario: Es el que parte de los transformadores conectados al circuito primario y alimenta los clientes finales a baja tensión.

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

1. La primera está constituida por la red de transmisión, que, partiendo de las subestaciones de transformación, reparte la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, o con líneas doble circuito, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 65 y 220 kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de



distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

2. La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 4,16 a 34,5 kV y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros son bajas (120/240 ó 240/480 V) (Núñez, 2010).

1.1.1 Especificación técnica de un sistema de distribución.

Los principales datos de sistema eléctricos son la tensión nominal y potencia nominal, la frecuencia nominal, impedancia y su comportamiento en caso de cortocircuito. Los sistemas de distribución de energía eléctrica comprenden niveles de alta, baja y media tensión.

1.1.2 Clasificación de los Sistemas de Distribución.

Dependiendo de las características de las cargas, los volúmenes de energía involucrados, y las condiciones de confiabilidad y seguridad con que deban operar, los sistemas de distribución se clasifican en (Díaz, 2011):

- Industriales.
- Comerciales.
- Urbana.
- Rural.



1.1.3 Sistemas de distribución industrial.

Comprende a los grandes consumidores de energía eléctrica, tales como las industrias del acero, níquel, químicas, petróleo, papel, etc., que generalmente reciben el suministro eléctrico en alta tensión. Es frecuente que la industria genere parte de su demanda de energía eléctrica mediante procesos a vapor, gas o diésel.

1.1.4 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.

1.1.5 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.

1.1.6 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 kW/h 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.

1.1.7 Características de operación.

Para comprobar las características de operación, confiabilidad y seguridad de un sistema de distribución industrial, es necesario efectuar una serie de estudios analíticos; los cuales entregan índices de funcionamiento, cuya exactitud dependerá del modelo empleado en la representación del sistema. Los estudios típicos que se efectúan en un sistema de distribución industrial son los siguientes:

- Flujos de potencia.
- Cálculo de corrientes de cortocircuito.
- Regulación de tensión y compensación de reactivos.
- Arranque de motores.

1.2 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 (CADAFE, 2011), tenemos:

Esquema de barra simple.

Está conformado por una sola barra continua a la cual se conectan directamente los diferentes tramos de la subestación como se muestra en la figura 1.1.

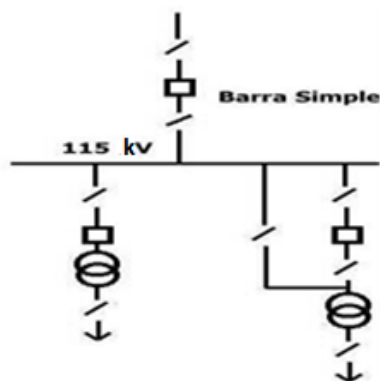


Figura. 1.1 Esquema de subestación de barra simple.

Esquema de barra seccionada por un disyuntor.

Está constituido por dos barras principales, con posibilidad de acoplamiento entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados, ver figura 1.2.

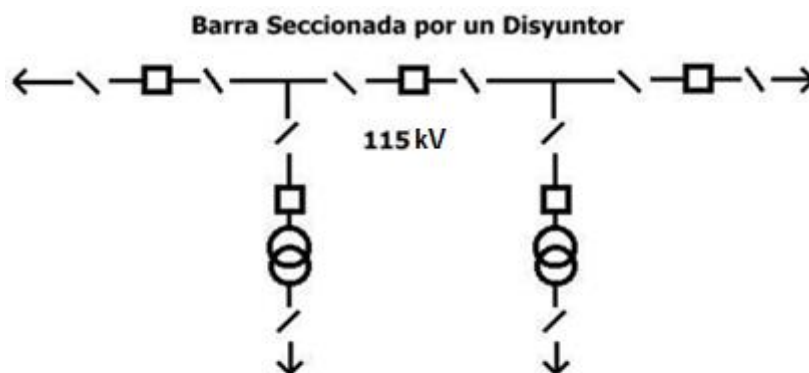


Figura. 1.2 Esquema de subestación con barra seccionada por disyuntor.



Esquema de barra simple con seccionadores en derivación.

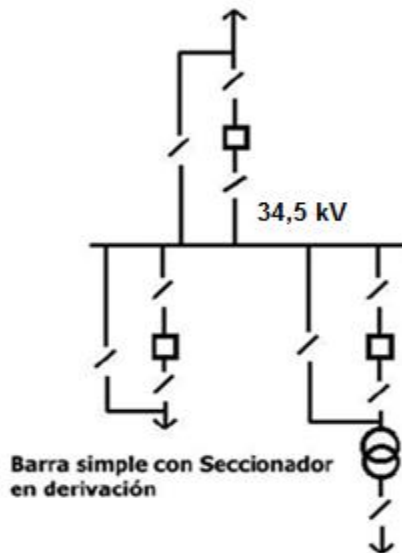


Figura. 1.3 Esquema de subestación con barra simple con seccionador en derivación.

Similar al esquema de barra simple, y difieren en que los tramos tienen adicionalmente un seccionador en derivación (By-Pass), ver figura 1.3.

Esquema de barra doble (mixta).

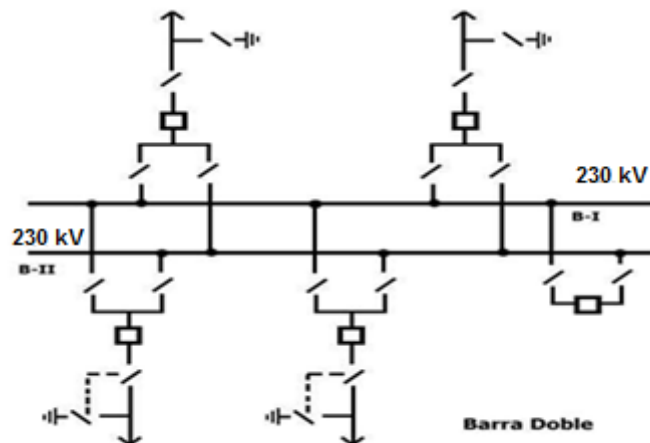


Figura. 1.4 Esquema de subestación con barra mixta.



Está constituido por dos barras principales, las cuales se acoplan entre sí mediante un disyuntor y sus seccionadores asociados, ver figura 1.4.

Esquema de barra principal y transferencia.

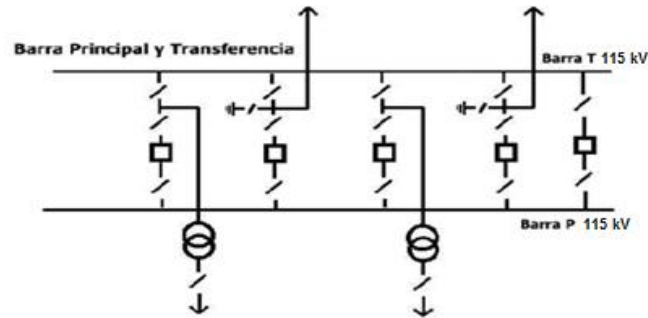


Figura. 1.5 Esquema de subestación con barra principal y transferencia.

Está constituido por una barra principal y una de transferencia, que permita la transferencia de tramos, ver figura 1.5.

Esquema de barra doble con disyuntor y medio de salida.

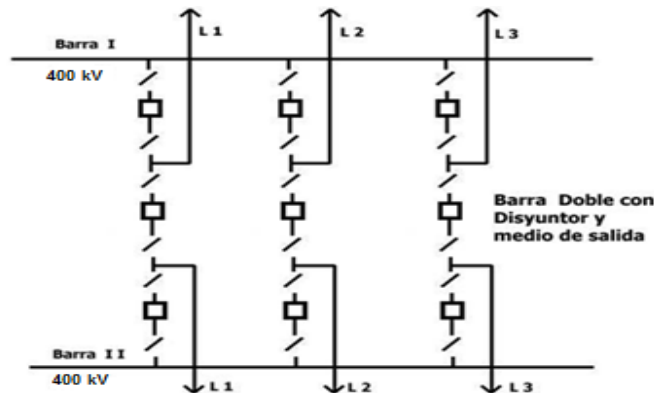


Figura. 1.6 Esquema de subestación con barra doble con disyuntor y medio de salida.

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, ver figura 1.6.



1.3 Transformadores.

Hay dos tipos principales de transformadores de potencia que se diferencian por su forma constructiva, transformadores sumergidos en aceite y secos. Existen cuatro tipos de transformadores sumergidos (Garrido, 2008):

1. Sumergidos respirantes
2. Sumergidos de colchón de gas.
3. Sumergidos con conservador.
4. Sumergidos de llenado integral.

Actualmente sólo se instalan los últimos.

1.4 Clasificación de las redes.

Según el Reglamento Electrotécnico (ARMAS, Cuba 2006), las concesiones de servicio público de distribución son aquellas que habilitan a su titular para establecer, operar y explotar instalaciones de distribución de electricidad dentro de una zona determinada (llamada comúnmente zona de concesión), y efectuar suministro de energía eléctrica a usuarios. Este suministro puede realizarse a varios niveles de tensión (Tabla 1.1).

Las redes de alta tensión son llamadas comúnmente en esta parte de los sistemas como: “alimentadores”, las que pueden ser tanto aéreas como subterráneas, y que, a la vez, pueden alimentar directamente a clientes de grandes potencias que cuentan con transformadores propios, o bien, a subredes por medio de transformadores de baja tensión de distribución, a las que se conectan clientes que poseen niveles de potencia bajos y medianos. A estas redes de baja tensión normalmente se les llama: circuitos.



Tabla 1.1 Clasificación de las redes según los niveles de tensión.

Nivel de tensión	"V" (kV)
Tensión extra alta	$V > 220$
Tensión alta	$60 < V \leq 220$
Tensión media	$1 < V \leq 60$
Tensión baja	$0.1 < V \leq 1$
Tensión reducida	$V \leq 0.1$

Las empresas presentan principalmente dos esquemas de alimentación: los sistemas radiales y los anillados. Los sistemas radiales son los de uso principal, consisten en poseer un conjunto de alimentadores, que suministran potencia en forma individual, a un grupo de transformadores. Cuando una red radial alimenta a transformadores, se obtienen las redes de distribución de media tensión y con ellas las de baja, normalmente trifásicas de cuatro hilos, y generalmente del tipo sólidamente aterradas. Una desventaja de los sistemas radiales es que, al fallar un transformador, su alimentador en alta tensión, o en media, todos los clientes de baja tensión asociados a ese transformador quedan sin suministro. No son redes que aseguren una buena continuidad del servicio, pero son económicas.

1. Los sistemas anillados en alta tensión, se caracterizan por tener el lado primario del transformador conectado a una barra donde le llegan dos puntos de alimentación, proporcionando así una continuidad del servicio en caso de que ocurra una falla en alguno de los extremos de alimentación. Pudiéndose suministrar la energía por el punto de alimentación que está en operación sin falla. Como se había mencionado anteriormente una gran ventaja que presenta esta topología es la continuidad del servicio no así en un circuito radial, no obstante, cabe mencionar que el sistema se hace más complejo en las operaciones (ARMAS, Cuba 2006).



1.5 La Generación Distribuida y las redes de distribución.

Debido a que los sistemas de generación distribuida (GD) se conectan a la red de distribución, cada vez se están dedicando más esfuerzos al estudio del impacto que ocasiona la generación distribuida en las redes de distribución a las cuales se conecta (Núñez, 2010).

Las principales desventajas son:

- Fluctuaciones de voltaje que afectan a los consumidores vecino
- Requiere un sistema de adquisición de datos más complejo.
- Alto costo de inversión inicial.
- La falta de estándares para la conexión de pequeños generadores impide su desarrollo.

Los más importantes se centran en:

1. Incentivos a las tecnologías de GD para su desarrollo (mecanismos regulatorios: primas, tarifas, certificados verdes etc.).
2. Las nuevas inversiones y la planificación de la Distribución teniendo en cuenta la GD.
3. Las potencias de cortocircuito en la red con GD.
4. Los servicios complementarios en la red con GD (regulación de frecuencia -, control tensión - potencia reactiva).
5. Las pérdidas en la red con GD.
6. La operación y explotación de red con GD.
7. La seguridad del personal de mantenimiento con GD.



1.5.1 Grupos Electrógenos

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna (PLATA, Argentina, 2011).

Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas, como hospitales, centro de datos, centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, etc.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia: hospitales, fábricas, etc., lugares en los que la energía eléctrica de red es insuficiente y es necesaria otra fuente de energía alterna para abastecerse.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes más importantes:

- Motor. El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de gasolina y de gasoil (diésel). Generalmente los motores diésel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.
- Regulación del motor. El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier



variación de la velocidad del motor 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, una/s batería/s, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Normalmente, un motor dispone de un mano contacto 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. El 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/aceite consta de un radiador, 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 vaya a 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 grupo electrógeno está dotado de tacos anti vibrantes 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. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo electrógeno.
- Interruptor automático de salida. Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida conveniente, para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno con control manual. Para grupos electrógenos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo apropiado y régimen de salida.

Cuando el grupo se encuentra en un lugar muy apartado del operario y funciona las 24 horas del día es necesario instalar un mecanismo para restablecer el combustible gastado. Consta de los siguientes elementos:

- Bomba de trasiego. Es un motor eléctrico de 220 VCA en el que va acoplado una bomba que es la encargada de suministrar el combustible al depósito. Una boya indicadora de nivel máximo y nivel mínimo detecta un nivel muy bajo de combustible en el depósito y activa la bomba de trasiego.

1.5.2 Condiciones de la conexión para el funcionamiento en paralelo.

El esquema de conexión del generador sincrónico trifásico para el funcionamiento en paralelo con el sistema está mostrado en la figura 1.7.

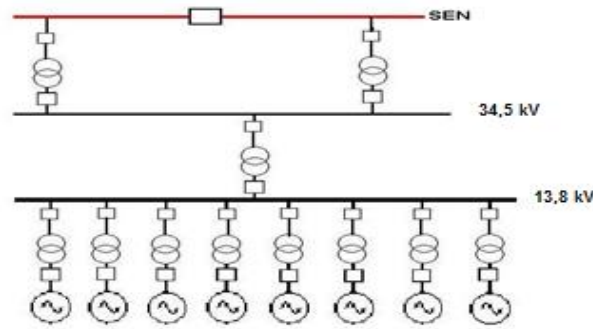


Figura. 1.7. Esquema de conexión de alternadores sincrónicos para el funcionamiento en paralelo con el sistema (Núñez, 2010).

Cuando un generador opera solo, las potencias activa y reactiva (P y Q) suministradas por el generador son constantes, deben ser iguales a las demandadas por la carga, y la frecuencia y el voltaje en terminales varían de acuerdo con los puntos de ajuste del gobernador automático del generador y la corriente de campo. Cuando un generador opera en paralelo con una barra infinita, este determina que la frecuencia y el voltaje en los terminales sean constantes, y las potencias activas y reactiva varían de acuerdo con los puntos de ajuste del gobernador automático del generador y la corriente de campo (Chamba, 2010).

Si un generador se conecta en paralelo con otro de igual tamaño, el sistema resultante se muestra en la figura **1.8a**. En este sistema, la restricción básica es que la suma de las potencias activa (P) y reactiva (Q) suministradas por los dos generadores debe ser igual a las potencias P y Q demandadas por la carga. La frecuencia del sistema y la potencia de un generador no están restringidas a ser constantes. El diagrama potencia-frecuencia para tal sistema, inmediatamente después que el segundo generador, G_2 ha sido puesto en paralelo con la línea, se muestra en la figura **1.8b**. Aquí, la potencia total P_{tot} (la cual es igual a la potencia de carga P_{carga}) está dada por:



$$P_{tot} = P_{carga} = PG_1 + PG_2 \quad (1.1)$$

y la potencia reactiva por

$$Q_{tot} = Q_{carga} = QG_1 + QG_2 \quad (1.2)$$

Cuando se incrementa la calibración en los puntos de ajuste del gobernador de G_2 , los puntos de ajuste del gobernador de G_2 , aumentan, la curva potencia-frecuencia de G_2 , se desplaza hacia arriba, como se muestra en la figura **1.8c**. Siempre teniendo en cuenta que la potencia total suministrada a la carga no debe cambiar. A la frecuencia original f_1 , la potencia suministrada por G_1 y G_2 , será ahora mayor que la potencia demandada por la carga; entonces, el sistema no puede continuar operando a la misma frecuencia de antes. En efecto, hay una sola frecuencia a la cual la suma de las potencias de salida de los dos generadores es igual a P_{carga} .

Esta frecuencia f_2 es mayor que la frecuencia original de operación del sistema. A esa frecuencia, G_2 suministra más potencia que antes, y G_1 suministra menos.

Por tanto, cuando dos generadores operan conjuntamente, un ajuste que incremente los puntos de calibración del gobernador en uno de ellos:

1. Incrementa la frecuencia del sistema.
2. Incrementa la potencia suministrada por ese generador mientras reduce la potencia su ministrada por el otro.

Si se aumenta la corriente de campo de G_2 el comportamiento resultante es análogo a la situación de potencia real y se muestra en la figura **1.8d**. Cuando dos generadores operan conjuntamente y se incrementa la corriente de campo de G_2 :

1. Se incrementa el voltaje en los terminales del sistema.



2. Se incrementa la potencia reactiva Q suministrada por ese generador, mientras que disminuye la potencia reactiva suministrada por el otro generador.

Si se conocen las pendientes y las frecuencias de vacío de las curvas de caída de velocidad del generador (frecuencia-potencia), las potencias suministradas por cada generador y la frecuencia resultante del sistema se pueden determinar cuantitativamente.

La potencia producida por un generador sincrónico con una pendiente dada y frecuencia de vacío está dada por la ecuación

$$P = S_p (f_{nl} - f_{sis}) \quad (1.3)$$

Donde:

P = potencia producida por un generador.

S = Potencia Aparente de un generador.

F_n =frecuencia nominal.

F_{sis} =frecuencia del sistema.

Puesto que la potencia total suministrada por los generadores debe ser igual a la potencia consumida por las cargas,

$$P_1 = s_{p1} \cdot (f_{nl,1} - f_{sis}) = s_{p2} \cdot (f_{nl,2} - f_{sis}) \quad (1.4)$$

$$P_{carga} = P_1 - P_2 \quad (1.5)$$

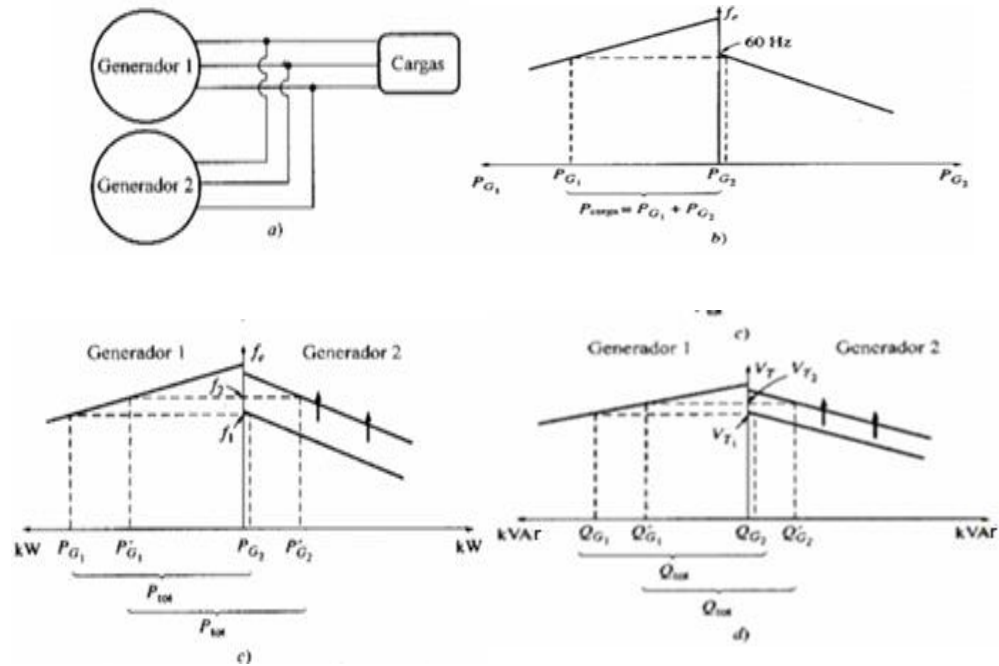


Figura 1.8 a) Generador conectado en paralelo con otra máquina de igual tamaño. b) Diagrama de casa correspondiente, en el momento en el que el generador 2 es puesto en paralelo con el sistema. c) Efecto de aumentar los puntos de ajuste del gobernador del generador 2 en la operación del sistema) Efecto de incrementar la corriente de campo del generador 2, en la operación del sistema (Núñez, 2010).

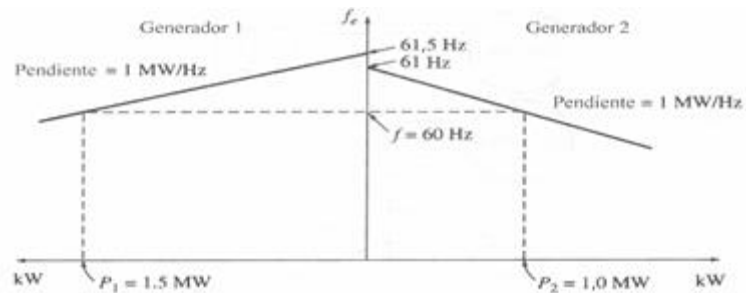


Figura 1.9 Diagrama de casa dos generadores de diferente potencia (Núñez, 2010).



Cuando dos generadores de tamaño similar están operando en paralelo, un cambio en los puntos de ajuste en el gobernador de uno de ellos cambia tanto la frecuencia del sistema como la repartición de potencia entre ellos. Sería deseable ajustar solo una de estas cantidades a la vez.

Un incremento en los puntos de ajuste del gobernador de un generador incrementa la potencia en esa máquina y la frecuencia del sistema. Una disminución en los puntos de ajuste en el gobernador de uno de los generadores disminuye la potencia de esa máquina y la frecuencia del sistema. Entonces, para ajustar la repartición de potencias sin cambiar la frecuencia del sistema, se incrementan los puntos de ajustar del gobernador de uno de los generadores y se disminuyen simultáneamente los del gobernador del otro generador (Véase figura 1.10a). Del mismo modo, para ajustar la frecuencia del sistema sin cambiar la repartición de potencias, se aumentan o se disminuyen simultáneamente los puntos de ajuste de ambos gobernadores (Véase figura 1.10b).

Los ajustes de potencia reactiva y del voltaje en los terminales funcionan de manera análoga. Para cambiar la repartición de potencias sin variar V_T , se aumenta simultáneamente la corriente de campo en un generador y se disminuye la corriente de campo del otro (Véase figura 1.10c). Para cambiar el voltaje en los terminales sin afectar la repartición de potencia reactiva, se aumentan y disminuyen simultáneamente ambas corrientes de campo (Véase figura 1.10d).

Entonces en el caso de dos generadores que operan conjuntamente:

1. El sistema está restringido porque la potencia total suministrada conjuntamente por los dos generadores debe ser igual a la cantidad consumida por la carga. No están forzados a permanecer constantes.
2. Para ajustar la repartición de potencia real entre los generadores sin cambiar f_{sist} , se incrementan los puntos de ajuste del gobernador de uno de los generadores mientras se disminuyen los del otro gobernador. La



máquina cuyos puntos de ajuste en el gobernador fueron aumentados, tomará más cantidad de carga.

3. Para ajustar f_{sis} sin cambiar la repartición de potencia real, se aumentan o se disminuyen simultáneamente los puntos de ajuste del gobernador en ambos generadores.
4. Para ajustar la distribución de potencia reactiva entre generadores sin cambiar V_T , aumenta la corriente de campo de uno de los generadores mientras se disminuye la corriente de campo del otro. La máquina cuya corriente de campo fue aumentada tomara más cantidad de la carga reactiva.
5. Para ajustar V_T sin cambiar la repartición de potencia reactiva, simultáneamente se aumenta o se disminuyen las corrientes de campo de los dos generadores.

Es muy importante que cualquier generador sincrónico que opere en paralelo con otros generadores tenga una característica descendente de frecuencia-potencia. Si dos generadores tienen características planas o casi planas, la repartición de potencia entre ellos puede variar.

Ampliamente con los más mínimos cambios en la velocidad de vacío, así sean muy pequeños los cambios en f_{nl} en uno de los generadores, se podrían causar fuertes diferencias en la distribución de potencia. Para asegurar un buen control de la distribución de potencia entre los generadores, estos deberán tener caídas de velocidad dentro de un rango de 2 a 5%.

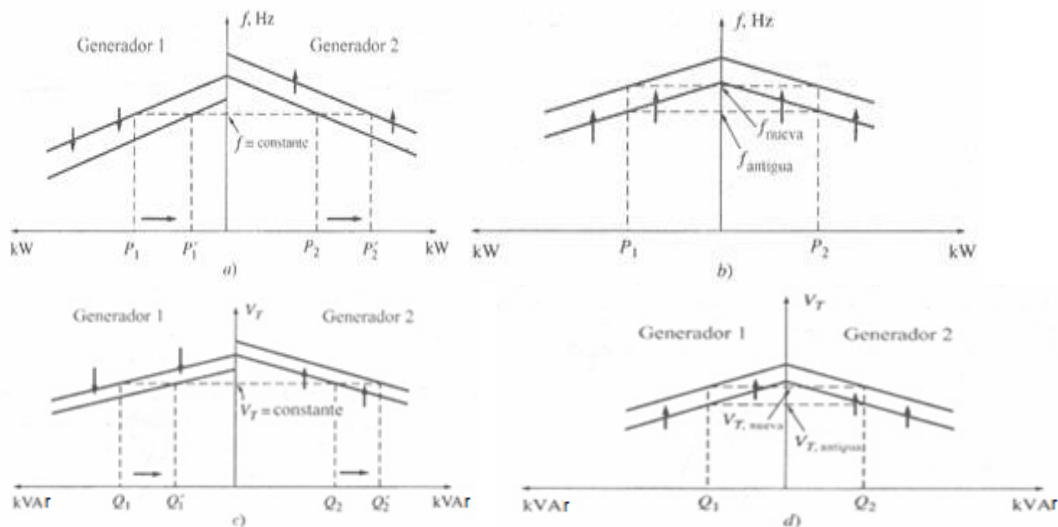


Figura 1.10 a) Cambio en la distribución de potencia sin afectar la frecuencia del sistema. b) Cambio en la frecuencia del sistema sin afectar la distribución de potencia. c) Cambio en la distribución de potencia reactiva sin afectar el voltaje en los terminales. d) Cambio en el voltaje en terminales sin afectar la distribución de potencia reactiva (Núñez, 2010).

1.6 Particularidades del funcionamiento del generador a carga autónoma.

Durante la explotación de un generador síncrono que alimenta una carga autónoma, el régimen de funcionamiento varía según cuales consumidores de energía eléctrica están conectados al generador. En los regímenes de trabajo normales, cuando la potencia consumida por la carga no supera la nominal, la amplitud y frecuencia de tensión del generador deben ser próximas a las nominales. En las instalaciones modernas esto se logra regulando automáticamente la excitación y frecuencia de rotación del motor del accionamiento.

En los regímenes anómalos, entre los cuales el de mayor importancia es el régimen de corto circuito estable simétrico en los bornes del generador (o en la red eléctrica que se alimenta por este último), la corriente del inducido puede aumentar considerablemente. Los sistemas de excitación del generador y de regulación automática de la excitación, el sistema de su protección contra el



aumento inadmisible de la corriente y contra la reducción inadmisible de la tensión, deben garantizar la posibilidad de explotar el generador en régimen normales y anómalos (IVANOV, 1987).

1.7 Software simulador.

Existen diferentes programas que facilitan el cálculo y simulación de los procesos que se desarrollan en los sistemas de distribución, entre los de mayor prestigio se encuentra el llamado Power Factory (Gonzalez, 2014).

El programa de cálculo DlgSILENT Power Factory es una herramienta computarizada avanzada de diseño asistido en ingeniería para el análisis de sistemas eléctricos de potencia comerciales, industriales, de distribución y a gran escala. Ha sido diseñado como un avanzado, integrado e interactivo paquete computacional dedicado a los sistemas de potencia para lograr los objetivos principales de **planificación y operación**.

La naturaleza actual de los sistemas eléctricos de potencia es la de ser una compleja estructura formada por miles de elementos: generadores, transformadores, líneas, cargas etc., cada uno de los cuales tiene asociado elementos de medición, control, etc. de una naturaleza compleja. A futuro, la complejidad y las dimensiones de los problemas asociados a los sistemas de potencia aumentará. En tal sentido, los análisis de estos sistemas requieren de una poderosa herramienta como DlgSILENT Power Factory para acometer en forma adecuada los estudios que la planificación y operación de sistemas de potencia requiere.

En Power Factory hay dos conjuntos distintos de información que pueden ser definidos:

1. Datos que pertenecen directamente al sistema en estudio, es decir, **datos eléctricos**.



2. Los **datos de la gestión del estudio**, por ejemplo, lo que los gráficos deben mostrar, las opciones elegidas para un flujo de carga, las áreas de la red que deben ser consideradas para el cálculo, etc.

Los **datos eléctricos** en sí también se pueden dividir en conjuntos lógicos. Cuando se construye un sistema de potencia se hacen uso de los materiales o componentes estandarizados, un rollo de cable, por ejemplo. En términos simples, se puede describir el cable eléctrico por su impedancia por km de longitud, mientras que todavía está en el tambor de cable, es decir, sería información genérica de este cable, se denominarán datos “tipo”, Type en Power Factory.

1.8 Normas de operación de los Motores Diésel MAN B&W.

Condiciones normalizadas de referencia.

De acuerdo con la norma ISO 3046, estas condiciones son las siguientes (MANDiesel&TurboCanada, 2012):

1	Presión del aire	1,01 bar
2	Presión media efectiva del embolo	22,6 bar
3	Presión de encendido	190 bar
4	Humedad relativa	30 %
5	Temperatura del Aire	32,5°C
6	Temperatura del agua refrigerante del aire de sobrealimentación	36°C
7	Potencia	18900 kW

Como el fabricante de un motor diésel declara en sus catálogos la potencia referida a las condiciones anteriores y las condiciones reales en el lugar de montaje del motor suelen ser distintas a las normalizadas, la potencia que el motor puede entregar en las condiciones de Cuba (con temperatura de 24° C a



34 ° C en la zona oriental y humedad relativa 60% a 90%) resulta ser menor que la declarada en estos documentos.

Potencia declarada por el fabricante.

La norma ISO 3046, establece tres regímenes de trabajo para los motores diésel (ISO3046parte1-2).

1. Potencia continua (PC o CP)
2. Potencia principal (PPR o PRP)
3. Potencia de emergencia (PE o EP)

Potencia continua.

La potencia declarada por el fabricante para este régimen lo puede entregar el motor al 100% de su potencia nominal durante un tiempo ilimitado.

Potencia principal (PRP).

La potencia declarada por el fabricante para este régimen lo puede entregar el motor una determinada potencia base durante un tiempo no limitado y el 100% de la potencia nominal durante un tiempo limitado.

Potencia de emergencia.

La potencia declarada por el fabricante para este régimen lo puede entregar el motor es la potencia máxima que la maquina puede entregar durante un tiempo limitado, generalmente menos de 500 horas al año.

Para este régimen conviene aplicara un factor de seguridad de al menos un 10% para la determinación de la potencia de emergencia necesaria.



Capacidad de sobrecarga.

La capacidad de sobrecarga que puede entregar un grupo se define como la potencia nominal adicional de un 10% durante 1 hora en una pérdida de 12 horas de funcionamiento. Si la potencia nominal se determina por la potencia de funcionamiento, ya no queda margen para la sobrecarga.

Ajuste de la potencia del motor.

La potencia del motor diésel se publica en los catálogos referidos, generalmente, a las condiciones que se mencionan anteriormente. Al variar estas condiciones cambia la potencia que el motor puede entregar.

La norma ISO 3046/1 establece un método para ajustar la potencia de un motor diésel a las condiciones reales existentes en el lugar que se instalará el motor.

Ajuste del consumo de combustible.

El motor es apto para combustibles de hasta 700 mm al cuadrado/s a 50 ° C hasta CIMAC H/K 55 incluido. En caso necesario, el motor puede ajustarse para utilizarlo MDO (marine diésel Oil)

Potencia declarada por el fabricante.

La norma ISO 3046, establece entre otros, dos regímenes de trabajo para los motores diésel:

- 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 diésel, cuyas potencias han de deducirse de la potencia declarada. 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 (periodos de segundos).

Hay fabricantes que declaran hasta 1000 horas anuales para este régimen, otras 500 horas, otras 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 S.E.N.

1.8.1 Alternador Sincrónico.

Potencia especificada de un alternador sincrónico.

Una parte importante de los fabricantes de alternadores sincrónicos especifican las potencias de sus máquinas para servicio continuo, según lo establecido en la norma NEMA MG 1/Parte 22 (NEMA).



Esta norma señala los incrementos de temperatura que pueden tener los alternadores sincrónicos en sus partes principales de acuerdo con la clase de aislamiento. Ver tabla 1.2

Tabla 1.2 Relación entre incremento de la temperatura en ° C y el aislamiento de un alternados sincrónico

Parte del alternador	Incremento de temperatura (°C)			
	Clase de aislamiento			
	A	B	F	H
Devanados de la armadura	60	80	105	125
Devanados de campo	60	80	105	125

Los incrementos de temperatura están referidos a una temperatura del ambiente de 40° C. Si la temperatura del ambiente es superior, hay que reducir, los incrementos de temperatura: Ver tabla 1.3

Tabla 1.3 Relación de reducción de la temperatura en ° C del alternados sincrónico y la temperatura del ambiente

Temperatura del ambiente (° C)	Reducción de los incrementos de temperatura (° C)
40 < t < 50	10
50 < t < 60	20

Los fabricantes de alternadores sincrónicos especifican la potencia de régimen continuo sobre la base de las temperaturas señaladas para cada clase de aislamiento, pero permiten una sobrecarga de hasta el 10% de manera continua en el caso de alternadores que van a trabajar sólo cuando hay condiciones de emergencia o están en calidad de reserva. Esta sobrecarga puede provocar que el incremento de temperatura, sobre la temperatura del ambiente sea 25°C mayor



que el señalado anteriormente. Trabajar en este régimen de sobrecarga significa gastar, en cada hora, el equivalente de 4 -8 horas de la vida del alternador. Un alternador con expectativa de vida útil normal de 100,000 horas debe esperarse que tenga una vida útil en el intervalo de 12,500 – 25,000 horas si trabaja continuamente con una potencia del 110% de su potencia especificada.

1.9 Operación en modo isla.

La operación en isla es la expresión que representa un escenario donde una parte del sistema de distribución, incluyendo generación y carga, opera permanentemente o transitoriamente aislado de la red. La operación en isla puede ser de forma intencional o no intencional. La de tipo “no intencional” se produce por la no detección de una falla por parte del sistema de protecciones de la GD lo que provoca que esta siga operando y alimentando a la falla. Por otro lado, la operación “intencional” en isla se lleva a cabo solo si el sistema de distribución está diseñado para ello. Se ha convertido en un reto la operación en isla intencional, por la complejidad del diseño del sistema de protecciones o por determinar qué potencia se debe generar en función de la carga conectada en isla, además es necesario un sistema de control de voltaje y frecuencia y que existan esquemas de deslastre de cargas con saltos de desconexión que no provoquen daños al sistema de generación.



Capítulo 2

Demanda y límites permisibles de generación.



CAPÍTULO 2. DEMANDA Y LÍMITES PERMISIBLES DE GENERACIÓN.

2.1 Caracterización del sistema de distribución municipal.

El suministro de energía del SEP al territorio moense es centralizado y proviene de la subestación de Cueto (a una distancia de 125 km), con un nivel de tensión de 220 kV hasta la subestación ubicada en Punta Gorda, donde se reduce la tensión a 110 kV. Desde allí se alimentan las Empresas Comandante Ernesto Che Guevara (110 kV) y la Moa Níquel SA (110 kV), una línea que va para la Subestación 110 kV de Baracoa y otro doble circuito hasta la subestación Moa 110 kV, en parte noroeste del municipio, a esta última se conecta la Central Eléctrica Fuel formada por 10 Grupos Electrógenos Fuel Oil con una capacidad instalada de 184 MW. La instalación alimenta 7 subestaciones de distribución que suplen a doce circuitos residenciales, por más de 87,465 km de líneas eléctricas con más de 78 358 consumidores.

2.1.1 Características de las líneas de subtransmisión.

Las líneas de subtransmisión que parten de la subestación Moa 110 kV tienen las siguientes características mostradas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Características de las líneas de Subtransmisión

Interr	Línea	Long (km)	Tipo/Cond	R (Ω /km)	X (Ω /km)	Re (Ω /km)	Xe (Ω /km)	Xo (Ω /km)
O-570	Moa 110kV-Sagua	33,724	ACSR150	0,227	0,418	0,5675	1,0450	2,09000
O-585	Moa110kV-MoaNueva	10,740	AAAC158	0,227	0,418	17,7673	32,7169	16,8541
O-590	Moa110kV-Pzdora	24,473	AAAC158	0,227	0,418	1,0556	1,9437	3,25892
O-565	Moa110kV Puerto-Punta Gorda	24,358	AAAC158	1,227	1,418	12,5154	14,4636	0,98075
O-560	Moa 110 kV V. Checa	5,460	ACSR150	0,227	0,418	1,1019	2,0290	4,05794



De estas cinco líneas principales se derivan las subestaciones encargadas de la distribución hacia los circuitos residenciales, las que cuentan con los datos que se muestran en la tabla 2.2 y cuyos monolineales aparecen en los anexos 5 al 10. A partir de la subestación Moa 110 kV, las subestaciones Moa Nueva, Vivienda Checa y El Puerto Moa, encargadas de los principales circuitos residenciales, cuentan con una alimentación simple y una configuración de barra simple.

Tabla 2. 2 Subestaciones de distribución más importantes.

Subestación	Voltaje (kV)	Capacidad (kVA)	Interruptor
Moa Nueva	34,5/13,8	2x4000	O-336
El Puerto Moa	34,5/13,8	4000	O-548
Punta Gorda Nueva	34,5/13,8	1600	O-186
Potabilizadora	34,5/0,480	2 x 1000	6363/6364
Vivienda Checa	34,5/13,8	6300	O-422
Miraflores	34,5/4,33	1000	6314
Farallones	34,5/4,16	1000	6599

2.1.2 Características de los circuitos de distribución.

Las características de las líneas de distribución de los circuitos del municipio, se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Características de las líneas de distribución por circuitos.

Nombre de la Línea	Voltaje (kV)	Int	Long(km)	Calibre
Circuito 1(Playa)	13,8	H-2076	11,820	AAAC 150 mm (78)
Circuito 2(Caribe)	13,8	H-2071	12,128	AAAC 150 mm(78)
Circuito 3(Rolo Arriba)	13,8	H-2545	8,110	AAAC 150 mm(78)
Circuito 4(Los Mangos)	13,8	H-2068	8,553	AAAC 150 mm(78)
Circuito 5(Miraflores)	13,8	H-956	6,819	AAAC.150 mm
Circuito 6(Rolo)	13,8	H-1772	25,018	AAAC 150 mm
Circuito 7(Yaguaneque)	4,16	H-324	27,056	ACCC 150 mm
Circuito 8(Quemado del Negro)	13,8	H-1842	47,688	AAAC 150 mm
Circuito 9(Atlántico)	13,8	H-546	7,890	ACCC 150 mm
Circuito 10(Farallones)	13,8	H-561	22,015	ACSR (35, 70)
Circuito 11(Armando Mestre)	13,8	H-2084	9,296	ACCC 150 mm
Circuito 12(Puerto)	13,2	H-2547	0,280	ACCC 150 mm



A pesar de que los circuitos 7 y 8 son los de mayor longitud, ambos no suman la demanda del circuito 1, sexto en extensión, pero primero en consumo.

2.1.3 Circuitos residenciales del municipio Moa.

Como se dijo anteriormente se cuenta 12 circuitos residenciales, cuyos límites se pueden conocer a continuación.

Circuito 1. Es alimentado por la Subestación Moa Nueva recorriendo la calle José Martí, comprendiendo el centro de la ciudad con una cantidad de 4014 clientes entre los que se encuentra los repartos, Pueblo Nuevo, la Playa, las Coloradas Viejas, y clientes muy importantes como el Banco Popular de ahorro, La discoteca, la Iglesia, la Casa de la Cultura y el Rincón del Amor. Este cuenta con una capacidad instalada de 4062,60 kVA. El mismo posee conexión con el circuito 11 y 9 por los interruptores H-2175 y H-2177 respectivamente.

Circuito 2. Energizado por la Subestación Viviendas Checas. El mismo se extiende por todo el reparto Caribe y las Coloradas con una cantidad de 2990 clientes entre los que se encuentran las avenidas, Simón Bolívar, Blas Roca, Adiel Núñez Sánchez y clientes importantes como el Parque Infantil, Moa TV, Emisora La Voz del Níquel, PNR y el Teatro del Pueblo. Este cuenta con una capacidad instalada de 4825 kVA y posee conexión con el circuito 11 a través del interruptor H-2278.

Circuito 3. El mismo está encargado de alimentar el sector residencial de Rolo Arriba, así como a La Veguita y clientes importantes como: RB ETECSA telefonía celular, el Policlínico Rolo Monterrey entre otros, es energizado por la Subestación El Puerto Moa, haciendo entrega de 2725 kVA de capacidad de distribución. A través del enlace H2433 es posible la conexión con el interruptor que alimenta al circuito 6 además de poseer enlace con la línea OH-2 de Pedro Sotto Alba.



Circuito 4 Energizado por la Subestación Moa Nueva, el mismo se extiende por los Mangos, Joselillo, Oreste Acosta y Moa Centro comprendiendo lugares tan importantes como la panadería, la cremería la lavandería entre otros con una cantidad de 3657 clientes y una capacidad instalada de 4057,50 kVA. Posee conexión con los circuitos 1 y 6 por los interruptores H-2082 y H-1801 respectivamente.

Circuito 5. A través de la Subestación Vivienda Checa es alimentado el poblado de Miraflores, así como clientes tan importantes como es el Hotel Miraflores y las Viviendas MININT, donde entrega una potencia de 2615 kVA este posee conexión con el circuito 9 a través del enlace H-2337.

Circuito 6. Energizado por la Subestación Moa Nueva que es la encargada de recorrer el reparto Rolo Monterrey por la avenida 1 de Mayo muy cercana a objetivos de gran importancia como son la Tienda Mayorista CIMEX, el UNECON y el Taller de Transporte. A través del enlace H-2286 posee vínculo con el reparto Pedro Sotto Alba, que se extiende por las calles principales del reparto, además también tiene conexión con los circuitos 3, 4 y 11 por los interruptores H-2433, H-1801 y H-2077 respectivamente. El circuito 6 cuenta con una capacidad de 2205 kVA.

Circuito 7. Alimentado por la Subestación Miraflores, suministrándole energía eléctrica a los poblados Yaguaneque, Pueblo Nuevo de Centeno, el barrio La Granja y La Sambumbia, alimentando además clientes importantes como la Torre de comunicaciones de Miraflores con una capacidad total instalada de 900 kVA.

Circuito 8. Se alimenta por medio de la Subestación de Punta Gorda Nueva, la que está encargada de hacer llegar la energía eléctrica a los pueblos de Yagrumage, la Cromita, Punta Gorda Arriba, Cupey, Cañete, Cayo Grande de Yamanigüey y Yamanigüey con una capacidad instalada de 5502 kVA.



Circuito 9. Se extiende por los repartos Atlántico, Vivienda Checa, una parte de las Coloradas Nuevas y las Coloradas Viejas hasta la Empresa Pesquera, así como clientes importantes como el Policlínico de las Coloradas, los Altos y la Filial de Medicina. La Subestación Vivienda Checa es la encargada de alimentar a este circuito con una capacidad de 2865 kVA. Se conecta entre sí con el circuito 5 y 1 por los interruptores H-2337 y H-2175 respectivamente.

Circuito 10. Comprende los territorios de Cayo Grande, Farallones, Asentamiento Calentura y se alimenta desde la Subestación de Farallones, para lo cual emplea 13 transformadores que suman un total de 292,50 kVA.

Circuito 11. Este circuito es energizado por la Subestación Moa Nueva. Se extiende por una porción del Reparto Caribe, el Reparto Aserrío, una porción del Reparto Las Coloradas recorriendo la avenida Mariana Grajales hasta el Rincón de Pepe. También a este circuito se le suma el Reparto Armando Mestres muy cercano a objetivos importantes como, Ceproníquel, IPUEC Antonio López Fernández y ENSUNA con una capacidad total instalada de 3942,50 kVA. Este circuito tiene conexión con los circuitos 1, 2 y 6 por los interruptores H-2177, H-2278 y H-2077 respectivamente.

Circuito 12. Este circuito es energizado por la subestación EL Puerto Moa y comprende un cliente por excelencia, El Puerto de Moa con una capacidad total instalada de 1000 kVA.

2.2 Caracterización de la Central Fuel Oil Moa.

La central eléctrica está compuesta por 10 generadores de 18,4 MW cada uno con una capacidad instalada de generación de 184 MW. La tensión de salida de los generadores es de 13,8 kV (+/-10%) conectados directamente a las barras de MT de la planta. Posee controles y sistemas de monitoreo para lograr la funcionalidad requerida junto a un alto grado de fiabilidad.



2.2.1 Descripción Técnica de la CTE Moa.

El equipamiento eléctrico y de control está ubicado en diferentes zonas de la central eléctrica de la manera que se muestra en las tablas 2.4 a la 2.6 (MANDiesel&TurboCanada, 2012).

Tabla 2.4 Equipamiento y ubicación de la sala de Maquina.

Ubicación	Equipamiento
Sala de Máquinas	10 Paneles de control de motor-ECP- 10 Paneles auxiliares del motor-EAP-
Anexo Mecánico	1 Panel auxiliar común-CAP- 1 Panel de control de Caldera-BCP- 1 Panel de arranque en negro del Grupo Electrógeno.

Tabla 2.5 Equipamiento y ubicación del Anexo Eléctrico

Ubicación	Equipamiento
Sala de pizarras de MT	4 Celdas de MT MT-1 al 4 4 Celdas de Aterramiento del neutro NGS-1 al 4 4 Resistencia de Aterramiento del neutro
Sala de pizarras de BT	2 Pizarras principales de BT BT-1 y BT-2 1 Panel de distribución del edificio principal – MCDP 2 Cargador de baterías y panel de distribución MTC -1 y MTC -2 2 Sistema de alimentación ininterrumpida- UPS-1 y UPS -2
Sala de Control	10 Panel de Control del generador – GCP-1 al 10 1 Panel de Control común – CCP 1 Panel del Servidor SCADA 1 Estación de Ingeniería 3 Estaciones de los operadores 1 Panel de alarma de incendios – FAP 1 Panel de misión del gas Argón 1 Panel de interface de la subestación de alto voltaje - HVIP



Tabla 2.6 Equipamiento y ubicación de otras áreas

Ubicación	Equipamiento
Casa de Bombas	1 Panel auxiliar común de la casa de bombas - CAPP
Estación de descarga	1 Panel común de descarga - CUP
Armario del gobernador del motor	1 Paneles Auxiliares de las Calderas (uno por armario)
Área de la Torre de enfriamiento	1 Panel común de la torre de enfriamiento - CTP
Área del Banco de Transformadores	4 Banco de transformadores – 3,15MVA cada uno
Área de Transformadores Elevadores	4 Transformador Elevador – 50/70MVA cada uno (por el cliente) 4 Paneles de Control del ventilador de enfriamiento (por el cliente)
Área de tratamiento de agua	1 Panel auxiliar de tratamiento de agua – WTAP compuesto por WTCP – 01, 02, 03, 04, 05, 06
Casa de Bombas contraincendios	1 Controlador principal de bombas contra incendios 1 Controlador de Bomba Jockey 1 Controlador de la Bomba de Diésel

Salas de Baterías:

Se encuentran equipada con Bancos de Baterías para el sistema de 110VDC- BU-1 y BU-2 al igual que Bancos de Baterías para el sistema de UPS de 230VAC – BU-3 y BU -4

2.2.2 Procedimiento para el Arranque en Negro de la Central Fuel Oil Moa.

- Arrancar el generador de emergencia. (Black Start).
- Conectar generador a la barra conductora de BT (PH1 o PH2).
- Controlar si el depósito de aire para el arranque está bajo presión en caso contrario, arrancar un compresor de aire para el arranque para llenar el aire de arranque apagar el compresor manualmente.
- Arrancar la bomba de suministro de diésel correspondiente.
- Arrancar la bomba elevadora de presión correspondiente.



- Arrancar el primer generador, si la barra conductora de BT 1 está energizando el generador 1-5 / hay que cerrar el acoplador de barra del lado de BT relacionado, LV1TIE1 o LV1TIE2 si la barra de BT 2 está energizando el generador 6-10 / hay que cerrar el acoplador de la barra conductora de lado de BT relacionado, LV2TIE2.
- Iniciar la sincronización del motor (la excitación se desconecta / el INT del generador se libera y se enciende automáticamente con el valor de tensión mínimo / la tensión del generador se conecta nuevamente y hay presencia de tensión en la barra conductora MT).
- Ahora todos los transformadores elevadores y de estación están energizados. El grupo electrógeno se puede conseguir sincronizar con el generador de emergencia en el lado de BT para alimentar los auxiliares
- El generador de emergencia se puede quedar bloqueado.
- La barra conductora de BT se puede energizar cerrando todos los INT LVxINx abiertos.
- Hay que poner todos los alimentadores / interruptores nuevamente en la posición original.
- Hay que poner todas las bombas / auxiliares nuevamente en automático.
- Hay que poner todos los módulos nuevamente en control automático.
- Otros grupos electrógenos pueden arrancar.
- La carga puede ser aumentada por SCADA.
- Una vez establecida la red, el interruptor selector de "arranque en negro" se puede poner en posición normal.

2.2.3 Descripción del flujo tecnológico de la CTE de Moa.

La Central Diésel Eléctrica de Moa es una de las industrias encargadas de producir energía eléctrica para el Sistema Electro Energético Nacional, usando diez motores de combustión interna (MAN 18V48/60B) acoplados a generadores



de 18,4 MW, trabajan con combustible pesado FUEL-OIL, aunque arrancan y paran con diésel (Sanamé, 2015).

Estos motos generadores además de la Nave de Generación la cual está dividida en dos (mitad por mitad) donde se encuentran, necesitan un grupo de áreas necesarias para su funcionamiento las cuáles son:

❖ **Sala de control.**

Lugar ubicado en el tercer piso entre las dos naves de generación que ofrece una vista de lo que ocurre en los motores mediante cristalerías a ambos lados del local. Desde allí se realiza el trabajo coordinado de operación de la central y con el Despacho Nacional de Carga que es quien rige la política de operación. Consta de un grupo de paneles propios y comunes de control de los motos generadores y sus equipos.

❖ **Isla de combustible.**

Aquí es donde se realizan la mayoría de los procesos con los combustibles en el trasiego para los diferentes procesos.

En el caso del fuel-Oil se recibe mediante las bombas P081 A, B y C con destino hacia los tanques T059 A y B, que posteriormente las centrífugas A, B, C, D, y E purifican para los tanques T022 A y B donde las bombas P018 A o B y C o D succionan el combustible pasándolo por un módulo de filtro automático MOD-009 recirculando para el mismo tanque al pasar por un cabezal para cada nave de donde toman para su consumo. El diésel es recibido por las bombas P082 A y B, y enviado para el tanque T003 de donde lo succionan las bombas P008 A o B y C o D las cuales lo impulsan pasándolo por un módulo de filtro MOD-003 A y B, y recirculando al mismo tanque mediante dos cabezales, uno para cada nave. En el caso del aceite lo reciben las bombas P083, lo envían para el tanque T012 hasta que se vaya a usar para el relleno de algún cárter de los motores, puesto



que en operación normal sin averías el aceite a éstos no se les cambia, para ello se usan las bombas P012 A o B.

❖ **Calderas.**

En ésta área se encuentran ubicadas las diez calderas recuperativas que usan los gases de escape de los motores para la producción de vapor de agua, con el objetivo de usarlo para el trabajo de las centrífugas y en la viscosidad del fuel-Oil. Además de estas calderas existe también una Caldera Auxiliar de dos etapas para el comienzo de la generación de vapor cuando no hay motores en servicio.

❖ **Planta de tratamiento químico del agua (TQA).**

El agua industrial proveniente de la potabilizadora de Pedro Soto Alba que llega al emplazamiento mediante 15 km de tubería de 200 mm de diámetro y se almacena en una cisterna de 100 000 m³ para de ahí iniciar su tratamiento en la planta TQA la que consta de tres equipos o procesos fundamentales en el siguiente orden:

1. Actiflos 1 y 2 encargados de clarificar el agua.
2. Filtros de arena 1 y 2 encargados de filtrar el agua.
3. Osmosis inversa 1 y 2 encargadas de la desmineralización del agua.

2.3 Motores Diésel MAN.

Los motores con la denominación 48/60 son motores sobrealimentados de 4 tiempos contruidos en línea o en V con cilindro de 480 mm de diámetro y carrera del émbolo de 600 mm. Se utilizan como generadores de energía para barcos y centrales eléctricas estacionarias (MANB&WDieselAG, 2006).

Estos motores están compuestos básicamente de elementos estáticos como el cárter cigüeñal, camisas de cilindros y culatas, y de elementos móviles como el



cigüeñal con biela y émbolo, el accionamiento de rueda y los árboles de levas, así como los accionamientos de válvulas y de bombas de combustible. El turbo sobrealimentador sirve para comprimir el aire fresco. Las tuberías de aire de sobrealimentación están situadas delante de las culatas, la tubería de escape central está situada entre las líneas de cilindros.

2.4 Modos de funcionamiento de la Central Fuel Oil Moa.

Existen varios estándares de funcionamiento de la central como se establecen a continuación (MANDiesel&TurboCanada, 2012):

- Orden de inicio manual para cada uno de los grupos electrógenos.
- Sincronización automática de los alternadores y del alimentador de la red de suministro.
- Funcionamiento en paralelo de la Central Eléctrica con la red, con valores ajustables de carga activa y reactiva para cada de los grupos electrógenos.

En cada una de estas variantes de funcionamiento, siempre debe cumplirse que la tensión y la variación de frecuencia en la barra conductora no excedan un $\pm 5\%$ de la normal establecida por la red.

2.4.1 Modo paralelo con la red de suministro.

En este modo de funcionamiento, el grupo electrógeno funciona con HFO, LFO, con el objetivo de generar la máxima cantidad de calor y energía posible. La electricidad publica y el calor se utilizan para la caldera. Las demandas llegan por medio de la transferencia de datos con los valores de referencia predeterminados especificados en el SCADA. También se puede introducir la selección de combustible en el SCADA. El motor se puede iniciar tanto con LFO como con HFO.



2.4.2 Modos de funcionamientos auxiliares.

- Modo local Manual
- Modo Remoto Manual
- Modo Remoto Automático

Modo local Manual.

En este modo el operario inicia y detiene las unidades de forma manual. Una unidad iniciada estará en funcionamiento hasta que el operario la apague o un dispositivo de seguridad la desconecte (MCB, protección contra el funcionamiento en seco o sobrealimentación).

Modo Remoto Manual.

En este modo el operario inicia y detiene las unidades manualmente a través del control remoto. Una unidad iniciada estará en funcionamiento hasta que el operario la apague o un dispositivo de seguridad la desconecte (MCB, protección contra el funcionamiento en seco o sobrealimentación).

Modo Remoto Automático.

En este modo el PLC conmuta las unidades en función de la demanda

La demanda se crea en

- El GCP PLC para los auxiliares relacionados con el motor (MOT)
- El PCC PLC para los auxiliares relacionados con la planta (PLT)



2.5 Estimación de Demanda.

En el transcurso de los años el pico de demanda en el municipio se ha ido incrementando en los horarios picos de la mañana, el mediodía y la tarde, para la Central Fuel Oil de Moa ha sido un reto saber cómo suplir esta demanda de una forma eficiente sin tener altos gastos de combustible cuando se está aislado del sistema ya que la generación de esta gran central en este modo es más que suficiente y si se tiene una idea de estos picos de demanda se pueden desconectar algunos generadores de forma tal que se pueda economizar este preciado líquido y mantener un gran equilibrio en cuanto a generación demanda

Las curvas de la figura 2.1 representa la demanda total del municipio que cuenta con todos los circuitos residenciales, estatales y las dos fábricas de níquel Pedro Sotto Alba y Ernesto Che Guevara, observándose en esta que durante los meses de invierno alcanza valores más elevados que en los meses de primavera.

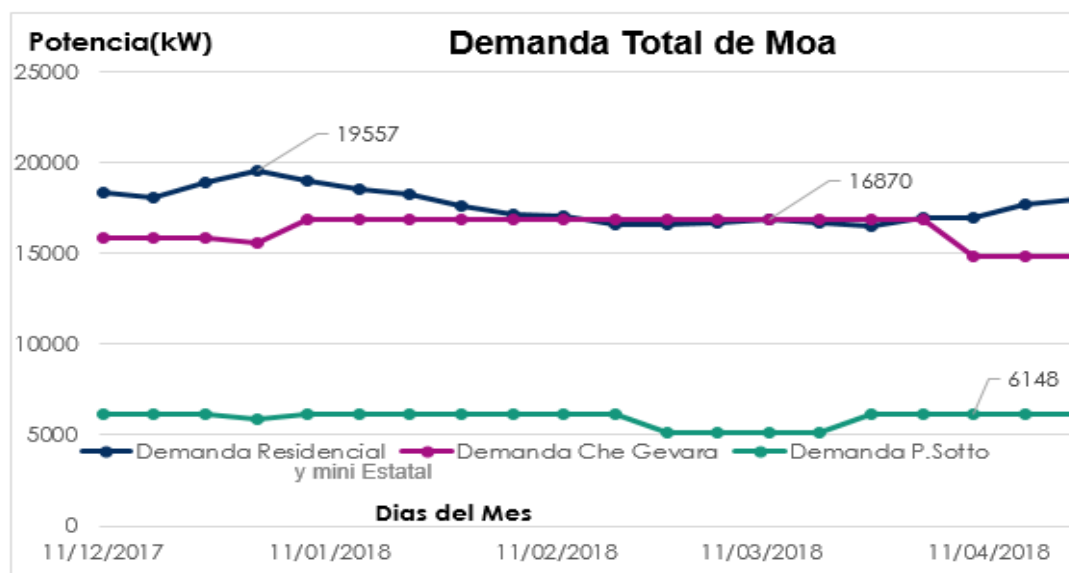


Figura. 2.1 Comportamiento de la demanda residencial y estatal. Diciembre 2017/Abril 2018.



Esta demanda es muy inferior a la capacidad instalada en la Central Fuel Oil de Moa, **teniendo en cuenta que las fábricas de níquel Pedro Sotto Alba y Ernesto Che Guevara en este intervalo de tiempo no demandaron su capacidad total ya que estas poseen generación propia y solo demandan lo que estimen necesario.**

No se necesita tener todos los generadores encendidos para suplir dicha demanda por lo que se le fueron aumentando poco a poco demandas máximas de otras regiones fuera del municipio correspondientes al año 2017-2018, registrados en la S/E de cada región, hasta llegar a valores permisibles a los que se pueda ampliar mi modo aislado sin afectar el trabajo del sistema y generadores, los cuales se fueron conectando paulatinamente e incrementando la generación. Las demandas de estas regiones se muestran en la tabla 2.7

Tabla 2.7 Regiones que se fueron agregando al modo isla.

Circuitos que se agregaron	Demanda Maxima (kW)
Resto 570	4123
Sagua de Tánamo	7100
Baracoa	9845
Nicaro	16022
Nipe	28021
Banes	18976
Canela	12669
Total	96756

En la tabla 2.8 y 2.9 se muestran las demandas máximas y promedio de los circuitos residenciales y estatales de Moa, los cuales corresponden al año 2017-2018 registrados en la S/E del municipio.



Como se mencionó anteriormente estas demandas son muy inferiores a la capacidad instalada en la Central Fuel Oil de Moa por lo que solo se tuvieron en cuenta las demandas máximas por circuito.

Tabla 2.8 Demanda Máxima de los circuitos residenciales, mini estatales y estatales de Moa.

Circuitos	Demanda Máxima (kW)
Cto 1(O-585)	2355
Cto 2(O-560)	1891
Cto 3(O-565)	934
Cto 4(O-585)	2130
Cto 5(O-560)	1166
Cto 6(O-585)	356
Cto 7(O-570)	342
Cto 8(O-590)	1024
Cto 9(O-560)	1386
Cto 10(O-570)	136
Cto 11(O-585)	1685
Cto 12(O-565)	112
Pzdora(O-590)	1622
Resto O-565	3112
Resto- O-590	1626
Che Guevara	16880
Pedro Sotto	6148
Total	42905

Tabla 2.9 Comportamiento de las demandas de los circuitos estatales de Moa.

	Pzdora(O-590)	Resto O-565	Resto- O-590	Che Gevara	Pedro Sotto	Total
D/M/A	P(kW)	P(kW)	P(kW)	P(kW)	P(kW)	P(kW)
11/12/2017	1596	3020	1526	15883	6132	28157
18/12/2017	1599	2798	1535	15880	6133	27945
25/12/2017	1622	2768	1620	15885	6125	28020
1/1/2018	1612	2802	1626	15634	5844	27518
8/1/2018	1601	3003	1619	16876	6125	29224
15/1/2018	1605	3112	1586	16875	6135	29313
22/1/2018	1585	3011	1562	16871	6142	29171
29/1/2018	1596	3010	1524	16869	6144	29143
5/2/2018	1622	3017	1489	16875	6137	29140
12/2/2018	1584	3021	1499	16880	6135	29119
19/2/2018	1622	2999	1532	16873	6134	29160
26/2/2018	1588	2989	1525	16868	5146	28116
5/3/2018	1604	3031	1492	16869	5147	28143
12/3/2018	1578	3014	1495	16870	5128	28085
19/3/2018	1583	3047	1502	16874	5136	28142
26/3/2018	1588	3004	1596	16868	6133	29189
2/4/2018	1600	3001	1602	16879	6145	29227
9/4/2018	1610	2988	1611	14890	6148	27247
16/4/2018	1577	2745	1586	14888	6132	26928
23/4/2018	1555	2699	1555	14871	6136	26816

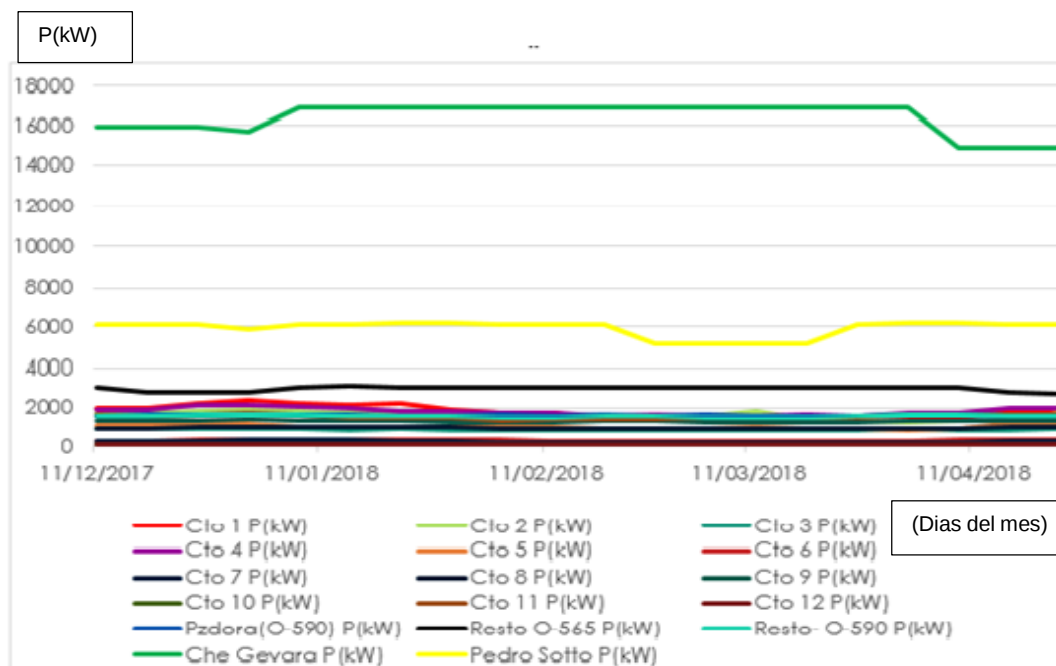


Figura. 2.2 Comportamiento de la demanda de Moa por circuitos.

Como es apreciable en las curvas de la figura 2.2 el mayor peso de la demanda en los circuitos estatales los lleva las Fábricas de Níquel Pedro Sotro Alba y Ernesto Che Guevara y en los residenciales el circuito 1 y 4 que comprende Moa Centro.

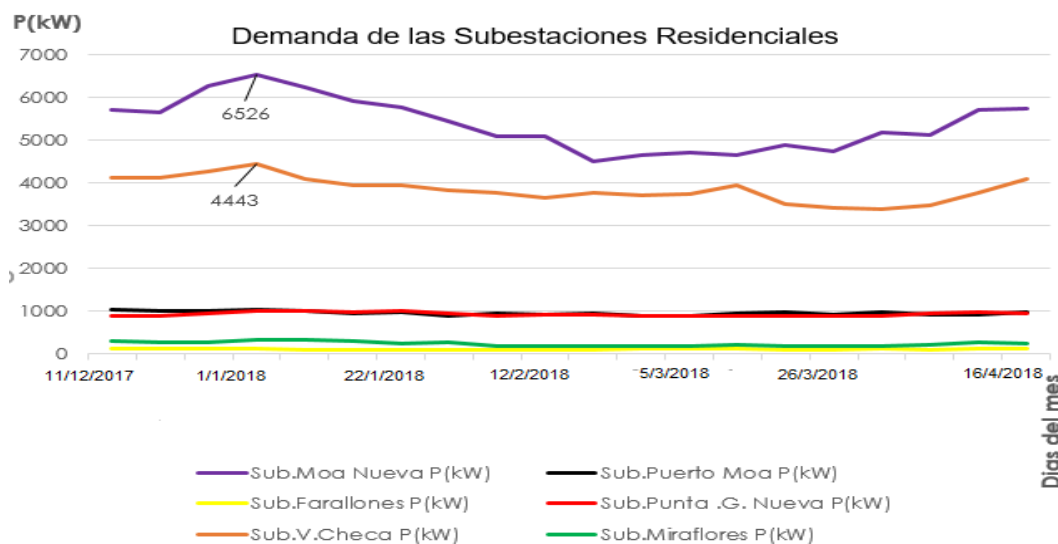


Figura. 2.3 Comportamiento de la demanda por subestaciones residenciales principales.



Como se puede ver en la figura 2.3 la demanda en las subestaciones Moa Nueva y Vivienda Checa están por encima de las demás subestaciones residenciales y suman entre las dos aproximadamente 11 MW de demanda máxima como se muestra en los picos de demanda de ambas curvas.

2.6 Modelos para la simulación.

Para la exitosa simulación de la Central Eléctrica Fuel de Moa en modo isla y realizar un adecuado análisis del comportamiento de los diferentes parámetros eléctricos es necesario confeccionar modelos que respondan a las condiciones reales de los dispositivos que intervienen en el mismo. Cada uno de estos modelos serán la respuesta de los parámetros eléctricos que el software DigSILENT Power Factory pide para cada dispositivo y finalmente estarán acompañados por bloques en los que se visualizarán otros parámetros eléctricos como voltaje, factor de potencia, potencia activa y potencia reactiva como respuesta al buen o mal funcionamiento de dichos dispositivos

2.6.1 Modelos de la Central Eléctrica Fuel de Moa.

Para crear el modelo de la Central Eléctrica Fuel de Moa en Power Factory es necesario partir por la confección del bloque de los generadores sincrónicos comenzando por crear dentro de estos un tipo de Máquina Sincrónica y proseguir introduciendo los datos nominales, así como parámetros eléctricos para la excitación de estos generadores sincrónicos como se muestran a continuación:

Configuración del Generador MAN.

Datos Básicos.

Potencia Aparente Nominal: 23 MV

Tensión Nominal: 13,8kV

Factor de Potencia: 0,8



Conexión: Estrella Neutro

Frecuencia Nominal: 60 Hz

Tensión de Excitación: 107,6 V

Velocidad Nominal: 514 rpm

Flujo de Cargas.

Reactancias Sincrónicas: $x_d = 1,434$ p. u, $x_q = 0,787$ p. u

Corto Circuitos Completo.

Resistencia del estator: 0,0236 p. u

Reactancias Subtrancitorias: $x_d'' = 0,162$ p. u

Reactancias Transitorias: $x_d' = 0,298$ p. u

Tipo de Rotor: Polos Salientes

Secuencia Cero: $X_0 = 0,1$ p. u

Secuencia Negativa: $X_2 = 0,173$ p. u

Simulación RMS.

Constantes de Tiempo Transitorio: $T_d' = 1,495$ s

Constantes de Tiempo Subtransitorio: $T_d'' = 0,02394$ s $T_q'' = 0,0406$ s

Reactancias Subtrancitorias: $x_q'' = 0,184$ p. u

En la Central Eléctrica Fuel de Moa, los 10 grupos electrógenos tienen las mismas características constructivas, por lo que este bloque es aplicado a todas las máquinas restantes. En su operación en tiempo real, solo se ve afectada la generación por los porcentajes de explotación y el estado técnico del conjunto motor-generador.



Después de creados los 10 modelos de los 10 generadores, estos se conectan a 4 barras (B11, B10, B9 y B8) de 13,8kV en forma de 4 grupos, 2 grupos poseen 2 generadores cada uno **1G**(G10,G9), **2G**(G5,G4) y los otros 2 grupos poseen 3 generadores también cada uno **3G**(G8,G7,G6), **4G**(G3,G2,G1); se prosigue a la conexión empezando preferiblemente por los grupos de 2 generadores hasta los grupos de 3 generadores, los grupos **1G**(G10,G9) y **2G**(G5,G4), se conectan a la Barra 11 y a la Barra 9 respectivamente, los grupos **3G**(G8,G7,G6) y **4G**(G3,G2,G1) se conectan a la Barra 10 y a la Barra 8 también en el mismo orden quedando así, de esta forma:

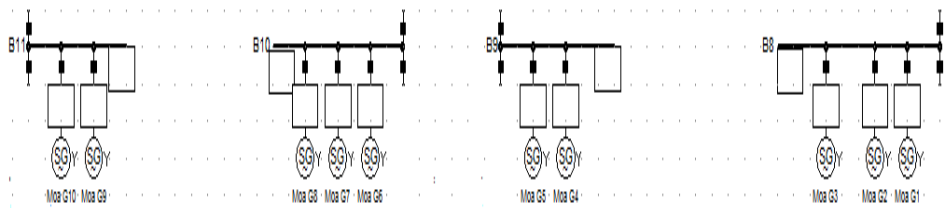


Figura 2.4 Conexión de los generadores MAN de 18400 kW a las Barras de 13.8 kV.

Configuración de los Transformadores elevadores 13,8 kV/120 kV.

En la salida de la Central Eléctrica Fuel de Moa se encuentran cuatro transformadores elevadores con conexión delta/estrella que son los encargados de elevar la tensión de 13.8 kV a 120 kV. A través del Power Factory se creará un tipo de transformador con un modelo que simule lo más real a estos grandes transformadores. Los datos nominales que se deben introducir son los siguientes:

Datos Básicos.

Tecnología: Transformador Trifásico

Potencia Nominal: 70 MVA

Frecuencia Nominal: 60 Hz

Tensión Nominal: Lado de Alta (HV)= 120 kV; Lado de Baja (LV)= 13,8 kV

Grupo Vectorial: Lado de Alta (HV)= YN; Lado de Baja (LV)= D



Impedancia de Secuencia Positiva: Voltaje c.c.(uk)= 11,85%; Pérdidas en el Cobre= 40 kW

Impedancia de Secuencia 0: Voltaje c.c.(uk0) = 11,85%

Ángulo de Desfasaje: 1*30deg

Tensión Adicional por Tap: 2,5%

Estos 4 Transformadores elevadores tienen las mismas características constructivas y por tanto estos datos nominales son aplicables a los 4 transformadores.

Después de haber creado estos 4 modelos, se conectan los mismos por el lado de bajo voltaje con las 4 Barras ya mencionadas (B11, B10, B9 y B8) de 13,8kV respectivamente quedando de esta forma:

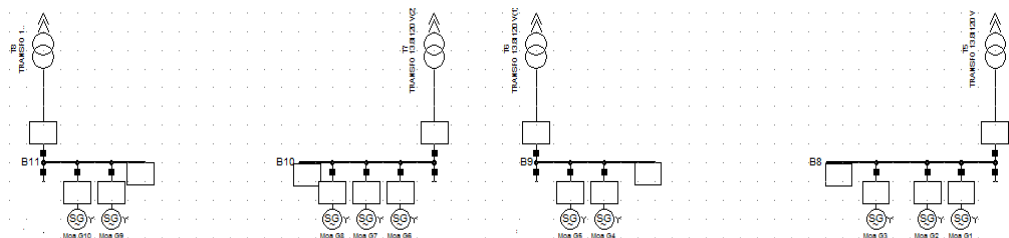


Figura 2.5 Transformadores elevadores de salida conectado a las Barras de 13,8kV y a los 10 generadores MAN

Modelo para el circuito de Bajo Voltaje.

En el circuito de bajo voltaje de la Central Eléctrica Fuel de Moa se encuentra todos los dispositivos consumidores de este gran sistema, por un lado, tenemos los Paneles Controladores que se van a definir como cargas en el Power Factory, por otro lado, tenemos a 4 transformadores MAN encargados de elevar la tensión de 480 V a 13,8 kV y por ultimo tenemos un generador llamado Black Start encargado de realizar el Arranque en Negro. Para la formación de este modelo en Power Factory tendremos en cuenta también, los distintos parámetros eléctricos que se introducen para el buen funcionamiento del mismo y obtener una exitosa simulación que responda a las condiciones reales.



Configuración del generador Black Start.

Empezamos creando un tipo de Maquina Sincrónica y luego introducimos los datos que se presentan a continuación.

Datos Básicos.

Potencia Aparente Nominal: 0,25 MVA

Tensión Nominal: 0,48 kV

Factor de Potencia: 0,8

Velocidad Nominal: 1800 rpm

Frecuencia Nominal: 60 Hz

Conexión: YN

Flujo de Carga.

Reactancias Sincrónicas: $x_d = 1,75$ p. u, $x_q = 0,9$ p. u

Corto Circuitos Completo.

Resistencia del estator: 0,00175 p. u

Reactancias Subtrancitorias: $x_d'' = 0,16$ p. u

Reactancias Transitorias: $x_d' = 0,3$ p. u

Tipo de Rotor: Polos Salientes

Secuencia Cero: $X_0 = 0,05$ p. u

Secuencia Negativa: $X_2 = 0,16$ p. u

Simulación RMS.

Constantes de Tiempo Transitorio: $T_d' = 0,5$ s

Constantes de Tiempo Subtransitorio: $T_d'' = 0,018$ s $T_q'' = 0,018$ s

Reactancias Subtransitorias: $x_q'' = 0,16$ p. u



Configuración de los Transformadores MAN elevadores 0,48 V/13,8 kV.

Datos Básicos.

Tecnología: Transformador Trifásico

Potencia Nominal: 3,15 MVA

Frecuencia Nominal: 60 Hz

Tensión Nominal: Lado de Alta (HV)= 13,8 kV; Lado de Baja (LV)= 0,48 kV

Grupo Vectorial: Lado de Alta (HV)= YN; Lado de Baja (LV)= D

Impedancia de Secuencia Positiva: Voltaje c.c.(uk)= 10%; Pérdidas en el Cobre= 3 kW

Impedancia de Secuencia 0: Voltaje c.c.(uk0) = 10%

Angulo de Desfasaje: 5*30deg

Estos cuatro transformadores tienen las mismas características constructivas por lo tanto este modelo es aplicable para los cuatro transformadores de la misma manera que se hizo con los transformadores de salida.

Consumo de los Paneles de Control en P (Potencia Activa) y Q (Potencia Reactiva).

Como se mencionó anteriormente, los Paneles de Control se van a estimar como cargas consumidoras de los generadores y el consumo de cada uno se muestra en la tabla 2.10



Tabla 2.10 Potencia Activa(P) y Potencia Reactiva(Q) de los Paneles de Control.

Paneles de Control (Insumo)	P(MW)	Q(MVAr)
CTP1,CTP2	0,147	0,088
CUP1,CUP2	0,08	0,047
CAPP1,CAPP2	0,017	0,009
CAP1,CAP2	0,126	0,074
BCP1,BCP2	0,03	0,019
WTCP1,WTCP2	0,119	0,074
MBDP1,MBDP2	0,103	0,065
HVAC1,HVAC2	0,144	0,09
EAP1,EAP8	0,065	0,04
EAP2,EAP4	0,066	0,04
EAP3	0,067	0,038
EAP6,EAP7,EAP10,EAP9	0,068	0,042
EAP5	0,066	0,047

Después de creados los modelos, se prosigue a la conexión entre los mismo, empezando por conectar el generador Black Start a una Barra(B1) de 0,48 kV, después la misma se conecta por los extremos con otras dos Barras (B2 y B5) respectivamente, ambas barras son de 0,48 kV, por la primera barra (B2) se conecta otras dos barras más (B3 y B4), y por la segunda barra (B5) se conectan también otras dos barras (B6 y B7) las mismas con el mismo nivel de tensión nominal de 0,48 kV. A todo este sistema de barras se conecta todo el insumo de la Central Eléctrica Fuel de Moa donde además se conecta los cuatro transformadores elevadores (0,48 kV/13,8kV) que son los encargados de conectarse por la parte de alta con las barras de media tensión B8, B9, B10 y B11 de los generadores MAN quedando conformado el modelo completo de la Central Eléctrica Fuel de Moa como se muestra en la Figura 2.6

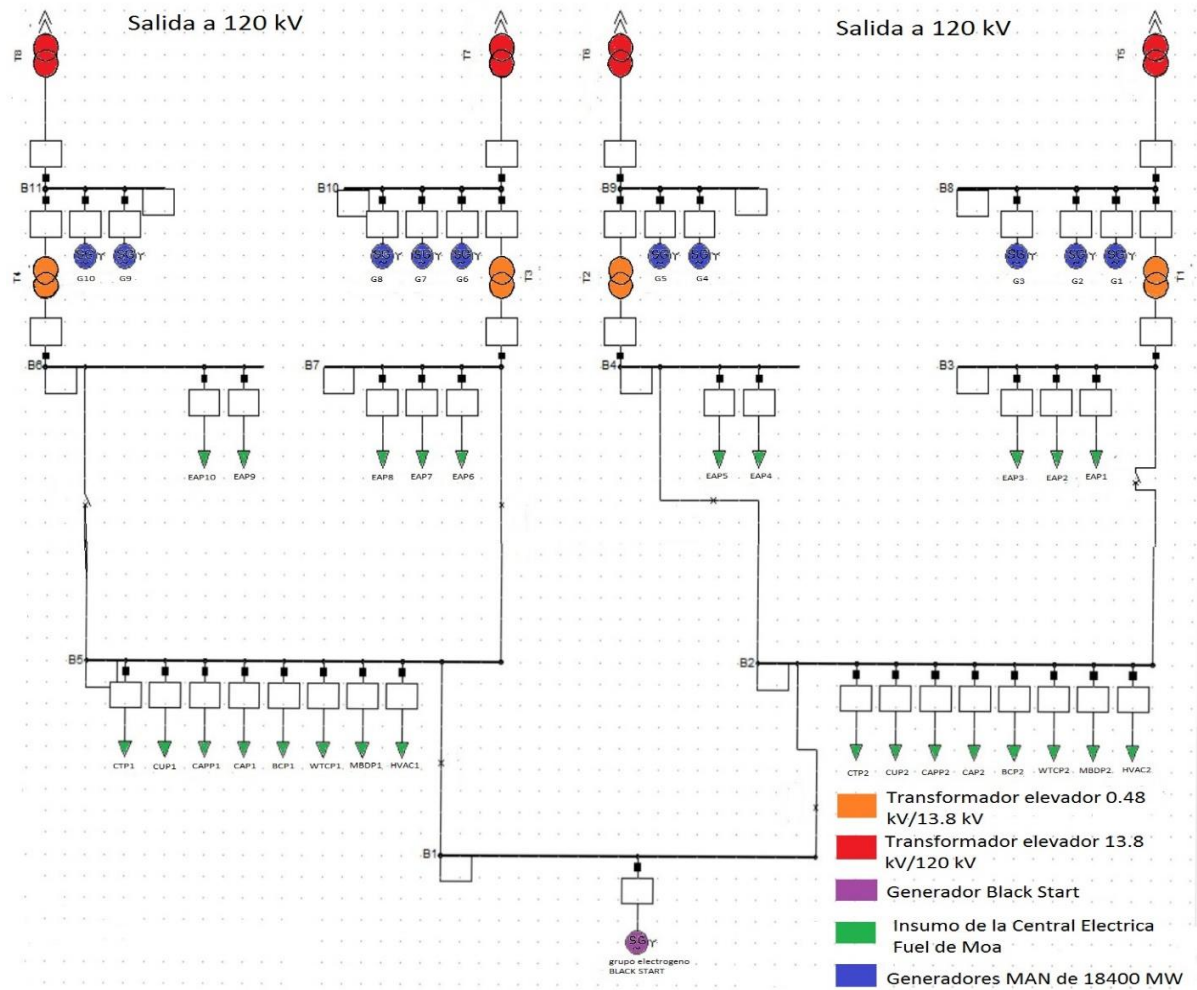


Figura 2.6 Monolineal de la Central Fuel Oil de Moa en Power Factory

2.7 Simulación en Power Factory.

La simulación se realizó a través de la opción tipo RMS/EMT simulation (raíz media cuadrática/transitorios electromagnéticos)

Para la realización de estas simulaciones se definieron las siguientes configuraciones:

- Solo se escogieron los valores de demanda máxima de cada circuito los cuales se obtuvieron en un estudio estadístico realizado previamente con



los registros de demandas y generación de la UNE en el año 2017-2018, como se mostró anteriormente en las tablas 2.7 y 2.8

- Para los generadores MAN de la Central Fuel Oil de Moa se estableció su modelo de planta correspondiente, mediante el controlador del gobernador (GOV) de los generadores.
- Se definieron los diferentes por cientos de explotación de la Central Fuel Oil de Moa como muestra la siguiente tabla 2.11.

Tabla 2.11 Por cientos de explotación de la Central Fuel Oil de Moa.

% Expl	G1(MW)	G2(MW)	G3(MW)	G4(MW)	G5(MW)	G6(MW)	G7(MW)	G8(MW)	G9(MW)	G10(MW)	Total P(MW)
100%	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	184
80%	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	14,72	147,2
60%	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	11,04	110,4
40%	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	7,36	73,6
20%	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	36,8



Capítulo 3.

Análisis de los resultados ampliando el modo aislado.



CAPÍTULO 3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS AMPLIANDO EL MODO AISLADO

3.1 Análisis del Comportamiento de la simulación a un 20% de generación contra la demanda máxima Residencial y mini estatal.

La operación de la Central Fuel Oil de Moa a un 20% de su capacidad y con los 10 generadores encendidos posibilita que este entregue una potencia total de 36,8 MW, entregando por generador 3,68 MW, considerando que la demanda Residencial y mini estatal a suplir es del orden de los 19,557 MW como demanda máxima, se puede inferir que esta generación es más que suficiente, a lo que se puede proseguir dejando encendido solo 2 generadores (G10 y G5) trabajando a un 65 % cada uno, los cuales van a suplir dicha demanda aportando por generador una potencia activa de 11,7 MW para un total de 23,4 MW. La explotación a este porcentaje de generación y contra esta demanda trabaja con toda normalidad. Seguidos los 21 s de simulación cae la tensión de ambos generadores de 13,8 kV a 12,9 kV al conectar las cargas residenciales y mini estatales de moa normalizándose la misma a los 30 s. El comportamiento de la Potencia Activa, Reactiva y el factor de potencia se muestran en la figura 3.1.

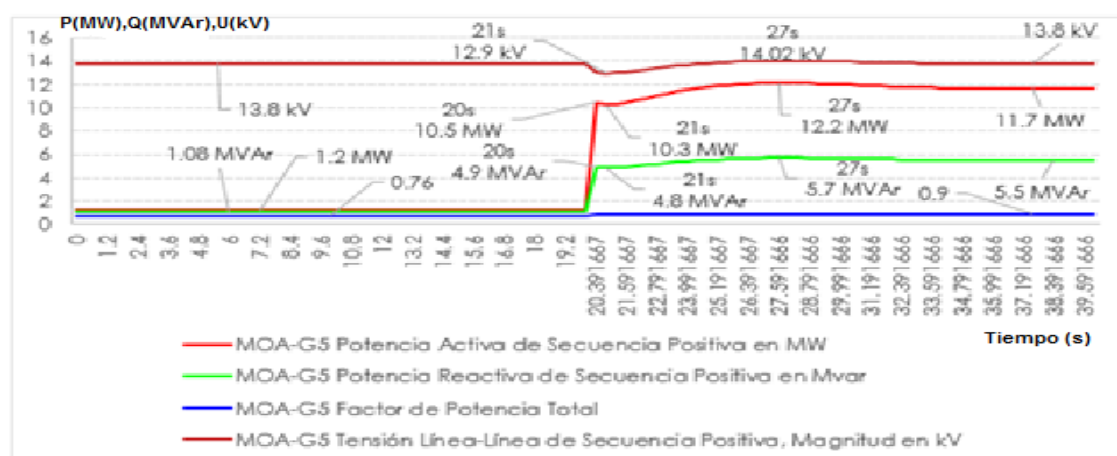


Figura 3.1 Comportamiento de los generadores G10 y G5 de la Central Fuel Oil de Moa con la demanda residencial y mini estatal



3.2 Análisis del Comportamiento de la simulación a un 40% de generación agregando al sistema las fabricas Pedro Sotto Alba, Ernesto Che Guevara y la Central Hidroeléctrica Nuevo Mundo.

Cuando la Central Fuel Oil de Moa opera a un 40% de su capacidad con los 10 generadores encendidos posibilita que este entregue una potencia total de 73,6 MW, entregando por generador 7,36 MW, si tomamos como referencia el análisis anterior y le agregamos las fábricas Pedro Sotto, Che Guevara y la Central Hidroeléctrica Nuevo Mundo se alcanza una demanda máxima de 42,575 MW, la generación contra este nivel de carga sigue siendo más que suficiente, se puede proseguir dejando encendido 3 generadores (G10, G5 y G3) trabajando a un 85 % cada uno los cuales van a suplir dicha demanda aportando por generador una potencia activa de 15,75 MW para un total de 47,25 MW. La explotación a este porcentaje de generación contra esta demanda trabaja con toda normalidad.

Al agregar al sistema las fábricas de níquel hay una pequeña caída de tensión de 18,3 kV a 13,4 kV la cual se normaliza al paso de los 15 segundos, después entra en acción la Central Hidroeléctrica Nuevo Mundo la cual provoca una pequeña perturbación de los parámetros eléctricos como son Potencia Activa, Reactiva y el factor de potencia, que este baja de 0,9 a 0,87 aunque luego se normaliza el sistema como se muestra en la figura 3.2.

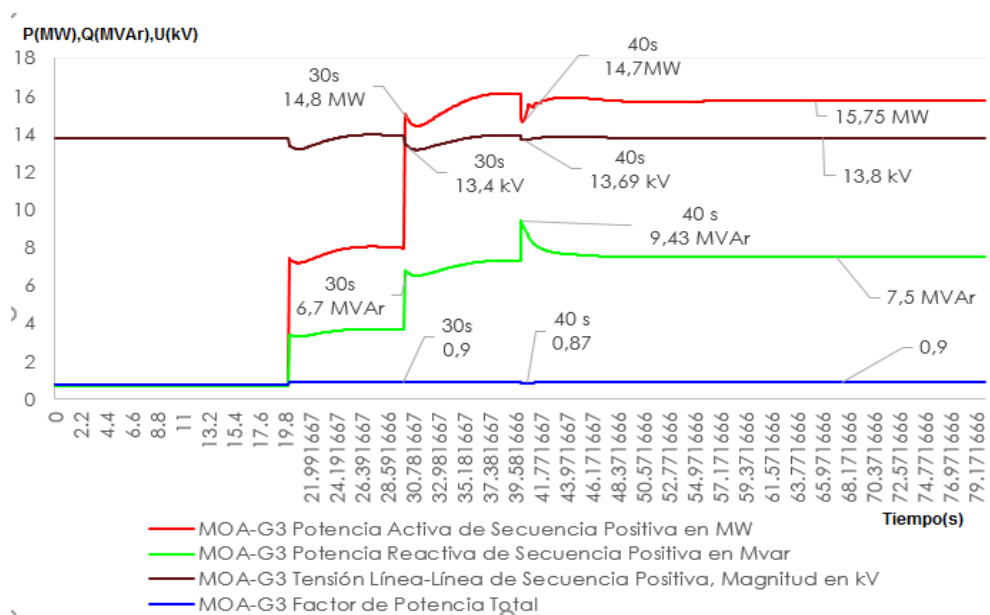


Figura 3.2 Comportamiento de los generadores G10, G5 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa con la demanda residencial, mini estatal, las fábricas de níquel y la Hidroeléctrica

3.3 Análisis del Comportamiento de la simulación a un 60% de generación agregando los circuitos de Baracoa, Sagua de Tanamo y el resto del O-570.

Con una generación de la Central Fuel Oil de Moa a un 60 % entregando una potencia total de 110,4 MW con los 10 generadores encendidos y generando por cada uno de ellos 11,04 MW, si se agrega al sistema los circuitos de Baracoa, Sagua de Tanamo y el resto del O-570 se alcanza una demanda máxima de 63,7 MW, se pueden dejar conectados solo 4 generadores (G10, G8, G5 y G3) trabajando a un 93 % cada uno ya que estos van a aportar contra esta demanda 17,1 MW, para un total de 68,4 MW supliendo dicha demanda eficientemente sin tener muchos cambios significativos, aumentando la generación total y con esto el modo aislado, manteniéndose un equilibrio en cuanto a los parámetros eléctricos más importantes como se muestra en la figura 3.3.

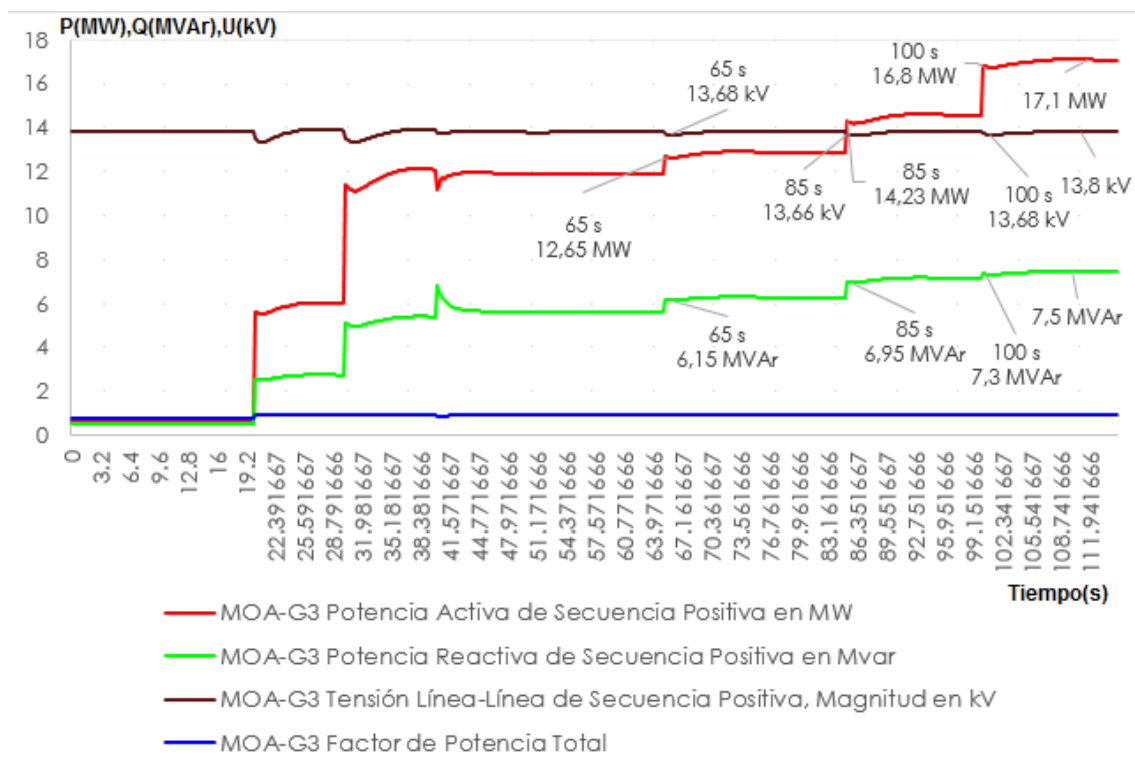


Figura 3.3 Comportamiento de los generadores G10, G5, G8 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo asilado los circuitos de Baracoa, Sagua de Tanamo y el resto del 0-570

3.4 Análisis del Comportamiento de la simulación a un 80% de generación agregando al modo aislado el circuito de Nicaro.

La operación de la Central Fuel Oil de Moa a un 80% de su capacidad y con los 10 generadores encendidos posibilita que este entregue una potencia total de 147,2 MW, entregando por generador 14,72 MW, al agregar a mi modo aislado el circuito de Nicaro con una demanda máxima de 16 MW y considerando que la demanda total que se va obteniendo está en el orden de los 80 MW, se puede inferir que con tan solo 5 generadores (G10, G9, G8, G5 y G3) trabajando a un 94 % cada uno, van a aportar contra esta demanda 17,3 MW, para un total de 86,5 MW supliendo esta demanda eficientemente a pesar de que se acercan a sus valores nominales.



Al conectarse dicho circuito se experimenta como la Potencia Reactiva disminuye de 7,4 MVar a 5,9 MVar por la longitud de las líneas y la tensión aumenta a los 13,9 kV normalizándose el sistema pasado los 5 segundos como se muestra en la figura 3.4.

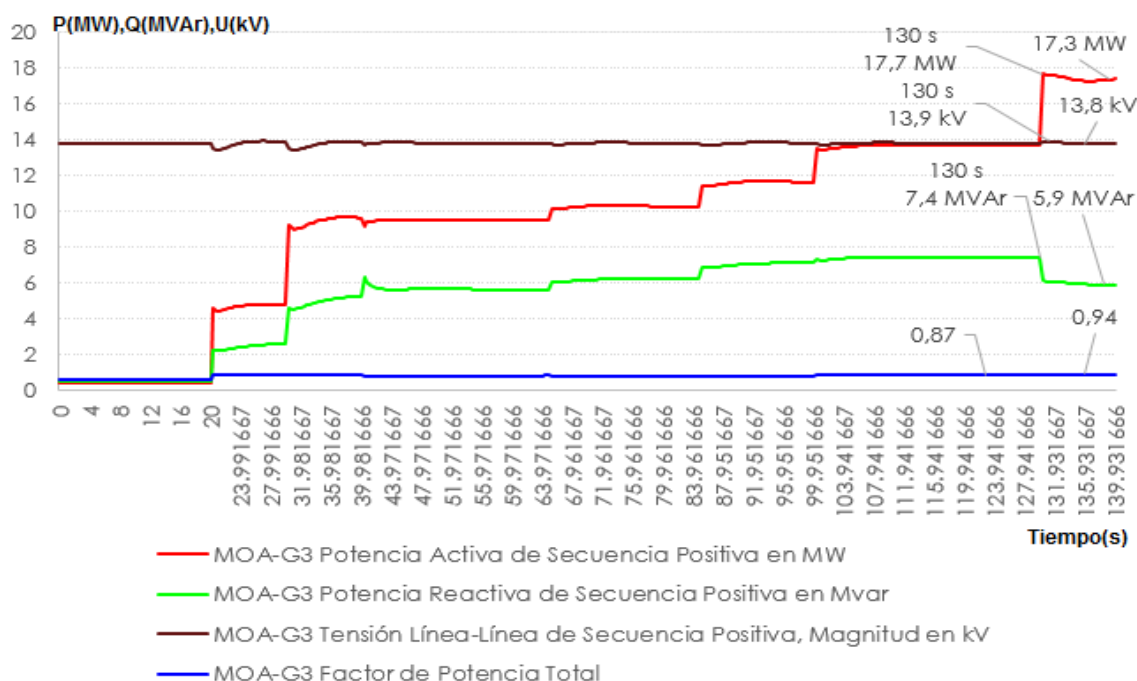


Figura 3.4 Comportamiento de los generadores G10, G9, G8, G5 y G3 de la Central Fuel Oil de Moa teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo aislado la demanda máxima del circuito de Nicaro

3.5 Análisis del Comportamiento de la simulación a un 100% de generación agregando los circuitos de Nipe, Banes y Canela.

Cuando la Central Fuel Oil de Moa opera a un 100% de su capacidad con los 10 generadores encendidos posibilita que este entregue una potencia total de 184 MW, entregando por generador 18,4 MW, si tomamos como referencia todo los análisis anteriores y le agregamos los circuitos de Nipe, Banes y Canela se alcanza una demanda máxima de 139,7 MW, la generación de la Central contra este nivel de demanda y de longitud de las líneas solo alcanza suplir 125 MW de



dicha demanda máxima como se muestra en los anexos del 14 al 16, todo esto es debido a la gran longitud de las líneas donde se encuentran dichas regiones provocando un aumento del reactivo el cual incita que haya una caída del factor de potencia y la tensión en los lugares más lejanos por lo cual no se recomienda seguir incrementando más circuitos, dicho comportamiento se muestran en las figuras de la 3.5 a la 3.9.

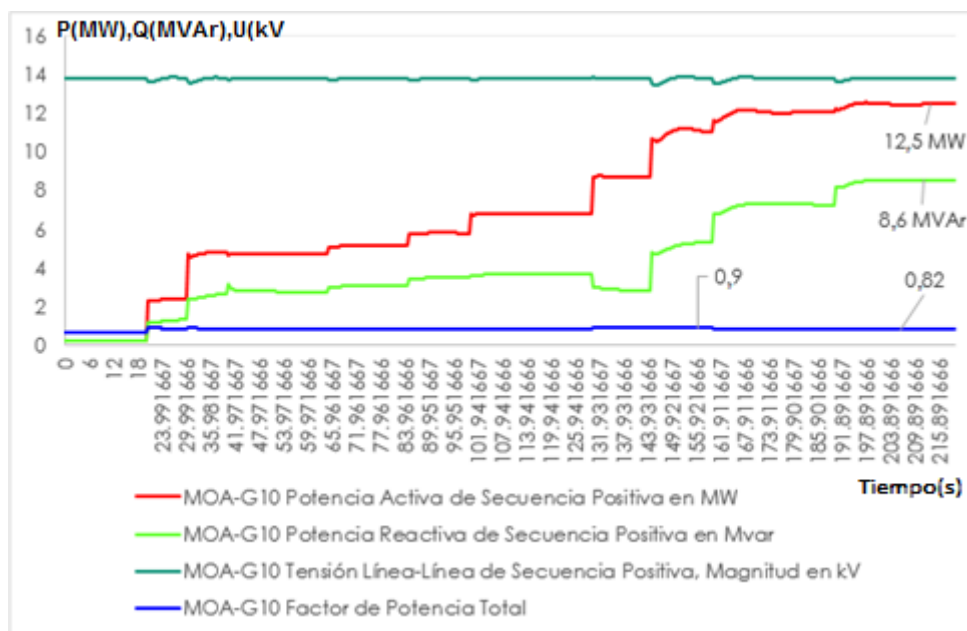


Figura 3.5 Comportamiento de los generadores de la Central Fuel Oil de Moa con 100% de generación teniendo en cuenta que todos trabajan a un mismo nivel, agregando al modo aislado los circuitos de Nipe, Banes y Canela

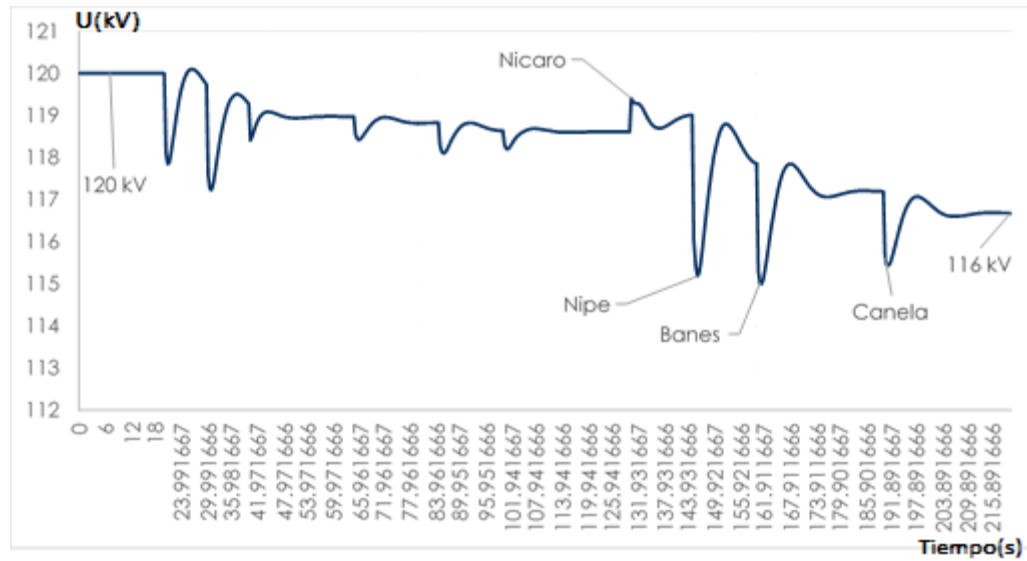


Figura 3.6 Comportamiento de la tensión de las Barras de la subestación que se encuentra en la Central Fuel Oil de Moa a partir de la simulación desde Moa hasta Canela

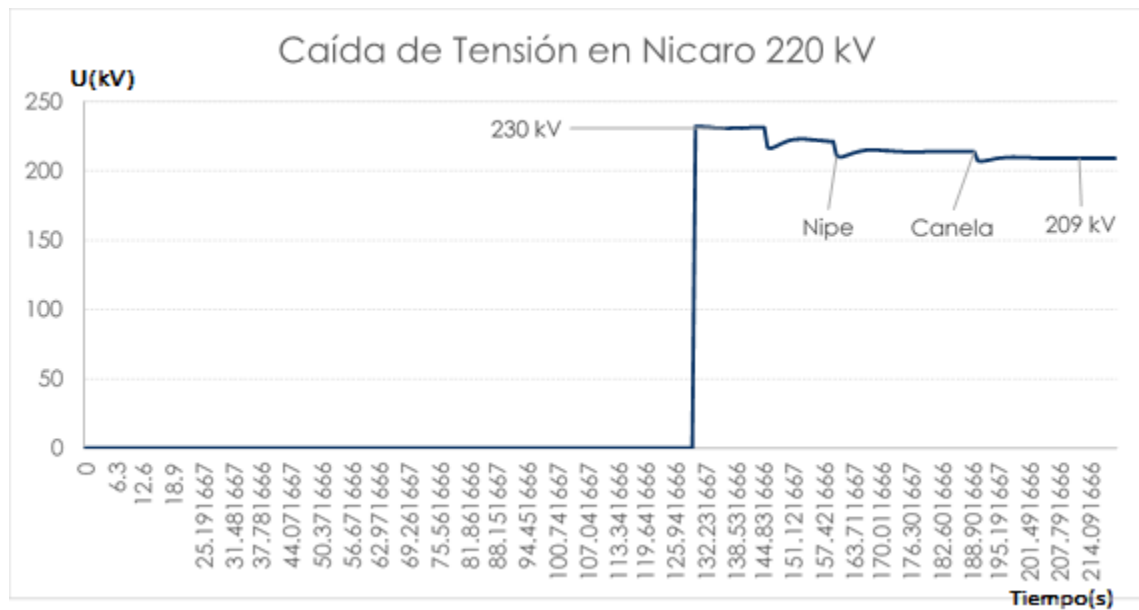


Figura 3.7 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Nicaro 220 kV

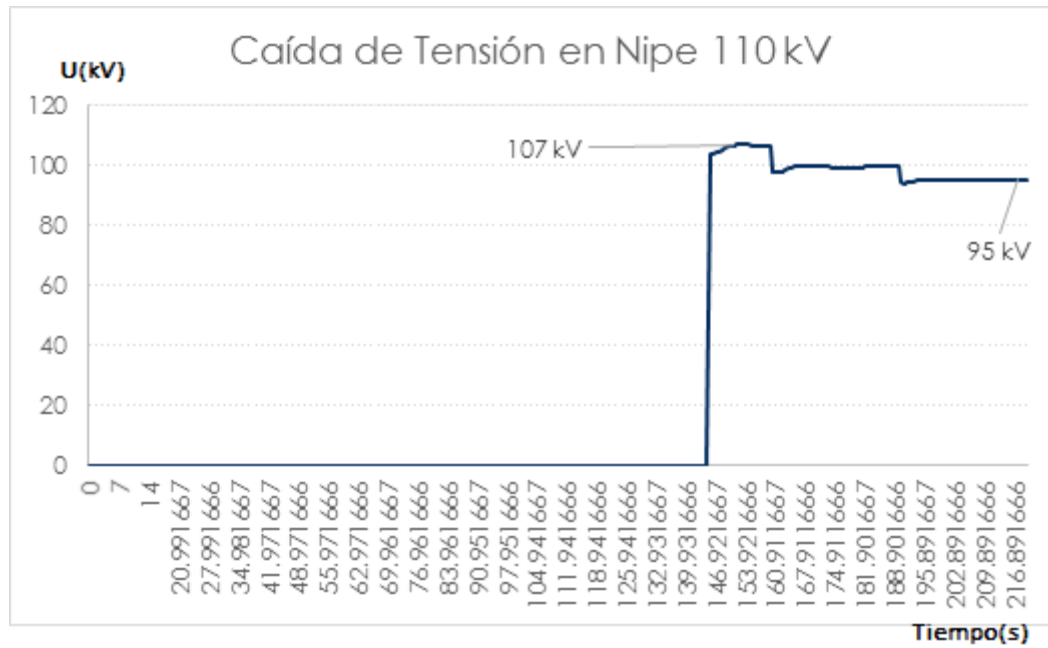


Figura 3.8 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Nipe 110 kV

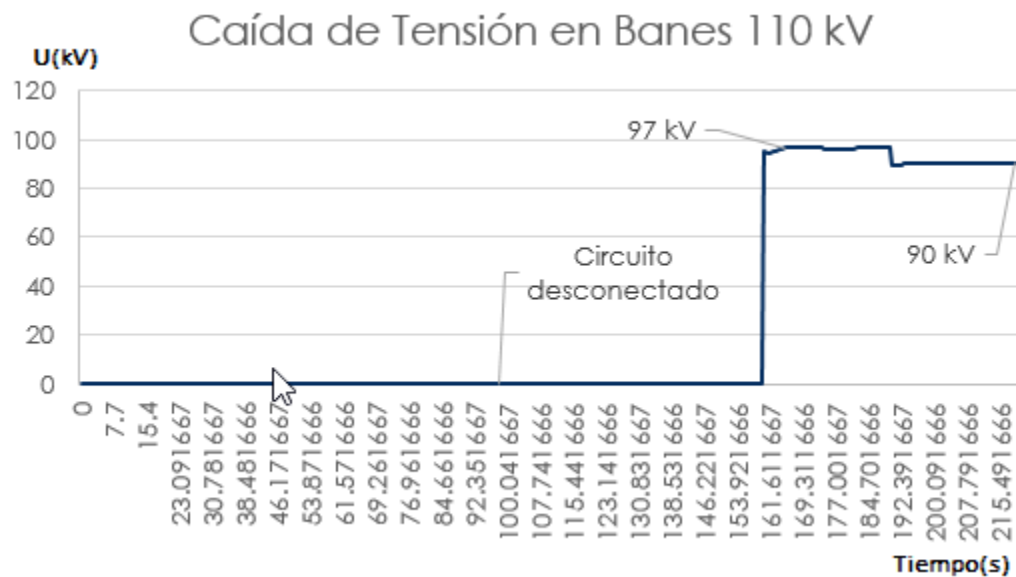


Figura 3.9 Comportamiento de la tensión de Barra de la subestación que se encuentra en Banes 110 kV



3.6 Valoración técnica y social.

Considerando que la Central Fuel Oil de Moa son máquinas con tiempo ilimitado de operación, el uso de todos sus generadores innecesariamente reduce considerablemente su vida útil. Con este trabajo se demuestra mediante simulaciones con los datos reales de cada elemento que compone el modelo, que para la capacidad instalada en esta Central el por ciento de demanda para los circuitos residenciales y estatales de Moa es muy inferior por lo que se pueden encender menos generadores ahorrando combustible y mejorando el nivel de vida de los mismos, en caso que se vaya a ampliar el modo aislado se debe tener en cuenta el tamaño de las líneas y sus propiedades además de saber cuántos generadores puedo mantener apagados sin que me afecte el equilibrio de la generación, en caso que no se tenga en cuenta lo dicho anteriormente se experimentarán caídas de tensión, y disparos innecesarios, atentando contra la disponibilidad de la instalación.

Es importante considerar que una desconexión del SEN no está exenta de ocurrir, ya ha sucedido, y se ha conectado el 100% de la generación instalada para una demanda que es muy inferior a la misma, pasando por alto que podemos extender la vida útil de los generadores.



Conclusiones.

1. Se describió el flujo tecnológico, así como las fichas técnicas de la Central Fuel Oil de Moa.
2. Se actualizaron las descripciones y monolineales de las subestaciones de distribución y sus componentes en el municipio Moa.
3. Se simuló en Power Factory la relación establecida entre la capacidad instalada en la Central Fuel Oil de Moa y la demanda máxima en los circuitos residenciales y estatales de Moa además de otros circuitos de otras regiones que permitieron conocer hasta dónde se puede ampliar el modo aislado estableciéndose que para las demandas máximas desde Moa, Baracoa, hasta Nicaro el modo aislado trabaja con toda normalidad sufriendo dichas demandas con solo la mitad de los generadores instalados en la Central y al agregarle los circuitos de Nipe, Banes y Canela se experimenta una gran caída de tensión por la longitud de las líneas que inducen una inestabilidad en el sistema la cual provoca que hayan disparos en el modo aislado determinando que es viable llegar, solo hasta la región de Nicaro.



Recomendaciones.

1. Considerar lo establecido en este trabajo como material de consulta en la Central Fuel Oil de Moa.
2. Evaluar la propuesta de pasar el cambia Tap de los cuatro transformadores de salida de la Central de manual a automático.
3. Extender este estudio a otras centrales fuel del país.



Bibliografías

1. ARMAS, M. De (Cuba 2006). Temas especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Universidad de Cienfuegos. (p.p 63)
2. CADAFE. (2011). Normas para el diseño de subestaciones de distribución.
3. Chamba, José Sarango (2010). Generadores síncronos en paralelo. from <http://www.monografias.com/>
4. Díaz, Antonio Valdés. (2011). RECONFIGURACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN PRIMARIA EN EL MUNICIPIO DE PLACETAS. “Marta Abreu” de Las Villas. (5)
5. Garrido, Santiago García. (2008). Cogeneración: Diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración.
6. Gonzalez, Fransisco M. (2014). Power Factory Applications for Power System Analysis Retrieved from [http:// www.springer.com/ series /4622](http://www.springer.com/series/4622)
7. ISO 3046 parte 1-2. Motores alternativos de combustión interna.
8. IVANOV, SMOLENSKI. (Máquinas Eléctricas. Pueblo y Educación Vol. Tomo II.
9. MAN B&W DieselAG. (2006). Documentación técnica.Motor.Manual de instrucciones.
10. MAN Diesel & Turbo Canada. (2012). Manejo y descripción funcional de la central eléctrica de Moa.
11. NEMA MG1-22- Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating.
12. Núñez, Andrisley Rosales. (2010). Simulación de la Asimilación de Demanda de la Batería de Grupos Electrógenos Moa en Isla. Instituto Minero Metalúrgico de Moa. (p.p 3)
13. La PLATA, Universidad Nacional. (Argentina, 2011). PROYECTO DE MOTORES, GRUPOS ELECTROGENOS. from www.ing.unlp.edu.ar/catedras/M0639/descargar



14. Sanamé, Anneuvis Guilarte. (2015). Análisis del sistema de enfriamiento del aceite de los motores MAN 18V48/60B de la Central Diésel Eléctrica Moa., Instituto Minero Metalurgico de Moa. (p.p 6)



Anexos.

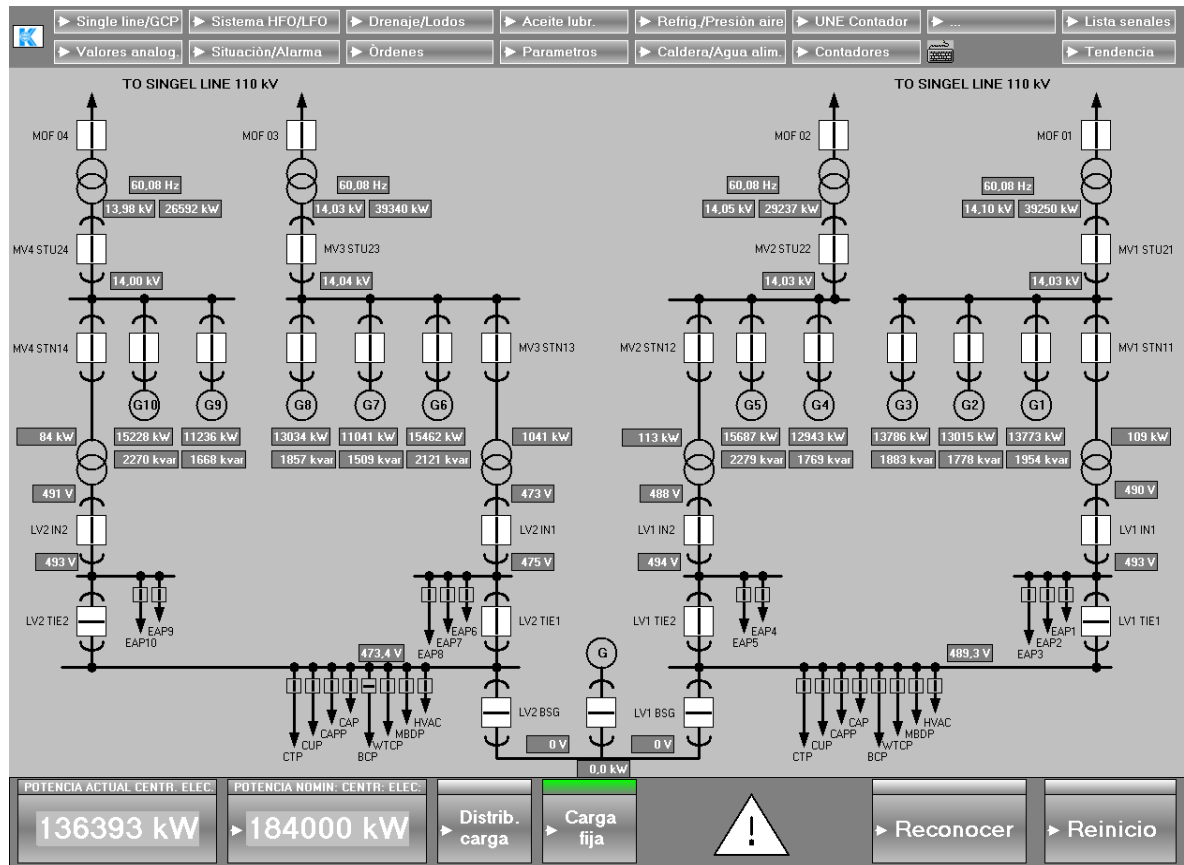
Anexo #1 Comportamiento de la demanda de los circuitos residenciales de Moa por subestaciones y circuitos

	Moa Nueva				Vivienda Checa			Puerto Moa		Miraflores	Punta Gorda Nueva	Farallones	Total
Week Ending D/M/A	Cto1 P(kW)	Cto4 P(kW)	Cto6 P(kW)	Cto11 P(kW)	Cto2 P(kW)	Cto5 P(kW)	Cto9 P(kW)	Cto3 P(kW)	Cto12 P(kW)	Cto7 P(kW)	Cto8 P(kW)	Cto10 P(kW)	P(kW)
11/12/2017	1978	1876	265	1598	1752	1088	1302	934	111	298	902	120	12224
18/12/2017	1981	1856	262	1555	1742	1058	1321	921	101	285	899	130	12111
25/12/2017	2199	2109	345	1625	1798	1163	1322	900	110	274	965	133	12943
1/1/2018	2355	2130	356	1685	1891	1166	1386	934	112	342	1024	136	13517
8/1/2018	2223	2036	330	1666	1801	999	1294	910	104	333	1003	114	12813
15/1/2018	2143	1963	350	1455	1720	958	1285	832	108	301	987	103	12205
22/1/2018	2171	1824	342	1452	1699	955	1284	896	99	245	999	111	12077
29/1/2018	1899	1801	302	1442	1598	989	1255	804	101	269	952	113	11525
5/2/2018	1745	1720	300	1333	1536	978	1258	845	104	201	902	95	11017
12/2/2018	1704	1699	295	1396	1423	1001	1245	825	110	199	935	99	10931
19/2/2018	1309	1536	289	1386	1544	936	1295	848	105	187	933	113	10481
26/2/2018	1390	1622	265	1378	1520	902	1297	800	97	196	895	123	10485
5/3/2018	1456	1533	275	1455	1565	921	1257	801	95	174	899	121	10552
12/3/2018	1390	1522	278	1455	1765	957	1241	863	99	205	904	125	10804
19/3/2018	1450	1598	264	1588	1398	895	1214	865	105	199	888	113	10577
26/3/2018	1460	1552	277	1445	1302	904	1223	845	89	188	896	101	10282
2/4/2018	1578	1758	256	1599	1230	855	1296	901	90	195	907	120	10785
9/4/2018	1498	1698	301	1620	1300	888	1286	821	97	211	947	99	10766
16/4/2018	1799	1987	322	1623	1326	1156	1299	824	110	264	994	129	11833
23/4/2018	1899	1928	312	1600	1695	1098	1305	877	111	255	955	125	12160

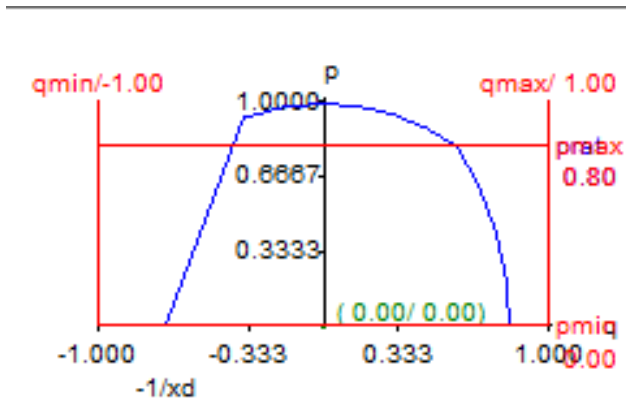


Análisis del comportamiento de la Central Eléctrica Fuel Moa en modo isla a partir de simulación en Power Factory.

Anexo #2 Monolinial de la Central Fuel Oil de Moa

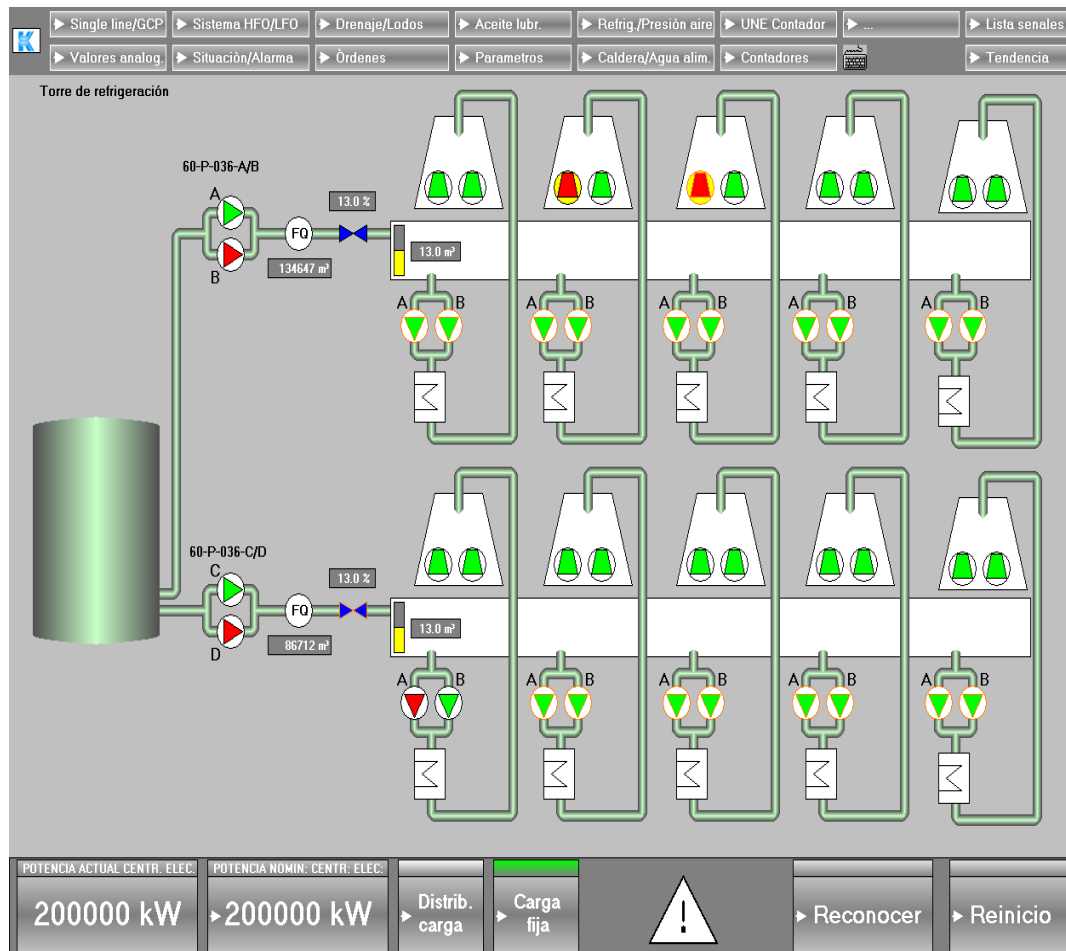


Anexo #3 Curva de Capacidad de los generadores MAN de la Central Fuel Oil de Moa en Power Factory

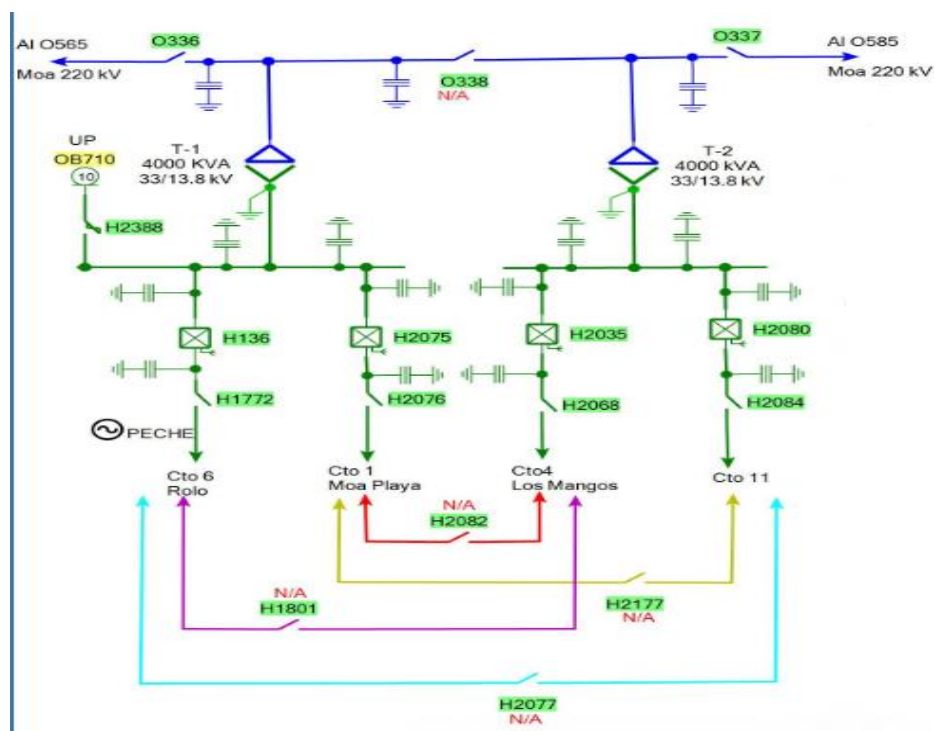




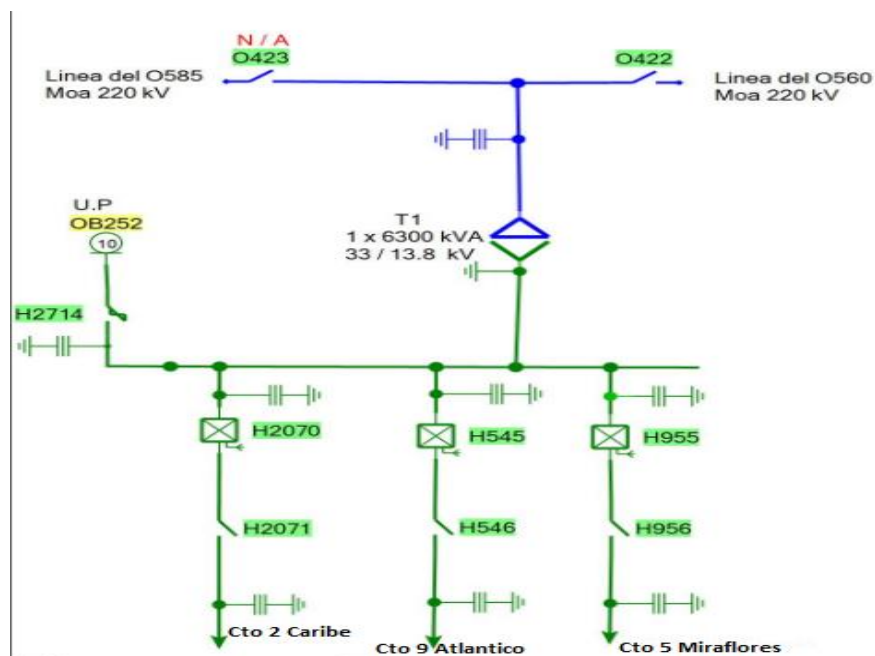
Anexo #4 Sistema Torre de Enfriamiento de los generadores vista desde Control de Unidad.

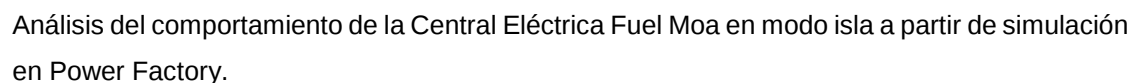


Anexo #5 Monolinial de la subestación S/E Moa Nueva OE.533

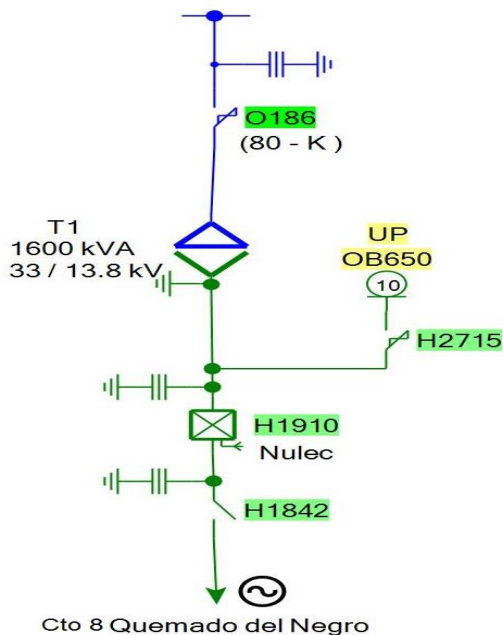


Anexo #6 Monolinial de la subestación S/E Vivienda Checa OE.511

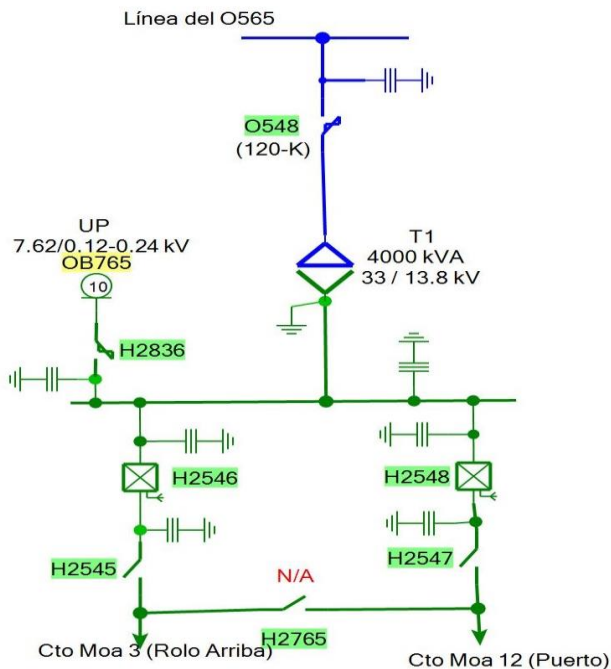




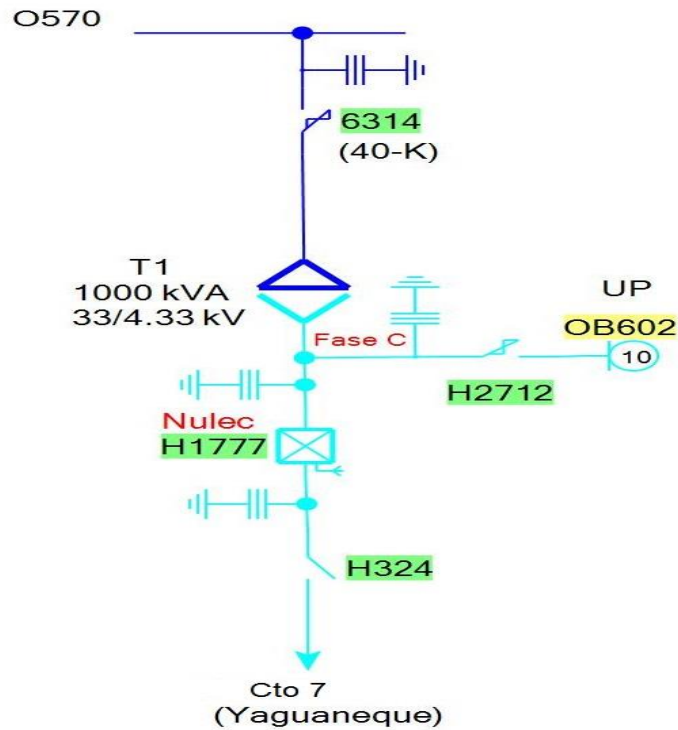
Anexo #7 Monolinial de la subestación S/E Punta Gorda Nueva OE.532



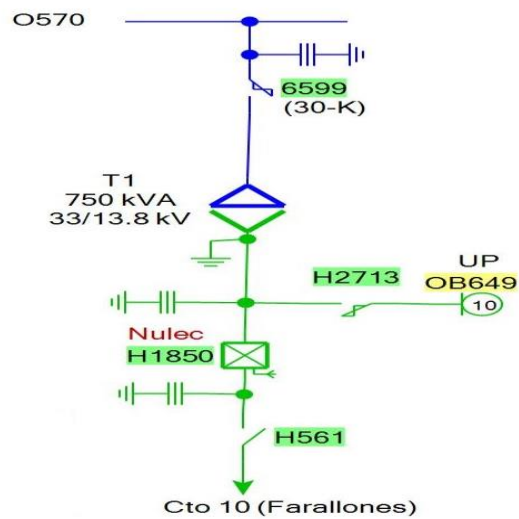
Anexo #8 Monolinial de la subestación S/E Puerto Moa OE.534



Anexo #9 Monolinial de la subestación S/E Miraflores OE.500

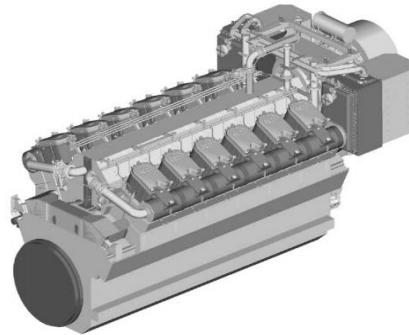


Anexo #10 Monolinial de la subestación S/E Farallones OE.512

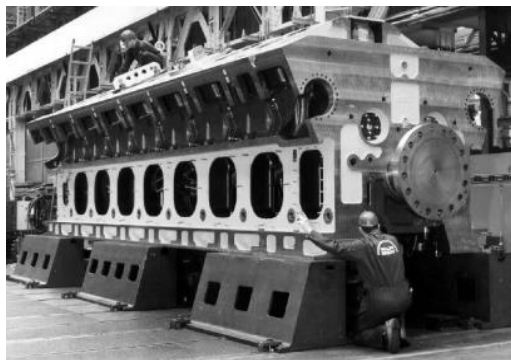




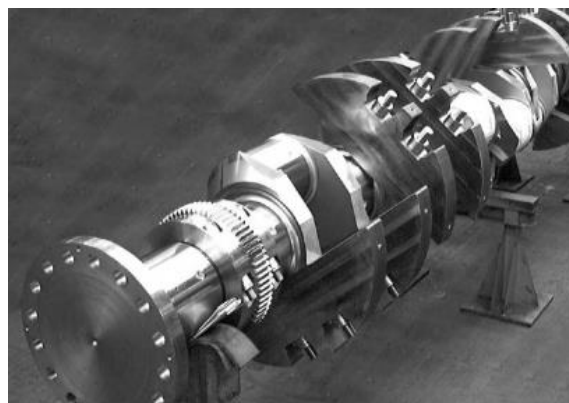
Anexo #11 Gráfico 3D, motor V 48/60 B de 12 cilindros; vista desde el lado opuesto al acoplamiento



Anexo #12 Cáster con cigüeñal, visto desde el lado del acoplamiento

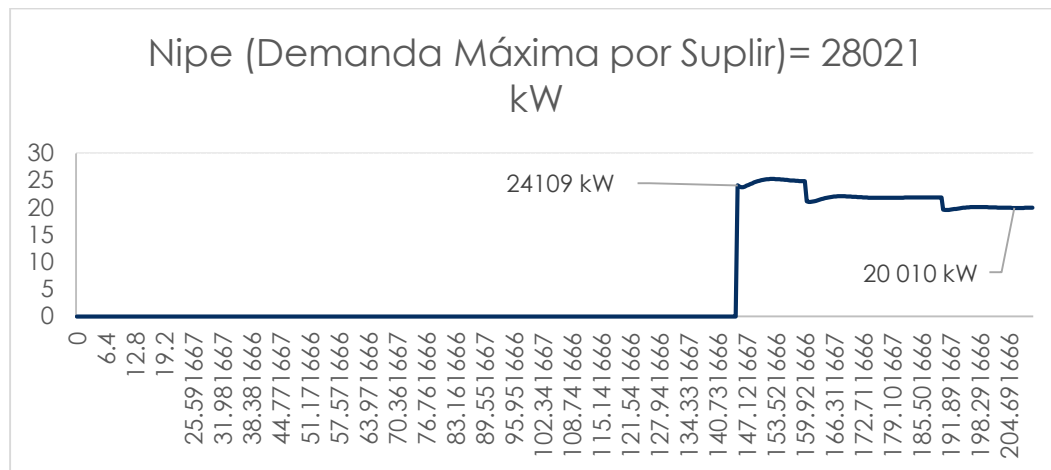


Anexo #13 Cigüeñal con contrapesos integrados.

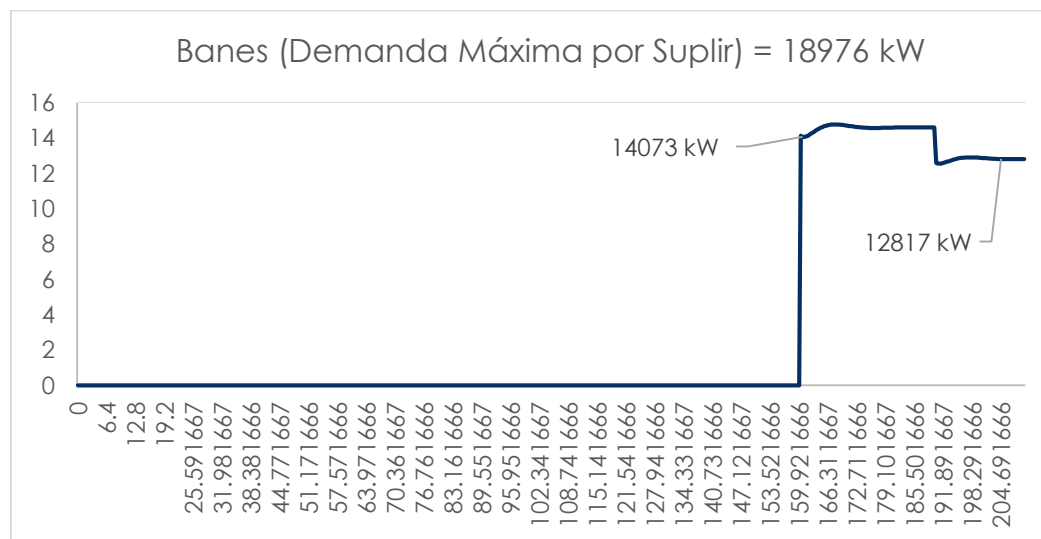




Anexo #14 Insuficiencia de generación contra demanda en Nipe por la gran longitud de las líneas



Anexo #15 Insuficiencia de generación contra demanda en Banes por la gran longitud de las líneas





Anexo #16 Insuficiencia de generación contra demanda en Canela, por la gran longitud de las líneas

