



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN DE  
MICROSISTEMAS DE GRUPOS ELECTRÓGENOS DIÉSEL  
ANTE SITUACIONES EXCEPCIONALES.**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO**

Autor: Jorge Luis Velázquez González

Tutora: MS.c. Aliniuska Noa Ramírez

Consultantes: Dr. Rafael Guardado Lacaba

**Moa, 2013**

## *PENSAMIENTO*

*Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.*

*Albert Einstein.*

## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo de diploma de una forma muy especial y antes que nada a mi mayor logro en la vida que es mi hija Paola Isabelle Velázquez Montero, que es la personita que me motivó a alcanzar esta meta. A mi hermano Rodolfo Velázquez González que es mi brazo derecho, mis padres Jorge Luis Velázquez Pupo y Virginia González Guilarte los cuales fueron los pilares de mi educación, les agradezco por creer en mí, de que iba alcanzar el éxito, a ellos y todos los que de una forma u otra me ayudaron o formaron parte para que este sueño se convirtiera en realidad, los que fueron soporte en toda mi carrera, para todos y cada uno de ellos les dedico este trabajo.*

## *Agradecimientos*

*Le doy gracias a mi país, mi comandante Fidel Castro Ruz y su empeño en llevar adelante la educación a todo lo largo y ancho del país, gracias a esto otros jóvenes como yo han tenido la oportunidad de alcanzar el nivel universitario. Agradezco a mis profesores que supieron brindar sus conocimientos y experiencia, a mi tutora Aliniuská Noa Ramírez la que ha brindado apoyo y conocimiento, además de toda la ayuda en el transcurso de este trabajo. A los trabajadores de la UEB del municipio por su ayuda y paciencia, en esta institución agradecerle a Eliosmar Pupo Mariño, Samuel Pineda Machado y demás trabajadores que de una forma u otra me fueron de ayuda para la realización de este trabajo. Y en especial a mi beba Paola Isabelle, Rodolfo mi hermano, mis padres Jorge y Virginia. A todo el que hizo realidad este sueño.*

*Muchas Gracias*

## RESUMEN

---

En la investigación que se presenta se estudia el desarrollo de la generación de la electricidad de los sistemas de Generación Distribuida en Cuba. Se desarrolla una metodología que permite generalizar los estudios sobre la operación de los microsistemas ante situaciones excepcionales del tipo desastres naturales. Se propone y analiza un **caso de estudio** donde se estima el comportamiento de la demanda en el año 2012, y se evalúa la forma de operación de un microsistema como si actuara ante una situación excepcional con la posible desconexión del Sistema Electroenergético Nacional.

## SUMMARY

---

In the investigation that present they study the development of generation of electricity of Generación Distribuida's systems in Cuba. Developing a methodology that it permit generalizing the studies on the operation of microgrid sets in front of the type exceptional situations natural disasters. It is proposed and analyze a **case study** where the behavior of request in the year estimates 2012 it self, and microgrid form of operation is evaluated as if he act in front of an exceptional situation with the possible disconnection electric power system.

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>                                                                                                        | <b>1</b>  |
| <b>Capítulo I. Marco Teórico Contextual de la Investigación.....</b>                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>1.1.</b> Introducción.....                                                                                                           | 6         |
| <b>1.2.</b> Estado del Arte.....                                                                                                        | 6         |
| 1.2.1. <i>Desarrollo de la Generación Distribuida vs. Generación Centralizada para las condiciones de Cuba.....</i>                     | 6         |
| 1.2.2. <i>Antecedentes sobre la operación del microsistema de Grupos Electrónicos Diésel ante situaciones excepcionales en Moa.....</i> | 9         |
| <b>1.3</b> Operación de los microsistemas de Grupos Electrónicos Diésel ante situaciones excepcionales.....                             | 12        |
| 1.3.1 <i>Régimen de Contingencia.....</i>                                                                                               | 12        |
| 1.3.2 <i>Régimen Económico.....</i>                                                                                                     | 13        |
| 1.3.3 <i>ISLA.....</i>                                                                                                                  | 14        |
| <b>1.4</b> Caracterización de la demanda eléctrica ante situaciones excepcionales.....                                                  | 14        |
| 1.4.1. <i>Legislación de las situaciones excepcionales.....</i>                                                                         | 14        |
| 1.4.2. <i>Desastres Naturales.....</i>                                                                                                  | 15        |
| 1.4.3 <i>Caracterización del SEP.....</i>                                                                                               | 17        |
| 1.4.4 <i>Estimación de la demanda eléctrica ante una situación excepcional.....</i>                                                     | 18        |
| 1.4.5 <i>Evaluación de las pérdidas eléctricas.....</i>                                                                                 | 21        |
| <b>1.5</b> Evaluación de la operación de los microsistemas ante situaciones excepcionales.....                                          | 21        |
| <b>1.6</b> Metodología para la operación de los microsistemas de GED ante situaciones excepcionales.....                                | 27        |
| <b>1.7</b> Conclusiones parciales.....                                                                                                  | 28        |
| <b>Capítulo II. Estimación de la demanda eléctrica en el municipio de Moa.....</b>                                                      | <b>30</b> |
| <b>2.1</b> Introducción.....                                                                                                            | 30        |
| <b>2.2</b> Estimación de la demanda eléctrica en Moa.....                                                                               | 30        |

|                     |                                                                                                                           |           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.1               | <i>Decisiones a tomar para la estimación de la demanda eléctrica ante situaciones excepcionales .....</i>                 | 34        |
| <b>2.3</b>          | <b>Casos de Estudio de estimación de la demanda ante situaciones excepcionales.....</b>                                   | <b>34</b> |
| 2.3.1               | <i>Caso de Estudio 1: Estimación de la demanda ante la ocurrencia de un sismo.</i>                                        | 34        |
| 2.3.2               | <i>Caso de Estudio 2: Estimación de la demanda ante inundaciones por penetraciones del mar.....</i>                       | 36        |
| 2.3.2.1             | <i>Estimación del factor de carga ante inundaciones por las penetraciones del mar.....</i>                                | 41        |
| 2.3.2.2             | <i>Estimación del factor de pérdidas ante inundaciones por las penetraciones del mar.....</i>                             | 42        |
| <b>2.4</b>          | <b>Conclusiones parciales.....</b>                                                                                        | <b>44</b> |
| <b>Capítulo III</b> | <b>Evaluación de la generación de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.....</b> | <b>46</b> |
| <b>3.1</b>          | <b>Introducción.....</b>                                                                                                  | <b>46</b> |
| <b>3.2</b>          | <b>Condiciones para la operación de los microsistemas.....</b>                                                            | <b>46</b> |
| <b>3.3</b>          | <b>Evaluación de la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel para los casos de estudio 1 y 2.....</b>    | <b>48</b> |
| 3.2.1               | <i>Caso de estudio 1 .....</i>                                                                                            | 48        |
| 3.2.2               | <i>Caso de estudio 2 .....</i>                                                                                            | 48        |
| <b>3.4</b>          | <b>Conclusiones parciales.....</b>                                                                                        | <b>55</b> |
|                     | <b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>                                                                                        | <b>56</b> |
|                     | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                               | <b>59</b> |
|                     | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                                                  | <b>60</b> |
|                     | <b>ANEXOS</b>                                                                                                             |           |



## INTRODUCCIÓN GENERAL

La electricidad representa, actualmente, la forma más útil de energía, estando presente en todos los sectores de la sociedad gracias a su gran variedad de aplicaciones, que van desde el alumbrado, calefacción o ventilación, hasta el campo de las telecomunicaciones, tecnologías de la información, procesos industriales, etc. El objetivo de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) es suministrar electricidad a todos los consumidores conectados a la red, en cualquier instante y con la capacidad necesaria para satisfacer los picos de demanda eléctrica.

En Cuba hasta el 2006 se utilizaron principalmente plantas termoeléctricas, pequeñas y medianas hidroeléctricas, GEE aislados para la generación de energía eléctrica a los consumidores, pero el alto consumo de combustible e insumos y las constantes averías, además del impacto del bloqueo norteamericano para la compra de piezas provocaron que el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) no fuera fiable, ni económico. Situación que empeora al influir cualquier evento externo (situación excepcional<sup>1</sup>) sobre las redes de suministro y los clientes del sistema.

Este fue el escenario que condicionó el desarrollo de la Revolución Energética, su objetivo: eliminar las constantes interrupciones en el fluido eléctrico que afectaban tanto a la población como a la industria. Uno de los cambios conceptuales inherentes de este proceso radicó en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica que introdujo las nuevas tecnologías de Generación Distribuida (GD) [González, 2008], sistemas que descentralizaría el SEP.

En los SEP centralizados el flujo de potencia es unidireccional es decir de la fuente de generación hacia la carga y en los descentralizados es bidireccional. La reconfiguración en el SEP descentralizado provocó la desconcentración del proceso de toma de decisiones

---

<sup>1</sup> Situación excepcional: constituyen estados de ese carácter que se establecen, de forma temporal, en todo el territorio nacional o en una parte de él, en interés de garantizar la defensa nacional o proteger a la población y la economía en caso o ante la inminencia de una agresión militar, de desastres naturales, otros tipos de catástrofes u otras circunstancias que por su naturaleza, proporción o entidad afecten el orden interior, la seguridad del país o la estabilidad del Estado (Gaceta Oficial de la República de Cuba: Ley 75 de la Defensa Civil, Artículo 9, 1998)

sobre la explotación de las instalaciones de GD, el mayor porcentaje de estas, accionadas o movidas por motores de combustión interna diésel, conocidas como Grupos Electrógenos Diésel (GED) de tecnologías principalmente Scania, Guascor (Francesa) y MTU (Alemana) [Despacho nacional de carga Cuba, 2008], actualmente en la provincia existen 115 grupos sincronizados al SEN con una potencia instalada de 201,5 MW [ONE, 2012], los cuales alimentan principalmente a los circuitos residenciales y clientes de 1ra categoría. Estas unidades pueden operar en paralelo con el SEN o aislados (ISLA<sup>2</sup>) del SEN.

La operación de los GED permite afrontar los problemas del aumento de la demanda eléctrica en regiones urbanas y rurales donde la red la distribución es restringida, el trabajo unificado al SEN garantiza el respaldo y/o soporte de la demanda en los horarios donde la carga es mayor a la capacidad de generación instalada, y estimula los estudios de eficiencia energética [Cobos, 2007 y Pino, 2009], contribuyendo con el desarrollo sostenible de los GED.

En la provincia de Holguín en estos momentos se cuenta con 20 Grupos Electrógenos Diésel Aislados (GEA) y 7 Baterías Grupos Electrógenos Diésel (GEDB), el sistema de GD con GED más grande del país y de América Latina en su tipo [UEB-GD provincial, 2012].

En el municipio Moa se cuenta con una Batería de GED, la misma tiene un impacto directo sobre la demanda del sector residencial. Cualquier evento externo que provoque la desconexión del municipio del SEN, conlleva a la creación de un microsistema de GE compuesto por la Batería Moa y los emplazamientos de Sagua de Tánamo [Noa, 2009].

El tema ha sido estudiado en el ISMM por: Gómez, 2006; González, 2007; Noa y Arango 2009, Rosales y Segura, 2010 y Guerrero, 2011 y por la OBE municipal Pupo, 2011 han analizado puntualmente las modificaciones en el SEP, tomando como referencia los estudios realizados, se determinó que el problema de la operación de la GEDB ante situaciones excepcionales fue abordado por primera vez en el 2007 por el Ing. Reinier

---

<sup>2</sup> Operación en ISLA: son unidades diseñadas para funcionar de modo aislado. Las unidades trabajan de forma independiente o paralelas entre sí, pero separadas del sistema de forma tal que los parámetros de frecuencia, voltaje son fijados por ellas (UNE: Generación Distribuida de Electricidad Cubana (GDECU), Manual de Gestión, 2009).

Gómez Domínguez en este trabajo se caracteriza la red de distribución, se estima la demanda eléctrica y la operación de la GEDB. El procedimiento que rige el estudio realizado en este trabajo sirvió de guía para el resto de los investigadores, como consecuencia el conocimiento acerca la operación de los GED en ISLA se sintetizó pero para las condiciones locales, o sea, los resultados responden básicamente al estado de los datos de frontera que se establecen a partir de las carga a alimentar por los GED en situaciones excepcionales, teniendo que ejecutarse desde cero el procedimiento si se desea hacer el estudio en otra región, por lo tanto, es necesario un método que permita la generalización de este tipo de estudio. Por otra parte en Moa no se ha investigado la respuesta de los microsisistemas ante sismo e inundaciones costeras, desastres naturales que se deben analizar para que este tipo de estudio abarque 5 de las 8 situaciones excepcionales estipuladas en Directiva N° 1 del 2010, del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción de Desastres (según la sede del Gobierno Municipal en el 2013), quedando los desastres naturales: deslizamiento de tierra, intensas sequía e incendios forestales. Además no se ha analizado el comportamiento del índice de consumo de combustible (ICC) del microsisistema ante situaciones excepcionales, el estado de este índice fue analizado en el 2009 por Noa, esta sugiere un procedimiento para el cálculo de ICC en el cual usa como datos de entrada los específicos del objeto de estudio pero no se evalúa el procedimiento, solo sirve como base para otros estudios, por lo tanto los resultados que se obtiene al aplicar este procedimiento serán locales. Los otros investigadores Maresma, Reyes y Tabares (2007); Gómez, Velázquez y Pino (2008) proponen diferentes métodos para la estimación del ICC pero para la operación de la Batería de GED o los GEA en paralelo con el SEN siendo esta **la situación problemática** que origina o perfila la investigación.

Por consiguiente en el preámbulo de la presente investigación se ha observado que la inexistencia de una metodología que permita generalizar el estudio de la operación eficiente de los microsisistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales, es el **problema de investigación**.

### **Objeto de la investigación.**

Microsistema de grupos electrógenos diésel.

### **Campo de Acción.**

Operación de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.

### **Objetivo General de la investigación.**

Elaborar una metodología que garantice la operación eficiente de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.

### **Hipótesis:**

Una metodología que analice tanto los fundamentos de la operación en ISLA de los microsistemas de grupos electrógenos diésel como los de las cargas demandas antes situaciones excepcionales, además organice, planifique, ejecute y controle la operación eficiente de los mismos permitirá generalizar este tipo de estudio a todos los microsistemas de grupos electrógenos diésel.

### **Objetivos Específicos de la investigación.**

1. Investigar los antecedentes relacionados con el campo de acción, determinar sus deficiencias y explicar cómo le daremos solución en la investigación.
2. Seleccionar la metodología para el estudio del régimen de operación eficiente de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.
3. Caracterizar las situaciones excepcionales que imponen la necesidad de la operación eficiente de los microsistemas de grupos electrógenos diésel.
4. Seleccionar los casos de estudio para la evaluar la metodología.

### **Sistema de Tareas a realizar.**

1. Revisar bibliográfica y consultar Internet para compilar conocimientos sobre la operación de los grupos electrógenos diésel en situaciones excepcionales.
2. Desarrollar las fases de metodología para la operación eficiente de un microsistema de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales

3. Plantear teniendo en cuenta las leyes cubanas cuáles situaciones excepcionales que crean la necesidad de operación de los microsistemas de grupos electrógenos diésel en ISLA.
4. Evaluar la operación eficiente de un microsistema de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales sismo y penetraciones del mar.

## Capítulo I. Marco teórico- contextual de la investigación

### 1.1 Introducción

En este capítulo se exponen los contenidos establecidos por Legrá, Diéguez en el 2012 para desarrollar una metodología [Legrá; Diéguez, 2012] que permita generalizar los estudios sobre la operación de los microsistemas de GED ante situaciones excepcionales del tipo desastres naturales (Anexo 4). En el marco teórico-contextual de la investigación se analiza el desarrollo que tuvo la generación distribuida vs generación centralizada para las condiciones de Cuba y los antecedentes sobre la operación de los GED de Moa y Sagua de Tánamo. También se abordan los aspectos teóricos a tener en cuenta para la operación eficiente de los microsistemas, para ello se caracteriza la demanda eléctrica de Moa y se establecen las tareas de la metodología.

### 1.2 Estado del Arte.

#### ***1.2.1 Desarrollo de la Generación Distribuida vs. Generación Centralizada para las condiciones de Cuba.***

La investigación que se desarrolló en la Unión Nacional Eléctrica (UNE) en el período 1989-2001 respecto a los indicadores: factor de potencia disponible, días de apagón, energía dejada de servir, tiempo total de interrupciones de redes, pérdidas de totales, energía facturada a los consumidores y porcentaje de la generación con combustible nacional, constató que la generación de la energía eléctrica centralizada era ineficiente. Entre los eventos que afectaron a la UNE se deben destacar los acontecimientos históricos<sup>1</sup> que sucedieron desde 1990 hasta 1996, los cuales provocaron un déficit energético que semiparalizó la industria y los servicios [Noa, 2009; Arrastría, 2008], por lo que fue necesario perfeccionar la estructura de la UNE (*Anexo 1, Figura 1*) en el Programa de Desarrollo Estratégico del SEN del 2005. [UNE, 2005]. En el mismo se analizó que el estado de las plantas termoeléctricas "Lidio Ramón Pérez" y "Antonio Guiteras" con 25 años de explotación como promedio, un 60% de disponibilidad, las que presentaban altos insumos y frecuentes averías [Arrastría, 2008].

---

<sup>1</sup> Acontecimientos históricos: El derrumbe del campo socialista en el 1990 y el período especial del 1993 hasta 1996 (Noa, 2009)

Esta situación trajo consigo que en el 2006 con la Revolución Energética se establecieran 28 líneas estratégicas que servirían de guía para la instalación y explotación de nuevas unidades de Generación Distribuida con fuentes de energía renovable y no renovable, en la rehabilitación de las redes eléctricas y en el desarrollo de varios programas de ahorro de energía en el sector residencial y estatal [Noa, 2009; Arrastría, 2008].

Como consecuencia, la generación de la energía eléctrica dentro del SEP se descentraliza [González, 2008], la generación deja de fluir en un solo sentido (hacia el consumidor), o sea, parte de la energía demandada por los clientes es generada por los sistemas de GD (*Anexo 1, la Figura 2*). Entre las principales tecnologías de GD que actualmente se explotan están las turbinas de gas, las pequeñas y medianas hidroeléctricas, los parques eólicos y los grupos electrógenos de fuel oil y diésel, las mismas presentan características y parámetros nominales que se ajustan a las particularidades operacionales del país [Filgueiras y Castro, 2012].

Las tecnologías de mayor impacto son los grupos electrógenos [ONE, 2012] estas unidades incrementan la disponibilidad del servicio eléctrico, garantiza la invulnerabilidad ante déficit de generación o situaciones excepcionales y permiten la creación de microsistemas (emplazamientos: Baterías de Grupos Electrógenos Diésel, Grupos Electrógenos Fuel Oil, Grupos Electrógenos Diésel Aislados) que se pueden sincronizar (en paralelo) o trabajar aislados (ISLA) del SEN. Con la explotación de los emplazamientos se cambia el esquema de operación de las plantas térmicas (*Anexo 1, Figura 3*) y por tanto la estrategia en la generación eléctrica (*Anexo 1, Figura 6*).

El impacto de la explotación de los GE se puede apreciar en los documentos publicados por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) (*Anexo 1, las Tablas 1-6, Figuras 8, 9-14 a) y b)*). Los resultados que se observan nos permiten plantear que desde el mes de diciembre 2008 hasta diciembre 2012 la instalación y utilización de las tecnologías de grupos electrógenos en Cuba aumentó en 524 GW la capacidad instalada, y la provincia de Holguín creció en 56,2 GW (la generación bruta de electricidad en 3439,9 GWh), al instalarse 24 GEFO y 115 GED de 118 (se desmontaron 3).

Las nuevas capacidades de generación garantizaron que el consumo de electricidad en el sector residencial el cual aumentó en 110,8 GWh, zona en donde se encuentran los principales consumidores de la potencia generada por los GE.

El municipio de Moa es el segundo municipio con mayor capacidad instalada en GE de la provincia [OBE municipal, 2012]. Esto se debe a que en el territorio la población es de 75 515, en la zona urbana hay 64 147 (representa 84,9%) habitantes [Despacho del Gobierno Municipal, 2012], actualmente cuenta con una Batería de GED (capacidad instalada de 15,104 MW) y se está terminado el montaje de una Batería de GEFO (capacidad instalada 184 MW).

La importancia que tiene para este municipio la explotación de los GE recae principalmente en la disponibilidad de los mismos ante el déficit de generación del SEN o en situaciones excepcionales [Noa, 2009; Guerrero, 2011; Rosales, 2010], la vulnerabilidad del país ante contingencias.

En la provincia Holguín el servicio eléctrico cuenta con microsistemas de GE que se pueden trabajar en ISLA o formar una **microrred** (*Anexo 1, Figura 7*). Los microsistemas pueden reducir significativamente el tiempo de interrupción en los circuitos residenciales ante las afectaciones provocadas por las situaciones excepcionales debido a que en estos momentos es menor la dependencia de la provincia del SEN. Especialistas de la Organización Básica Eléctrica plantean que los sistemas de Generación Distribuida existentes en todos los municipios, y el monitoreo constante en el Despacho Provincial de Carga garantizan el nivel de respuesta de estas plantas frente a la ocurrencia de estos eventos (*Anexo 1, Figura 4 y 5*).

A pesar de que existe mucha documentación, y una estrategia (*Anexo 1, la Figura 6*), directivos y operadores capacitados para la operación de los microsistemas en ISLA, todavía no se ha publicado una metodología que permita la generalización de este tipo de estudio a todos los microsistemas de la provincia.



### **1.2.2 Antecedentes sobre la operación del microsistema de Grupos Electrógenos Diésel ante situaciones excepcionales en Moa.**

En el ISMM se han desarrollado varias investigaciones que abordan la operación de los GED ante situaciones excepcionales. En este acápite se analizarán los resultados de las más importantes relacionadas con el objeto de investigación.

La investigación desarrollada por Gómez (2007) aborda las características generales de la Batería en Grupos Electrógenos Diésel para situaciones excepcionales y normales de trabajo, los fundamentos del funcionamiento en modo paralelo e isócrono, las características de la potencia de generación de la batería y la estimación de la demanda. Además analizó la selección de los grupos electrógenos que conforman la Batería, para evaluar si los emplazamientos de Sagua de Tánamo (Sagua 2) y El Carmen, tienen suficiente capacidad de generación para satisfacer la demanda ante situaciones excepcionales. De este trabajo se obtuvo principalmente que la demanda del municipio en el 2006 fue superior a la capacidad de generación de las 8 máquinas de la Batería y que el régimen de operación potencia continua por tiempo limitado o potencia primaria (*Régimen Prime Power (PRP)*) [Hazel, 2001] impedía explotarlas al 100%, demostrándose la necesidad de crear el microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo.

En este trabajo se establecieron las pautas para las otras líneas de investigación relacionadas con el objeto de estudio, aunque debe mencionarse que la solución de incrementar el número de máquinas (10 máquinas) en la Batería de GED no fue una solución factible para los directivos de la UNE-GD y la OBE [Gómez, 2007].

En el siguiente año González (2008) profundiza el estudio sobre el objeto de investigación, parte de las características de la generación de electricidad del sistema eléctrico de potencia en el país antes y después de la Revolución Energética, expone cómo se ha ido introduciendo la generación distribuida con fuentes de energías renovables y no renovables a través de las capacidades instaladas por cada tipo de fuente de energía, además presenta las diferentes definiciones establecidas a nivel mundial con respecto a la generación distribuida.

Vuelve a caracterizar el sistema eléctrico de potencia del territorio Moa hasta los circuitos residenciales e introduce en el estudio a los grupos electrógenos de emergencia de los

clientes de 1ra categoría. También estima la demanda, evalúa la forma de explotación del microsistema para el mes de mayor demanda y el índice de consumo.

Otro resultado es que determinan las pérdidas de las líneas de subtransmisión y analiza el impacto económico anual en una de las subestaciones.

Sin embargo, el resultado más significativo del trabajo es que crea las bases para la confección de un procedimiento que permita explotar el microsistema ante situaciones excepcionales [González, 2008].

En el 2009 este tipo de estudio se extendió hasta al municipio de Banes, Arango realiza un estudio de las características generales del emplazamiento de GED en la Subestación Banes 1 para situaciones excepcionales. Sigue la misma metodología de Gómez y González, pero además analiza como las situaciones excepcionales afectan a los GED del emplazamiento, siendo este el resultado a destacar en esta investigación [Arango, 2009].

En ese mismo año Noa (2009) ahonda aún más el estudio inicial de González expone como se introduce la generación distribuida a nivel nacional e internacional, los métodos y normas usadas por los investigadores en este campo, además de las definiciones establecidas a nivel mundial. Otra vez se repite la caracterización del SEP; la estimación de la demanda eléctrica y la evaluación de la operación del microsistema como si actuara ante una situación excepcional por medio de una simulación en el software Matlab. Como principales resultados se elaboran dos procedimientos, el primero para la toma de decisiones y el segundo para la operación del microsistema en ISLA de forma manual ante situaciones excepcionales respectivamente. En el último procedimiento se incluye el estudio del índice de consumo y se elabora un procedimiento que finalmente no se evalúa por no ser un objetivo de la investigación [Noa, 2009].

La madurez alcanzada en estos trabajos le permitieron en el 2010 a Rosales desarrollar una investigación para establecer los límites permisibles de asimilación de demanda por parte de la Batería de GED ante una desconexión del SEN, para ello estudian del SEP, las subestaciones, los esquemas y componentes de las redes de distribución. Seleccionan el software simulador, las normas de explotación de los grupos electrógenos y la presencia de estos en las redes eléctricas. También caracteriza el sistema de distribución municipal y procesa de la data de demanda eléctrica. Con todos estos datos realiza las simulaciones Metodología para la operación de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales

Jorge Luis Velázquez González

en Matlab para cada porcentaje de carga de las subestaciones y explotación de la Batería [Rosales, 2010]. A partir de ese resultado Guerrero en el 2011 realizó la simulación de la operación de un sistema híbrido de GD para el estudio de operación de este nuevo sistema de generación distribuida ante situaciones excepcionales [Guerrero, 2011].

Otros trabajos como el de Segura en el 2010 y el de Pupo, 2011 proponen reconfigurar los circuitos de distribución, el primer investigador realiza el estudio para tres situaciones de emergencia (salida de las subestaciones de distribución por averías: en las líneas de 33 kV; en las líneas de alta tensión que alimentan a la subestación Moa 110 kV respectivamente y salida de servicio de la subestación Moa 110 kV) y propone varios procedimientos que conforman un Plan de Adecuación de Redes para garantizar el suministro ininterrumpido de los cliente de 1ra categoría del municipio que no cuentan con Grupos Electrónicos de Emergencias (GEE), uno de los procedimientos consiste en desconcentrar los GED de la Batería de Moa, siendo el resultado más significativo para nuestra investigación, aunque las situaciones de emergencias que se analizan no se clasifican como situaciones excepcionales (desastres naturales) [Segura, 2010]. Pupo por su parte propone reconfigurar la red de distribución para mejorar la operatividad del sistema eléctrico en la Unión Eléctrica Básica (U.E.B.) de Moa, en los horarios picos a partir de la modificación de la capacidad instalada en los transformadores de las subestaciones y de los esquemas de los circuitos primarios de distribución respectivamente [Pupo, 2011].

Lo anteriormente expuesto implica que la operación del microsistema de GED ante las situaciones excepcionales que constituyan desastres naturales, se establece a partir las características del SEP de cada territorio y de la capacidad de generación del microsistema de GED. Por lo tanto sin lugar a dudas para ampliar este tipo de estudio hacia todos los microsistemas de la provincia de Holguín el método propuesto debe cumplir con restricciones mencionadas y además garantizar los aseguramientos de los GED.

Se puede finalizar diciendo que los aspectos contextuales y los antecedentes expuestos, son suficientes para plantear que es necesario elaborar una metodología que garantice la

operación eficiente de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales, siendo este el objetivo principal de la investigación.

### **1.3 Operación de los microsistemas de Grupos Electrógenos Diésel ante situaciones excepcionales.**

Según el Manual de Calidad para la Operación, la Norma Ramal de la Industria Básica 590 (NRIB 590), los despachos de carga son los responsables del trabajo coordinado de los elementos que componen el SEN y por tanto todo el esquema de generación distribuida que se establece (*figuras 4 y 5 en el Anexo 1*) basa su operación en órdenes y flujo informativo a través del mismo [UNE: Manual de calidad para la operación, 2006]. El flujo de información tiene como objetivo garantizar la generación con la disponibilidad óptima y cumpliendo los parámetros de calidad de la energía para el SEN. Precisamente estos esquemas de operación garantizan que sean eficaces y eficientes las decisiones que se tomen en los regímenes de operación de contingencia y el económico.

Los esquemas de operación y el flujo informativo frente situaciones excepcionales permiten que ante la indisponibilidad del SEN la comunicación con los operadores de los microsistemas sea continua y eficaz. Un microsistema de GED trabaja asilado (o en ISLA) si el SEN no está disponible. Entre las causas que provocan la indisponibilidad en las centrales térmicas y en las redes eléctricas de transmisión del SEN están: las averías en el proceso tecnológico de las plantas, los mantenimientos planificados y las averías originadas por desastres naturales (situaciones excepcionales).

Como política el régimen de los microsistemas de GED ante las averías originadas por desastres naturales es el de contingencia [UNE: Manual de calidad para la operación, 2006].

#### **1.3.1 Régimen de Contingencia**

Es un régimen de operación que garantiza la continuidad del servicio ante déficit de generación o situaciones excepcionales, las unidades pueden utilizarse al 100% de su carga nominal cumpliendo las especificaciones del fabricante o un esquema por horarios para su operación en ISLA [UNE: Manual de calidad para la operación, 2006]

Bajo este régimen se seleccionará el Modo de operación ISLA: Los GE están diseñados [ISO 8528-1, 1993] normalmente para funcionar de modo aislado estos trabajan de forma independiente o paralelas entre sí, pero separados del sistema de forma tal que los parámetros de frecuencia, voltaje y factor de potencia son fijados por ellos.

Para obtener la potencia a generar por los GED en ISLA se deben seleccionar y ajustar los modos fijo o isócrono de forma manual o automática:

**a) Modo de ajuste fijo:** un GED que aporta una potencia fija al sistema. La potencia de los GED tiende a cambiar con las variaciones de frecuencia del sistema y ante esta variación el sistema de control corrige la potencia fijada. En los GED el tiempo de respuesta es muy corto (gobernador electrónico) a diferencia de los GEFO (gobernador hidráulico). En caso de trabajar aislados, si la suma de las potencias ajustadas en cada unidad es superior a la demandada, los GED se disparan por sobrefrecuencia.

**b) Modo de ajuste isócrono:** el Grupo Electrónico regula frecuencia. Se ajusta la caída de velocidad a cero. Las variaciones de carga del sistema son asumidas por el Grupo Electrónico, sin que la frecuencia de este varíe.

Se puede formar una ISLA con Grupo Electrónico en modo de ajuste fijo y otras en modo isócrono regulando frecuencia, en este caso la reserva de potencia generada por los GED tiene que ser representativa ante las variaciones de la carga demandada.

Por otra parte en una ISLA de Grupo Electrónico, estos se deben operar dentro de su gama de potencia económica (el régimen de contingencia debe ser económico), además es necesario arrancar y parar los Grupo Electrónico pequeños para cubrir los picos del SEP.

### **1.3.2 Régimen Económico.**

Además de cumplir con las condiciones del régimen de contingencia, también se debe tener en cuenta que este debe ser el más **económico** con el objetivo de disminuir las pérdidas en el emplazamiento o la Batería de Grupos Eléctricos para su uso eficiente. Se debe operar las unidades en dependencia de tecnología en el régimen para el cual fue diseñado, o sea, teniendo presente las características de los parámetros nominales de fabricación. Además se debe conocer en correspondencia con los porcentajes de

explotación de los GED cual es el consumo específico de combustible o índice de consumo de combustible (ICC). Con el objetivo de estudiar el comportamiento del ICC varios trabajos se desarrollaron en el ISMMM ([Maresma; Reyes, 2007], [Gómez, 2008, [Velázquez, 2008] [Pino, 2008] y [Noa, 2009]) pero ninguno estableció este índice para la operación de los microsistema frente a situaciones excepcionales.

### **1.3.3 ISLA**

La característica fundamental de la **ISLA** está determinada por las de cada uno de sus GE y viceversa. El conocimiento exacto de las características fundamentales y las interrelaciones entre los Grupos Electrónicos de la ISLA es elemental para realizar una operación adecuada. El estado de las características y relaciones de los GED de la ISLA se describe con un enfoque sistémico en el flujo tecnológico [Noa, 2009]. Luego de analizados los aspectos teóricos relacionados con la operación de los GED que conforman al microsistema se debe analizar cuáles elementos teóricos inciden en la demanda eléctrica de los circuitos residenciales.

## **1.4 Caracterización de la demanda eléctrica ante situaciones excepcionales.**

### **1.4.1 Legislación de las situaciones excepcionales.**

Ante situaciones excepcionales debe estudiarse de la Gaceta Oficial de la República de Cuba, la Ley 75 de la Defensa Civil, el Artículo 9, del 1998. Esta ley ha sido analizada por varios de los investigadores que se abordaron en el acápite 1.2.2 y está en el (Anexo 6). La aplicación práctica de esta Ley ante situaciones excepcionales que constituyen desastres naturales se estableció en la Directiva Nº 1 del 2010 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción de Desastres [Consejo de Defensa Nacional, Directiva No.1, 2010] esta presenta: las regulaciones para la organización, planificación y preparación del país para las situaciones de desastres, las mismas se clasifican en desastres naturales, tecnológicos y sanitarios, los dos últimos no serán estudiados porque solamente ante desastre naturales es que se precisa de la operación del microsistema de GED.

#### 1.4.2 Desastres naturales.

- Ciclones tropicales
- Intensas lluvia
- Tormentas locales severas
- Sismos
- Penetraciones del mar
- Deslizamientos de tierra
- Intensas sequías
- Incendios forestales.

Los tres primeros desastres naturales ya han sido estudiados (*acápite 1.2.2*), falta por analizar los sismos y las penetraciones del mar, para los otros desastres no es necesario establecer el microsistema, según el Gobierno Municipal.

##### **a) Sismos**

Un sismo o terremoto es un temblor de tierra, que puede durar varios segundos, y a menudo viene acompañado de un ruido sordo y profundo. También se les conoce como “movimientos telúricos”. Estos temblores son provocados por la liberación de grandes cantidades de energía acumulada en el interior del planeta, a profundidades que varían desde unos pocos kilómetros. Después del terremoto pueden ocurrir otros temblores de menor magnitud, conocidos como “replicas”. Este desastre puede llegar a afectar drásticamente el desarrollo social [Lovaina; Amaro; Rouco, 2012].

Antecedentes de sismos en Moa: El territorio localizado en la costa norte de la parte oriental de la Isla, cuenta con un centro de sismología en el Instituto Superior Minero Metalúrgico donde se han realizado varios registros que van describiendo la actividad sísmica del lugar. Como por ejemplo el terremoto de 1992 produjo una intensidad sísmica máxima de VI grados (MSK) en la ciudad de Moa y localidades cercanas, produciendo en la primera agrietamientos de paredes en escuelas y edificios de viviendas, otros tres sismos fueron reportados por la población de Moa con intensidad de IV grados (MSK). El primero de estos ocurrió el 2 de marzo de 1994 ( $M_s=5,5$ ), al N de la República



Dominicana; el segundo ocurrió el 13 de septiembre de 1996 ( $M_s=3,3$ ) y el otro tuvo lugar el 19 de abril de 1988 ( $M_s=3,6$ ), en el Macizo Moa -Baracoa, a unos 20 Km. al sur de Moa, el cual tuvo un replica perceptible con intensidad de III grados MSK, el 28 de diciembre de 1998 comenzó una larga serie sísmica, iniciada por un fuerte temblor ( $M_s=5,5$ ) que generó intensidades de hasta VI grados (MKS) en esa ciudad, produciendo incluso agrietamiento en paredes de edificios de viviendas, desde el 28 de diciembre de 1998 hasta diciembre de 1999 se registraron 24 eventos perceptibles y un total de más de 1 200 réplicas, agrupadas fundamentalmente alrededor de la región de Moa [Lovaina; Amaro; Rouco, 2012]. El sismo de Haití ocurrió el pasado 12 de enero del 2012, con una intensidad de 7,3 MSK. Este sismo es uno de los mayores registrados en los últimos 200 años y está asociado a la falla Enriquillo-Plantain Garden, esta abarca desde la Española hasta el sur de Jamaica siendo el límite entre la Microplaca de Gonaive y la placa del Caribe (*figura 16, Anexo 1*)

La intensidad de los sismos que se han sentido en el territorio se debe a que el mismo está cubierto por fallas (*figura 17, Anexo 1*), de ellas se encuentran dentro del sector residencial las fallas **MIRAFLORES, CABAÑA y MOA**. Las mismas no son causantes de generar sismos, su verdadera peligrosidad es que al ser zonas vulnerables son capaces de amplificar la intensidad y magnitud de cualquier sismo que ocurra en las cercanías del territorio.

#### ***b) Penetraciones del Mar***

Las principales causas de inundaciones costeras en el municipio se deben a la ocurrencia de algún evento meteorológico como ciclones y tormentas tropicales, las precipitaciones en la región de Moa no armonizan con las del resto del territorio nacional, los mayores promedios anuales se reportan de noviembre a febrero considerado para Cuba como periodo seco, siendo en Moa la época de mayores precipitaciones con valores de 2300 – 2600 mm y más, todos estos eventos pueden provocar penetraciones del mar [Sánchez, 2012].

Por otra parte las zonas costeras se inundan a veces durante la pleamar a causa de mareas inusualmente altas motivadas por fuertes vientos en la superficie oceánica, o por maremotos debidos a terremotos submarinos.



Ante esta situación excepcional evidentemente los repartos con mayor riesgo son los costeros, con el análisis de datos adquiridos en el Gobierno Municipal, el paso del huracán Ike provocó que se inundaran algunas zonas costeras, se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla. 1.1. Datos de los repartos afectados por las inundaciones costeras por penetración del mar en Moa.

| Repartos o Consejos populares | Localidad o asentamiento poblacional | Evento meteorológico                     | Distancia que avanzó el mar tierra adentro (m) | Cota máxima de la penetración (m) |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Las Colorada                  | Pesquero                             | Huracán Ike, el 8 de Septiembre 2008     | 5 m                                            | ½ m                               |
| Moa Centro                    | La Playa                             | Huracán Ike, 7 y 8 de septiembre de 2008 | 10 m                                           | 1 ½ m                             |
| Punta Gorda                   | Punta Gorda. Abajo                   | Huracán Ike, 7 y 8 de septiembre de 2008 | 15m                                            | 3 m                               |
| Cupey                         | Cupey                                | Huracán Ike, 7 y 8 de septiembre de 2008 | 25 m                                           | 1m                                |
| Yamanigüey                    | Yamanigüey                           | Huracán Ike, 7 y 8 de septiembre de 2008 | 7m                                             | ½ m                               |

En el ISMMM se han desarrollado varias investigaciones acerca la vulnerabilidad del municipio ante estos dos eventos [Sánchez, 2012, Lovaina; Amaro; Rouco, 2012]. Se han analizado principalmente las zonas afectadas y los aspectos teóricos para los estudios de vulnerabilidad. De la información que fue consultada no aparecen resultados acerca del daño que estos dos eventos le provocan a los circuitos residenciales.

#### **1.4.3. Caracterización del SEP.**

Como paso previo e indispensable ante de estimar la demanda se debe conocer el SEP descentralizado, para ello se debe de establecer el flujo tecnológico de los GE (como se menciona en el acápite 1.3.3) [Noa, 2009], además hay que caracterizar la(s) subestación(es), las líneas de subtransmisión, los circuitos de distribución y los residenciales, clientes de 1ra categoría y los objetivos que cuentan con generación de Metodología para la operación de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales

Jorge Luis Velázquez González

emergencia, en esta investigación esta información esta documentada en el Anexo 5, las Tablas 9 y 10.

#### **1.4.4 Estimación de la demanda eléctrica ante una situación excepcional.**

Luego de analizado el SEP territorial y la objetividad de operar el microsistema frente situaciones excepcionales (Sismos e Inundaciones del mar) se explica cómo estimar la demanda eléctrica frente a la SE mencionada.

Se debe de analizar el comportamiento de la demanda eléctrica mensual en circuitos residenciales, determinar el mes de mayor consumo y el día donde se alcanzó el valor máximo absoluto de la demanda, después se debe seleccionar el circuito de mayor consumo para el estudio tomando el criterio: “*el peor caso de estudio*” porque cualquier estudio que se haga bajo este criterio el microsistema suplirá la potencia demandada en la situación excepcional que se analice.

En caso de que no se pueda analizar el estado de la demanda en todos los circuitos residenciales del municipio o provincia, se debe explicar las razones.

Para establecer el comportamiento de la demanda mensual se debe contar con las mediciones, en nuestro caso las obtenemos de los analizadores de redes los Nu-lec [Añel, 2013]. A continuación se aplica el procedimiento que se muestra.

##### 1) Para estimar la carga demanda en una situación excepcional:

1. En los reparto afectados por la situación excepcional se debe determinar para cada circuito la cantidad y la capacidad de los transformadores de distribución de las cargas que se desconectan  $Ct_j$  ( $j = 1, 2, \dots, P$ ) y  $P$  es la cantidad de transformadores.
2. Se determina el factor de potencia de los horarios de mínima ( $FP_{min}$ ) y máxima demanda ( $FP_{max}$ ) de las potencias demandadas por hora.
3. Se determinar los valores de los coeficiente de carga<sup>2</sup> de las potencias demandas promedio anual por hora  $Cc_k$  ( $k = 1, 2, \dots, 24$ ).

---

<sup>2</sup> Coeficiente de carga: Este índice se determinó con la ayuda del Microsoft Excel, a partir de las curvas de demanda anual de los horarios picos divididos entre los valores máximos de la demanda para cada hora en el año (en este caso se hizo también cada 15 min) donde no hubo cambio de esquema o avería en los circuitos residenciales. Los datos de los coeficientes de carga de la demanda en cada hora están dispersos como promedio con respecto a la media en un valor de 5% al 13% en los horarios picos.

$$4. \quad P_{C_k} = P_{Cd_k} - \left( \frac{(w_{\min} Fp_{\min} + w_{\max} Fp_{\max}) \sum_{j=1}^P Ct_j}{Cc_k} \right) \quad (1)$$

Donde  $P_{Cd_k}$  es la potencia horaria demandada por la carga del día 22 de julio,  $P_{C_k}$  son las potencias horarias demandadas por la carga con las que se construyeron las curvas para cada situación excepcional,  $w_{\min}$  y  $w_{\max}$  son coeficientes binarios que indican si es un horario de mínima o de máxima demanda y  $k$  representa las horas del día

### 2) Para estimar el factor de carga ante situaciones excepcionales:

Luego de estimados los datos y construidas las curvas para las situaciones excepcionales, se debe determinar el factor de carga ( $F_{Cd}$ ) de los receptores de energía que consumirán su producción del microsistema de GED en situaciones excepcionales. Este factor se establece a partir de la relación entre la demanda promedio y la demanda. Se entiende por carga promedio, aquella de magnitud constante en el transcurso de un tiempo dado (24 horas). Si se toma un día lleva la misma energía que la curva de comportamiento diario [Casas, 1991].

El cálculo del  $F_{Cd}$  para un día tomando los valores en intervalos de 1 hora será:

$$F_{Cd} = \frac{\frac{1}{24} \sum_{h=1}^{24} w_h}{W} \quad 2$$

donde  $w$ : es potencia promedio demandada instantánea (MW) y  $h = 1, 2, \dots, t$  es el valor de la potencia instantánea demandada por la carga en cada hora del día.

$W$ : es el máximo valor absoluto de la potencia demandada (MW).

### 3) Para estimar el factor de pérdidas ante situaciones excepcionales:

Uno de los índices más representativos al analizar una línea de transmisión o de distribución es la energía perdida en la misma en un intervalo de tiempo dado, un día, un mes, un año. El cálculo de pérdidas para un estado dado, generalmente el valor pico, puede determinarse por métodos convenientes establecidos, sin embargo, **para evaluar las pérdidas de energía de un día implicaría repetir los cálculos para cada estado de operación**. Una simplificación de este procedimiento puede lograrse por medio del factor

de pérdida (Fe) el cual establece la relación entre las pérdidas promedio y la magnitud de pérdidas máxima. Para la evaluación del factor de pérdida no se puede proceder de una forma directa, desde su definición, si esto se pudiera realizar, no tendría sentido su existencia, pues su finalidad es el cálculo de las pérdidas promedio [Casas, 1991].

En nuestro caso tomaremos lo sugerido por (casas, 1991), teniendo en cuenta que la curva diaria de la carga tiene dos picos de muy corta duración que el pico del horario de la tarde es donde se alcanza el máximo valor absoluto anual y la magnitud de la carga constante el resto del día, para calcular los valores de los factores de pérdida y carga siguientes: vea las ecuaciones 2-5.

$$Fc_d = \frac{w}{W} \quad (3)$$

$$Fe = \frac{i^2 r}{I^2 r} = \frac{i^2}{I^2} \quad (4)$$

Considerando el voltaje constante:

i: Corriente de la carga w.

I: Corriente de la carga W.

Se obtiene que:  $\frac{w}{W} = \frac{i}{I}$  de lo que se deduce que para este caso:

$$Fe = Fc_d^2 \quad (5)$$

En las investigaciones que antecedieron a este estudio González en el 2008 realiza un estudio sobre la pérdidas en las líneas entre la Batería de GED y tres subestaciones, en el que tiene en cuenta la resistencia y la reactancia inductiva, para ello utiliza el método directo de evaluación de pérdidas, teniendo en cuenta la corriente máxima, la caída de tensión y la longitud de los tramos [González, 2008], por otra parte Concepción en el 2007 determinó las pérdidas en los GEA y en una Batería de GED de Holguín [Concepción, 2007]. Estos dos estudios no tuvieron presente el comportamiento de las cargas eléctrica de los consumidores porque no era necesario en sus investigaciones, este aspecto es elemental para esta tesis, ya que conocer las pérdidas en los circuitos de distribución que

se manipulan en situaciones excepcionales, garantizará que la generación del microsistema sea eficaz, o sea, se genere los que realmente se consume.

### **1.5 Evaluación de la operación de los microsistemas de Grupos Electrógenos Diésel ante situaciones excepcionales.**

La operación del microsistema de los N grupos electrógenos diésel en situaciones excepcionales es esencialmente la tarea de determinar los coeficientes porcentuales  $K_i$  de explotación de cada uno de los M grupos electrógenos diésel disponibles (los que no están disponibles por mantenimiento, reparación o reserva, quedan fuera de este análisis) de manera que se satisfaga, si es posible, la potencia de demanda horaria de la carga.

#### 1) Determinar los parámetros nominales del microsistema.

Para proceder a esta tarea es necesario, además, conocer de cada generador  $GED_i$  ( $i=1; 2; \dots; N$ ) sus parámetros nominales de trabajo:

1. Potencia Nominal:  $Pn_i$

2. Índice de sobre costo:  $ISC_i$

$$ISC_i = 100 \left( \frac{CN_i - CR_i}{CN_i} \right) \quad (6)$$

Donde  $CN_i$  y  $CR_i$  son los costos de explotación nominal y real (%) respectivamente.

3. Índice de tiempo de trabajo:  $ITT_i$

$$ITT_i = 100 \left( \frac{T2_i}{T1_i} \right) \quad (7)$$

Donde  $T1_i$  y  $T2_i$  son los tiempos de trabajo para el próximo y desde el último mantenimiento (Horas) respectivamente.

4. Índice de probabilidad de rotura:  $IPR_i$

$$IPR_i = 100 \left( \frac{NR_i}{TH_i} \right) \quad (8)$$

donde  $NR_i$ : número de roturas en el año y  $TH_i$ : total de horas trabajadas en el año

A partir de los índices anteriores se define el índice general de penalización:

$$5. \quad U_i = \left( \frac{A_1 ISP_i + A_2 ITT_i + A_3 IPR_i}{A_1 + A_2 + A_3} \right) \quad (9)$$

donde  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  son factores de ponderación (pesos) que son establecidos por los encargados en la medida que sean más o menos influyentes los índices mencionados.

La tarea planteada puede modelarse matemáticamente como un problema de programación lineal mediante las siguientes expresiones:

$$\left\{ \begin{array}{l} l_1 \leq K_1 \leq l_2 \\ \vdots \\ l_1 \leq K_M \leq l_2 \\ \sum_{i=1}^N K_i P n_i = P c_i \\ \sum_{i=1}^N K_i U_i \rightarrow \text{minimizar} \end{array} \right. \quad (10)$$

$$l_2 \geq l_1 \quad (11)$$

donde  $P c_i$  es la potencia demandada por la carga (MW),  $K_i$  es el porcentaje de explotación de los grupos (%) y  $l_1$  y  $l_2$  son los límites inferior y superior para la búsqueda de  $K_i$  respectivamente.

La aplicación del Método Simplex a este modelo conduce a diferentes soluciones en dependencia de los valores de  $l_1$  y  $l_2$ . En la presente investigación se propone calcular las soluciones óptimas para diferentes combinaciones de valores de  $l_1$  y  $l_2$  de manera que obtendrá un conjunto o espacio de soluciones que permite escoger aquella que mejor satisface las demandas no formalizables de la tarea.

Este procedimiento se implementó en una aplicación informática desarrollada mediante el IDE Borland Delphi 7.0, vea la Figura 1.1.

Optimización de la Operación de Grupos Electrónicos (Programación Lineal) Aspirante: M.Sc. Aliniuska Noa Ramírez

Datos de los Generadores  
Número de Generadores: 11

| Generador | P <sub>ni</sub> (MW) | % SobreCosto | % Tiempo An | % Otro | No Disponible |
|-----------|----------------------|--------------|-------------|--------|---------------|
| G1        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G2        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G3        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G4        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G5        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G6        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G7        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G8        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G9        | 1,8                  | 0            | 0           | 0      |               |
| G10       | 0,92                 | 0            | 0           | 0      |               |

Datos de la Demanda  
Tipo de Situación:  
☐ Ciclones o Tormentas Tropicales  
☐ Inundación Local (Presa)  
☐ Inundación por intensas lluvias  
☒ Estado de Guerra o Guerra  
Prag: 1,2

| Hora | Demanda (M) |
|------|-------------|
| 1    | 10,7        |
| 2    | 10,6        |
| 3    | 10,6        |
| 4    | 10,9        |
| 5    | 12,8        |
| 6    | 14          |
| 7    | 14,6        |
| 8    | 14,6        |
| 9    | 15,5        |
| 10   | 17          |

Peso: 50, Costo: 50, Peso 1 Trabajado: 50, Peso Otros: 50, Límite Inferior: 0, Límite Superior: 100, Guardar Datos, Leer Datos

Optimización (Programación Lineal)  
**Obtener Configuración Óptima** ☐ Ocultar cálculos ☐ Límite Inferior de la Cota: Constante ☒ Variable ☐ Límite Superior de la Cota: Constante ☒ Variable ☒ Calcular para: Hora actual ☐ 24 horas Hora Actual: 18

☒ Fijar Generador Principal: G1 100 % ☒ Sumar 10% si hay déficit Paso (entre 0 y 1): 0,05

Criterio de selección de mejor opción:  
☒ Pocos al Máximo de Potencia ☐ Varios cerca del valor M Valor M: 70

Resultados de una hora:  
P<sub>nm</sub> (suma de potencias): 18,04 Solución Satisfactoria  
Límite Inferior Real: 0,45 Límite Superior Real: 1  
Suma de K<sub>i</sub>\*P<sub>i</sub>: 15,7000000000036 100 P<sub>c</sub> / P<sub>nm</sub>: 97,0066518849002  
Potencia Generador Principal: 1,8 100 P<sub>c</sub> / Dem: 100,0000000000206

| Generador | Coficiente U <sub>i</sub> | Valor de K <sub>i</sub> | K <sub>i</sub> *P <sub>i</sub> |
|-----------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| G2        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G3        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G4        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G5        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G6        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G7        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G8        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G9        | 0                         | 1                       | 1,8                            |
| G10       | 0                         | 1                       | 0,92                           |
| G11       | 0                         | 0,4130434783            | 0,38                           |

Tutoría, diseño y programación Dr.C. A.A. Legrá Lobaina Tutoría: Dra.C. Yiezenia Rosario Ferrer Versión 0.99 Mayo del 2013

Figura. 1.1. Ventana de diálogo de la aplicación del procedimiento de cálculo de los coeficientes K<sub>i</sub> de utilización de cada GED<sub>i</sub>.

En las simulaciones se calculan y se grafican varios indicadores para la explotación de los microsistema GED<sub>i</sub>.

### 1.1) Indicadores para la explotación de un microsistema:

- Potencia Demandada (potencia demandada por la carga) P<sub>c<sub>i</sub></sub> (MW)
- Potencia del GE líder P<sub>n<sub>G</sub></sub>= 1,8 MW y en sobrecarga P<sub>n<sub>G</sub></sub>= 1,98 MW
- Potencia de Generación Disponible (potencia nominal del microsistema (P<sub>n<sub>i</sub></sub>))  
P<sub>g<sub>d</sub></sub>=18,832 MW, depende del F<sub>c<sub>G</sub></sub>
- Porcentaje de satisfacción de la Potencia de Generación Disponible

$$P_{gd} = 100 \frac{P_{c_i}}{P_{a_i}} (\%) \quad (13)$$

- Potencia Asignada (potencia de generación en línea) P<sub>a<sub>i</sub></sub> (MW)

$$Pa_i = \sum_{i=1}^N K_i * Pn_i \quad (14)$$

donde  $K_i$  es el porcentaje de explotación de los GED (%)

- Porcentaje de satisfacción de la Potencia Asignada  $Pa_i = 100 \frac{Pc_i}{Pg_d} (\%)$  (15)
- Potencia de Reserva Real (potencia de reserva rodante)  $Prr_i = Pc_i - Pa_i$  (MW)
- Potencia de Reserva Nominal  $Pr_n = 3MW$ , restricción de que  $Pr_n \leq Pr_i$
- Déficit de Potencia (déficit de potencia real)  $Dpr_i = Pg_d - Pc_i$  (MW)
- Déficit de Potencia Nominal:  $Dpn = Pa_i - Pg_d \leq 3$  (MW)

Luego de definido el procedimiento, se debe de realizar varias acciones para evaluar eficientemente la operación de los microsistemas.

## 2) Determinar la disponibilidad de los GED<sub>i</sub>:

Sea  $N$  el número de GE disponibles por su estado técnico. Frente a una situación excepcional que obligue la desconexión del SEN en los microsistemas, el número de grupos dependerá de la potencia disponible, pero también de la necesidad de mantenimiento periódico de los grupos, por lo que la energía necesaria deberá poder quedar asegurada por  $(N-1)$  grupos, sin necesidad de desconexión de las cargas. Debe evitarse la explotación de los motores diésel por debajo del 30 %; para estos porcentajes trabajan en frío los grupos [Hazle, 2001]. Teniendo en cuenta esta condición se determinó el grado de utilización del microsistema, o sea, el Factor de carga ( $Fc_G$ ) del microsistema.

En los microsistemas se debe analizar la posible avería de un grupo en explotación, teniendo ya uno fuera de servicio por mantenimiento, para estas condiciones el número de GE es  $(N-2)$ . El mayor  $Fc_G$  inicial que puede utilizarse con  $N$  grupos instalados de manera que no se necesite la desconexión de cargas no prioritarias cuando  $(N-2)$  grupos funcionan, puede deducirse de la expresión:

$$Fc_G = \frac{N-2}{N-1} \quad (12)$$

Donde  $Fc_M$  es el factor de carga del microsistema para  $M=9$  es de un 90% valor más racional.



3) Determinar la potencia asignada nominal ( $P_{a_n}$ ) de los GED

Después de que se ha establecido el ( $F_{c_G}$ ) se debe sumar a la ( $P_a$ ) el valor en cada hora del factor de pérdidas determinado en el acápite 1.4.4 en el tercer procedimiento.

- 3.1 Calcular el factor de pérdida para el día y la hora de máxima demanda.
- 3.2 Obtener con la aplicación informática los valores de los indicadores ( $P_{a_n}$ ), ( $P_{ng}$ ), ( $P_{gd}$ ).
- 3.3 Sumar para el día y la hora de máxima demanda a la potencia asignada el valor del factor de pérdida.
- 3.4 Obtener nuevamente con la aplicación informática los valores de los indicadores ( $P_{a_n}$ ), ( $P_{ng}$ ), ( $P_{gd}$ )

4) Determinar el consumo específico de combustible de los GED:

Se calculará a partir de los resultados de las simulaciones el índice de consumo de combustible (ICC) del microsistema usando como guía el procedimiento de Noa (2009).

- 4.1 Determinar la cantidad de máquinas disponibles.
- 4.2 Determinar los porcentajes de operación de cada grupo.
- 4.3 Determinar para cada porcentaje de operación de los grupos los litros de combustible que se consumen.
- 4.4 Multiplicar el consumo de combustible de cada grupo por las horas de trabajo (en el día, mes o año).
- 4.5 Determinar de la capacidad de los tanques ( $100 \text{ m}^3$ ) de la Estación de Combustible de los emplazamientos de GED, el combustible disponible.
- 4.6 Hallar la diferencia entre el consumo de combustible del paso 4 y el 5.

El consumo de combustible calculado en el punto 6 permitirá planificar el trabajo de los GED en ISLA.

- 4.7 Multiplicar el consumo de combustible obtenido en el paso 6 por la densidad del combustible.

En el paso 7 se obtiene el valor del ICC en g/kWh.

5) Determinar la carga a alimentar después de la situación excepcional:

Después de una situación excepcional los especialistas de la OBE seleccionan una o más ramas. Variantes para garantizar el fluido eléctrico (OBE municipal, 2013):

- 5.1 Alimentar desde la línea de 33 kV por medio de los GEA de Sagua de Tánamo y la Batería de GED.
- 5.2 Alimentar desde la termoeléctrica de la fábrica Cmdt. "Ernesto Che Guevara".
- 5.3 Alimentar con el GEE del Combinado Mecánico.
- 5.4 Alimentar con los GEE de los clientes de 1ra categoría, para ello se deben crear dos circuitos y por los cuatro extremos alimentarlos con GEE y el microsistema.

De estas variantes las que se proponen en esta investigación son: la 1ra o la 4ta, o sea, suplir las potencias demandas con el microsistema o crear dos circuitos que se alimentara por los cuatro extremos con el microsistema y/o los GEE. Para que en las horas donde el microsistema no tenga suficiente capacidad de generación, los GEE de los clientes de 1ra categoría alimente la carga que queda sin desconectar con igual o menor potencia que instalada en los GEE, de no cumplirse esta desigualdad en cualquier hora del día se deberá desconectar parte de la carga.

Se tiene que tener en cuenta cada vez que se repita el estudio las modificaciones realizadas en los circuitos de distribución, en nuestro caso de estudio se mantienen las realizadas por Pupo en el 2011.

**Nota:** los procedimientos para la desconexión y conexión de los circuitos son los especialistas de la OBE quienes los establecen.

6) Determinar los Clientes de 1ra categorías y la generación de emergencia después de la situación excepcional:

Ante situaciones excepcionales es necesario tener bien definido los clientes de 1ra categoría tanto fuera como dentro del sector residencial, los cuales no pueden prescindir del suministro eléctrico debido a su vital importancia, debido a que se pondría en peligro la vida de las personas o causaría cuantiosos daños a la economía nacional, en la presente

investigación seleccionamos algunos de los clientes considerados de gran importancia (Anexo 5, Tablas 9 y 10), propusimos 5 clientes más con respecto al estudio realizado por (Segura, 2011). Se añaden al estudio estos clientes porque la indisponibilidad de los mismos en situaciones excepcionales afecta la alimentación de la población. De los 25 clientes solo 8 no cuentan con GEE.

### **1.6 Metodología para operación de los microsistemas de Grupos Electrógenos Diésel ante situaciones excepcionales utilizando la aplicación informática desarrollada mediante el IDE Borland Delphi 7.0.**

Las tareas de la metodología se desarrollaron a partir del modelo matemático de Programación lineal.

#### **1. Organización:**

##### **1.1 Seleccionar las características de los GED de un microsistema:**

- ✓ la potencia nominal de cada GED.
- ✓ los GED disponibles, los de mantenimiento y el de reserva
- ✓ los límites de los porcentajes de explotación.
- ✓ la reserva de potencia.
- ✓ el GED que regulará la frecuencia (GED líder).

##### **1.2 Seleccionar la situación excepcional:**

- ✓ establecer la potencia horaria demandada por la carga en cada situación excepcional.
- ✓ seleccionar la situación excepcional a simular.

##### **1.3 Seleccionar un criterio para realizar la simulación:**

- ✓ Ej. "Varios GE cerca de un valor M", donde M es un porcentaje de explotación de los GED.

#### **2. Planificación:**

##### **2.1 Seleccionar los datos para cada situación excepcional en las horas picos.**

2.2 Seleccionar los datos para cada situación excepcional durante 24 horas.

3. Ejecución:

3.1 Ajustas el paso (tiempo incremental 0.05) para cada prueba, en caso de que tarde mucho la simulación cambiar el paso.

4. Control

4.1 Obtener para cada prueba las tablas con los parámetros nominales de los GED.

4.2 Obtener los porcentajes de explotación de los GED.

4.3 Obtener los datos de la mejor respuesta del método de programación lineal.

4.4 Obtener las curvas de las pruebas planificadas.

4.5 Calcular el valor del Factor de carga.

4.6 Calcular el valor del ICC.

5 Evaluación

5.1 Se repiten las pruebas para distintos conjuntos de datos de las situaciones excepcionales.

**1.7 Conclusiones parciales.**

- Se establecieron los antecedentes relacionados con la operación de los grupos electrógenos diésel en emplazamiento ante situaciones excepcionales.
- Se determinó a partir de los antecedentes que no se había estudiado la operación de los microsisistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales: sismos y penetraciones de mar.
- Se analizaron las normas que establecen bajo cuales situaciones excepcionales el microsisistema debe operar en régimen ISLA.
- A partir de la metodología seleccionada se desarrollan todas las fases para el estudio del régimen de operación eficiente de los microsisistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.

- Se establece las tareas de la metodología para operación de los microsistemas de GED ante situaciones excepcionales utilizando la aplicación informática desarrollada mediante el IDE Borland Delphi 7.0.

## Capítulo II. Estimación de la demanda eléctrica.

### 2.1 Introducción

La finalidad de un sistema de generación distribuida con tecnología de Grupos Electrógenos Diésel, como va a ser señalado en el capítulo III, es generar energía eléctrica a los consumidores residenciales ante el déficit de generación del SEN o en situaciones excepcionales. Cuando los GED en Batería, GEA o en microsistemas operan en régimen ISLA, los consumidores desde el punto de vista operativo constituyen receptores de energía que consume la producción de energía eléctrica de los GED, esa es la razón fundamental por lo que el comportamiento del consumo de energía eléctrica o la demanda eléctrica de los consumidores debe de conocerse.

En este capítulo analizaremos el comportamiento de la demanda anual, mensual, diaria y horaria. Tomaremos como caso de estudio las potencias demandas en los circuitos residenciales del municipio Moa. Determinamos ante las situaciones excepcionales sismo e inundaciones por las penetraciones del mar las potencias demandadas diaria por circuito y el día donde la demanda alcanzó el máximo valor absoluto. Además se establece el factor de carga y de pérdidas con el objetivo de poder estimar de forma eficiente como debe de explotarse el microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo para las situaciones excepcionales mencionadas.

### 2.2 Estimación de la demanda eléctrica en Moa

En la estimación de la demanda se tiene en cuenta como punto de partida cuales son los circuitos de distribución que atiende la UEB Moa (*Anexo 5, acápite 1.1.3*) ante situaciones excepcionales. En estos momentos la UEB no es responsable de los dos circuitos de Sagua de Tánamo (circuitos 12 y 18), es por ello que no se analiza el comportamiento de la demanda en estos circuitos.

En el estudio de la demanda por circuito las mediciones se tomaron de analizadores de redes (Nu-Lec) [Añel, 2013] instalados en las subestaciones de distribución. Mediante el software *Windows Switchgear Operating System* (WSOS) [WSOS 5.9.28] se exportaron los datos al *Microsoft Excel* para el estudio de la demanda residencial.

Metodología para la operación de grupos electrógenos diesel en batería ante

Jorge Luis Velázquez

González

situaciones excepcionales

Se obtuvo la demanda promedio ponderada de las potencias instantánea (medidas cada 15 minutos) de 9 circuitos de los 10 circuitos de Moa para el año 2012. Se determinó que la demanda anual era de **2239 MW** prescindiendo del circuito 6, ya que en este circuito las mediciones obtenidas solo llegaban hasta el mes de agosto. El estudio arrojó que los meses de mayor consumo fueron: mayo, junio, julio, agosto y septiembre, los mismos se concentran en la estación de verano, que el mes de mayor demanda fue julio con **197 MW**, (figura. 2.1 y Anexo 2, Tabla 1).

Por medio de entrevista a los especialistas de la OBE municipal y del Poder Popular se pudo constatar que en el 2012 la demanda en el mes de julio disminuyó en comparación con el 2008. Sin embargo la población urbana (64 147 personas) en el enero del 2012 era mayor en 1120 personas para la misma fecha en el 2008. Según especialista de Poder Popular y la OBE estos resultados en el estado de la demanda se debe al uso racional de los equipos electrodomésticos y de alumbrado ante al cambio de las tarifas de facturación del consumo de eléctrico y a la disminución de las pérdidas técnicas con las reconfiguración de los circuitos de distribución [Pupo, 2010].

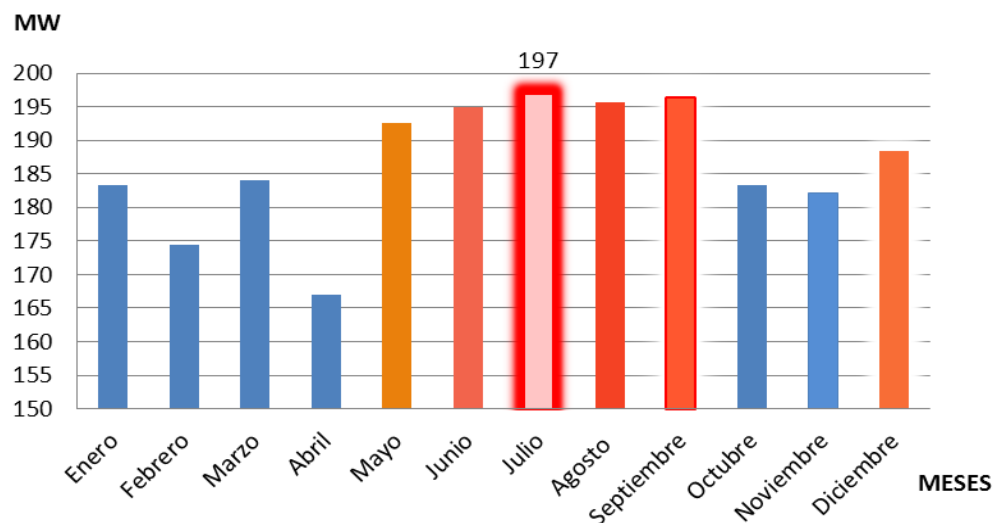


Figura. 2.1 Comportamiento de la demanda mensual en el 2012

A continuación se determinó por circuito el día donde la demanda alcanzó máximo valor absoluto correspondiendo al 15 de julio con **1,8 MW** en el circuito 1. En este día las mediciones obtenidas de los 10 circuitos: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 fue de **7,32 MW** como se muestra en la Tabla 2.1 y en la Figura 2.2.

Tabla. 2.1 Datos del día de mayor demanda.

| Horas | CIRCUITOS |      |      |      |      |      |      |      |       |      | Demanda del Municipio (MW) |
|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|----------------------------|
|       | 1         | 2    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10    | 11   |                            |
| 1     | 0,9       | 0,8  | 0,8  | 0,6  | 0,8  | 0,4  | 0,4  | 0,6  | 0,01  | 0,7  | 6,01                       |
| 2     | 0,9       | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,7  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,01  | 0,6  | 5,41                       |
| 3     | 0,8       | 0,7  | 0,7  | 0,5  | 0,7  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,009 | 0,6  | 5,209                      |
| 4     | 0,8       | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,7  | 0,3  | 0,5  | 0,5  | 0,008 | 0,6  | 5,208                      |
| 5     | 0,8       | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,7  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,008 | 0,6  | 5,108                      |
| 6     | 0,8       | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,7  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,009 | 0,6  | 5,109                      |
| 7     | 0,9       | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,8  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,015 | 0,6  | 5,715                      |
| 8     | 1         | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0,9  | 0,4  | 0,4  | 0,7  | 0,003 | 0,7  | 6,403                      |
| 9     | 1,1       | 1    | 0,9  | 0,7  | 1    | 0,5  | 0,5  | 0,6  | 0,03  | 0,8  | 7,13                       |
| 10    | 1,2       | 1,0  | 1    | 0,7  | 1    | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 0,05  | 0,8  | 7,45                       |
| 11    | 1,3       | 1,1  | 1,2  | 0,7  | 1,1  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,06  | 0,9  | 8,16                       |
| 12    | 1,6       | 1,3  | 1,4  | 0,9  | 1,3  | 0,7  | 0,7  | 0,9  | 0,07  | 1,1  | 9,97                       |
| 13    | 1,5       | 1,3  | 1,3  | 0,9  | 1,3  | 0,7  | 0,6  | 0,9  | 0,06  | 1    | 9,56                       |
| 14    | 1,1       | 0,9  | 1    | 0,7  | 0,9  | 0,5  | 0,4  | 0,6  | 0,04  | 0,8  | 6,94                       |
| 15    | 1         | 0,8  | 1    | 0,6  | 0,8  | 0,5  | 0,4  | 0,6  | 0,04  | 0,7  | 6,44                       |
| 16    | 1,1       | 0,9  | 1    | 0,6  | 0,9  | 0,6  | 0,4  | 0,6  | 0,04  | 0,8  | 6,94                       |
| 17    | 1,5       | 1,1  | 1    | 0,8  | 1,1  | 0,7  | 0,6  | 0,8  | 0,07  | 1,1  | 8,77                       |
| 18    | 1,8       | 1,4  | 1,6  | 1    | 1,4  | 0,8  | 0,7  | 1    | 0,08  | 1,2  | 10,98                      |
| 19    | 1,7       | 1,4  | 1,5  | 1    | 1,4  | 0,8  | 0,6  | 1    | 0,07  | 1,2  | 10,67                      |
| 20    | 1,4       | 1,2  | 1,3  | 0,9  | 1,2  | 0,6  | 0,6  | 0,8  | 0,05  | 1    | 9,05                       |
| 21    | 1,3       | 1,1  | 1,2  | 0,8  | 1,1  | 0,6  | 0,5  | 0,7  | 0,04  | 0,9  | 8,24                       |
| 22    | 1,2       | 1    | 1,1  | 0,8  | 1    | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 0,03  | 0,8  | 7,63                       |
| 23    | 1,1       | 0,9  | 1    | 0,7  | 0,9  | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 0,02  | 0,8  | 7,12                       |
| 24    | 1,1       | 0,9  | 0,9  | 0,5  | 0,9  | 0,4  | 0,4  | 0,6  | 0,02  | 0,8  | 6,52                       |
| Total | 27,9      | 23,3 | 23,9 | 16,7 | 23,3 | 12,1 | 11,8 | 16,2 | 0,842 | 19,7 | 7,32                       |

En este análisis se identificó que el horario pico de la tarde en las horas 18 y 19 es donde la demanda alcanza los valores picos de demanda, en el circuito 1 es de **1,7** y **1,8 MW** respectivamente, (figura 2.3).



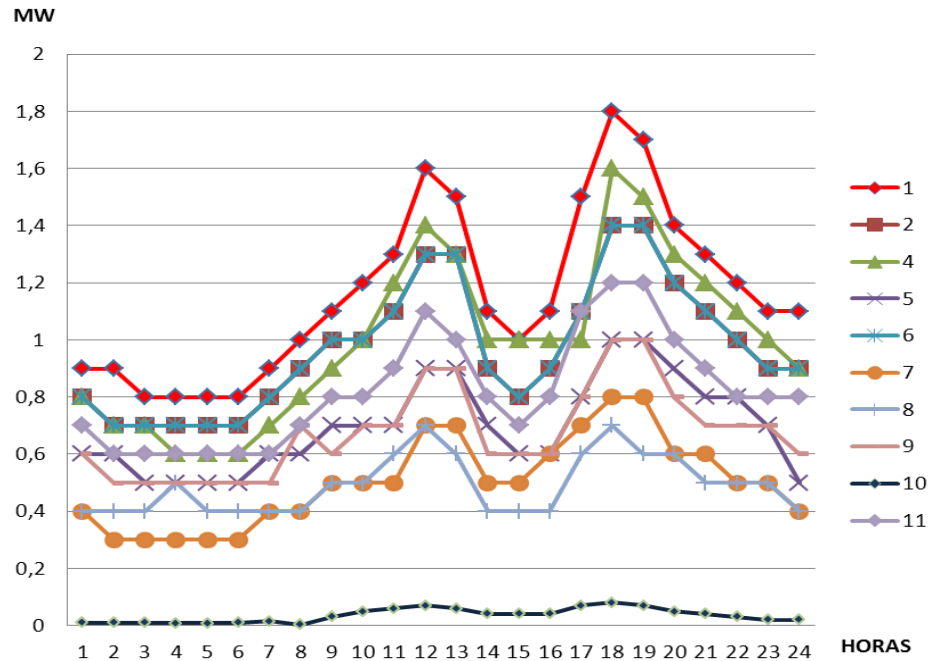


Figura. 2.2 Comportamiento de la demanda horaria por circuito

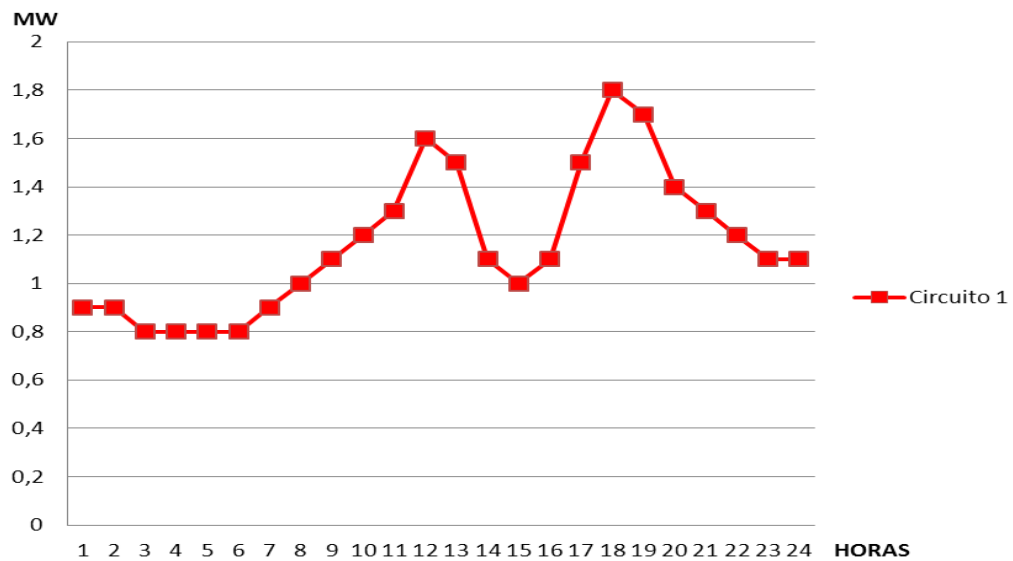


Figura. 2.3 Comportamiento de la demanda horaria del circuito 1 (15 de julio)

### 2.2.1 Decisiones a tomar para la estimación de la demanda eléctrica ante situaciones excepcionales

- En la investigación vamos a tomar el *peor de los casos* del comportamiento de la demanda, o sea, los datos referentes al comportamiento de la demanda del día 15 de julio para estimar la demanda ante sismos e inundaciones por penetraciones del mar.
- El análisis bajo el criterio mencionado es suponiendo que el SEN quedó indisponible por avería o déficit de generación o por la acción de una situación excepcional (del tipo desastre natural) en las cercanías o dentro del territorio Moense.

### 2.3 Casos de estudio de estimación de la demanda ante situaciones excepcionales

Como se explica en el capítulo I se analizarán dos situaciones excepcionales: sismos y penetraciones del mar, ya se ha establecido el impacto que tienen sobre el territorio moense, de ahí la importancia de estimar la demanda después de que pasa el desastre natural.

#### 2.3.1 Caso de Estudio 1: Estimación de la demanda ante la ocurrencia de un sismo en Moa

En el capítulo 1 se explica que las falla (*Anexo 1, Figura 17*) no son causantes de generar sismos, la verdadera peligrosidad de estas falla es que en Moa existen muchas zonas vulnerables (*Anexo 2, Figura 3*) que son capaces de amplificar la intensidad y magnitud de cualquier sismo que ocurra en las cercanías del territorio.

El nivel de amplificación depende en si de la intensidad (MSK o Richter) del sismos que ocurra en las cercanías del territorio, existen varios niveles de amplificación posible y además se debe tener en cuenta que los sedimentos en Moa son isotrópicos (igual valor sedimentación) y que en la localidad existen varios río y aguas subterráneas que inciden en la vulnerabilidad del terreno, vea la Tabla 2.2

Tabla 2.2 Datos de la intensidad de lo sismos en Moa por nivel de amplificación según Lacaba, 2012.

| Nivel de amplificación | Intensidad (MSK) |
|------------------------|------------------|
|------------------------|------------------|

|       |              |
|-------|--------------|
| Alta  | 7 hasta 8,5  |
| Media | 7 hasta 4,5  |
| Baja  | Menor de 4,5 |

Suponiendo que la amplificación de un sismo es ALTA: en el territorio ocurrían derrumbes en las edificaciones y los postes de corrientes se caerían (al romperse los tensores de los cables o partirse el poste) o ocurriría el *efecto dominó* (un poste por medio de los cables tira del que esta a continuación y así sucesivamente).

En caso de un nivel de amplificación MEDIA o BAJA, los tipos de desastres serían agrietamiento en las edificaciones, en estos casos a menos que ocurran accidentes en las áreas urbanas o en SEP (Ej. accidentes de tránsito, en la subestación transmisión o distribución, ect.) no se requerirá de la operación del microsisistemas después de que pase el fenómeno.

Cuando el nivel de amplificación de un sismo es ALTA. Los clientes de primera categoría con GEE que no hayan sido afectados por el desastre natural deben comenzar a trabajar inmediatamente después de que pase el fenómeno. Luego de restablecidas las líneas de subtransmisión y distribución se alimentará paulatinamente los circuitos que los especialistas de la OBE designen, siguiendo las variantes propuestas (epígrafe 1.5 paso 3).

Relacionado con este tipo de situación excepcional Arango en el 2009 analiza puntualmente como los sismos afectan a los GED del emplazamiento [Arango, 2009], el estudio no se extrapola hacia las afectaciones en los circuitos de distribución.

**Por consiguiente al no tener antecedentes de este tipo de investigación llegamos a la conclusión de que para este tipo de desastre natural no se puede estimar la demanda de la carga, y por lo tanto no se podrá evaluar la operación de microsisistema de GED de Moa-Sagua de Tánamo.**

### 2.3.2 Caso de Estudio 2: Estimación de la demanda ante inundaciones por las penetraciones del mar en Moa

Para el desarrollo de este acápite hay que puntualizar que este tipo de SE no causas indisponibilidad en el SEN. En esta investigación partimos de la suposición que alguna catástrofe ambiental afectó al SEN y que en Moa solo causó inundaciones debido a las penetraciones del mar.

En el capítulo I también se expone el procedimiento (*acápite 1.4.4*) para estimar la demanda y en la Tabla 1.1 la información generada por el Poder Popular sirve como guía para determinar aproximadamente los metros (m) que el mar penetra en la zonas costeras de Moa, por su cercanía los repartos en riesgo son La Playa y El pesquero los cuales pertenecen al circuito 1 y Cupey, Yamanigüey y Punta Gorga al circuito 8, de estos al menos 10 bancos de transformadores se afectarían por su cercanía a la costa (Tabla 2.3).

Con el factor de potencia (FP) de los horarios de mínima y máxima demanda se calculó la potencia activa (Tabla 2.3). Después se determinó el coeficiente de carga<sup>1</sup>  $Ca_i$  promedio anual y el horario (Tabla 2.4).

Luego se aplicó la ecuación (1) es decir la potencia activa total de los transformadores que se desconectan entre el coeficiente para cada horario pico (5:00 a.m-8:00 am, 10:30 am -13:00 pm y 16:00 p.m-21.00 pm), obteniéndose los datos de las potencias demandadas horarias que se desconectan (*Figura 2.4*), en los circuitos 1 y 8 estas potencias se le restaron a las del día 15 de julio de los circuitos en cuestión y se obtiene las que se demanda en los circuitos (*Tabla 2.5, Figura 2.4*).

Con las potencias demandadas horarias después la SE en la Tabla 2.5 y en la de la Tabla 2.1 se construyó la Tabla 2.6 en la que se muestran las potencias horarias demandadas de las cargas que quedaron conectadas después de que ocurrió el

---

<sup>1</sup> Coeficiente de carga ( $Ca$ ): Este parámetro se determinó con el *Microsoft Excel*, a partir de las curvas de demanda anual de los horarios picos divididos entre los valores máximos de la demanda para cada hora en el año (en este caso se hizo también cada 15 min) donde no hubo cambio de esquema o avería en los circuitos residenciales. Los datos de los coeficientes de carga de la demanda en cada hora están disperso como promedio con respecto a la media en un valor de 5% al 13% en los horarios picos.

fenómeno en cada circuito y la total del municipio, las cuales se graficaron en las Figuras 2.5 y 2.6.

Tabla 2.3 Datos de los bancos de transformadores que se desconectan ante la SE.

| Repartos        | Banco de Transformadores. | Circuitos | Potencia (kVA) | Horario de mínima demanda |               | Horario de máxima demanda |                |
|-----------------|---------------------------|-----------|----------------|---------------------------|---------------|---------------------------|----------------|
|                 |                           |           |                | Factor de potencia        | Potencia (kW) | Factor de potencia        | Potencia (kW)  |
| La Playa        | OB 551                    | 1         | 37             | 0,86                      | 31,82         | 0,95                      | 35,15          |
|                 | OB 539                    | 1         | 50             | 0,86                      | 43            | 0,95                      | 47,5           |
|                 | OB 583                    | 1         | 50             | 0,86                      | 43            | 0,95                      | 47,5           |
| Barrio pesquero | OB 344                    | 1         | 37             | 0,86                      | 31,82         | 0,95                      | 35,15          |
|                 | OB 508                    | 1         | 37,5           | 0,86                      | 32,25         | 0,95                      | 35,625         |
|                 | OB 486                    | 1         | 50             | 0,86                      | 43            | 0,95                      | 47,5           |
| Cupey           | OB 239                    | 8         | 37,5           | 0,86                      | 32,25         | 0,95                      | 35,625         |
| Yamanigüey      | OB 251                    | 8         | 20             | 0,86                      | 17,2          | 0,95                      | 19             |
|                 | OB 249                    | 8         | 25             | 0,86                      | 21,5          | 0,95                      | 23,75          |
| Punta gorda     | OB 618                    | 8         | 37,5           | 0,86                      | 32,25         | 0,95                      | 35,625         |
| <b>Total</b>    | -                         | -         | <b>381,5</b>   | -                         | <b>328,09</b> | -                         | <b>362,425</b> |

Tabla 2.4 Datos del coeficiente de carga y de las potencia que se desconectará ante inundaciones por la penetración del mar.

| Horas | Promedios coeficientes | Circuito 1     | Circuito 8     |
|-------|------------------------|----------------|----------------|
|       |                        | Potencias (MW) | Potencias (MW) |
| 1     | 3,42                   | 0,065          | 0,03           |
| 2     | 3,71                   | 0,06           | 0,027          |
| 3     | 3,86                   | 0,058          | 0,026          |
| 4     | 3,99                   | 0,056          | 0,025          |
| 5     | 4,02                   | 0,061          | 0,028          |
| 6     | 3,77                   | 0,065          | 0,03           |
| 7     | 2,61                   | 0,095          | 0,043          |
| 8     | 1,97                   | 0,126          | 0,057          |
| 9     | 2,25                   | 0,099          | 0,045          |
| 10    | 2,17                   | 0,103          | 0,047          |

|              |      |              |              |
|--------------|------|--------------|--------------|
| 11           | 1,94 | 0,128        | 0,058        |
| 12           | 1,65 | 0,15         | 0,069        |
| 13           | 1,65 | 0,15         | 0,069        |
| 14           | 2,1  | 0,107        | 0,049        |
| 15           | 2,39 | 0,094        | 0,043        |
| 16           | 2,19 | 0,113        | 0,052        |
| 17           | 1,77 | 0,14         | 0,064        |
| 18           | 1,26 | 0,197        | 0,09         |
| 19           | 1,04 | 0,238        | 0,109        |
| 20           | 1,42 | 0,174        | 0,08         |
| 21           | 1,83 | 0,135        | 0,062        |
| 22           | 2,19 | 0,102        | 0,047        |
| 23           | 2,39 | 0,094        | 0,043        |
| 24           | 2,99 | 0,075        | 0,034        |
| <b>Total</b> |      | <b>2,685</b> | <b>1,227</b> |

Como se observa en la Tabla 2.4 en los circuitos en estudio al desconectarse los bancos de transformadores las cargas disminuyen por tanto la demanda se reduce en **2,685 y 1,227 MW** en los respectivos circuitos (Tabla 2.4).

Tabla 2.5 Datos de las potencias horarias demandadas el 15 de julio ante inundaciones por la penetración del mar en los circuitos 1 y 8.

| Horas | Demanda julio circuito 1 |                        |              | Demanda julio circuito 8 |                        |              |
|-------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------------------|------------------------|--------------|
|       | Dem. (MW)                | Pot. (MW) desconectada | Dem. (MW)    | Dem. (MW)                | Pot. (MW) desconectada | Dem. (MW)    |
| 1     | 0,9                      | 0,065                  | <b>0,835</b> | 0,4                      | 0,03                   | <b>0,37</b>  |
| 2     | 0,9                      | 0,06                   | <b>0,84</b>  | 0,4                      | 0,027                  | <b>0,373</b> |
| 3     | 0,8                      | 0,058                  | <b>0,742</b> | 0,4                      | 0,026                  | <b>0,374</b> |
| 4     | 0,8                      | 0,056                  | <b>0,744</b> | 0,5                      | 0,025                  | <b>0,475</b> |
| 5     | 0,8                      | 0,061                  | <b>0,739</b> | 0,4                      | 0,028                  | <b>0,372</b> |
| 6     | 0,8                      | 0,065                  | <b>0,735</b> | 0,4                      | 0,03                   | <b>0,37</b>  |
| 7     | 0,9                      | 0,095                  | <b>0,805</b> | 0,4                      | 0,043                  | <b>0,357</b> |
| 8     | 1                        | 0,126                  | <b>0,874</b> | 0,4                      | 0,057                  | <b>0,343</b> |
| 9     | 1,1                      | 0,099                  | <b>1,001</b> | 0,5                      | 0,045                  | <b>0,455</b> |
| 10    | 1,2                      | 0,103                  | <b>1,097</b> | 0,5                      | 0,047                  | <b>0,453</b> |
| 11    | 1,3                      | 0,128                  | <b>1,172</b> | 0,6                      | 0,058                  | <b>0,542</b> |
| 12    | 1,6                      | 0,15                   | <b>1,45</b>  | 0,7                      | 0,069                  | <b>0,631</b> |
| 13    | 1,5                      | 0,15                   | <b>1,35</b>  | 0,6                      | 0,069                  | <b>0,531</b> |
| 14    | 1,1                      | 0,107                  | <b>0,993</b> | 0,4                      | 0,049                  | <b>0,351</b> |

|       |     |       |        |     |       |        |
|-------|-----|-------|--------|-----|-------|--------|
| 15    | 1   | 0,094 | 0,906  | 0,4 | 0,043 | 0,357  |
| 16    | 1,1 | 0,113 | 0,987  | 0,4 | 0,052 | 0,348  |
| 17    | 1,5 | 0,14  | 1,36   | 0,6 | 0,064 | 0,536  |
| 18    | 1,8 | 0,197 | 1,603  | 0,7 | 0,09  | 0,61   |
| 19    | 1,7 | 0,238 | 1,462  | 0,6 | 0,109 | 0,491  |
| 20    | 1,4 | 0,174 | 1,226  | 0,6 | 0,08  | 0,52   |
| 21    | 1,3 | 0,135 | 1,165  | 0,5 | 0,062 | 0,438  |
| 22    | 1,2 | 0,102 | 1,098  | 0,5 | 0,047 | 0,453  |
| 23    | 1,1 | 0,094 | 1,006  | 0,5 | 0,043 | 0,457  |
| 24    | 1,1 | 0,075 | 1,025  | 0,4 | 0,034 | 0,366  |
| Total |     |       | Total  |     |       |        |
|       |     |       | 25,215 |     |       | 10,573 |

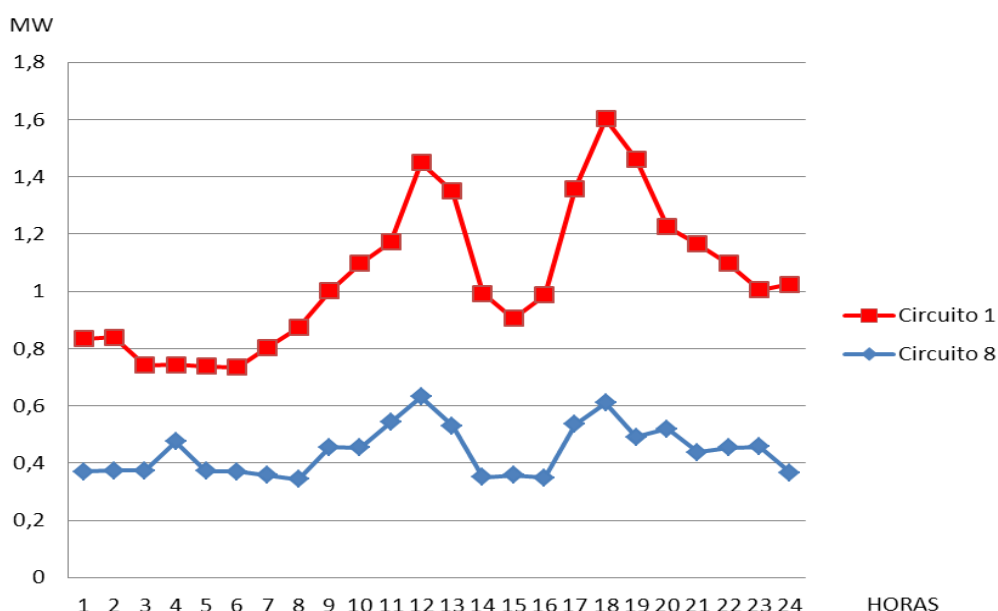


Figura. 2.4 Comportamiento de las potencias demandas horarias ante las inundaciones por las penetraciones del mar en los circuitos 1 y 8.

Tabla 2.6 Datos de las potencias horarias demandadas el 15 de julio ante inundaciones por la penetración del mar en el municipio.

| Horas | CIRCUITOS |     |     |     |     |     |       |     |       |     | Demanda del municipio (MW) |
|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-----|----------------------------|
|       | 1         | 2   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8     | 9   | 10    | 11  |                            |
| 1     | 0,835     | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,37  | 0,6 | 0,01  | 0,7 | 5,915                      |
| 2     | 0,84      | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,3 | 0,373 | 0,5 | 0,01  | 0,6 | 5,323                      |
| 3     | 0,742     | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,374 | 0,5 | 0,009 | 0,6 | 5,125                      |
| 4     | 0,744     | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,475 | 0,5 | 0,008 | 0,6 | 5,127                      |
| 5     | 0,739     | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,372 | 0,5 | 0,008 | 0,6 | 5,019                      |

|       |        |      |      |      |      |      |        |      |       |      |        |
|-------|--------|------|------|------|------|------|--------|------|-------|------|--------|
| 6     | 0,735  | 0,7  | 0,6  | 0,5  | 0,7  | 0,3  | 0,37   | 0,5  | 0,009 | 0,6  | 5,014  |
| 7     | 0,805  | 0,8  | 0,7  | 0,6  | 0,8  | 0,4  | 0,357  | 0,5  | 0,015 | 0,6  | 5,577  |
| 8     | 0,874  | 0,9  | 0,8  | 0,6  | 0,9  | 0,4  | 0,343  | 0,7  | 0,003 | 0,7  | 6,22   |
| 9     | 1,001  | 1    | 0,9  | 0,7  | 1    | 0,5  | 0,455  | 0,6  | 0,03  | 0,8  | 6,986  |
| 10    | 1,097  | 1,0  | 1    | 0,7  | 1    | 0,5  | 0,453  | 0,7  | 0,05  | 0,8  | 7,3    |
| 11    | 1,172  | 1,1  | 1,2  | 0,7  | 1,1  | 0,5  | 0,542  | 0,7  | 0,06  | 0,9  | 7,974  |
| 12    | 1,45   | 1,3  | 1,4  | 0,9  | 1,3  | 0,7  | 0,631  | 0,9  | 0,07  | 1,1  | 9,751  |
| 13    | 1,35   | 1,3  | 1,3  | 0,9  | 1,3  | 0,7  | 0,531  | 0,9  | 0,06  | 1    | 9,341  |
| 14    | 0,993  | 0,9  | 1    | 0,7  | 0,9  | 0,5  | 0,351  | 0,6  | 0,04  | 0,8  | 6,784  |
| 15    | 0,906  | 0,8  | 1    | 0,6  | 0,8  | 0,5  | 0,357  | 0,6  | 0,04  | 0,7  | 6,303  |
| 16    | 0,987  | 0,9  | 1    | 0,6  | 0,9  | 0,6  | 0,348  | 0,6  | 0,04  | 0,8  | 6,775  |
| 17    | 1,36   | 1,1  | 1    | 0,8  | 1,1  | 0,7  | 0,536  | 0,8  | 0,07  | 1,1  | 8,566  |
| 18    | 1,603  | 1,4  | 1,6  | 1    | 1,4  | 0,8  | 0,61   | 1    | 0,08  | 1,2  | 10,693 |
| 19    | 1,462  | 1,4  | 1,5  | 1    | 1,4  | 0,8  | 0,491  | 1    | 0,07  | 1,2  | 10,323 |
| 20    | 1,226  | 1,2  | 1,3  | 0,9  | 1,2  | 0,6  | 0,52   | 0,8  | 0,05  | 1    | 8,796  |
| 21    | 1,165  | 1,1  | 1,2  | 0,8  | 1,1  | 0,6  | 0,438  | 0,7  | 0,04  | 0,9  | 8,043  |
| 22    | 1,098  | 1    | 1,1  | 0,8  | 1    | 0,5  | 0,453  | 0,7  | 0,03  | 0,8  | 7,481  |
| 23    | 1,006  | 0,9  | 1    | 0,7  | 0,9  | 0,5  | 0,457  | 0,7  | 0,02  | 0,8  | 6,983  |
| 24    | 1,025  | 0,9  | 0,9  | 0,5  | 0,9  | 0,4  | 0,366  | 0,6  | 0,02  | 0,8  | 6,411  |
| Total | 25,215 | 23,3 | 23,9 | 16,7 | 23,3 | 12,1 | 10,573 | 16,2 | 0,842 | 19,7 | 7,16   |

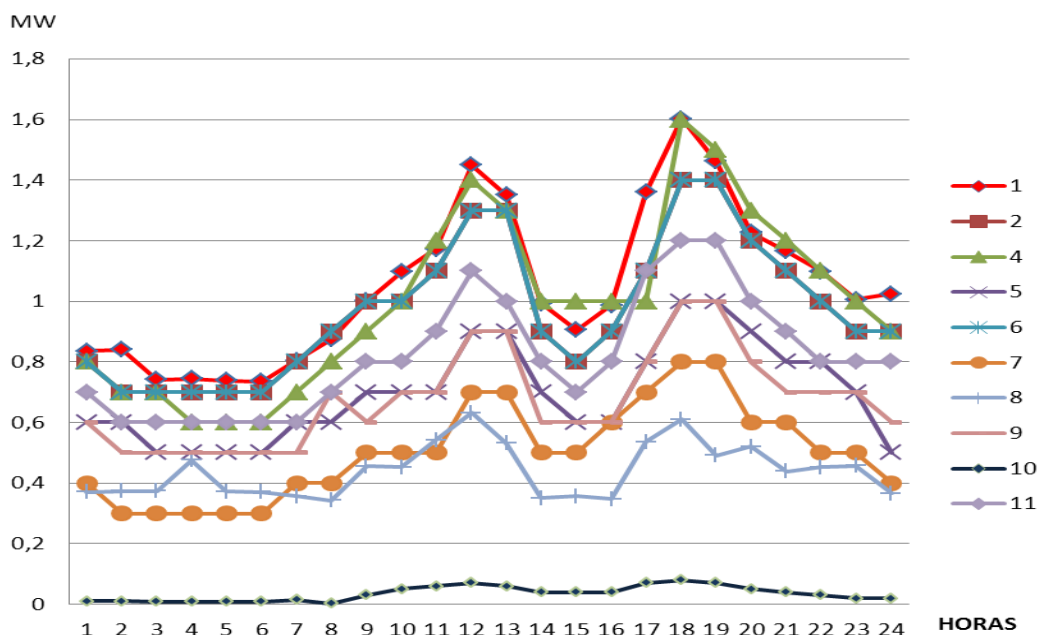


Figura. 2.5 Comportamiento de las potencias demandas horarias ante las inundaciones por las penetraciones del mar en los 10 circuitos residenciales de Moa.



En las tabla 2.6 y en la Figura 2.5 se pudo constar que el circuito 1 después de que pasa la situación excepcional continua siendo el de mayor consumo eléctrico.

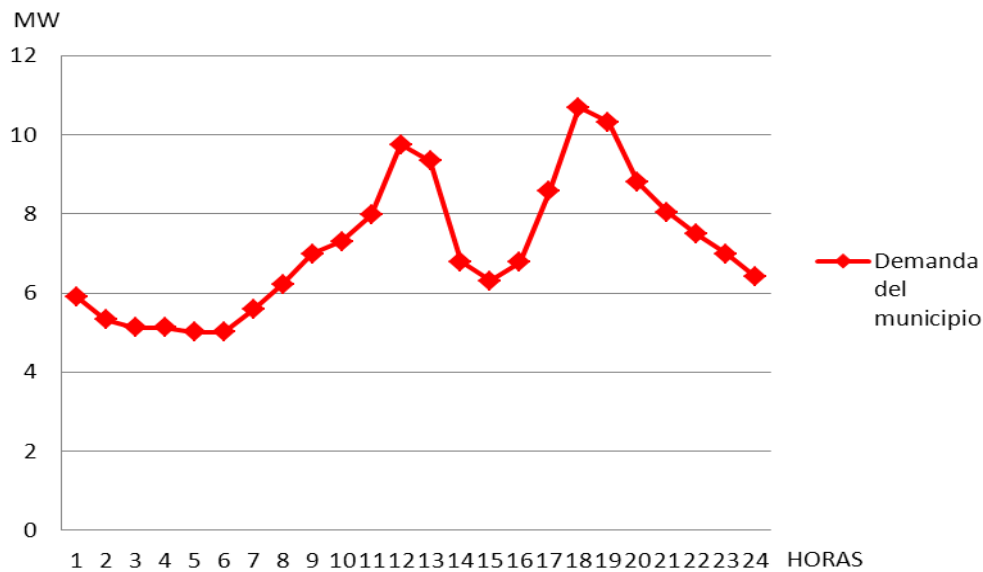


Figura. 2.6 Comportamiento de las potencias demandas horarias total ante las inundaciones por las penetraciones del mar en el municipio Moa.

Los resultados alcanzados en este acápite se tomarán como datos para la evaluación del microsistema de GED de Moa-Sagua de Tánamo ante penetraciones del mar en Moa, o sea, para cualquier valor intermedio de las potencias demandas ante este tipo de desastre natural para el año 2012 el comportamiento de los GED del microsistema se podrá evaluar y el resultado será más racional que para este caso de estudio.

### 2.3.2.1 Estimación del factor de carga ante inundaciones por las penetraciones del mar

Luego de haber determinado el comportamiento de la potencias demandas ante las penetraciones de mar se pasa a calcular el factor de carga horaria del municipio.

Aunque se tiene dos picos de energía se observó a través de los estadígrafos el valor esperado y distribución normal (valor de 1) calculados para la demanda no inciden, por lo que se puede determinar el factor de carga horario utilizando la ecuación 2.

Obteniéndose en la Tabla 2.7 en la Figura 2.7 la curva con los valores de factor de carga horario de los consumidores residenciales de los circuitos 1 y 8.

### 2.3.2.2 Estimación del factor de pérdidas ante inundaciones por las penetraciones del mar

Cada vez que se opere el microsistema se tener conocimiento del estado de las pérdidas técnicas en el SEP, las mismas se pueden calcular por el método director [Concepción, 2007] [González, 2008], el mismo tiene un inconveniente cuando se evalúa las pérdidas de un día porque se debe de repetir los cálculos cada vez que se explote el microsistema de GED, ya que en el día varía el estado de las potencias demandadas en cada hora.

Para simplificar este método se utilizó el factor de pérdidas horaria de la ecuación 5, los resultados se muestran en la Figura 2.8, El valor de la potencia máxima es fija, para la distribución normal de las potencias demandadas diarias en la SE: inundaciones por penetraciones del mar las pérdidas que se producen son mínimas, (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Datos del factor de carga y de pérdidas ante inundaciones por la penetración del mar.

| Horas | Circuito 1                   |                             | Circuito 8                   |                             | Total de pérdidas en el municipio |
|-------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
|       | Factor de carga ( $F_{cd}$ ) | Factor de pérdida ( $F_e$ ) | Factor de carga ( $F_{cd}$ ) | Factor de pérdida ( $F_e$ ) |                                   |
| 1     | 0,5                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,31</b>                       |
| 2     | 0,5                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,25</b>                       |
| 3     | 0,4                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,23</b>                       |
| 4     | 0,4                          | 0,2                         | 0,7                          | 0,5                         | <b>0,23</b>                       |
| 5     | 0,4                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,22</b>                       |
| 6     | 0,4                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,22</b>                       |
| 7     | 0,4                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,27</b>                       |
| 8     | 0,5                          | 0,2                         | 0,5                          | 0,2                         | <b>0,34</b>                       |
| 9     | 0,6                          | 0,3                         | 0,7                          | 0,4                         | <b>0,43</b>                       |
| 10    | 0,6                          | 0,4                         | 0,6                          | 0,4                         | <b>0,47</b>                       |
| 11    | 0,7                          | 0,4                         | 0,8                          | 0,6                         | <b>0,56</b>                       |
| 12    | 0,8                          | 0,6                         | 0,9                          | 0,8                         | <b>0,83</b>                       |
| 13    | 0,8                          | 0,6                         | 0,8                          | 0,6                         | <b>0,76</b>                       |
| 14    | 0,6                          | 0,3                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,40</b>                       |
| 15    | 0,5                          | 0,3                         | 0,5                          | 0,3                         | <b>0,35</b>                       |
| 16    | 0,5                          | 0,3                         | 0,5                          | 0,2                         | <b>0,40</b>                       |
| 17    | 0,8                          | 0,6                         | 0,8                          | 0,6                         | <b>0,64</b>                       |

|    |     |     |     |     |             |
|----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 18 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | <b>1,00</b> |
| 19 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | <b>0,93</b> |
| 20 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | <b>0,68</b> |
| 21 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | <b>0,57</b> |
| 22 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,4 | <b>0,49</b> |
| 23 | 0,6 | 0,3 | 0,7 | 0,4 | <b>0,43</b> |
| 24 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | <b>0,36</b> |

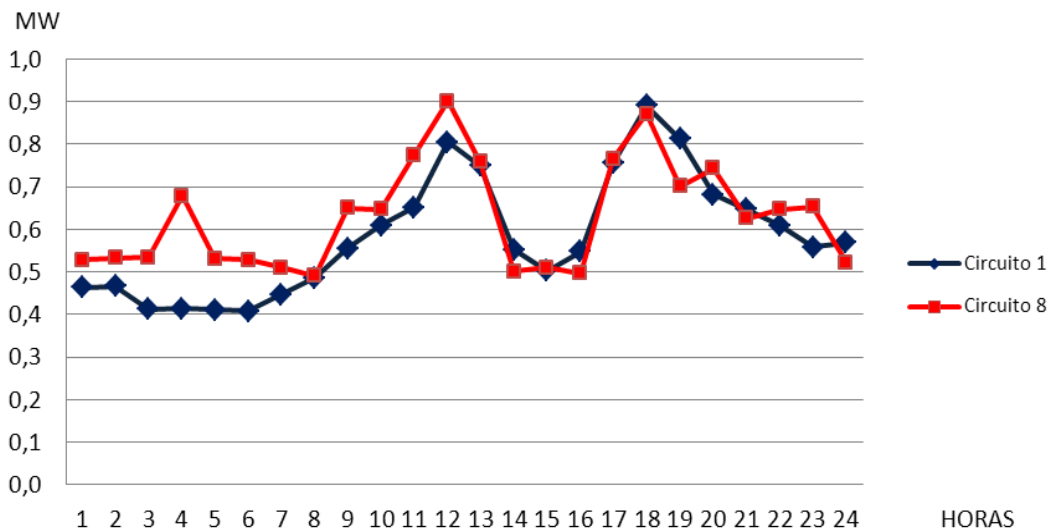


Figura. 2.7 Comportamiento del factor de carga de las potencias demandas horarias por circuito.

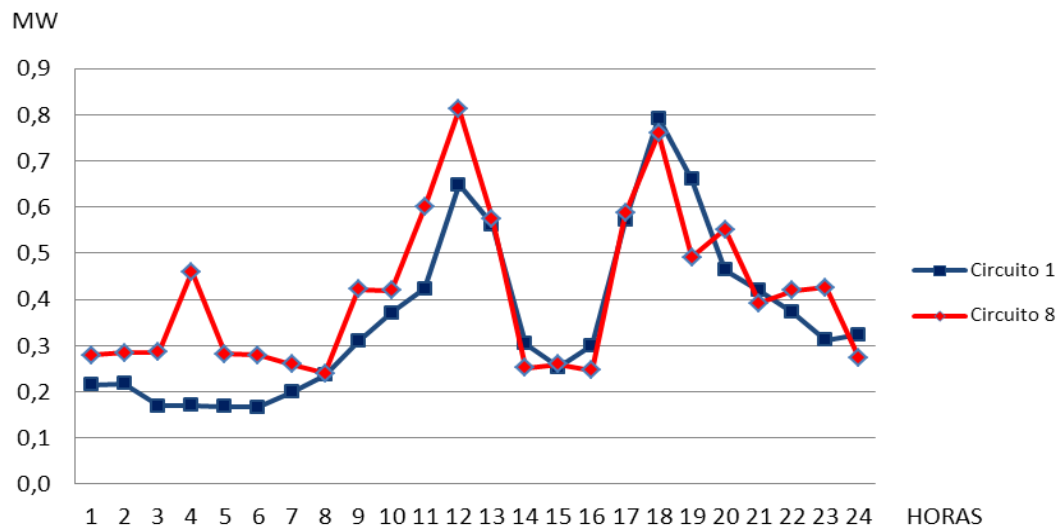


Figura. 2.8 Comportamiento del factor de pérdidas de las potencias demandas horarias por circuito

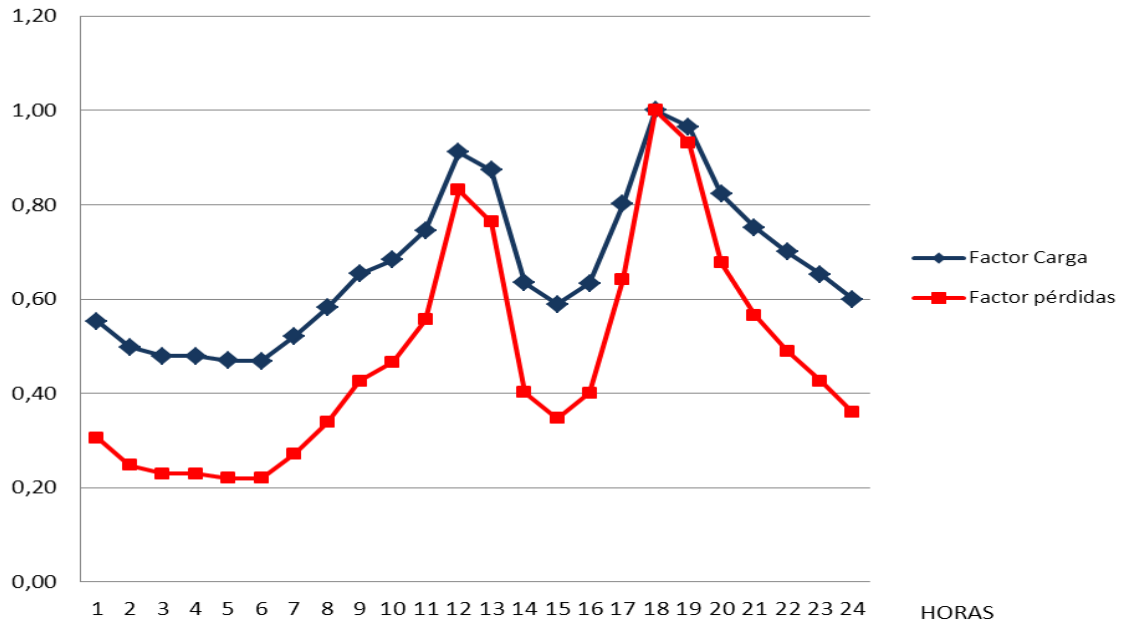


Figura. 2.9 Comportamiento del factor de pérdidas de las potencias demandas horarias para el municipio de Moa.

A partir de los resultados de estos factores en la evaluación de la generación del microsistema de GED se podrá determinar cuál es la mejor variante. Además las potencias demandadas que se suplirán por el microsistema de GED es la realmente demanda el SEP, ya que, se contará con los resultados de la estimación de las potencias demandadas y los factores de pérdidas del municipio en cada hora.

## 2.4 Conclusiones parciales.

- Se determinó que la demanda anual de 9 circuitos es de 2239 MW
- Se estableció que los meses: mayo, junio, julio, agosto y septiembre son los de mayor consumo eléctrico y el mes de mayor demanda fue julio con 197 MW.
- Se obtuvo el día donde la demanda alcanzó máximo valor absoluto correspondiendo al 15 de julio con 1,8 MW fue en el circuito 1.
- Se identificó el horario pico de la tarde en las horas 18 y 19 es donde la demanda alcanza los mayores valores picos de demanda.
- Con el estudio de la estimación de la demanda ante la ocurrencia de sismo se concluyó que no se puede calcular la demanda de la carga por lo que para esta

situación excepcional no se podrá evaluar de la explotación del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo.

- Se estimó y se construyó la curva de las potencia demandadas ante la situación excepcional inundaciones penetraciones del mar.
- Se cálculo el factor de carga y de pérdidas horario y se concluyó que este último se utilizará en la evaluación de la explotación del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo.

## Capítulo III. Evaluación de la generación de los microsistemas de Grupos Electrógenos Diésel ante situaciones excepcionales.

### 3.1 Introducción

En este capítulo se realiza la evaluación de la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel para los casos de estudio 1 y 2 analizados en el capítulo anterior, inicialmente se plantean las condiciones a tener en cuenta para la operación de los microsistemas de GED de Moa-Sagua de Tánamo, las cuales se evalúan en el caso de estudio 2 por medio de los procedimientos descritos en el capítulo I. Además el caso de estudio propuesto se simula con una aplicación informática desarrollada en IDE Borland Delphi 7.0.

### 3.2 Condiciones para la operación de los microsistemas Grupos Electrógenos Diésel.

De los aspectos teóricos que se plantean en el capítulo I sobre la operación de los microsistemas se analiza y se seleccionan cuales se tendrán en cuenta para la evaluación de la generación:

#### ➤ Régimen de Contingencia:

1. Se propone que el esquema por horario para la explotación de los microsistemas en ISLA será 4 horas seguidas cada GED principalmente en los horarios picos.
2. El modo de operación en ISLA de los microsistemas será de forma independiente mientras la demanda de la carga lo permita y paralelo entre sí cuando la demanda sea superior a la capacidad instalada en los emplazamientos de GEA o la Batería de GED.
3. El modo de ajuste será el isócrono (de forma manual) porque se seleccionará un GE líder que asumirá las variaciones de la carga, sin variar la frecuencia, aunque esto se ejecuta manualmente la sincronización la realizará la automática de los GED.
4. Se establecerá un microsistema o una ISLA donde la Batería el modo de ajuste será isócrono y los emplazamientos (GEA) el modo de ajuste será fijo. Con esta

estructura se garantizará que los GED de la Batería al tener mayor capacidad instalada sea de donde se seleccionan los GED líder. Los GEA serán los GED esclavos.

- El microsistema además deberá mantener una reserva de potencia representativa (3 MW, para el caso de estudio de Moa) ante las variaciones de carga, el valor de la misma la establecen los especialistas de la OBE y esta depende de las características del SEP local.
- El microsistema se explotará en una gama de potencia económica (se tendrá en cuenta el porcentaje de explotación que para la tecnología sugiere el fabricante: 75% para los MTU). Además será necesario arrancar y parar los GED de menor capacidad instalada para cubrir los picos de demanda del SEP.

#### ➤ Régimen Económico

1. Para que el microsistema garantice un régimen económico deberá de disminuir las pérdidas propias del proceso de generación [Concepción, 2007]; utilizar los GED más eficientes. En nuestro caso de estudio operaran los GED cumpliendo las condiciones de régimen PRR y determinará el valor del ICC del microsistema en relación con los porcentajes de explotación y las horas de trabajo.

**Nota:** Los procedimientos que permiten en los GE ajustar los datos para el régimen de contingencia y el económico están diseñados y los controlan los operadores y jefes de planta de los emplazamientos.

Como ya se ha reiterado **el objeto de la investigación** es el microsistema de GED y para evaluar la generación de los casos de estudio (sismos e inundaciones por las penetraciones del mar) se simulará el comportamiento del microsistema de Moa-Sagua de Tánamo, pero se puede seleccionar cualquier microsistema de GED de la tecnología MTU.

Los parámetros nominales de este microsistema son:

Tabla 3.1 Datos Nominales del Microsistema Moa-Sagua de Tánamo

| Grupos Electrógenos<br>(GE) | Datos Nominales |                          |           |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------|-----------|
|                             | S<br>(MVA)      | Factor<br>de<br>Potencia | P<br>(MW) |

|                       |        |     |        |
|-----------------------|--------|-----|--------|
| 8 GE(Batería) Moa     | 18,880 | 0,8 | 15,104 |
| 1 GEA Sagua de Tánamo | 2,360  | 0,8 | 1,888  |
| 1 GEA Sagua de Tánamo | 1,150  | 0,8 | 0,92   |
| 1 GEA El Carmen       | 1,150  | 0,8 | 0,92   |
| Total: 11 GE          | 23,540 | -   | 18,832 |

### 3.3 Evaluación de la generación del microsistema de Grupos Electrógenos Diésel para los casos de estudio 1 y 2.

Antes de pasar a evaluar los casos de estudio de la generación en situaciones excepcionales de los microsistemas de GED es necesario documentar el procedimiento que analiza como proceder cuando los GED han sufrido algún daño debido a una SE (Anexo 3), en este documento se precisan todas las medidas que se deben tomar si los GE fueron inhabilitados por un desastre natural.

Para la evaluar la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel en los casos de estudio 1 y 2 se utilizarán los procedimientos descritos en el capítulo I en el epígrafe 1.5.

#### 3.2.1 Caso de estudio 1: Evaluación de la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel ante la ocurrencia de sismo.

En el caso de estudio 1, no se aplica el procedimiento porque no se pudo estimar las potencias demandadas para este tipo de desastre natural (capítulo II el acápite 2.3.1)

#### 3.2.2 Caso de estudio 2: Evaluación de la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel ante la ocurrencia de penetraciones del mar.

El procedimiento descrito (en el capítulo I) se aplica al microsistema Moa-Sagua de Tánamo para las 24 horas del día 15 de julio. Se consideró el GE<sub>1</sub> como máquina líder, vea la Tabla 3.1. También se debe de decir que la manipulación de la operación de la sincronización del microsistema de GED en ISLA será en forma manual (punto 3 de la condición del Régimen de Contingencia):

Desde el punto de vista matemático se definió que los límites  $I_1$  y  $I_2$  sean variables; el paso se tomó igual a 0,05. Los resultados donde  $K_i < 0,30$  se elevan artificialmente a 0,30 y se



reajustan los  $K_i$  de los GE cada vez que se nivela artificialmente a 0,30 en los casos de estudio en que es necesario para satisfacer racionalmente la demanda. Por otra parte en los casos donde no se cumple con la demanda la máquina líder se sobrecarga al 110%.

Como criterios se seleccionó: “Varios cerca del Valor M”: M es un porcentaje de explotación que se fija, en nuestro caso será al 75% (ajuste de los porcentaje de explotación en los GED de la marca MTU). El valor designado en M se seleccionó con el objetivo de comprobar si la demanda se satisface racionalmente siguiendo la norma del fabricante [DAIMLERCHRYSLER, 2008]

### 1. Resultado del factor de carga del microsistema de GED:

Con el Factor de carga del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo ( $Fc_G$ ) (vea la ecuación 12 en el capítulo I), se determina el GE de reserva y el que esta fuera de servicio por mantenimiento, en nuestra investigación serán el  $GE_{10}$  o el  $GE_{11}$ , ya que son los que tiene menor capacidad instalada de 0,92 MW (Tabla 3.1).

Después de determinar estas dos etapas en el análisis de la evaluación del microsistema de GED se realizan las simulaciones utilizando la aplicación de la Figura 1.1 (capítulo I).

Luego de establecidas las condiciones y los parámetros del procedimiento 1 y 2 del epígrafe 1.5 se realizaron 3 simulaciones para el caso de estudio propuesto. Las condiciones iniciales de la simulación son: primero se simula sin nivelar al 30% el porcentaje de explotación de los GED y todos los GE disponibles en la hora donde se obtuvo el valor pico de la demandada como se muestras en la Tabla 3.2 y durante 24 horas para el día de máxima demandada.

Tabla 3.2 Datos del casos de estudio.

| Caso de estudio | Situación Excepcional                      | Horas | Potencia demandada (MW) |
|-----------------|--------------------------------------------|-------|-------------------------|
| 1               | Inundaciones por las penetraciones del mar | 18    | 10,693                  |

### ❖ Resultados de la simulación para 1 hora

Caso de estudio 1: La potencia demanda se suple al 100 % y se explota 5 GE al 85% de su potencia nominal y 1 GE al 69,2 %; se obtiene 56,7 % en potencia asignada y un 100% en la potencia disponible con un factor de carga igual al 100%. En este caso de estudio no es necesario nivelar o reajustar al 30% porque el criterio impone que la ultima máquina se explote a un 69,2%.

En la Tabla 3.3 que se muestra a continuación se observaron los resultados que se obtiene con la aplicación informática para una hora.

En esta prueba es evidente que hay se sacar por lo mínimo 3 GED de reserva para mejorar el porcentaje en potencia asignada ( $P_a$ ) y el factor de carga del microsistema ( $F_{cG}$ ), por lo que las condiciones iniciales cambian las condiciones iniciales cambian.

Al sacarse los 3 GED de reserva, por ej. Los tres GEA de Sagua de Tánamo, la Batería de GED se queda operando de forma independiente.

Se repite la simulación y se obtienen los mismos porcentajes e igual cantidad de GED a explotar, pero el porcentaje en potencia asignada  $P_a$  aumenta a 74,25 % y el factor de carga  $F_{cG}$  disminuye en 80% (vea la Tabla 3.3).

Se puede retirar otro GED de la Batería, pero en este caso los porcentajes de los GED disponibles se elevan al 100%, en este régimen los GED no son eficientes, según el fabricante [DAIMLERCHRYSLER, 2008], [Hazel, 2001].

Tabla 3.3. Datos de los parámetros para la explotación del microsistema Moa-Sagua de Tánamo en el caso de estudio 1 para una hora.

| Porcentajes de explotación de los GED del microsistema |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                        |                         | Indicadores para la explotación del microsistema $F_{cG} = 100\%$ |                  |              |                 |
|--------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|-----------------|
| $GE_2$<br>K1<br>(%)                                    | $GE_3$<br>K2<br>(%) | $GE_4$<br>K3<br>(%) | $GE_5$<br>K4<br>(%) | $GE_6$<br>K5<br>(%) | $GE_7$<br>K6<br>(%) | $GE_8$<br>K7<br>(%) | $GE_9$<br>K8<br>(%) | $GE_{10}$<br>K9<br>(%) | $GE_{11}$<br>K10<br>(%) | $P_a$<br>(MW)                                                     | $P_{nG}$<br>(MW) | $P_a$<br>(%) | $P_{gd}$<br>(%) |
| 85                                                     | 85                  | 85                  | 85                  | 85                  | 69,2                | 0                   | 0                   | 0                      | 0                       | 8,893                                                             | 1,8              | 59,27        | 100             |
| Porcentajes de explotación de los GED del microsistema |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                        |                         | Indicadores de explotación del microsistema $F_{cG} = 80\%$       |                  |              |                 |
| $GE_2$<br>K1<br>(%)                                    | $GE_3$<br>K2<br>(%) | $GE_4$<br>K3<br>(%) | $GE_5$<br>K4<br>(%) | $GE_6$<br>K5<br>(%) | $GE_7$<br>K6<br>(%) | $GE_8$<br>K7<br>(%) | $GE_9$<br>K8<br>(%) | $GE_{10}$<br>K9<br>(%) | $GE_{11}$<br>K10<br>(%) | $P_a$<br>(MW)                                                     | $P_{nG}$<br>(MW) | $P_a$<br>(%) | $P_{gd}$<br>(%) |
| 85                                                     | 85                  | 85                  | 85                  | 85                  | 69,2                | 0                   | 0                   | 0                      | 0                       | 8,893                                                             | 1,8              | 76,25        | 100             |

Al valor de la potencia asignada ( $P_a$ ) para  $F_{cG} = 80\%$  se le debe sumar el valor del factor de pérdida ( $F_e$ ) de la hora 18. Porque la producción de energía real tiene que suplir la potencia demanda más el factor de pérdidas ( $F_e$ ) como se muestra en la (Tabla 3.4), y se obtiene  $P_{a_n} = 9,893$  MW

Tabla 3.4. Datos de los parámetros para la explotación del microsistema Moa-Sagua de Tánamo y del factor de pérdidas para una hora

| Factor de pérdidas diario del municipio | Hora | $F_e$ | $P_a$ (MW) | $P_{nG}$ (MW) | $P_a$ (%)    | $P_{gd}$ (%) |
|-----------------------------------------|------|-------|------------|---------------|--------------|--------------|
|                                         | 18   | 1     | 9,893      | 1,8           | <b>76,96</b> | 100          |

El valor de  $P_{a_n}$  es la potencia a generar por la Batería con un  $F_{cG}=80\%$  3 (GED de reserva) para suplir las potencias demandadas y las pérdidas en los circuitos residenciales en la hora 18 del día 15 de julio del 2012.

#### ❖ Resultados de la Simulación durante 24 horas

Para la simulación del Caso de estudio 1 durante 24 horas se tomaron condiciones iniciales para  $F_{cM} = 80\%$  porque es la variante de explotación más racional, los resultados se muestran en la Tabla 3.5 y la Figura 3.1

Tabla 3.5. Datos de los parámetros de explotación del microsistema Moa-Sagua de Tánamo por caso de estudio 1 en 24 horas.

| Porcentajes de explotación de los GED del microsistema |        |        |        |        |        |        |        |        |           |           | Indicadores de explotación del microsistema $F_{cG}=80\%$ |               |           |              |
|--------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------------|---------------|-----------|--------------|
| Horas                                                  | $GE_2$ | $GE_3$ | $GE_4$ | $GE_5$ | $GE_6$ | $GE_7$ | $GE_8$ | $GE_9$ | $GE_{10}$ | $GE_{11}$ | $P_a$ (MW)                                                | $P_{nG}$ (MW) | $P_a$ (%) | $P_{gd}$ (%) |
|                                                        | K1     | K2     | K3     | K4     | K5     | K6     | K7     | K8     | K9        | K10       |                                                           |               |           |              |
|                                                        | (%)    | (%)    | (%)    | (%)    | (%)    | (%)    | (%)    | (%)    | (%)       | (%)       |                                                           |               |           |              |
| 1                                                      | 80     | 80     | 69     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 4,12                                                      | 1,8           | 41,08     | 100          |
| 2                                                      | 70     | 70     | 56     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,52                                                      | 1,8           | 36,97     | 100          |
| 3                                                      | 65     | 65     | 55     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,33                                                      | 1,8           | 35,59     | 100          |
| 4                                                      | 65     | 65     | 55     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,33                                                      | 1,8           | 35,60     | 100          |
| 5                                                      | 90     | 89     | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,22                                                      | 1,8           | 34,85     | 100          |
| 6                                                      | 90     | 89     | -      | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,21                                                      | 1,8           | 34,82     | 100          |
| 7                                                      | 70     | 70     | 70     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 3,78                                                      | 1,8           | 38,73     | 100          |
| 8                                                      | 85     | 85     | 76     | -      | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 4,42                                                      | 1,8           | 43,19     | 100          |
| 9                                                      | 75     | 75     | 75     | 63,1   | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 5,19                                                      | 1,8           | 48,51     | 100          |
| 10                                                     | 80     | 80     | 80     | 65,6   | -      | -      | -      | -      | -         | -         | 5,50                                                      | 1,8           | 50,69     | 100          |

|    |    |    |    |      |      |      |   |   |   |   |      |     |       |     |
|----|----|----|----|------|------|------|---|---|---|---|------|-----|-------|-----|
| 11 | 70 | 70 | 70 | 70   | 63   | -    | - | - | - | - | 6,17 | 1,8 | 55,38 | 100 |
| 12 | 75 | 75 | 75 | 75   | 75   | 66,7 | - | - | - | - | 7,95 | 1,8 | 67,72 | 100 |
| 13 | 70 | 70 | 70 | 70   | 70   | 68,9 | - | - | - | - | 7,54 | 1,8 | 64,87 | 100 |
| 14 | 70 | 70 | 70 | 66,9 | -    | -    | - | - | - | - | 4,98 | 1,8 | 47,11 | 100 |
| 15 | 85 | 85 | 80 | -    | -    | -    | - | - | - | - | 4,50 | 1,8 | 43,77 | 100 |
| 16 | 70 | 70 | 70 | 66,4 | -    | -    | - | - | - | - | 4,98 | 1,8 | 47,05 | 100 |
| 17 | 80 | 80 | 80 | 80,0 | 55,9 | -    | - | - | - | - | 6,77 | 1,8 | 59,49 | 100 |
| 18 | 85 | 85 | 85 | 85   | 85   | 69,1 | - | - | - | - | 8,89 | 1,8 | 74,26 | 100 |
| 19 | 80 | 80 | 80 | 80   | 80   | 73,5 | - | - | - | - | 8,52 | 1,8 | 71,69 | 100 |
| 20 | 80 | 80 | 80 | 80   | 68,7 | -    | - | - | - | - | 7,00 | 1,8 | 61,08 | 100 |
| 21 | 70 | 70 | 70 | 70   | 66,8 | -    | - | - | - | - | 6,24 | 1,8 | 55,85 | 100 |
| 22 | 80 | 80 | 80 | 75,6 | -    | -    | - | - | - | - | 5,68 | 1,8 | 51,95 | 100 |
| 23 | 75 | 75 | 75 | 62,9 | -    | -    | - | - | - | - | 5,18 | 1,8 | 48,49 | 100 |
| 24 | 65 | 65 | 65 | 61,2 | -    | -    | - | - | - | - | 4,61 | 1,8 | 44,52 | 100 |

El estados de los otros indicadores ( $P_{ci}$ ,  $P_{gd}$ ,  $P_{rr_i}$ ,  $P_{rn}$ ,  $D_{pr_i}$ ,  $D_{pn}$ ) se puede observar en la Figura 3.1

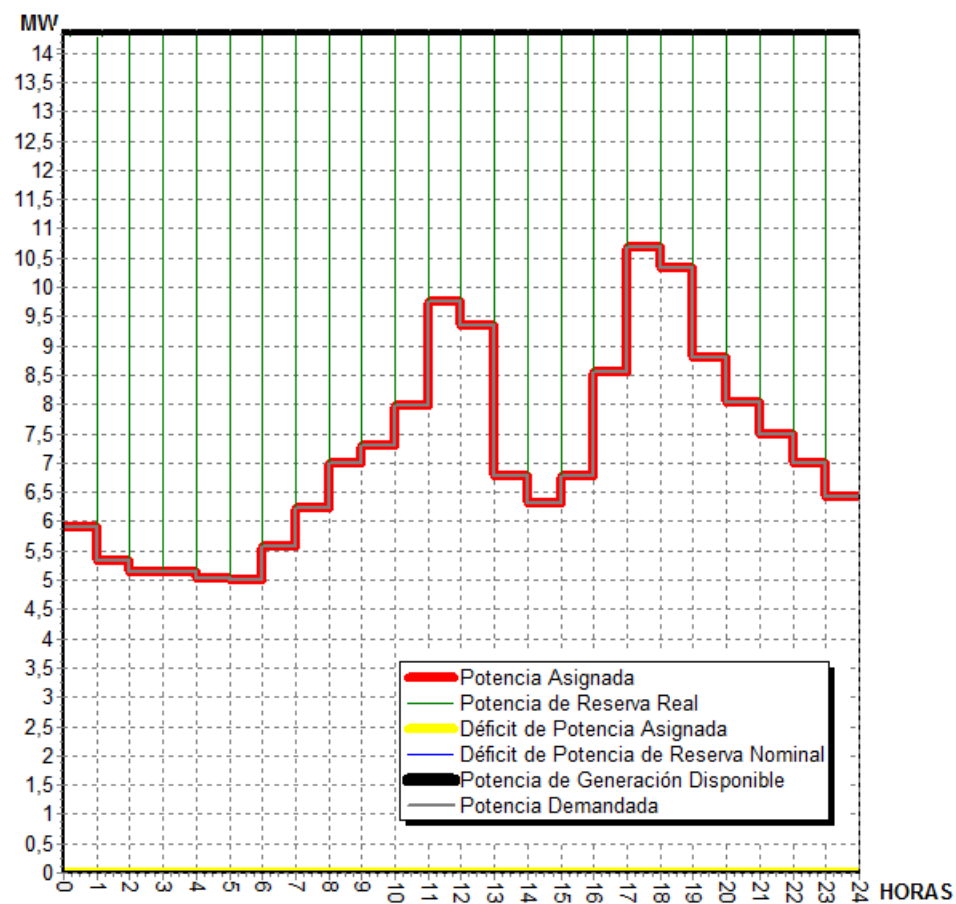


Figura 3.1 Comportamiento del los GED del microsistema Moa-Sagua de Tánamo para el caso de estudio 2 durante 24 horas

El estudio de la incidencia del factor de pérdidas horario se debe hacer igual que para 24 horas, vea la Tabla 3.6, utilizando el mismo procedimiento 3 del acápite 1.4.4.

Tabla 3.6 Datos de los parámetros para la explotación del microsistema Moa-Sagua de Tánamo y del factor de pérdidas para una hora.

| Indicadores de explotación del microsistema $F_{cG} = 80\%$ |                         |         |                      |        |                     |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|----------------------|--------|---------------------|
| Hora                                                        | Factor de pérdidas (Fe) | Pa (MW) | Pn <sub>G</sub> (MW) | Pa (%) | Pg <sub>d</sub> (%) |
| 1                                                           | 0,31                    | 4,425   | 1,8                  | 40,98  | 100                 |
| 2                                                           | 0,25                    | 3,773   | 1,8                  | 36,68  | 100                 |
| 3                                                           | 0,23                    | 3,555   | 1,8                  | 35,25  | 100                 |
| 4                                                           | 0,23                    | 3,557   | 1,8                  | 35,26  | 100                 |
| 5                                                           | 0,22                    | 3,439   | 1,8                  | 34,49  | 100                 |
| 6                                                           | 0,22                    | 3,434   | 1,8                  | 34,45  | 100                 |
| 7                                                           | 0,27                    | 4,047   | 1,8                  | 38,49  | 100                 |
| 8                                                           | 0,34                    | 4,76    | 1,8                  | 43,18  | 100                 |
| 9                                                           | 0,43                    | 5,616   | 1,8                  | 48,82  | 100                 |
| 10                                                          | 0,47                    | 5,97    | 1,8                  | 51,15  | 100                 |
| 11                                                          | 0,56                    | 6,734   | 1,8                  | 56,17  | 100                 |
| 12                                                          | 0,83                    | 8,781   | 1,8                  | 69,65  | 100                 |
| 13                                                          | 0,76                    | 8,301   | 1,8                  | 66,49  | 100                 |
| 14                                                          | 0,4                     | 5,384   | 1,8                  | 47,29  | 100                 |
| 15                                                          | 0,35                    | 4,853   | 1,8                  | 43,79  | 100                 |
| 16                                                          | 0,4                     | 5,375   | 1,8                  | 47,23  | 100                 |
| 17                                                          | 0,64                    | 7,406   | 1,8                  | 60,60  | 100                 |
| 18                                                          | 1                       | 9,893   | 1,8                  | 76,97  | 100                 |
| 19                                                          | 0,93                    | 9,453   | 1,8                  | 74,07  | 100                 |
| 20                                                          | 0,68                    | 7,676   | 1,8                  | 62,37  | 100                 |
| 21                                                          | 0,57                    | 6,813   | 1,8                  | 56,69  | 100                 |
| 22                                                          | 0,49                    | 6,171   | 1,8                  | 52,47  | 100                 |
| 23                                                          | 0,43                    | 5,613   | 1,8                  | 48,80  | 100                 |
| 24                                                          | 0,36                    | 4,971   | 1,8                  | 44,57  | 100                 |

Luego de calculados los valores de los porcentajes de cada GED se debe determinar el consumo de combustible y el Índice de consumo de combustible.

Los resultados necesarios en los pasos 1 y 2 del procedimiento 4 ya se han obtenido racionalmente con las simulaciones.

## 2. Resultado del consumo específico de combustible de los GED:

De procedimiento enunciado en el capítulo 1 en epígrafe 1.5, los pasos 1, 2 y 3 ya se han resuelto. Falta determinar lcc con el procedimiento 4.

Los resultados necesarios en los pasos 1 y 2 del procedimiento 4 ya se han obtenido racionalmente con las simulaciones, para los pasos 3, 4 y 5 es preciso saber que el tanque de uso diario de la Batería y los GEA tiene una capacidad de 2000L y a las 4 horas de generación continua de los GE el tanque baja el nivel de combustible al 40% y automáticamente una bomba eléctrica los rellena (se supone que en el tanque de operación y de recepción halla suficiente combustible ya que tienen una capacidad de 100m<sup>3</sup> (5000 000L) cada uno y en SE es imprescindible que estén abastecidos). Basándonos en esta suposición se puede calcular el consumo de los GED en cada hora, será igual 500L explotándose al 100%.

La operación continua de los GED durante 24 horas como ya se ha señalado lo impone la demanda de la carga.

Se tomará como ejemplo para determinar el ICC los datos obtenidos en la Tabla 3.3 con  $F_c = 80\%$ .

Tabla 3.3.a) Datos de los parámetros para la explotación y el consumo de combustible del microsistema Moa-Sagua de Tánamo en el caso de estudio 1 para una hora.

| Porcentajes de explotación de los GED del microsistema |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                               |                                | Indicadores para la explotación del microsistema $F_{cG} = 100\%$ |                         |           |                        |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------|------------------------|
| GE <sub>2</sub><br>K1<br>(%)                           | GE <sub>3</sub><br>K2<br>(%) | GE <sub>4</sub><br>K3<br>(%) | GE <sub>5</sub><br>K4<br>(%) | GE <sub>6</sub><br>K5<br>(%) | GE <sub>7</sub><br>K6<br>(%) | GE <sub>8</sub><br>K7<br>(%) | GE <sub>9</sub><br>K8<br>(%) | GE <sub>10</sub><br>K9<br>(%) | GE <sub>11</sub><br>K10<br>(%) | Pa<br>(MW)                                                        | Pn <sub>G</sub><br>(MW) | Pa<br>(%) | Pg <sub>d</sub><br>(%) |
| 85                                                     | 85                           | 85                           | 85                           | 85                           | 69,2                         | 0                            | 0                            | 0                             | 0                              | 8,893                                                             | 1,8                     | 59,27     | 100                    |
| Porcentajes de explotación de los GED del microsistema |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                               |                                | Indicadores de explotación del microsistema $F_{cG} = 80\%$       |                         |           |                        |

| GE <sub>2</sub><br>K1<br>(%)       | GE <sub>3</sub><br>K2<br>(%) | GE <sub>4</sub><br>K3<br>(%) | GE <sub>5</sub><br>K4<br>(%) | GE <sub>6</sub><br>K5<br>(%) | GE <sub>7</sub><br>K6<br>(%) | GE <sub>8</sub><br>K7<br>(%) | GE <sub>9</sub><br>K8<br>(%) | GE <sub>10</sub><br>K9<br>(%) | GE <sub>11</sub><br>K10<br>(%) | Pa<br>(MW) | Pn <sub>G</sub><br>(MW) | Pa<br>(%) | Pg <sub>d</sub><br>(%) |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------|-------------------------|-----------|------------------------|
| 85                                 | 85                           | 85                           | 85                           | 85                           | 69,2                         | 0                            | 0                            | 0                             | 0                              | 8,893      | 1,8                     | 76,25     | 100                    |
| Consumo de combustible<br>(litros) |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                              |                               |                                | Pa<br>(MW) | Pn <sub>G</sub><br>(MW) | Pa<br>(%) | Pg <sub>d</sub><br>(%) |
| 425                                | 425                          | 425                          | 425                          | 425                          | 346                          | 0                            | 0                            | 0                             | 0                              | 8,893      | 1,8                     | 76,25     | 100                    |

Para los pasos 6 y 7 en la Tabla 3.3 a) se determina el consumo de combustible en este caso de la Batería de GE:

$$Cc_i = \sum_{i=1}^N Ccg_i \quad (16)$$

donde  $Cc_i$  es el consumo de combustible de la Batería en litros (L) y  $Ccg_i$  es el consumo de combustible de cada GED en litros (L)

El valor de  $Cc_i$  para 5 GE trabajando en la hora 18h se dividirá entre la potencia asignada y después se multiplicará por la Densidad del Combustible ( $Dc$ )<sup>1</sup> del día 15 de julio (de 0,8608 g/cm<sup>3</sup>) y el resultado será el valor del ICC.

De igual manera se debe realizar los cálculos para 24 horas, es decir, se obtendrá el ICC diario resultado se que se pueden extrapolar al mes y al año.

### 3. Carga a alimentar por el microsistema de GED después de la situación excepcional:

En este caso de estudio no es necesario desconectar ninguna carga porque la Batería de GED tiene suficiente potencia asignada. Y la variante a usar para alimentar las cargas será la # 1(vea en el capítulo I el epígrafe 1.5 el procedimiento 5).

### 4. Cientes de 1ra categorías y la generación de emergencia después de la situación excepcional (vea en Capítulo I el epígrafe 1.5 procedimiento 6):

Por medio del Anexo 5 en la Tabla 1.10 se estableció que no hay clientes de 1ra categoría en los repartos afectados por las inundaciones por penetraciones del mar.

<sup>1</sup> Densidad del Combustible ( $Dc$ ): se determinó de una hoja de cálculo electrónica de Excel: " Informes Indicadores Principales Julio " el dato de la  $Dc$ . Este se obtiene mediante una corrección de temperatura que es le hace a las mediciones de densidad diaria con la que se trabaja (UNE-GD provincial, 2013)

### 3.4 Conclusiones parciales.

- Se establecieron las condiciones para la operación de los microsistemas de GED para régimen de contingencia y el económico frente a situaciones excepcionales.
- Se realizó la evaluación de la generación del microsistema de grupos electrógenos diésel para los casos de estudio 2, para ello se calcularon los indicadores productivos, se realizaron tres corridas o simulaciones siguiendo un procedimiento (dos para una hora y una para 24 horas) de las que se obtuvieron tres tablas con los datos del porciento de explotación de los GED del microsistema.
- Ante la situación excepcional estudiada se determinó que solo es necesaria que se exploten los GED de la Batería de Moa, que la misma tiene suficiente capacidad instalada para satisfacer la carga y que con un factor de carga de los GED del 80% la potencia asignada es más racional.
- Se analizó como el factor de pérdidas influye en la potencia asignada para un factor de carga en los generadores de 80% identificando para el caso de estudio analizado que la potencia asignada por el microsistema podía también suplir la potencias demandadas más las pérdidas.
- Se propuso como calcular el ICC a partir de los resultados del software, garantizando que la operación del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo sea eficiente ante las inundaciones por la penetración del mar.
- Por último se determinó cómo se alimentarán las carga que quedaron conectadas después de la situación excepcional y se estableció a través de la descripción del SEP que en las zona inundadas no hay ningún cliente de 1ra categoría.



## **CONCLUSIONES GENERALES**

---

- Se establecieron los antecedentes relacionados con la operación de los microsistemas de grupos electrógenos diésel y se determinó que no se había estudiado las situaciones excepcionales sismo y penetraciones del mar.
- Se establecen las tareas de la metodología para la operación de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales utilizando la aplicación informática desarrollada mediante el IDE Borland Delphi 7.0
- Se determinó la demanda eléctrica del año 2012, la misma fue de 2239 MW, en este año los meses mayo, junio, julio, agosto y septiembre fueron los de mayor consumo eléctrico, de ellos el mes de mayor demanda fue julio con 197 MW y el día donde la demanda alcanzó su máximo valor absoluto corresponde al 15 de julio con 1,8 MW en el circuito 1.
- Con el estudio de la estimación de la demanda ante la ocurrencia de sismo se concluyó que no se puede calcular la demanda de la carga, por lo que para esta situación excepcional no se podrá evaluar la explotación del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo.
- Ante la situación excepcional penetraciones de mar se determinó que solo es necesaria que se exploten los GED de la Batería de Moa, que la misma tiene suficiente capacidad instalada para satisfacer la carga y que con un factor de carga de los GED del 80%, la potencia asignada es más racional, además se propuso como calcular el ICC a partir de los resultados del software, garantizando que la operación del microsistema de GED Moa-Sagua de Tánamo sea eficiente ante las inundaciones por la penetración del mar.

- Se elaboró la fundamentación, el objetivo, se describió el cuerpo categorial y legal del aparato cognitivo e instrumental de la investigación, a través del desarrollo de la estructura y las tareas de una metodología que garantiza la operación eficiente de los microsistemas de grupos electrógenos diésel ante situaciones excepcionales.

---

## RECOMENDACIONES

---

En el presente trabajo recomendamos:

1. Se utilice por parte de los especialistas de UNE-GD la metodología y establezcan la explotación de los GED de la provincia ante situaciones excepcionales.
2. Crear una base de datos con las potencias demandadas por circuito en situaciones excepcionales para predecir la operación de GED Fuel oil o un sistema híbrido de generación distribuida.
3. Utilizar el software desarrollado para la evaluación de la explotación de los GED de los microsistemas de la provincia Holguín.
4. Realizar una valoración económica de los gasto de generación que se ahorran con la utilización de software para la explotación de los GED de los microsistemas de la provincia Holguín en régimen paralelo e ISLA.

## ANEXO 5.

### 1. Descripción del Sistema Eléctrico de Potencia de Moa

#### 1.1 Sistema Eléctrico de Potencia de Moa.

El suministro de energía del SEP del territorio moense 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 Cmdt. 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 y un sistema de GD en batería de GED unificada al SEN (vea la Figura 1.1), que alimenta 10 circuitos residenciales, por más de 185,765 km de líneas eléctricas para un total de 24 124 núcleos, así como objetivos industriales y sociales que cuentan con Grupos Electrógenos de Emergencia (GEE).

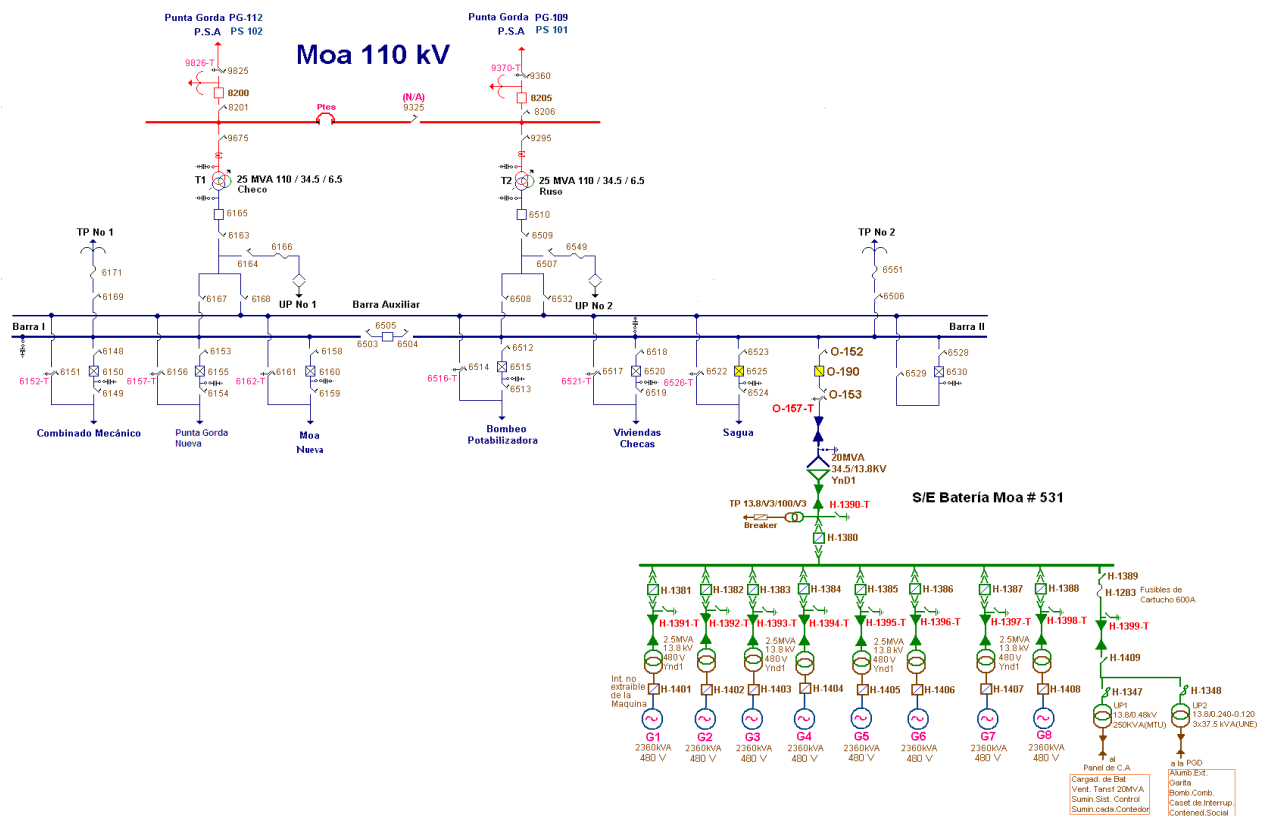


Figura 1.1 Monolineal de la subestación Moa 110kV incluida Batería Grupos Electrógenos Diésel.

### 1.1.1 Características de la Subestación Moa 110 kV.

La Subestación de Centeno (Moa 110 kV) está ubicada en el km 3 de la carretera Moa-Sagua, la misma es la encargada de suministrar energía a los circuitos residenciales y algunos industriales pertenecientes al municipio Moa, Sagua y Frank País. Se alimenta a través de los interruptores definidos como PG 109 Y PG 112 por una línea doble circuito desde la subestación de 220 kV, localizada en la localidad de Punta Gorda. Alimentación que llega por 110 kV hasta los interruptores 8200 y 8205 donde se energizan los transformadores de fuerza T1 y T2 respectivamente, transformadores de 25 MVA encargados de reducir el voltaje de 110 kV a 34,5 kV. El transformador T1 se encarga de alimentar la Barra 1, que cuenta con tres interruptores incluyendo el totalizador 6165, todos de Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ), dentro de los cuales se encuentran el 6150 alimentando el Combinado Mecánico, el 6155 encargado de suministrarle energía a la subestación Punta gorda nueva y el 6160 a la subestación Moa Nueva, principalmente. El T2 que se encarga de la Barra 2, la cual cuenta con tres interruptores de  $\text{SF}_6$  para su mejor funcionamiento los cuales están distribuidos de la forma siguiente: 6510 como totalizador, el 6515 entrega energía a Bombeo Moa y Potabilizadora, la subestación Vivienda Checa esta energizada a través del 6520 y el 6525 se encarga de enviar la energía a Sagua y Frank País, el 6530 alimenta la barra auxiliar la que es utilizada como enlace o desvío permitiendo las manipulaciones y reparaciones en uno de los transformadores (Anexo 2 la Figura 1)

### 1.1.2 Características de las líneas de subtransmisión de Moa.

Las líneas de subtransmisión que parten de la subestación Moa 110 kV tienen las siguientes características:

**TABLA 1. DATOS DE LA LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN**

| Interruptor | Línea                                         | Longitud(Km) | Tipo/Cond. |
|-------------|-----------------------------------------------|--------------|------------|
| 6160        | Moa 110kV- Moa Nueva                          | 4.559        | AL 158     |
| 6150        | Moa 110kV-Combinado Mecánico                  | 4.730        | AL 158     |
| 6515        | Moa110kV-Bombeo-Potabilizadora-Pasteurizadora | 12.001       | AL 158     |
| 6155        | Moa 110kV-Punta Gorda Nueva                   | 22.706       | AL 158     |

|      |                             |        |        |
|------|-----------------------------|--------|--------|
| 6520 | Moa 110kV-Vivienda Checa    | 4.954  | AL 158 |
| 6525 | Moa 110kV-Los Indios- Sagua | 60.162 | AL 158 |

De estas seis líneas principales se derivan las siguientes subestaciones encargadas de la distribución hacia los circuitos residenciales, las que cuentan con los siguientes datos, como se muestra a continuación en las Tablas 2-7.

**TABLA 2. INTERRUPTOR 6150: LTE 33 kV CENTENO.**

| <b>Subestación</b> | <b>Voltaje (kV)</b> | <b>Capacidad (kVA)</b> |
|--------------------|---------------------|------------------------|
| Combinado Mecánico | 33/ 10.5            | 2 x 10000              |

**TABLA 3. INTERRUPTOR 6155: LTE 33 kV CENTENO – BOMBEO - POTABILIZADORA**

| <b>Subestación</b> | <b>Voltaje (kV)</b> | <b>Capacidad (kVA)</b> |
|--------------------|---------------------|------------------------|
| Potabilizadora     | 33/0,48             | 2 x 1000               |
| Bombeo de Moa      | 33/6,3              | 2 x 2600               |
| Punta Gorda Nueva  | 33/13,8             | 1600                   |

**TABLA 4. INTERRUPTOR 6160: LTE 33 kV CENTENO – MOA NUEVA.**

| <b>Subestación</b> | <b>Voltaje (kV)</b> | <b>Capacidad (kVA)</b> |
|--------------------|---------------------|------------------------|
| Moa Nueva          | 33/13,8             | 2 x 4000               |

**TABLA 5. INTERRUPTOR 6515: LTE 33 kV CENTENO - COMBINADO MECANICO - POTABILIZADORA**

| <b>Subestación</b> | <b>Voltaje (kV)</b> | <b>Capacidad (kVA)</b> |
|--------------------|---------------------|------------------------|
| Combinado Mecánico | 33/10,5             | 2 x 10000              |
| Pasteurizadota     | 33/0,48             | 500                    |

|                |         |          |
|----------------|---------|----------|
| Moa Nueva      | 33/0.48 | 2 x 4000 |
| Ceproníquel    | 33/0.23 | 100      |
| Potabilizadora | 33/0,48 | 2 x 1000 |
| Bombeo de Moa  | 33/6,3  | 2 x 2600 |

**TABLA 6. INTERRUPTOR 6520: LTE 33 kV CENTENO – VIVIENDA CHECA**

| Subestación    | Voltaje (kV) | Capacidad (kVA)     |
|----------------|--------------|---------------------|
| Vivienda Checa | 33/13,8      | 6300                |
| Expansión      | 33/0,48      | 1 x 750<br>1 x 1500 |

**TABLA 7. INTERRUPTOR 6525: LTE 33 kV CENTENO – SAGUA**

| Subestación | Voltaje (kV) | Capacidad (kVA) |
|-------------|--------------|-----------------|
| Miraflores  | 33/4,16      | 1000            |
| Farallones  | 33/4,16      | 2 x 833         |

Las 15 subestaciones cuentan con dispositivos modernos de protección y analizadores Nu-Lec, acción que ha permitido mejorar los índices de protección de las instalaciones del territorio y de sus 10 circuitos de distribución.

Los 35 centros que tienen grupos electrógenos de emergencia (GEE) se muestran a continuación en la Tabla 10.

### ***1.1.3 Características de los circuitos de distribución de Moa.***

La UEB Moa situada en el municipio de Moa, al noreste de la provincia de Holguín, atiende a **428,454** km de líneas en el municipio. La UEB cuenta con 1 subcentros, 1 sucursales, 1 subestación de 110 kV y 11 de subtransmisión, tiene instalados 826 transformadores de distribución para una potencia de 35560 kVA y una red de líneas eléctricas con 57,008 km de transmisión, 69,410 km de subtransmisión y 185,765 km de distribución. Posee 35 Grupos Electrógenos de Emergencia (GEE) instalados en objetivos importantes del territorio moense. La UEB Moa tiene como misión la generación, distribución y comercialización de la energía eléctrica con calidad y

eficiencia, de forma tal que satisfaga las exigencias de los clientes, con una plantilla de un personal calificado y especializado para solucionar deficiencias e interrupciones y prestar servicios de post-venta.

Las características de las líneas de distribución de los circuitos del municipio, se presentan en la Tabla 8.

**TABLA 8. CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN.**

| <b>Nombre de la Línea</b> | <b>Voltaje (kV)</b> | <b>Interruptor</b> | <b>Longitud (Km)</b> | <b>Calibre</b>             |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|
| Circuito1(Playa)          | 13.2                | H-2075             | 11.470               | AAAC 78 , AAAC 150         |
| Circuito2(Caribe)         | 13.2                | H-2070             | 12.128               | AAAC 78, ACSR 35, AAAC 150 |
| Circuito4(Los Mangos)     | 13.2                | H-2035             | 8.553                | AAAC 78 , ACSR 35          |
| Circuito5(Miraflores)     | 13.2                | H-955              | 7.832                | AAAC 78                    |
| Circuito6(Rolo Monterrey) | 13.2                | H-136              | 31.753               | AAAC 158                   |
| Circuito7 (Centeno)       | 4.16                | H-1777             | 34.586               | AAAC 78                    |
| Circuito8(Quemado N)      | 13.2                | H-1910             | 47.098               | AAAC 158                   |
| Circuito9(Vivienda Checa) | 13.2                | H-545              | 7.790                | AAAC 150                   |
| Circuito10(Farallones)    | 4.16                | H-1850             | 16.535               | ACSR 35                    |
| Circuito11(Armando M)     | 13.2                | H-2080             | 8.020                | AAAC 158                   |

### ***1.1.3.1 Circuitos residenciales de los municipios Moa.***

**Circuito 1:** Es alimentado por la Subestación Moa Nueva, el cual comprende el centro de la ciudad, los repartos Las Coloradas, La Playa, Pueblo Nuevo, Vista Alegre, Moa Centro. Este cuenta con 91 transformadores para una capacidad de 3940 kVA. El mismo posee conexión con el circuito 11 a través del dispositivo H 2177 y con el circuito 9 a través del desconectivo H 2175 y con el 4 por el H 2082.

**Circuito 2:** Energizado por la Subestación Vivienda Checa. El mismo se extiende por todo el Reparto Caribe, una porción al este noreste de la Avenida Mariana Grajales, así como también el Hospital Guillermo Luis. Integrado por 85 transformadores para un total de 5050 kVA. Este se puede conectar con los circuitos 11 a través del desconectivo H 2278.



**Circuito 4:** El mismo está encargado de alimentar el sector residencial de Rpto 26 de Junio y Joselillo, es energizado por la Subestación Moa Nueva posee un total de 100 transformadores, haciendo entrega de 3902.5 kVA de capacidad de distribución. A través del enlace H1801 con el circuito 6.

**Circuito 5:** A través de la Subestación de Vivienda Checa es alimentado el Rpto Miraflores, posee un total de 78 transformadores, haciendo entrega de 3117.5 kVA de capacidad de distribución, se conecta con el circuito 9 por el desconectivo H 2337.

**Circuito 6:** La Subestación Moa Nueva es la encargada de energizar el reparto Rolo Monterrey muy cercano a objetivos económicos de gran importancia como son la fábrica Moa Níquel SA, las cuales tienen una conexión a través del circuito especial OH2, que se extiende por las calles principales del reparto. El circuito 6 cuenta con 99 transformadores para una capacidad de 3385 kVA, conecta con el circuito 11 por el desconectivo H 2077 y el con el 4 por el H 1801.

**Circuito 7:** Alimentado por la Subestación Miraflores, suministrándole energía eléctrica a los poblados de Centeno y Pueblo Nuevo. Para lo que se emplean 76 transformadores para un total de 2702.5 kVA.

**Circuito 8:** Se alimenta por medio de la Subestación de Punta Gorda, la que está encargada de hacer llegar la energía eléctrica al pueblo de Yagrumage, Pta Gorda Arriba y Pta Gorda Abajo, Cañete, La Cromita, Cupey y Yamanigüey, a través de 86 transformadores para una potencia de 5022.5 kVA.

**Circuito 9:** Se extiende por los repartos Atlántico, Coloradas Nuevas, la Subestación Vivienda Checa es la encargada de alimentar a este circuito. Encontrándose en el mismo 74 transformadores para una capacidad de 2927 kVA. Se conecta entre sí con el circuito 1 y el 5.

**Circuito 10:** Comprende los territorios de Cayo Grande y Farallones, se alimenta desde la Subestación de Farallones, para lo cual emplea 8 transformadores que suman un total de 210 kVA.

**Circuito 11:** Este circuito es energizado por la Subestación Moa Nueva. Cuenta con 87 transformadores, cuyas potencias alcanzan los 3532.5 kVA, estos se reparten por todo

el reparto Aserrio, una porción de Las coloradas y del Caribe, Armando Mestre, llegando una de sus ramificaciones hasta el Hospital Guillermo Luis, que además posee generación propia para casos de emergencia. Posee conexión con los circuitos 2, 1 y 6.

En resumen, los transformadores de los circuitos de distribución residencial, que son alimentados por la subestación Moa 110 kV de Centeno, pertenecen al municipio Moa, suman una potencia de distribución equivalente a **33789.5 kVA**.

Los circuitos residenciales de Moa que cuentan con algunos clientes de primera categoría residenciales, usuarios que ante las diferentes situaciones excepcionales que se puedan presentar en el municipio deben ser alimentados por el microsistema por su importancia económica, política y social.

**TABLA 9. CLIENTES DE PRIMERA CATEGORÍA DEL MUNICIPIO MOA**

| Clientes de primera categoría                                                     |                 |             |                   |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|----------------|
| Denominación                                                                      | Cto #           | Subestación | Potencia (kVA)    |                |
| Combinado Lácteo                                                                  | 6515            | LÁCTEO      | 1x1000            |                |
| Combinado Mecánico                                                                | 6515            | CMN         | 2x10000           |                |
| Derivadora Moa                                                                    | Int. 6515       | Moa 110 kV  | 1x1000            |                |
| Empresa PSA                                                                       | PSA             | CMN         | 1x100000          |                |
| Puerto Moa                                                                        | PSA             | PSA         | 2x1000            |                |
| Empresa Ché Guevara                                                               | PG101           | CHE         | 2x10000           |                |
| Clientes de primera categoría dentro de los circuitos residenciales del municipio |                 |             |                   |                |
| Denominación                                                                      | Dirección       | Cto #       | Subestación       | Potencia (kVA) |
| Hospital Guillermo Luis                                                           | Caribe          | CTO 2       | Vivienda Checa    | 1x1000         |
| Hospital Pediátrico                                                               | Rolo            | CTO 6       | MOA NUEVA         | 3x50           |
| Policlínico Rolo                                                                  | Rolo            | CTO 6       | MOA NUEVA         | 2x37,5         |
| Policlínico Las Coloradas                                                         | Las Coloradas   | CTO 1       | MOA NUEVA         | 3x37,5         |
| Bombeo Veguita                                                                    | Veguita         | 6515        | Punta Gorda Nueva | 3x75           |
| Bombeo Punta Gorda                                                                | Punta Gorda     | CTO 8       | Q. DEL NEGRO      | 2x25           |
| Mayorista Alimentos (Frigorífico)                                                 | Ave Universidad | 6160        | MOA NUEVA         | 1x15 1x50      |
| Fábrica Productora de Alimentos                                                   | Rolo            | CTO 6       | MOA NUEVA         | 1x250          |

| ESUNI                     |                 |       |            |              |
|---------------------------|-----------------|-------|------------|--------------|
| Productora de Alimentos   | Armando Mestre  | CTO11 | MOA NUEVA  | 2x37.5       |
| Empresa Cubana del Pan    | Moa Centro      | CTO 1 | MOA NUEVA  | 3x15         |
| Panadería Miraflores      | Miraflores      | CTO 5 | V.CHECA    | 3x25         |
| Almacenes ESUNI           | Rolo            | CTO 6 | MOA NUEVA  | 1x100        |
| Sector Militar            | Rolo            | CTO 6 | MOA NUEVA  | 1x50         |
| Radio Cuba-Voz del Níquel | Caribe          | CTO 2 | V.CHECA    | 3x50         |
| Tele Centro Municipal     | Caribe          | CTO 2 | V.CHECA    | 3x50         |
| Aeropuerto                | Rolo            | CTO 6 | MOA NUEVA  | 3x25         |
| Cupet                     | Puerto Moa      | CTO 6 | MOA NUEVA  | 2x15         |
| Transmisor TV             | Alto Miraflores | CTO5  | MIRAFLORES | 2x37.5/ 1x50 |
| Minint                    | Caribe          | CTO 2 | V.CHECA    | 1x75/1x50    |

De estos 25 objetivos de primera escogidos, 17 se ubican en los circuitos residenciales y 17 poseen GEE, por lo que se debe con mayor razón mantener el fluido de forma ininterrumpida. Como se observa en la tabla anterior, el circuito 1 agrupa a 2 objetivos de primera categoría, el circuito 2 encierra 4 objetivos, el 4 no abarca a ninguno, mientras el circuito 5 a 2, el circuito 6 abarca a 7, el 7 no cuenta con ninguno, el circuito 8 a 1, los circuitos 9 y 10 no cuentan con objetivos de 1ra categoría y el 11 a 1.

Algunos de los centros que tienen grupos electrógenos de emergencia (GEE) se muestran a continuación en la Tabla 10. Estos GED se ubican en objetivos económicos, sociales y otros claves del país, como centros de bombeo, frigoríficos, centros de prensa, radio y televisión, hospitales, panaderías, etc., los cuales solo entran en funcionamiento cuando el sistema es incapaz de satisfacer la demanda y procede a la desconexión de los circuitos donde se encuentren estos grupos de emergencia o si se presentara una situación excepcional en el territorio para el cual la potencia instalada en lo sistemas de GD no sea capaz de suplir la demanda.

En el control de estos grupos la UNE-GD utiliza el software SISGEE Sistema Automatizado de Gestión de la Información de los Grupos Electrógenos de Emergencia) fue diseñado con el objetivo de poder procesar y analizar la información referente a los

procesos de montaje, puesta en marcha y explotación continua de los GEE de Emergencia instalados en los objetivos vitales. [Bosch; Valdés, 2012].

Las características de los GEE se presentan en la Tabla 10.

**TABLA 10. CARACTERÍSTICAS DE LOS GEE DE MOA**

| <b>GEE DE LOS PROGRAMAS DE LA REVOLUCION ENERG.</b> | <b>Potencia Aparente (kVA)</b> | <b>Factor de Potencia F.P</b> | <b>Potencia Activa (kW)</b> |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Combinado Mecánico                                  | 618                            | 0.8                           | 494.4                       |
| Hospital Guillermo Luis                             | 1200                           | 0.8                           | 960                         |
| Combinado Lácteo                                    | 300                            | 0.8                           | 240                         |
| CTV Miraflores                                      | 150                            | 0.8                           | 120                         |
| Derivadora Moa                                      | 150                            | 0.8                           | 120                         |
| Hospital Pediátrico                                 | 60                             | 0.8                           | 48                          |
| Policlínico Rolo                                    | 60                             | 0.8                           | 48                          |
| Policlínico Las Coloradas                           | 60                             | 0.8                           | 48                          |
| Puerto Moa                                          | 100                            | 0.8                           | 80                          |
| Panadería Centeno                                   | 75                             | 0.8                           | 60                          |
| Gasificador oxígeno                                 | 60                             | 0.8                           | 48                          |
| Empresa Cubana de Pan                               | 45                             | 0.8                           | 36                          |
| SE 220kV CTE Punta Gorda                            | 100                            | 0.8                           | 80                          |
| Centro Superv y control                             | 10                             | 0.8                           | 8                           |
| Centro Trans. O. Media                              | 25                             | 0.8                           | 20                          |
| Panadería La Melba                                  | 25                             | 0.8                           | 20                          |
| Centro Elaboración Alimento                         | 20                             | 0.8                           | 16                          |
| Emisora La Voz del Níquel                           | 20                             | 0.8                           | 16                          |
| Comunitaria TV                                      | 10                             | 0.8                           | 8                           |
| Estación Sismología                                 | 6                              | 0.8                           | 4.8                         |
| Panadería Moa                                       | 75                             | 0.8                           | 60                          |
| Panadería Miraflores                                | 75                             | 0.8                           | 60                          |
| Bombeo Punta Gorda                                  | 45                             | 0.8                           | 36                          |
| Hotel                                               | 425                            | 0.8                           | 340                         |
| Tele Centro Moa                                     | 20                             | 0.8                           | 16                          |
| Voz del Níquel                                      | 82                             | 0.8                           | 65.6                        |

|                         |             |          |               |
|-------------------------|-------------|----------|---------------|
| Serconi                 | 75          | 0.8      | 60            |
| ECRIN                   | 70          | 0.8      | 56            |
| <b>Total</b>            | <b>3961</b> | <b>-</b> | <b>3168,8</b> |
| <b>OTROS GEE</b>        |             |          |               |
| Servi-Centro Moa        | 60          | 0.8      | 33            |
| Torres de Miraflores    | 1x150 1x136 | 0.8      | 228.8         |
| Cubacel Vijía           | 28          | 0.8      | 22            |
| CT Punta Gorda          | 35          | 0.8      | 28            |
| Centro Técnico (Etecsa) | 38          | 0.8      | 30.4          |
| Servi Nuevo Mundo       | 25          | 0.8      | 20            |
| Complejo Moa Cemex      | 90          | 0.8      | 72            |
| Tienda Mayorista Moa    | 45          | 0.8      | 36            |
| <b>Total</b>            | <b>607</b>  | <b>-</b> | <b>470,2</b>  |

## ANEXO 4.

### 1. Estructura de una propuesta metodología.

Se seleccionó del Libro de Investigación Científica: Conceptos y reflexiones de Legrá Lobaina, A, A., Silva Diéguez, O que una Metodología debe considerar la argumentación de la definición y aplicación práctica, eficaz y eficiente, de:

- La fundamentación
- El objetivo
- El cuerpo categorial del aparato cognitivo
- El cuerpo legal del aparato cognitivo
- El aparato instrumental
- La estructura (relaciones entre los elementos del aparato cognitivo con los elementos del aparato instrumental)
- Las fases de organización, planificación, ejecución, control y evaluación.

[Legrá, A, A., Silva, O. 2012]

TAREA: RESTABLECIMIENTO ANTE CATÁSTROFES  
ATMOSFÉRICAS

CÓDIGO: UJ-IG 0301  
 FECHA DE EMISIÓN: 13/01/2009  
 REVISIÓN: 001  
 PÁGINA: 269(1/1)



| <b>Ejecutor:</b> Jefes de centrales diesel y fuel                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>No. de Ejecutantes:</b><br>N/P     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Donde:</b> En las centrales<br><b>Cuando (ciclo):</b> Después de cada catástrofe atmosférica u otro evento que provoque la inactividad del grupo y quede sin uso planta por más de 24 hrs |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Tiempo de Ejecución:</b><br>30 min |
| <b>Recursos Necesarios:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Registros</li> <li>- Personal con herramientas</li> <li>- Medios para las mediciones</li> </ul>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |
| <b>Cuidados Especiales:</b> Nunca arrancar un grupo sin que este sea certificado ante eventos de este tipo                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |
| <b>Aseguramiento de la Calidad:</b> Garantizar que los equipos antes de la puesta en marcha se certifiquen quedando listo para la operación                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |
| Pasos                                                                                                                                                                                        | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                       |
|                                                                                                                                                                                              | Después de un evento de este tipo para la creación de microsistemas o sincronización nuevamente a la red:                                                                                                                                                                                                  |                                       |
| 1                                                                                                                                                                                            | Inspeccionar cuidadosamente los grupos declarando su integridad física.                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |
| 2                                                                                                                                                                                            | Retirar las medidas tomadas para enfrentar el fenómeno (Retirar protección de salidas de gases y entradas de aire, seguros a puertas y otros).                                                                                                                                                             |                                       |
| 3                                                                                                                                                                                            | Inspeccionar el grupo en su interior revisando si hubo entrada de agua y a qué partes afectó, posibles salideros de materias de servicio, niveles de aceite, combustible, agua y su posible contaminación con la lluvia o residuos.                                                                        |                                       |
| 4                                                                                                                                                                                            | Revisar el interior de los paneles eléctricos buscando residuos sólidos o presencia de agua.                                                                                                                                                                                                               |                                       |
| 5                                                                                                                                                                                            | Medir el aislamiento de los generadores y las barras de salida de estos.                                                                                                                                                                                                                                   |                                       |
| 6                                                                                                                                                                                            | Certificar como listo cada grupo antes del arranque inicial por el personal designado.                                                                                                                                                                                                                     |                                       |
| 7                                                                                                                                                                                            | Restablecer el uso de planta por cualquier vía (interna con un grupo o desde la red) y con estos los sistemas de calefacción del generador, motor, cargadores de baterías de los sistemas de protección y seguridad así como la operatividad del cuarto de control.                                        |                                       |
| 8                                                                                                                                                                                            | <b>Durante la operación continua en isla o sincronizado a microsistemas, se cumple lo siguiente:</b>                                                                                                                                                                                                       |                                       |
| 9                                                                                                                                                                                            | Planificar los mantenimientos para ser ejecutados en los horarios de bajas cargas y en la mayor brevedad posible (sin dejar de ejecutar tareas), buscando la menor afectación al cliente. No se puede violar ningún ciclo de mantenimiento.                                                                |                                       |
| 10                                                                                                                                                                                           | Mantener disponibilidades de materias de servicio y materiales gastables para evitar indisponibilidades en el periodo de recuperación.                                                                                                                                                                     |                                       |
| 11                                                                                                                                                                                           | Operar los grupos MTU y Scania como máximo 10 hrs diarias. En cada territorio se coordina qué horas del día serán.                                                                                                                                                                                         |                                       |
| 12                                                                                                                                                                                           | Respetar la reserva rodante de los grupos que regulan la frecuencia para garantizar la estabilidad del microsistema y la cargabilidad de los grupos cumpliendo con las normas (75 % MTU y 80 % Scania como promedio, los grupos régimen COP como máximo, al 85 % Guascor, al 95 % Hyundai y al 100 % MAN). |                                       |
| 13                                                                                                                                                                                           | <b>Durante la operación continua ante contingencias sincronizado a la red:</b>                                                                                                                                                                                                                             |                                       |
| 14                                                                                                                                                                                           | Operar los grupos cumpliendo con su normativa de cargabilidad.                                                                                                                                                                                                                                             |                                       |
| 15                                                                                                                                                                                           | Subir la carga al 100 % de los grupos MTU, solo ante solicitudes del DNC autorizadas por la dirección de la UNE y se registrará en el libro quién dio la orden con fecha y hora.                                                                                                                           |                                       |

Elaborado por:  
 Ing. Arles Luna Leiva

Revisado por:  
 Ing. Julio C. Ruiz Gallardo

Aprobado por:  
 Ing. Silvio Dorta Herrera

## ANEXO 2.

### Ley 75 de la Defensa Nacional

En la Ley 75 de la Defensa Nacional, en su **Capítulo Dos**, referido a las Situaciones Excepcionales, en su Sección Primera plantea las siguientes disposiciones generales:

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

Según La Constitución y la presente Ley 75, pueden declararse las situaciones excepcionales siguientes:

Estado de Guerra o la Guerra;

Movilización General; y

Estado de Emergencia.

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

a) las dirigidas a preservar el orden interior, reforzar la protección de las entidades y garantizar la vitalidad de la población y la economía;

b) la evacuación de los ciudadanos de sus lugares de residencia, con el propósito de protegerlos contra los peligros de la guerra, de los desastres naturales u otros tipos de catástrofes, así como facilitar las condiciones necesarias para su supervivencia;

c) las que tengan como objetivo la protección de los extranjeros que se encuentren en el territorio nacional, acorde con los tratados internacionales;

d) las destinadas a la protección de los bienes que integran el patrimonio nacional;



- e) la evacuación de las cargas seleccionadas de los puertos, aeropuertos, depósitos y almacenes hacia lugares seguros;
- f) la regulación del oscurecimiento y enmascaramiento de la luz;
- g) el llamado a las filas del servicio militar o la movilización de los ciudadanos durante el tiempo que resulte necesario;
- h) la adopción de un sistema especial de identificación;
- i) la regulación de la circulación y los cambios de domicilio de las personas;
- j) las que regulen el funcionamiento de los medios de difusión y de comunicación, de manera ajustada a las condiciones del momento; y
- k) la implantación de un régimen especial de entrada y salida del territorio nacional.

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

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

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

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

En la Sección cuarta referida al Estado de emergencia, plantea:

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

Tabla 1 Demanda anual por circuitos.

| Meses         | CIRCUITO |      |      |      |      |      |      |     |      | Promedio de demanda (MW) | Demanda (MW) |
|---------------|----------|------|------|------|------|------|------|-----|------|--------------------------|--------------|
|               | 1        | 2    | 4    | 5    | 7    | 8    | 9    | 10  | 11   |                          |              |
| Enero         | 32,4     | 27   | 29,1 | 20,3 | 13,6 | 13,8 | 19,1 | 0,9 | 27,1 | 20,4                     | 183,3        |
| Febrero       | 30,3     | 26,4 | 28,2 | 19,2 | 12,9 | 13,3 | 18,1 | 0,9 | 25,2 | 19,4                     | 174,5        |
| Marzo         | 31,4     | 27,7 | 29,4 | 20,7 | 13,7 | 14   | 19,0 | 1,1 | 27,1 | 20,5                     | 184,1        |
| Abril         | 22,9     | 29,5 | 33   | 20,3 | 14   | 14   | 19,8 | 1,1 | 12,3 | 18,5                     | 166,9        |
| Mayo          | 34,5     | 29   | 29,9 | 21,7 | 13,9 | 14,6 | 19,4 | 1,1 | 28,4 | 21,4                     | 192,5        |
| Junio         | 34,8     | 29,9 | 30,5 | 23,1 | 14,1 | 14,3 | 20,1 | 1,1 | 27,1 | 21,7                     | 195,0        |
| Julio         | 36,1     | 30,5 | 31,4 | 20,9 | 14,5 | 15,3 | 20,5 | 1,2 | 26,6 | 21,9                     | 197,0        |
| Agosto        | 35,6     | 29,7 | 31,1 | 22,1 | 14,4 | 14,6 | 20,8 | 1,1 | 26,3 | 21,7                     | 195,7        |
| Septiembre    | 35,6     | 29,9 | 30,9 | 23,6 | 14,5 | 14   | 20,4 | 1,1 | 26,3 | 21,8                     | 196,3        |
| Octubre       | 33,6     | 30,5 | 28,8 | 20,5 | 13   | 12,7 | 19,3 | 0,9 | 24,1 | 20,4                     | 183,4        |
| Noviembre     | 33,0     | 27,7 | 29   | 21,6 | 14   | 13,2 | 19,4 | 0,7 | 23,5 | 20,2                     | 182,1        |
| Diciembre     | 34,8     | 28,7 | 30,2 | 21,6 | 14,4 | 13,7 | 19,6 | 0,8 | 24,6 | 20,9                     | 188,4        |
| Dem. Max (Dm) | 395      | 347  | 362  | 256  | 167  | 168  | 236  | 12  | 299  |                          | 2239         |

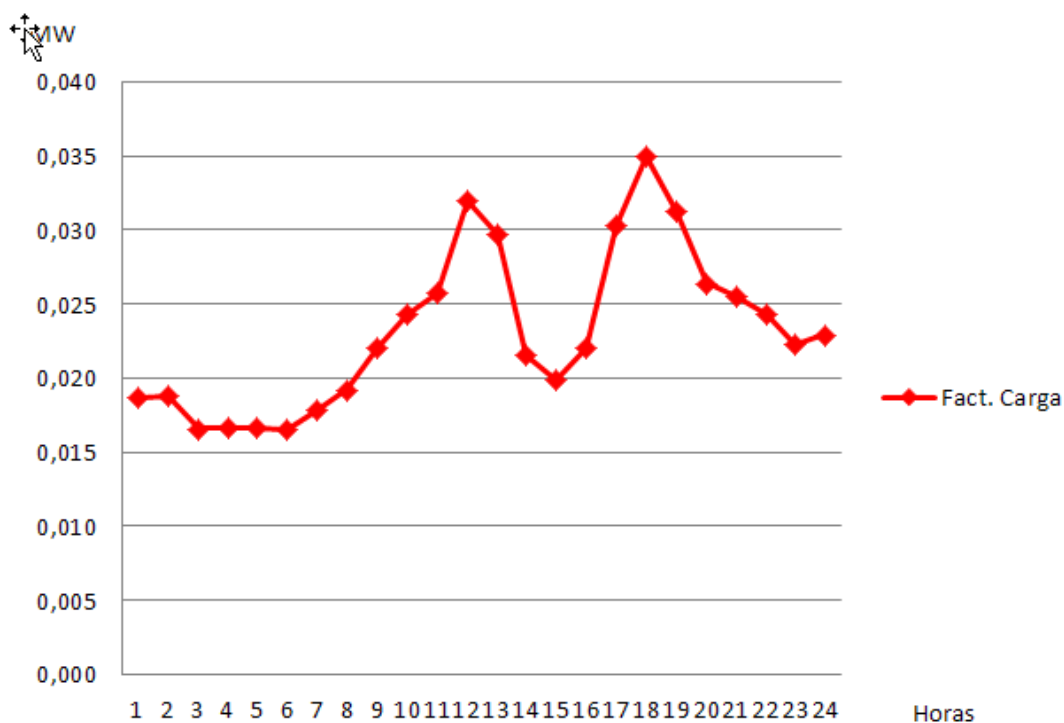


Figura 1 Comportamiento del factor de carga

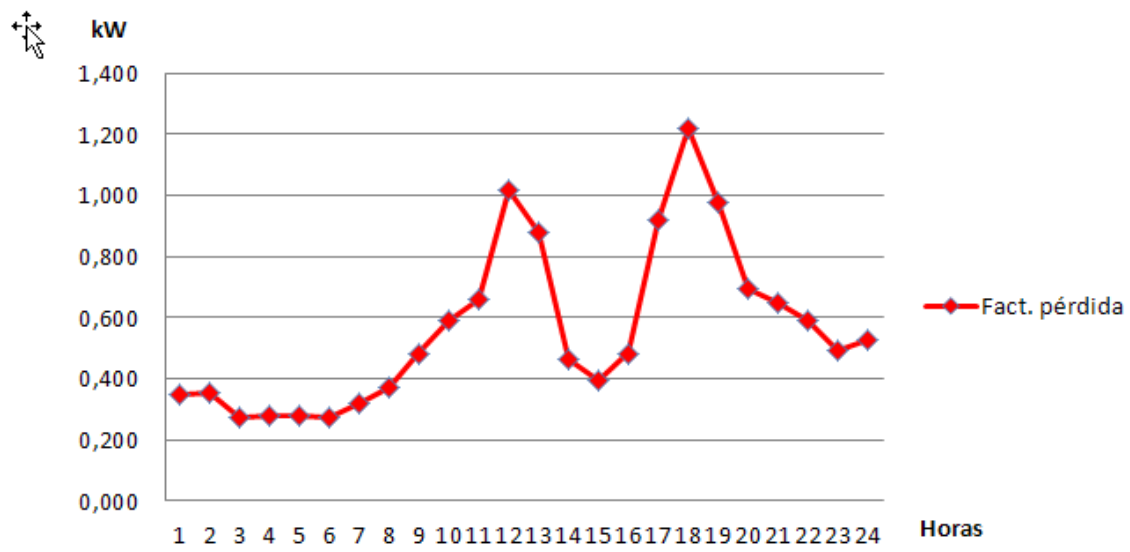


Figura 2 Comportamiento del factor de pérdidas.

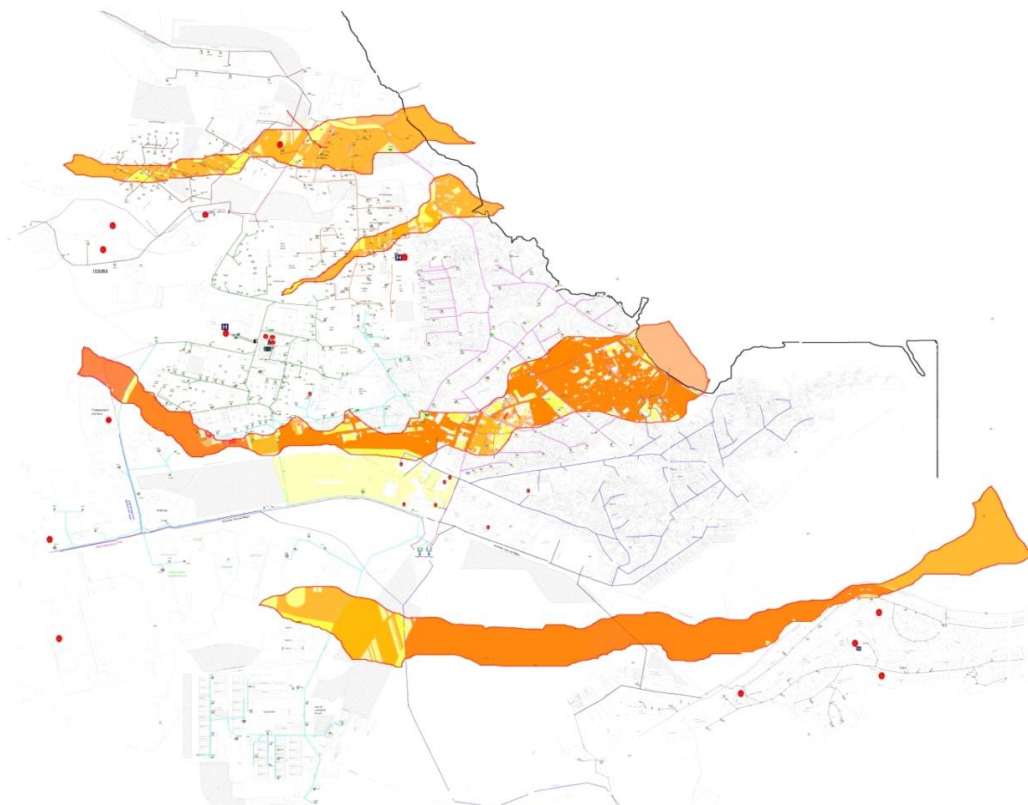


Figura 3. Zonas vulnerables dentro del sector residencial de Moa

## ANEXO 1.



Figura 1. Estructura de la Unión Nacional Eléctrica

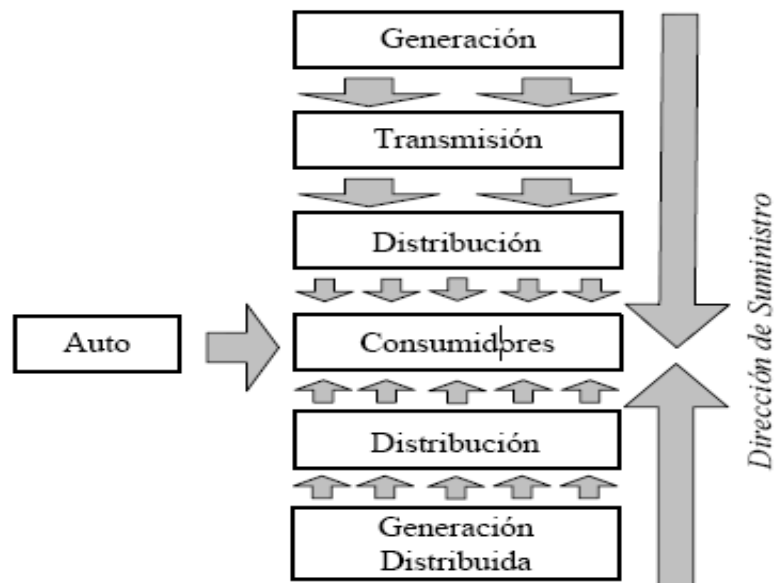


Figura 2. Nuevo esquema de un SEP descentralizado con GD

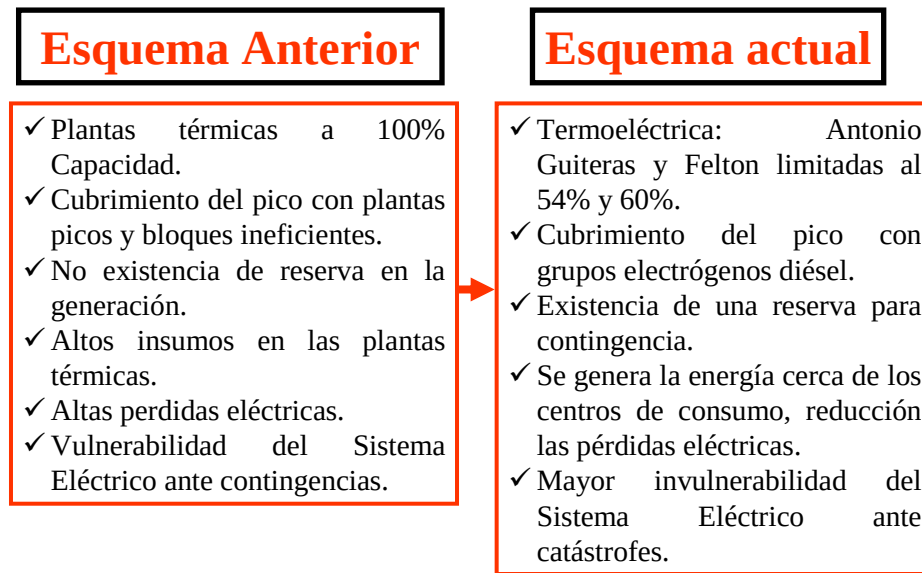


Figura 3. Cambios en el esquema de operación de las plantas térmicas con la introducción de los GE.

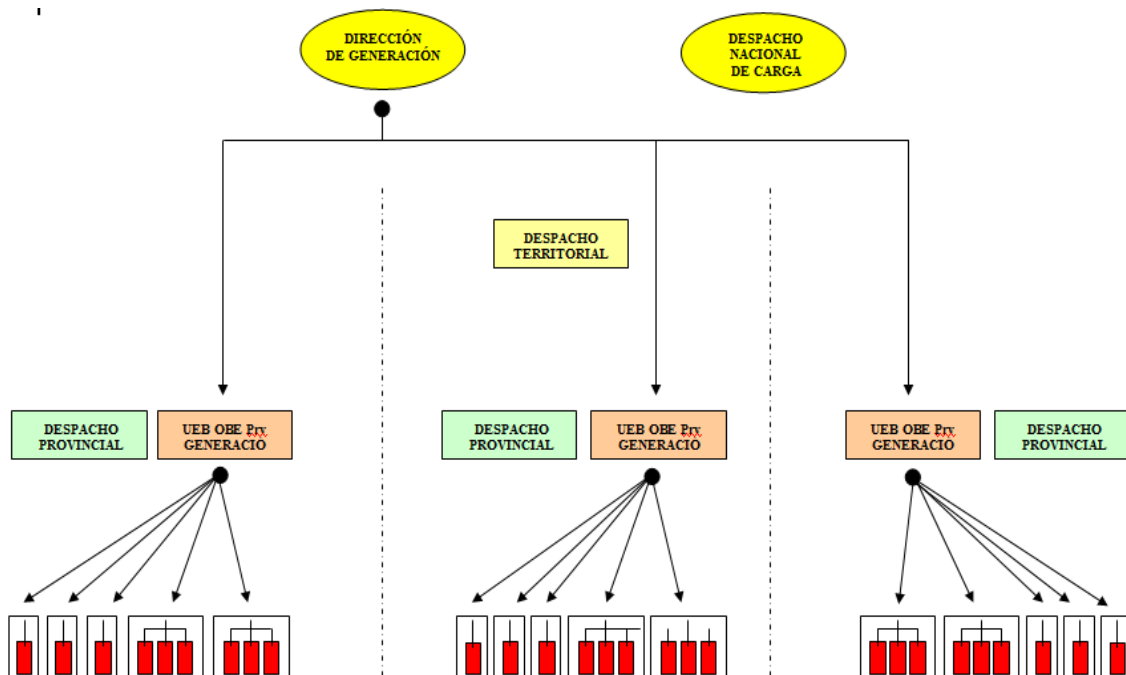


Figura 4. Esquema de la gestión de la explotación de la Generación Distribuida

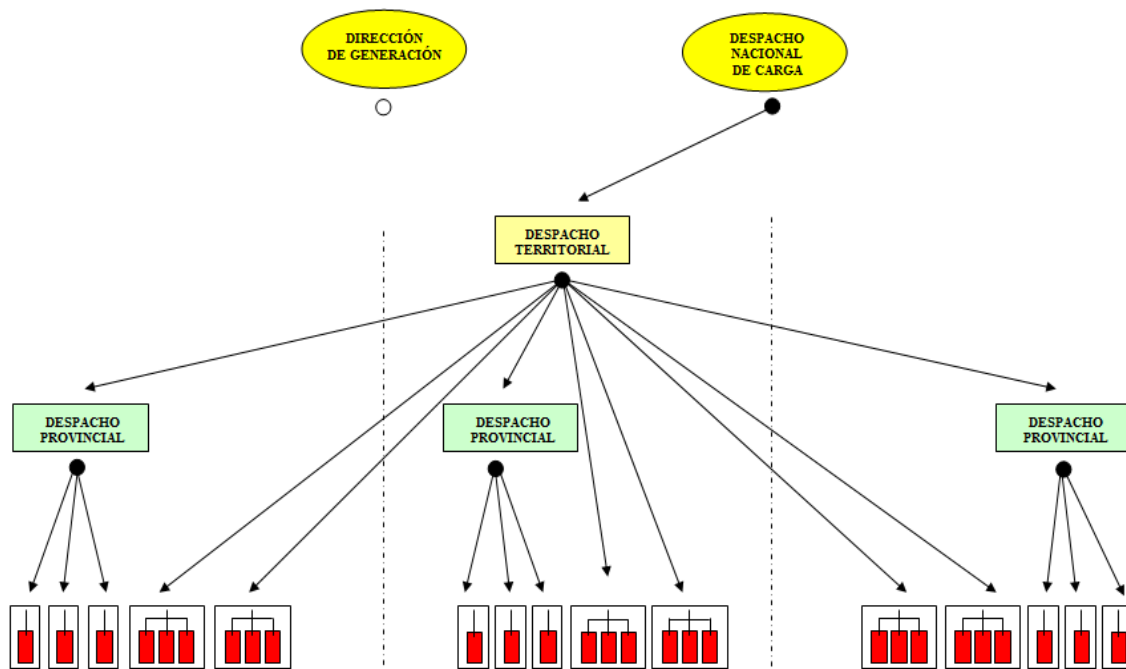


Figura 5. Coordinación de la operación (despacho) de la Generación Distribuida

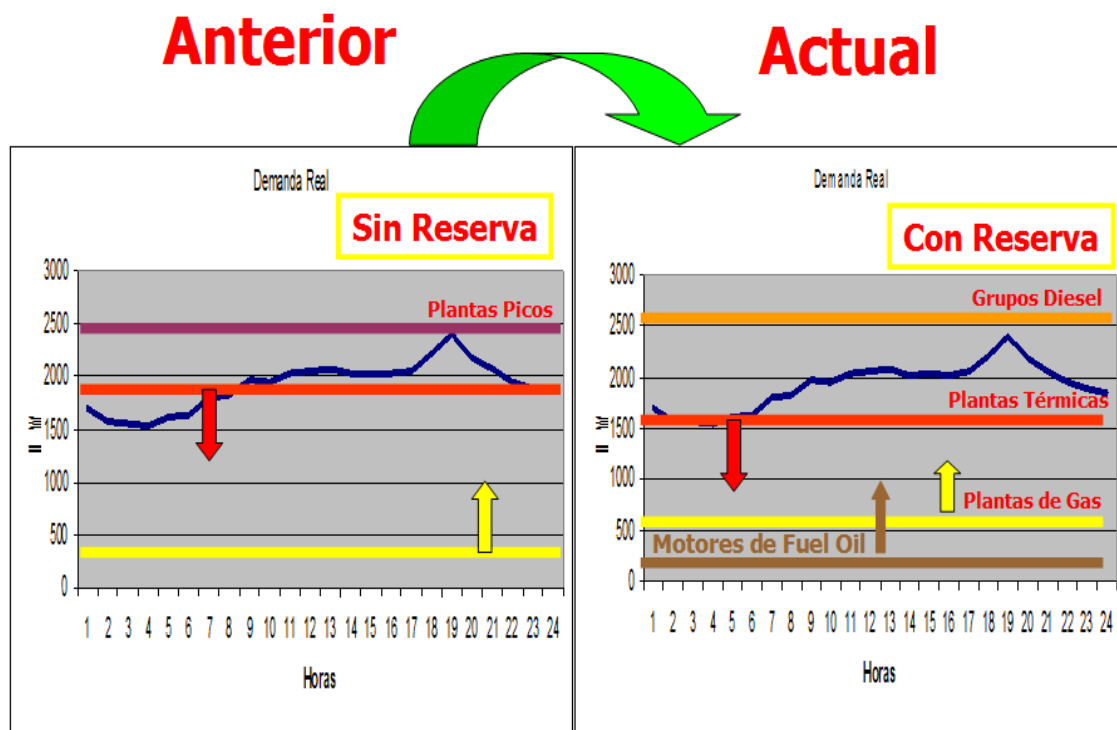
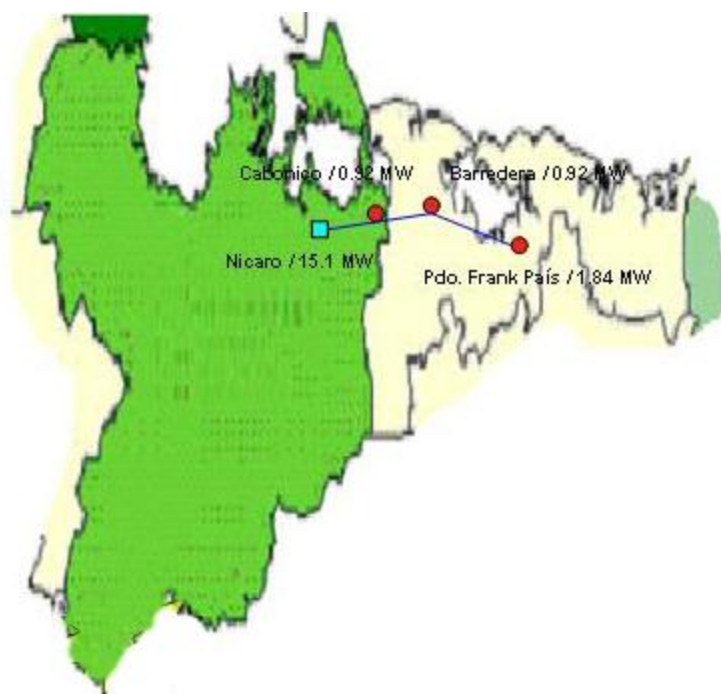
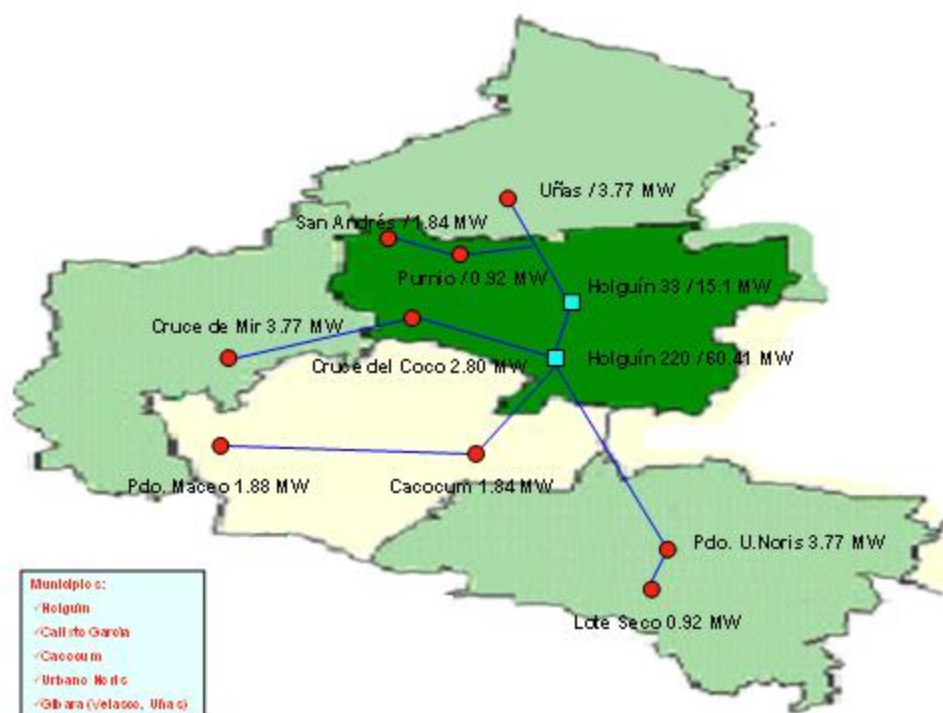


Figura 6. Estrategia en la generación eléctrica con la introducción de los GE.





Municipio s:  
 ✓ Sagua  
 ✓ Moa



Municipio s:  
 ✓ Freyre  
 ✓ Gibara (Ciudad, Roto Pérez)  
 ✓ Polo Tuñalco (Guaca, Pesquero)





#### Microsistema Urbanos Noris

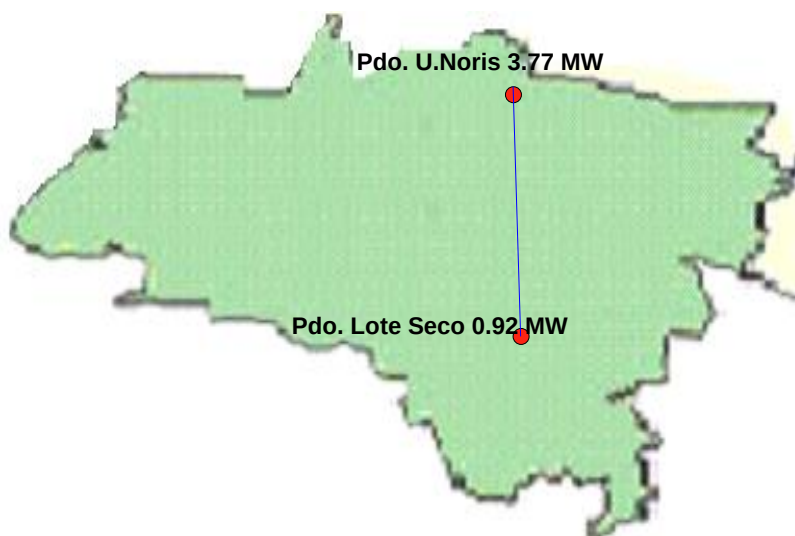


Figura 7. Microsistema de generación distribuida de la Provincia de Holguín.

Tabla 1. Generación bruta de electricidad por provincia

| 2008                |             |       | 2012                |             |       |
|---------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|
| Provincias          | Total (GWh) | %     | Provincias          | Total (GWh) | %     |
| Pinar del Río       | 321,4       | 112,5 | Pinar del Río       | 205,8       | 143,9 |
| La Habana           | 3013        | 97,6  | Artemisa            | 1987,3      | 101   |
| Ciudad de La Habana | 734,9       | 136,3 | Ciudad de La Habana | 485,2       | 83,4  |
| Matanzas            | 4563,8      | 95,6  | Mayabeque           | 1357,5      | 117,6 |
| Villa Clara         | 320         | 147,5 | Matanzas            | 4211,8      | 102,4 |
| Cienfuegos          | 1282        | 67,7  | Villa Clara         | 525,2       | 129,9 |
| Sancti Spiritus     | 257,2       | 121,6 | Cienfuegos          | 1440,5      | 81,8  |
| Ciego de Avila      | 519,4       | 163,9 | Sancti Spiritus     | 148,2       | 138,7 |
| Camagüey            | 1828,4      | 100,3 | Ciego de Avila      | 376,8       | 101,9 |
| Las Tunas           | 148,9       | 138   | Camagüey            | 2056,5      | 112,3 |
| Holguín             | 3003,1      | 103,4 | Las Tunas           | 237         | 91,5  |
| Granma              | 182,7       | 107,4 | Holguín             | 3439,9      | 115,4 |
| Santiago de Cuba    | 1154,5      | 109   | Granma              | 218         | 122,9 |
| Guantánamo          | 209,9       | 186,7 | Santiago de Cuba    | 1476,7      | 92,2  |
| Isla de la Juventud | 122,8       | 101   | Guantánamo          | 142,5       | 78,5  |
|                     |             |       | Isla de la Juventud | 122,6       | 100,8 |

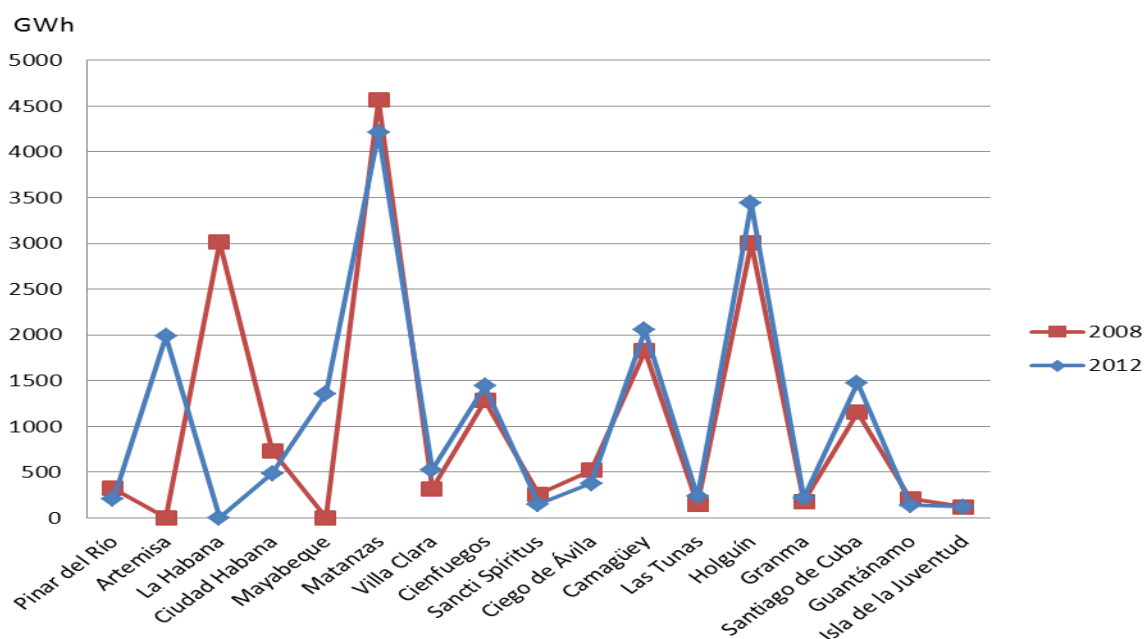
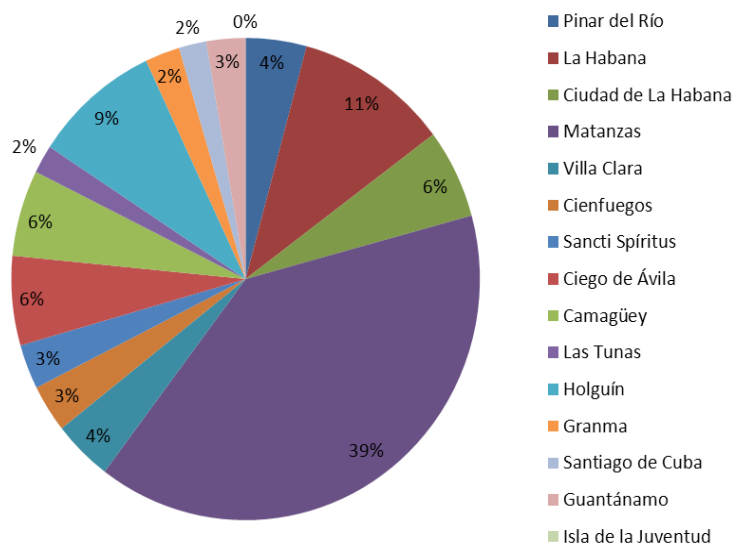


Figura 8. Comportamiento de la Generación Bruta por provincias 2008 y 2012

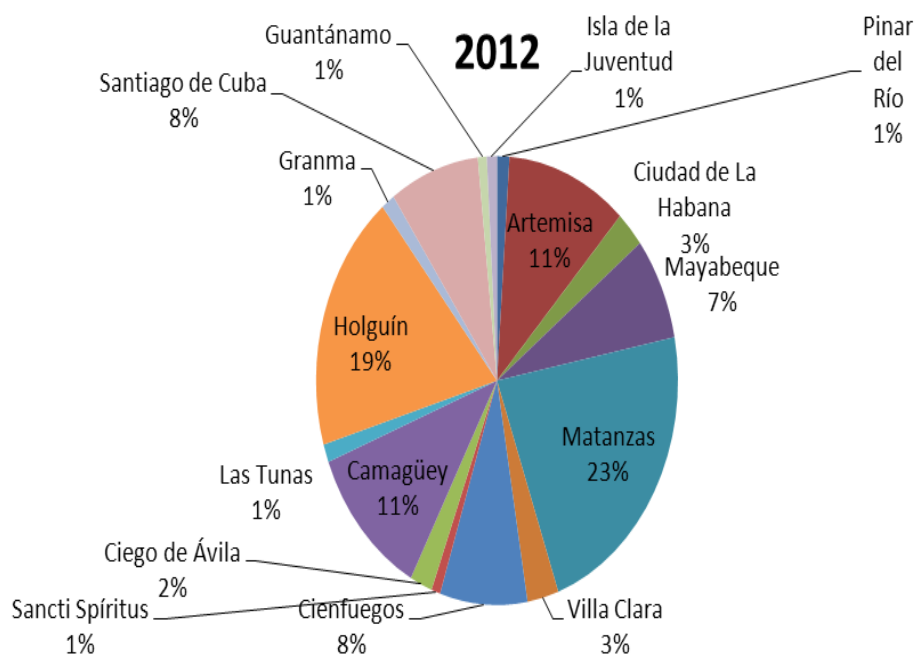
Tabla 2 Distribución de la generación bruta eléctrica por provincia.

| 2008                |       | 2012                |       |
|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Cuba                | Total |                     | Total |
| Provincias          | %     | Provincias          | %     |
| Pinar del Río       | 4,2   | Pinar del Río       | 1,1   |
| La Habana           | 10,6  | Artemisa            | 10,8  |
| Ciudad de La Habana | 6     | Ciudad de La Habana | 2,6   |
| Matanzas            | 39,6  | Mayabeque           | 7,4   |
| Villa Clara         | 4,1   | Matanzas            | 22,6  |
| Cienfuegos          | 3,2   | Villa Clara         | 2,8   |
| Sancti Spíritus     | 3     | Cienfuegos          | 7,8   |
| Ciego de Avila      | 6     | Sancti Spíritus     | 0,8   |
| Camagüey            | 5,8   | Ciego de Avila      | 2     |
| Las Tunas           | 1,9   | Camagüey            | 11,2  |
| Holguín             | 8,8   | Las Tunas           | 1,3   |
| Granma              | 2,4   | Holguín             | 18,7  |
| Santiago de Cuba    | 1,9   | Granma              | 1,2   |
| Guantánamo          | 2,7   | Santiago de Cuba    | 8     |
| Isla de la Juventud | 0     | Guantánamo          | 0,8   |
|                     |       | Isla de la Juventud | 0,9   |

2008



Figuras 9. Porcentaje de la distribución de la Generación Bruta por provincia 2008



Figuras 10. Porcentaje de la distribución de la Generación Bruta por provincia 2012.

Tabla 3. Número de grupos electrógenos por provincias .

| 2007/2008           |       |      | 2011/2012           |        |      |
|---------------------|-------|------|---------------------|--------|------|
| Provincias          | Total |      | Provincias          | Diesel |      |
|                     | 2007  | 2008 |                     | 2011   | 2012 |
| Pinar del Río       | 127   | 127  | Pinar del Río       | 94     | 98   |
| La Habana           | 50    | 49   | Artemisa            | 62     | 67   |
| Ciudad de La Habana | 141   | 139  | La Habana           | 48     | 47   |
| Matanzas            | 74    | 74   | Mayabeque           | 98     | 105  |
| Villa Clara         | 60    | 58   | Matanzas            | 63     | 58   |
| Cienfuegos          | 45    | 45   | Villa Clara         | 54     | 53   |
| Sancti Spiritus     | 44    | 44   | Cienfuegos          | 45     | 41   |
| Ciego de Avila      | 85    | 84   | Sancti Spiritus     | 44     | 43   |
| Camagüey            | 60    | 59   | Ciego de Avila      | 85     | 85   |
| Las Tunas           | 20    | 20   | Camagüey            | 54     | 57   |
| Holguín             | 119   | 118  | Las Tunas           | 19     | 20   |
| Granma              | 46    | 46   | Holguín             | 114    | 115  |
| Santiago de Cuba    | 29    | 29   | Granma              | 45     | 45   |
| Guantánamo          | 29    | 30   | Santiago de Cuba    | 30     | 31   |
| Isla de la Juventud | 5     | 5    | Guantánamo          | 29     | 28   |
|                     |       |      | Isla de la Juventud | 4      | 4    |

Figura 11. Cantidad de grupos electrógenos por provincias 2008 y 2012.

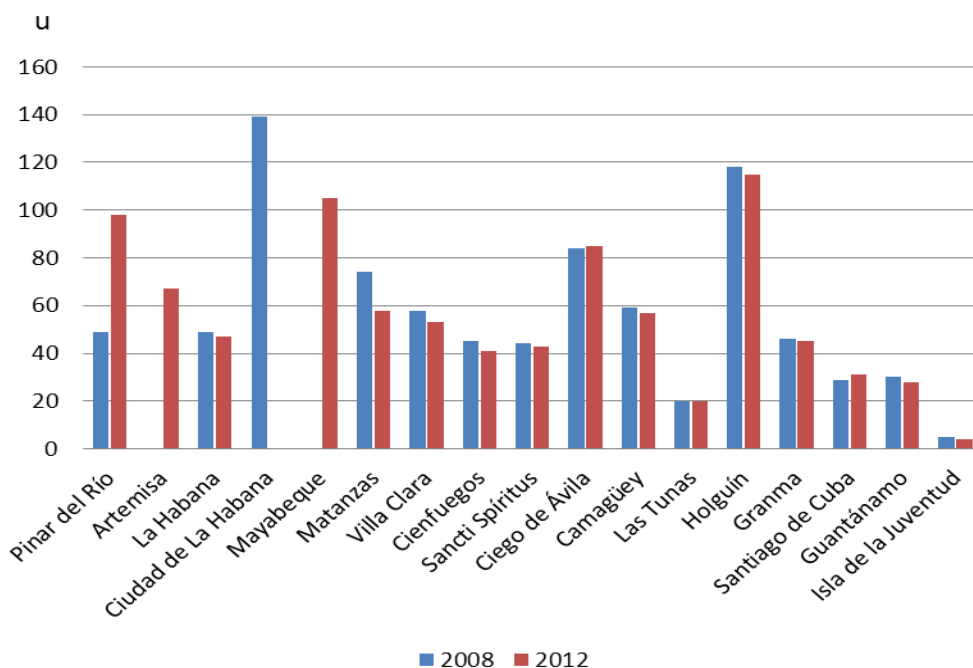
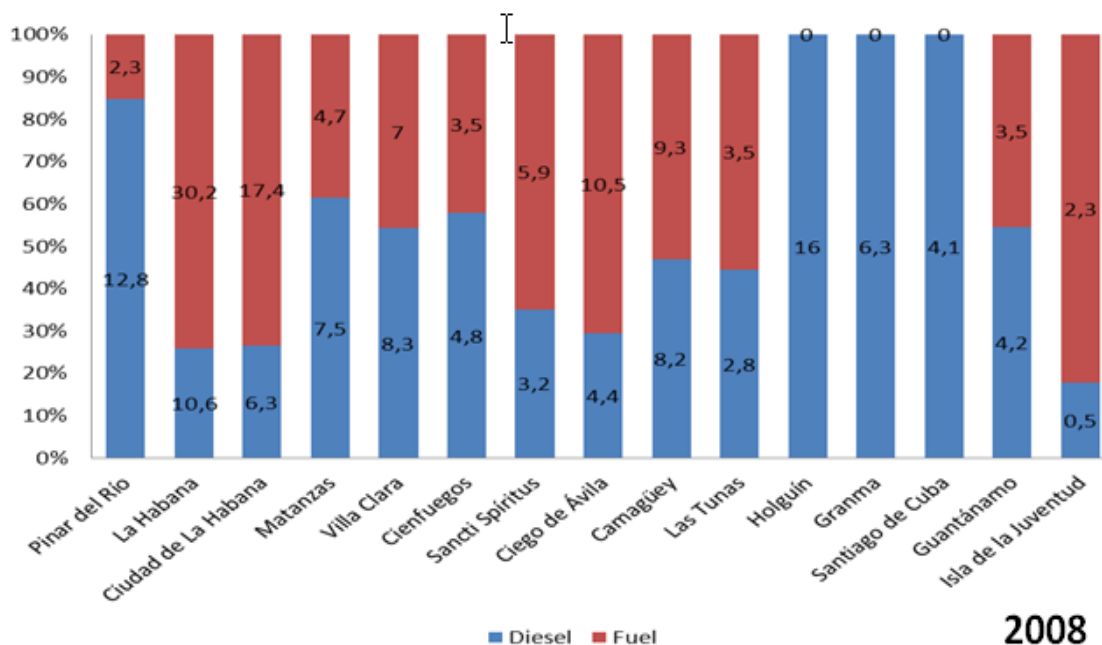


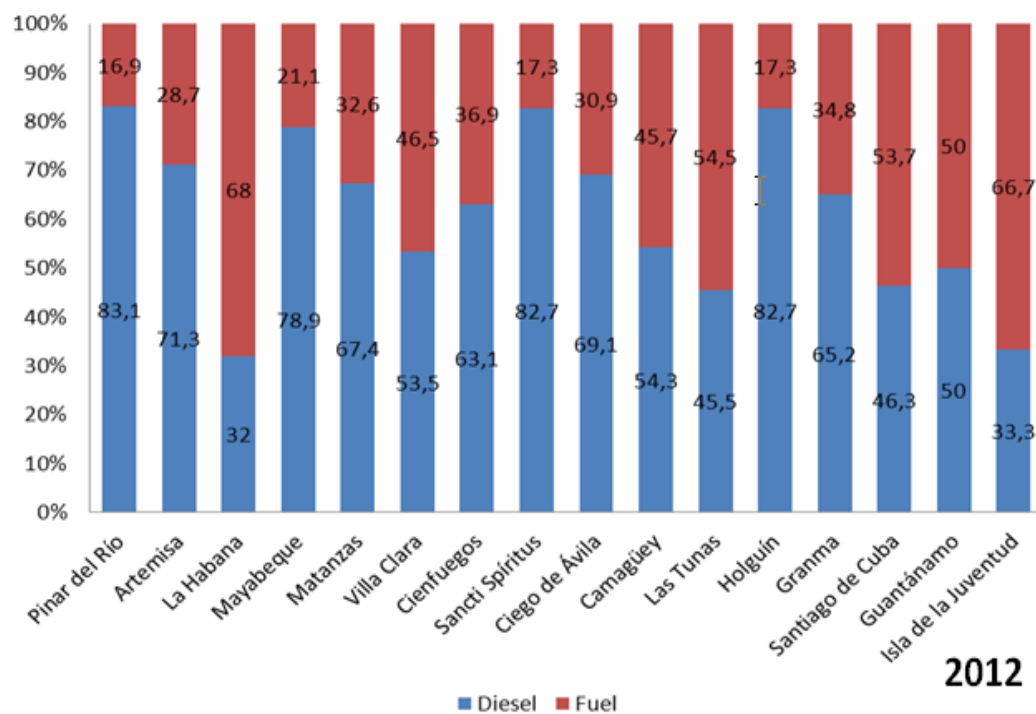
Tabla 4 . Distribución del número de grupos electrógenos por provincia.

| 2007/2008           |         |      |        |      | 2011/2012           |         |      |        |      |
|---------------------|---------|------|--------|------|---------------------|---------|------|--------|------|
| Provincias          | Total % |      |        |      | Provincias          | Total % |      |        |      |
|                     | 2007    |      | 2008   |      |                     | 2011    |      | 2012   |      |
|                     | Diesel  | Fuel | Diesel | Fuel |                     | Diesel  | Fuel | Diesel | Fuel |
| Pinar del Río       | 12,6    | 0    | 12,8   | 2,3  | Pinar del Río       | 82,5    | 17,5 | 83,1   | 16,9 |
| La Habana           | 6,3     | 9,7  | 10,6   | 30,2 | Artemisa            | 69,7    | 30,3 | 71,3   | 28,7 |
| Ciudad de La Habana | 10,7    | 36,5 | 6,3    | 17,4 | La Habana           | 32,4    | 67,6 | 32     | 68   |
| Matanzas            | 7,4     | 9,7  | 7,5    | 4,7  | Mayabeque           | 77,8    | 22,2 | 78,9   | 21,1 |
| Villa Clara         | 8,7     | 0    | 8,3    | 7    | Matanzas            | 69,2    | 30,8 | 67,4   | 32,6 |
| Cienfuegos          | 4,8     | 7,3  | 4,8    | 3,5  | Villa Clara         | 54      | 46   | 53,5   | 46,5 |
| Sancti Spiritus     | 3,2     | 12,4 | 3,2    | 5,9  | Cienfuegos          | 65,2    | 34,8 | 63,1   | 36,9 |
| Ciego de Avila      | 4,4     | 14,6 | 4,4    | 10,5 | Sancti Spiritus     | 83      | 17   | 82,7   | 17,3 |
| Camagüey            | 8,3     | 9,7  | 8,2    | 9,3  | Ciego de Avila      | 69,1    | 30,9 | 69,1   | 30,9 |
| Las Tunas           | 2,7     | 0    | 2,8    | 3,5  | Camagüey            | 52,9    | 47,1 | 54,3   | 45,7 |
| Holguín             | 15,9    | 0    | 16     | 0    | Las Tunas           | 44,2    | 55,8 | 45,5   | 54,5 |
| Granma              | 6,2     | 0    | 6,3    | 0    | Holguín             | 82,6    | 17,4 | 82,7   | 17,3 |
| Santiago de Cuba    | 4,1     | 0    | 4,1    | 0    | Granma              | 65,2    | 34,8 | 65,2   | 34,8 |
| Guantánamo          | 4,1     | 0    | 4,2    | 3,5  | Santiago de Cuba    | 48,4    | 51,6 | 46,3   | 53,7 |
| Isla de la Juventud | 0,5     | 0    | 0,5    | 2,3  | Guantánamo          | 50,9    | 49,1 | 50     | 50   |
|                     |         |      |        |      | Isla de la Juventud | 33,3    | 66,7 | 33,3   | 66,7 |



2008

Figuras 12. Porcentaje de la distribución de los grupos electrógenos por provincia en el 2008.



2012

Figuras 13. Porcentaje de la distribución de los grupos electrógenos por provincia en el 2012.

Tabla 5. Capacidad instalada de grupos electrógenos por provincia.

| Provincias          | 2008   |       | Provincias          | 2012 (GW) |       |
|---------------------|--------|-------|---------------------|-----------|-------|
|                     | Diesel | Fuel  |                     | Diesel    | Fuel  |
| Pinar del Río       | 164,1  | 13,6  | Pinar del Río       | 111,2     | 43,6  |
| La Habana           | 136,9  | 176,4 | Artemisa            | 91,4      | 156,8 |
| Ciudad de La Habana | 80,8   | 102   | La Habana           | 80,5      | 189,2 |
| Matanzas            | 96,7   | 27,2  | Mayabeque           | 109,6     | 47,6  |
| Villa Clara         | 106,7  | 40,8  | Matanzas            | 66,3      | 57,2  |
| Cienfuegos          | 61,9   | 20,4  | Villa Clara         | 99,7      | 82,5  |
| Sancti Spiritus     | 41,8   | 34,6  | Cienfuegos          | 60,2      | 40,8  |
| Ciego de Avila      | 56     | 61,2  | Sancti Spiritus     | 38,4      | 35,1  |
| Camagüey            | 105,6  | 54,4  | Ciego de Avila      | 54,3      | 68,9  |
| Las Tunas           | 35,5   | 20,4  | Camagüey            | 103,3     | 94,4  |
| Holguín             | 205,3  | 0     | Las Tunas           | 34,3      | 50,4  |
| Granma              | 81,1   | 0     | Holguín             | 201,5     | 60    |
| Santiago de Cuba    | 53,4   | 0     | Granma              | 79,5      | 47,6  |
| Guantánamo          | 54,6   | 20,4  | Santiago de Cuba    | 57,9      | 80,4  |
| Isla de la Juventud | 6,5    | 13,3  | Guantánamo          | 76,8      | 47,6  |
|                     |        |       | Isla de la Juventud | 7,6       | 21    |

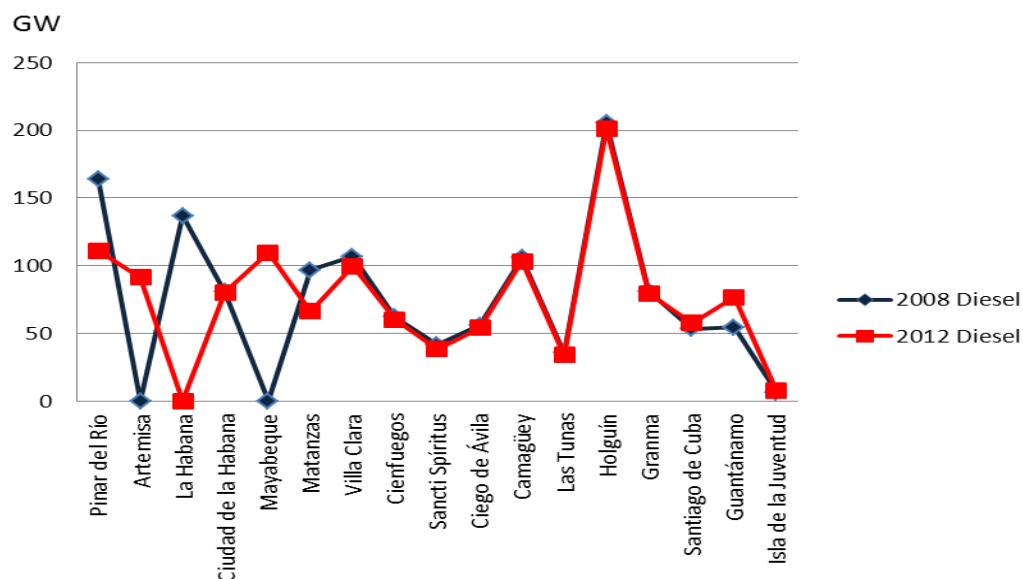


Figura 14. Distribución por provincia de la capacidad instalada de grupos electrógenos diésel a)

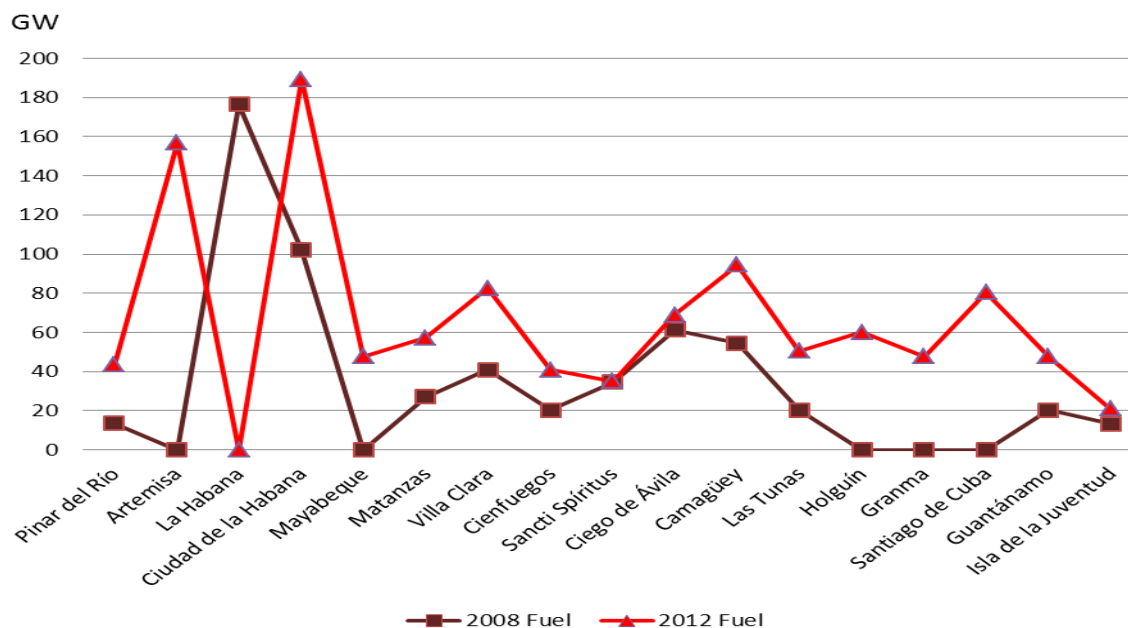


Figura 14. Distribución por provincia de la capacidad instalada de grupos electrógenos fuel b)

Tabla 6. Consumo facturado de electricidad de la red por provincia.

| 2008                |                         | 2012                |                         |
|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Provincias          | Sector Residencial(GWh) | Provincias          | Sector Residencial(GWh) |
| Pinar del Río       | 414,4                   | Pinar del Río       | 428,4                   |
| La Habana           | 429,1                   | Artemisa            | 372,4                   |
| Ciudad de La Habana | 1 312,8                 | La Habana           | 1485,4                  |
| Matanzas            | 440,6                   | Mayabeque           | 275                     |
| Villa Clara         | 451,3                   | Matanzas            | 562,6                   |
| Cienfuegos          | 254,4                   | Villa Clara         | 565,8                   |
| Sancti Spiritus     | 279,9                   | Cienfuegos          | 310,9                   |
| Ciego de Avila      | 242,1                   | Sancti Spiritus     | 352,3                   |
| Camagüey            | 405,4                   | Ciego de Avila      | 310,6                   |
| Las Tunas           | 215,6                   | Camagüey            | 503,5                   |
| Holguín             | 498,4                   | Las Tunas           | 288,6                   |
| Granma              | 364,6                   | Holguín             | 609,2                   |
| Santiago de Cuba    | 473,5                   | Granma              | 416,2                   |
| Guantánamo          | 225                     | Santiago de Cuba    | 498,2                   |
| Isla de la Juventud | 46,5                    | Guantánamo          | 261,4                   |
|                     |                         | Isla de la Juventud | 54                      |



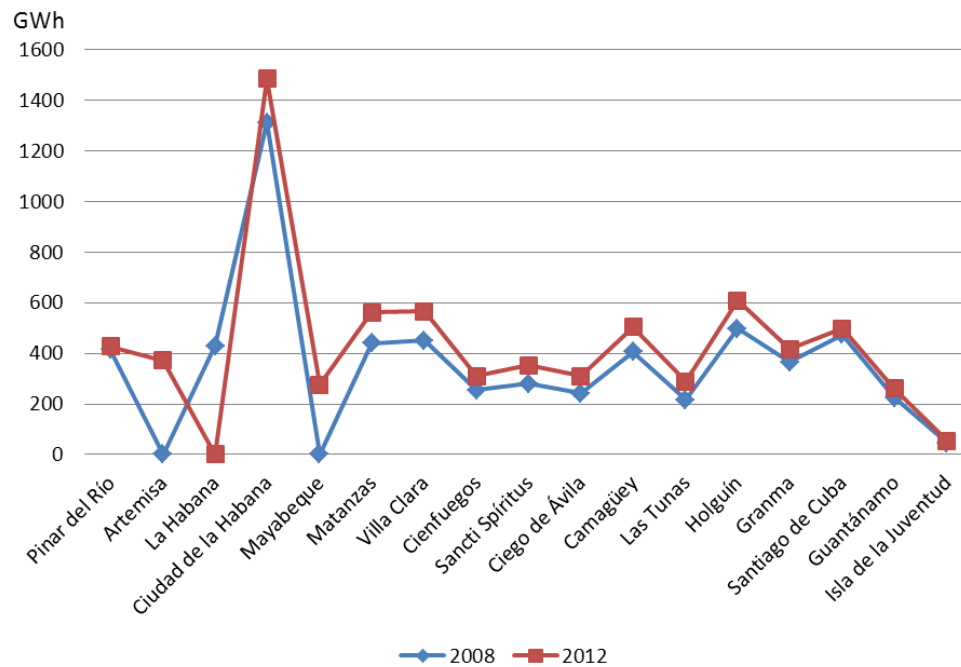


Figura 15. Comportamiento del Consumo facturado de electricidad en el sector residencial por provincia 2008 y 2012

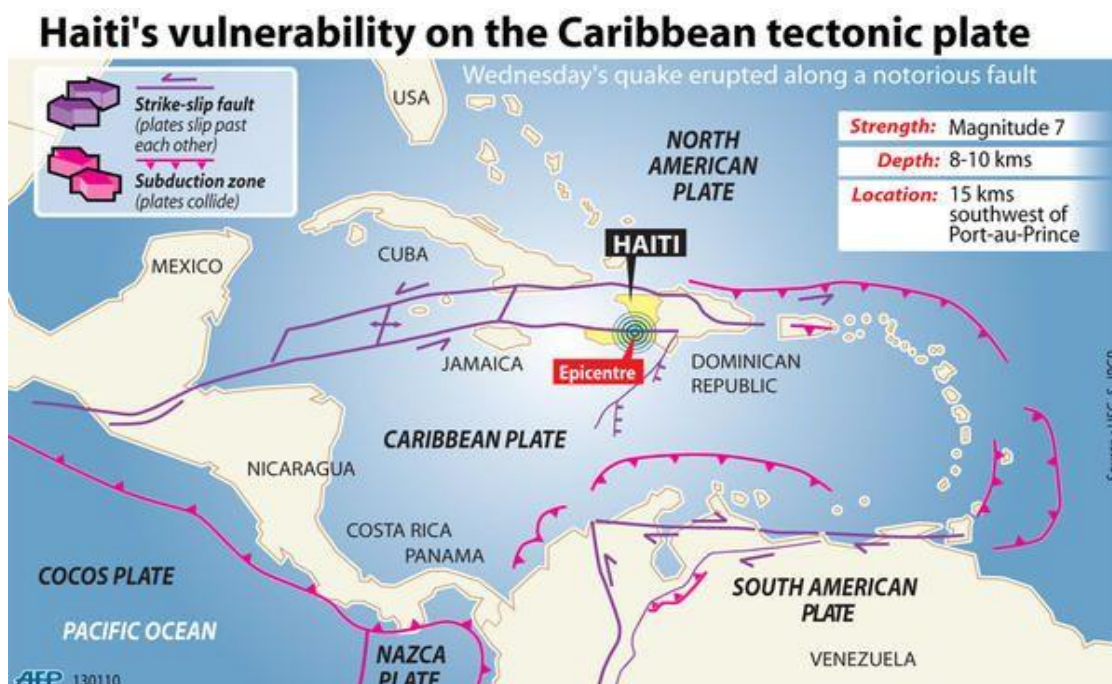


Figura 16. Representación de la vulnerabilidad de Haití ante las placas tectónicas del Caribe.

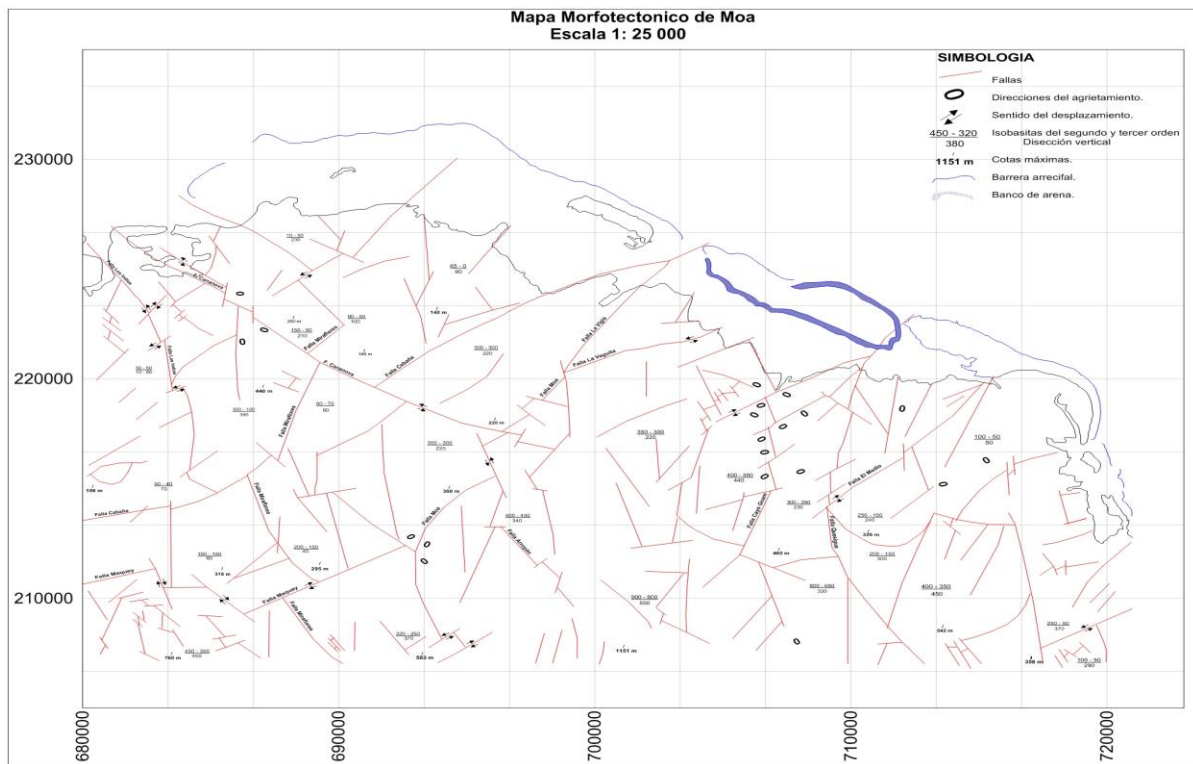


Figura 17. Representación de las fallas del municipio.

## BIBLIOGRAFÍA

- 
- Arango, M. Estudio de asimilación de demanda de los emplazamientos de Grupos Electrógenos Diesel. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2009. pp 64.
  - Arrastría, M. A. Distributed generation in Cuba: parto f a transition towards a new energy paradigm. Revista Cogeneration ona On-Site Power Production. Cuba, Noviembre-diciembre 2008. p 61-65.
  - Añel, R. D. Análisis de la eficiencia eléctrica en los circuitos primario de distribución del municipio Mayarí. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2008. pp 64.
  - Casas, L. Sistema electroenergéticos. Tomo I y II. ISPJAE. Editora "Andre Voisin". 1991. pp 48-54
  - Cobos, A. Implantación de la Gestión Total Eficiente de la energía de la Batería de Grupos Electrógenos Diesel Nicaro 110 kV. Maestría en Eficiencia Energética. Holguín. Cuba. 2007. pp 46.
  - Consejo de Defensa Nacional. Directiva No. 1 del Presidente del Consejo de Defensa Nacional para la Reducción de Desastres. 2010. pp 40.
  - Concepción, F. Eficiencia en los Grupos Electrógenos Holguín 110kV y San Andrés. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2007. pp 43.
  - Cesigma, S.A [2001]

- Durán, Y. Evaluación de la batería de grupos electrógenos de Moa bajo condiciones medio ambientales locales. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2009. pp. 55.
- DAIMLERCHRYSLER, AG. Guía para la Operación en Régimen Automático de las Baterías MTU de ocho Grupos Electrógenos. Manual Técnico, MCV Comercial S.A, Junio, 2008, p.15
- Filgueiras, M. L.; Rafull, I.; Febles, J. P.; Bello, M. La creación y desarrollo de capacidad de absorción para el sector de media-baja intensidad. 2012 tecnológica. Habana. Cuba. pp 25.
- González, Y. A. Impacto de la introducción de la Generación Distribuida en el Sistema Eléctrico de Potencia. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2008. pp 71.
- Gómez, R. Suministro Eléctrico mediante grupos electrógenos al municipio Moa para Situaciones Excepcionales. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2007. pp 60.
- Guerrero, Y. Sincronización de Sistema híbrido Diésel-Eólico-Hídrico en régimen autónomo en el municipio de moa. Tesis de maestría. Holguín. Moa. 2011. pp 93
- Pino, J. A. Diagnóstico Energético en la Batería de Grupos Electrógenos Diesel de Moa. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2009. pp 82
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA. Ley 75 de la Defensa Nacional. Artículo 9. La Habana, Cuba. 14 de Septiembre 1998.
- Hazel, T. Producción de energía eléctrica integrada en emplazamientos industriales y edificios comerciales. Cuadernos Técnicos No 196 de Schneider Electric. España, Febrero 2001, pp7 ,11 y 14.
- Hernández, A. Estudio sobre la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del sector Atlántico, Miraflores y Vivienda Checa. Tesis de grado Geología. Holguín. Moa. 2012. pp 81.

Metodología para la operación de grupos electrógenos diesel en batería ante Jorge Luis Velázquez González

- ISO 8528-1. Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets part 1: application, ratings and performance. USA, 1993. p 8 y 9
- ISO 8528-1:1993(E).Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets part 1 application, ratings and performance.
- Legrá, A. A.; Silva, O. R La Investigación Científica. *Conceptos y Reflexiones*. pp 443.
- Lobaina, T.; Amaro, V. F.; Rouco, L. Estudio sobre la ocurrencia sísmica en el municipio Moa. Medidas adoptadas por la Defensa Civil para la protección de la población. Trabajo final de Seguridad Nacional. Holguín. Cuba. 2012. pp 22.
- Maresma, D.; Reyes, A.S. Características operacionales y comportamiento de las principales variables de los grupos electrógenos para la Generación Distribuida en Moa. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2007. Pp 74.
- Noa, A. Operación del microsistema de Generación Distribuida de moa para situaciones excepcionales. Tesis de maestría. Holguín. Moa. 2009. pp 76.
- ONE. Electricidad en Cuba. *Indicadores seleccionados*. Dirección de industria y medio ambiente. Habana. Cuba. 2012. pp 13.
- OBE nacional. Memoria anual 2007. Despacho nacional de carga Cuba. Cuba. 2008.
- Pupo, E. Reconfiguración de las Redes de Distribución del Municipio Moa en la zona urbana. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2011. pp 68.

- Rosales, A. Simulación en Matlab de la Asimilación de Demanda de la Batería de Grupos Electrónicos Moa en Isla. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2010. pp 67.
- Segura, O. Procedimiento para la continuidad de servicio eléctrico a los clientes de primera categoría del municipio Moa. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2010. pp 82.
- Sánchez, E. Vulnerabilidad sísmica del reparto Caribe en el municipio Moa. Tesis de grado Geología. Holguín. Moa. 2012. pp 104.
- Tabares, J. Balance térmico al motor MTU 16V 4000 G81. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2010. pp 21.
- UNE. UEB Generación Distribuida. *Generando Logros 2012*. Video. Holguín. Cuba.
- UNE. Generación Distribuida de Electricidad Cubana (GDECU). Manual de Gestión. La Habana. Cuba. 2009. pp 23.
- UNE. Unión Eléctrica. *Programa de desarrollo estratégico del SEN hasta el 2005 y proyección hasta el año 2010*. Presentación PowerPoint. Habana. Cuba. pp 26-46.
- UNE. Manual de Calidad para la Operación. Dirección de Generación Distribuida. 2007. Habana. Cuba. pp 23.
- Velázquez, D. Establecimiento del rango del índice de consumo de combustible en la batería de grupos electrónicos de Moa. Tesis de Grado. Holguín. Moa. 2008. pp 53.
- WSOS 5.9.28 Windows Switchgear Operating System. Copyright Shneider Electric. Australia.