

EMULACIÓN DE FALLAS EN UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL CONTROLADOR DEIF  
REFERENCIA AGC-4

JHON JARLIN JHOSED GARCÍA PINZÓN  
TIFFANY DEL MAR URQUIJO CASTRILLON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2020

EMULACIÓN DE FALLAS EN UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL CONTROLADOR DEIF  
REFERENCIA AGC-4

JHON JARLIN JHOSED GARCÍA PINZÓN  
TIFFANY DEL MAR URQUIJO CASTRILLON

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Electricista

Director:

GERMAN ALFONSO OSMA PINTO  
Doctor en Ingeniería – Área Ingeniería Eléctrica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2020

*A nuestros padres*  
*Jorge Urquijo y Rosa María Castrillon*  
*Jarlin García y Rubby Pinzón*

*A nuestras abuelas*  
*Amelia España y Alicia Torrado*  
*Amparo Castro*

*A nuestros Hermanos y Hermanas*  
*Zharik Grimaldos y Melissa Grimaldos*  
*Vicente García y Alejandra García*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primeramente a Dios. A nuestros padres por su apoyo incondicional y darnos la oportunidad de formarnos como profesionales en el área de la ingeniería eléctrica. A nuestros hermanos y abuelas por acompañarnos y apoyarnos en toda circunstancia.

## CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	15
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. CARACTERÍSTICAS DEL UTILITY SOFTWARE 3 Y EL CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF.....	16
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL UTILITY SOFTWARE.....	16
2.1.1 Requisitos para el funcionamiento del USW.....	19
2.1.2 Límites de la herramienta de emulación.....	19
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF.....	19
2.2.1 Modos de operación del AGC-4 de DEIF.....	22
2.2.2 AGC-4 como ASC-4.....	29
3. ESCENARIOS DE FALLA.....	32
3.1 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS.....	32
3.1.1 1 <sup>er</sup> Escenario de falla. Sobrecarga en el sistema eléctrico.....	34
3.1.2 2 <sup>do</sup> Escenario de falla. Pérdida de excitación.....	34
3.1.3 3 <sup>er</sup> Escenario de falla. Sobretensiones en la red de suministro eléctrico.....	35
3.1.4 4 <sup>to</sup> Escenario de falla. Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico.....	36
3.1.5 5 <sup>to</sup> Escenario de Falla. Alta temperatura del líquido refrigerante del motor ..	37
4. CONSIGNAS DE OPERACIÓN.....	38
4.1 CONFIGURACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE EMULACIÓN Y CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF.....	38

4.2 EMULACIÓN DE FALLAS .....	44
4.2.1 Emulación del 1 <sup>er</sup> escenario de falla. Sobrecarga en el sistema eléctrico ....	46
4.2.2 Emulación del 2 <sup>do</sup> escenario de falla. Pérdida de excitación.....	50
4.2.3 Emulación del 3 <sup>er</sup> escenario de falla. Sobretenión en la red de suministro eléctrico .....	54
4.2.4 Emulación del 4 <sup>to</sup> escenario de falla. Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico .....	57
4.2.5 Emulación del 5 <sup>to</sup> escenario de falla. Alta temperatura del líquido refrigerante del motor .....	61
4.3 PROTOCOLOS DE OPERACIÓN .....	63
5. CONCLUSIONES .....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

## LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Interfaz gráfica del <i>Utility Software de DEIF</i> (USW) .....	18
Figura 2. Parte frontal del controlador. Los números dentro de los círculos identifican el Slot o ranura descritos en el cuadro 1 .....	21
Figura 3. Comportamiento en el modo de operación POTENCIA FIJA .....	25
Figura 4. Comportamiento en el modo de operación TRANSFERENCIA DE CARGA .....	26
Figura 5. Comportamiento en el modo de operación RECORTE DE PUNTAS DE DEMANDA .....	29
Figura 6. Icono de actualización o cambio de <i>Firmware</i> .....	31
Figura 7. Sistema híbrido de generación de energía eléctrico .....	33
Figura 8. Construcción del sistema eléctrico por emular .....	39
Figura 9. Lado izquierdo: Diagrama unifilar de emulación en la pestaña “ <i>application supervision</i> ”. Lado derecho: Leyenda según el estado del equipo .....	43
Figura 10. Ventana emulación de planta .....	44
Figura 11. Esquema unifilar del sistema de generación de energía eléctrica en funcionamiento normal para la primera, tercera y cuarta falla .....	47
Figura 12. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro carga activa del sistema híbrido de generación de energía eléctrica .....	48
Figura 13. Respuesta del sistema ante una sobrecarga .....	49
Figura 14. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobrecarga en el sistema .....	50
Figura 15. Esquema unifilar del sistema de generación de energía eléctrica en funcionamiento normal para la segunda y quinta falla .....	51
Figura 16. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro de consumo de carga reactiva en el sistema híbrido de generación de energía eléctrica .....	52

Figura 17. Respuesta del sistema ante una pérdida de excitación en el generador síncrono .....	53
Figura 18. Alarmas arrojadas por los controladores ante una pérdida de excitación .....	54
Figura 19. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro magnitud de voltaje de la red de suministro eléctrico del sistema híbrido de generación de energía eléctrica .....	55
Figura 20. Respuesta del sistema ante una sobretensión .....	56
Figura 21. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobretensión .....	57
Figura 22. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro frecuencia de la red de suministro eléctrico del sistema híbrido de generación de energía eléctrica .....	58
Figura 23. Respuesta del sistema ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico .....	59
Figura 24. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico .....	60
Figura 25. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro entrada digital en el controlador del grupo electrógeno del sistema híbrido de generación de energía eléctrica .....	61
Figura 26. Respuesta del sistema ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno.....	62
Figura 27. Alarmas arrojadas por los controladores ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno .....	63

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Ranuras del controlador AGC-4 de DEIF .....	22
Cuadro 2. Parámetros configurados en los controladores.....	40
Cuadro 3. Listado de figuras correspondientes a los escenarios de falla emulados .....	45
Cuadro 4. Consignas de operación ante una sobrecarga en el sistema eléctrico .....	64
Cuadro 5. Consignas de operación ante una pérdida de excitación .....	66
Cuadro 6. Consignas de operación ante una sobretensión en la red de suministro eléctrico .....	70
Cuadro 7. Consignas de operación ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico .....	72
Cuadro 8. Consignas de operación ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno.....	74

## **LISTA DE ANEXOS**

**(Ver anexos adjuntos, pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)**

Anexo A. Fichas técnicas de los equipos empleados en la emulación.

## RESUMEN

**TÍTULO:** EMULACIÓN DE FALLAS EN UN SISTEMA HÍBRIDO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL CONTROLADOR DEIF REFERENCIA AGC-4\*

**AUTOR:** JHON JARLIN JHOSED GARCÍA PINZÓN, TIFFANY DEL MAR URQUIJO CASTRILLON\*\*

**PALABRAS CLAVE:** CONTROLADOR, DEIF, EMULACIÓN, GENERACIÓN, HÍBRIDO, OPERACIÓN.

**DESCRIPCIÓN:** Este trabajo de grado, enuncia las características de la herramienta *Utility Software 3* y el controlador DEIF (referencia AGC-4), los cuales en conjunto permiten supervisar, configurar y emular el comportamiento de la puesta en marcha y el funcionamiento de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica. Un controlador AGC-4 de DEIF, es diseñado para realizar el control y protección de grupos electrógenos, redes de suministro y acople de barras; no obstante, puede ser usado como un controlador ASC-4 Solar de DEIF, para ejercer control sobre un sistema fotovoltaico (FV). Esto permite llevar a cabo los estudios tanto de sistemas convencionales de generación de energía eléctrica, como de sistemas híbridos.

Específicamente, se postulan cinco escenarios de falla que se pueden presentar durante el funcionamiento y puesta en marcha de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, con el objeto de realizar un análisis, que proporcione información que evite daños mecánicos y eléctricos sobre los equipos de potencia, y así minimizar riesgos de falla en el funcionamiento del sistema eléctrico. Seguidamente, se emulan las fallas y se establecen las principales consignas de operación, que representan las instrucciones operativas necesarias, para garantizar el funcionamiento seguro y confiable del sistema de generación de energía eléctrica.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Facultad de Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: German Alfonso Osma Pinto. Doctor en Ingeniería.

## ABSTRACT

**TITLE:** FAILURES EMULATION IN A HYBRID ELECTRIC POWER GENERATION SYSTEM USING AGC-4 DEIF CONTROLLER\*

**AUTHOR:** JHON JARLIN JHOSED GARCÍA PINZÓN, TIFFANY DEL MAR URQUIJO CASTRILLON\*\*

**KEY WORDS:** CONTROLLER, DEIF, EMULATION, GENERATION, HYBRID, OPERATION.

**DESCRIPTION:** This degree work enunciates the characteristics of the Utility Software 3 tool and the DEIF controller (reference AGC-4), which together allow to supervise, configure and emulate the behavior of the commissioning and operation of a hybrid electric power generation system. A DEIF AGC-4 controller is designed to perform the control and protection of genset, supply networks and busbar coupling; however, it can be used as a DEIF Solar ASC-4 controller to exercise control over a photovoltaic (PV) system. This allows studies to be carried out on both conventional electric power generation systems and hybrid systems.

Specifically, five failure scenarios that may arise during the operation and commissioning of a hybrid electric power generation system are postulated, in order to carry out an analysis that provides information that prevents mechanical and electrical damage to the power equipment and thus minimize risks of failure in the operation of the electrical system. Then the faults are emulated, and the main operating instructions are established, which guarantee the safe and reliable operation of the electric power generation system.

---

\* Degree work

\*\* Faculty of Mechanical Physics. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: German Alfonso Osman Pinto. Engineering Doctor.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas híbridos de generación de energía se pueden definir como la agrupación de equipos de generación de energía eléctrica, que involucran fuentes renovables y no renovables, cuyo objetivo es suministrar energía a una instalación, red o sistema de consumo eléctrico de forma continua e ininterrumpida, con los costos más bajos posibles. Estas características hacen del diseño y operación de los sistemas de gestión de flujos de potencia, una actividad compleja que promueve el interés y necesidad en el desarrollo de sistemas, que permitan someter los diseños y protocolos de operación, a controles de calidad y verificación de su funcionalidad.

Actualmente, el mercado industrial de dispositivos electrónicos ofrece unidades de mando que incorporan funciones de control, protección y diversos protocolos de comunicación o líneas de reparto análogo, que permiten la interacción con controladores de su misma marca, así como con otras marcas. DEIF, es una marca para generadores, motores y sistemas de generación no convencional, diseñada para la administración de energía de sistemas eléctricos.

Entonces, una de las preguntas que surge ante la necesidad de desarrollar e implementar sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, es; ¿Cuál es la manera correcta de operar un sistema de este tipo ante una situación falla?; Los controladores involucran un manual de usuario o documentación, en el cual se le indica al operador como maniobrar el dispositivo, más no, como operar el sistema de generación de energía eléctrico en situaciones de falla. De esta forma, el AGC-4 de DEIF, en conjunto con la herramienta de emulación *Utility Software 3* de DEIF, permiten estudiar y analizar los posibles escenarios de falla en la puesta en marcha y funcionamiento del sistema, con el fin de definir las consignas de

operación, que garanticen una gestión eficiente, segura y flexible sobre el sistema eléctrico.

Este trabajo de grado enuncia las características y funciones del controlador AGC-4 de DEIF (*Automatic Genset Controller*), y de la herramienta de emulación *Utility Software 3* de DEIF. Asimismo, se definen cinco escenarios de falla y se enuncian las principales consignas de operación en un sistema de generación híbrido, compuesto por un grupo electrógeno, un sistema fotovoltaico (FV) y una red de suministro eléctrico.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Definir las principales consignas de operación de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica a partir del uso de la herramienta *Utility software 3* y equipo DEIF referencia AGC-4.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las características *del Utility Software 3* y el controlador referencia AGC-4 de la marca DEIF empleados en la emulación de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, que involucra un sistema fotovoltaico, un grupo electrógeno y la red.
2. Establecer cinco (5) posibles escenarios de falla en el funcionamiento de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica para el análisis.
3. Definir las consignas de operación del controlador de referencia AGC 4 de DEIF ante los estados de falla mencionados en el objetivo dos.

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL UTILITY SOFTWARE 3 Y EL CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF

Este capítulo expone las características más importantes del *Utility Software 3* de DEIF, sus requisitos de funcionamiento y el alcance en la emulación. También se exponen las características del controlador AGC-4 de DEIF, se describen sus modos de operación y se menciona cómo un controlador AGC-4 puede ser utilizado como controlador ASC-4 Solar, para aplicaciones en sistemas híbridos de generación de energía eléctrica.

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DEL UTILITY SOFTWARE

*Utility Software 3* (USW), es una herramienta informática compatible con los controladores AGC de DEIF (AGC 100, AGC 200 y AGC-4), la cual permite modelar y supervisar el comportamiento en campo de un sistema de generación de energía eléctrica. El USW, permite emular la puesta la marcha de un sistema real de generación de energía eléctrica y simultáneamente evaluar su funcionamiento, cuando se accionan interruptores y se cambian parámetros del sistema<sup>1</sup>.

El *software* incorpora las siguientes características<sup>2</sup>:

1. Herramienta gráfica para la creación y edición de esquema unifilar de los sistemas eléctricos.

---

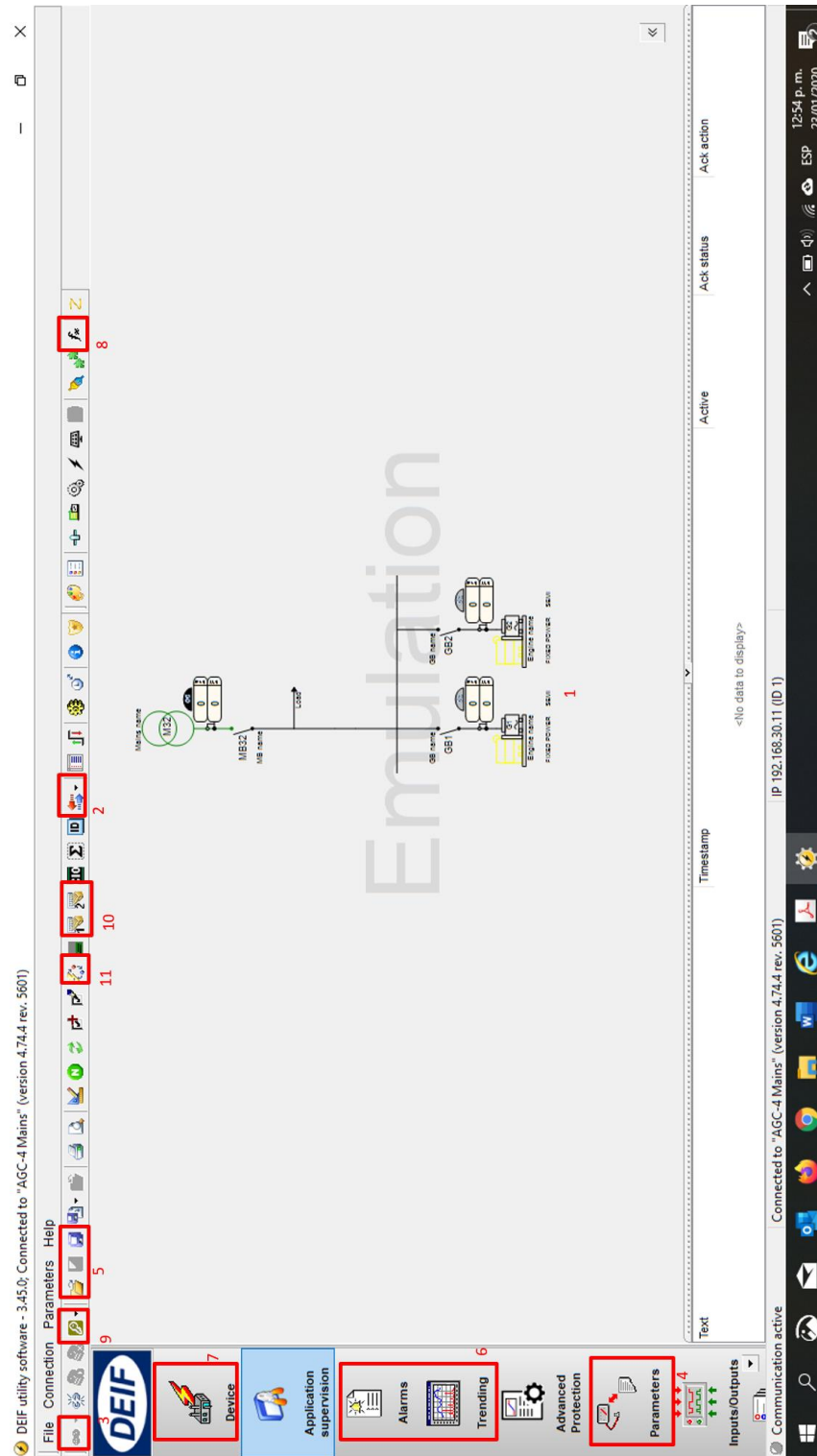
<sup>1</sup> DEIF A/S. *Multi-line 2 application notes. The DEIF Emulation Tool*. 4189340932A. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 5-6.

<sup>2</sup> DEIF A/S. *Land Power*. Guía de aplicación. [Catálogo]. ca. 2018. p 156.

2. Lectura y actualización de la configuración de los parámetros del controlador.
3. Comunicación con los controladores por medio de conexiones USB, RS485 o TCP/IP.
4. Configuración de entradas y salidas del controlador y equipos externos asociados (AVR, gobernadoras, transductores y relés).
5. Guardar en archivos toda la información de la planta eléctrica. Restaurar (*backup*) toda la información de la planta eléctrica.
6. Visualización y monitoreo del comportamiento, alarmas y mediciones dinámicas de la planta eléctrica y los distintos grupos electrógenos que la componen.
7. Visualización de los datos eléctricos y datos mecánicos de los componentes del sistema de generación de energía eléctrica.
8. Emulación de la puesta en marcha y eventos externos en el sistema de generación de energía eléctrica.
9. Configuración de seguridad mediante contraseñas, que permiten dar niveles de accesos.
10. Configuración de los botones del panel *AOP*. Permite definir la acción de cada botón del panel.
11. Actualización del *firmware* del controlador. Adicionalmente, permite el cambio de *firmware* en los controladores que disponen de esa función.

La Figura 1, relaciona las características del USW, en una imagen tomada de la interfaz gráfica del *software*.

Figura 1. Interfaz gráfica del *Utility Software de DEIF (USW)*



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**2.1.1 Requisitos para el funcionamiento del USW.** USW, solo es ejecutable en las versiones de *Windows 7, 8, 8.1 y 10* en variantes de 32 y 64 bits<sup>3</sup>. Al menos un controlador debe estar conectado al PC vía USB o *Ethernet*. Para tener acceso a los demás controladores se hace necesaria la comunicación de todos a un mismo bus CAN, de modo que si desea cambiar la configuración de un controlador, basta con mover la conexión al controlador que desee configurar. El USW, requiere para la emulación comunicación con todos los controladores del sistema a emular, es decir, si el sistema a emular está comprendido por un (1) controlador de red, tres (3) controladores de interruptor de conexión a barra y tres (3) controladores de grupos electrógenos, se hace necesario tener comunicación con los siete (7) controladores<sup>4</sup>.

**2.1.2 Límites de la herramienta de emulación.** La emulación del USW, tiene como limitante el no definir las características dinámicas de las cargas del sistema. Esto significa, que las emulaciones se realizan con un valor de carga constante a lo largo del tiempo<sup>5</sup>.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF**

El controlador AGC, pertenece al conjunto de productos *Multi-Line 2* de DEIF<sup>6</sup>. AGC, es la sigla de *Automatic Genset Controller* (en español: 'controlador automático de grupos electrógenos'). Este trabajo de grado emplea el controlador AGC-4, el cual es una unidad de mando que incorpora funciones de control y

---

<sup>3</sup> DEIF A/S. *Multi-line 2 application. Getting started - USW 3.x.* 4189340867B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f.]. p 8.

<sup>4</sup> DEIF A/S. *Multi-line 2 application notes. The DEIF Emulation Tool.* 4189340932A. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f.]. p 7.

<sup>5</sup> *Ibid.*, p. 6.

<sup>6</sup> DEIF A/S. *Land Power.* Guía de aplicación. [Catálogo]. ca. 2018. p 40.

protección en sistemas de generación. Este controlador puede ser utilizado como controlador individual para un grupo electrógeno (GENSET), o conectarse con otros controladores de la misma referencia (AGC), para dar forma a un sistema de gestión de potencia<sup>7</sup>.

El controlador AGC-4 de DEIF, utiliza la herramienta de emulación USW, para realizar una prueba del sistema de potencia, y así verificar su funcionalidad, sin la necesidad de tener el grupo electrógeno y todo el aparellaje eléctrico. Durante la emulación se puede poner a prueba los modos de operación y su lógica, la operatividad de interruptores automáticos, el funcionamiento en paralelo con la red y la operación como generador autónomo<sup>7</sup>.

El controlador AGC-4 de DEIF incorpora las siguientes características<sup>8</sup>:

1. Trabajar el sistema en alguno de los 6 modos de operación que posee el controlador.
2. Trabajar de forma sincronizada con otros grupos electrogenos o fuentes de energía eléctrica.
3. Gestionar el flujo de potencia, con la definición de más de un controlador maestro (Sistema multimaestro).
4. Realizar arranques y paradas del sistema eléctrico en función de la carga o consumo.
5. Definir la carga eléctrica que asumirá cada grupo electrógeno.
6. Emular con fines de evaluar el sistema y dar una formación (Capacitación) rápida.
7. Sincronizar equipos y red en tiempos inferiores a 10 s.
8. Programar el sistema mediante la herramienta *M-logic*.

---

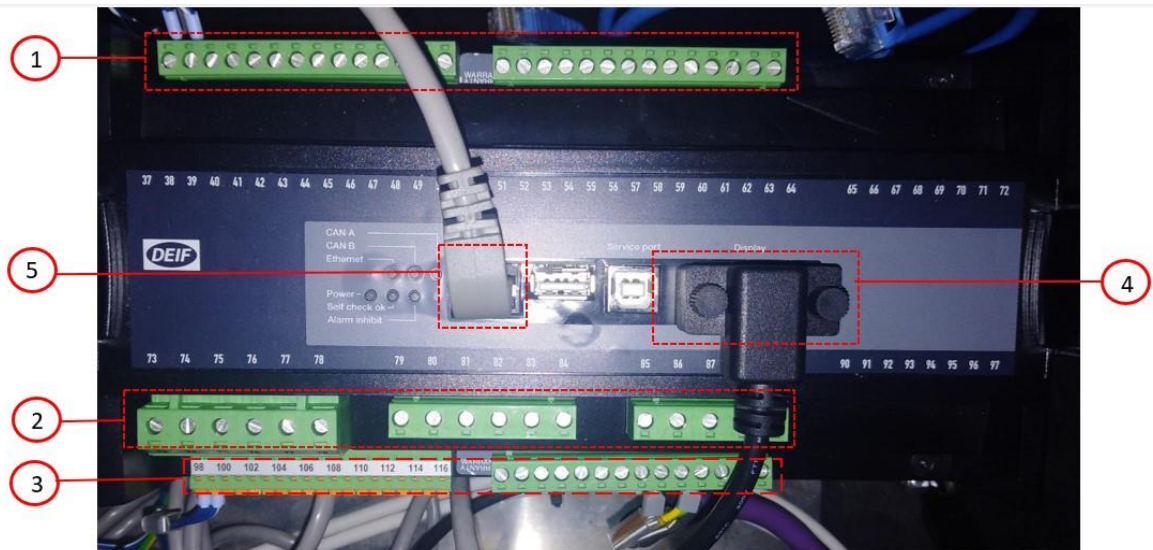
<sup>7</sup> DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrógeno, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 3.

<sup>8</sup> DEIF A/S. *Land Power*. Guía de aplicación. [Catálogo]. ca. 2018. p 56.

9. Controlar remotamente el componente eléctrico y mecánico del sistema de generación de energía.
10. Realizar comunicaciones usando los protocolos Modbus (RS485, USB, y TCP/IP) y Profibus.
11. Tener compatibilidad con los controladores AGC 150 y AGC 200.
12. Proteger el generador con protecciones básicas y afines.

Físicamente, el controlador AGC-4 de DEIF, cuenta con una estructura flexible compuesta por ranuras (*Slot*), que permiten la adaptación del controlador para casos muy específicos, así como también su rápida reparación. La Figura 2 y el Cuadro 1, relacionan e identifican las ranuras o *Slot* del controlador.

**Figura 2. Parte frontal del controlador. Los números dentro de los círculos identifican el *Slot* o ranura descritos en el Cuadro 1**



Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 1. Ranuras del controlador AGC-4 de DEIF**

<b>Número de ranura (Slot)</b>	<b>Terminales/ Bornes</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	1 - 28	Alimentación de 8 hasta 36V DC, 11 W; 1 relé de salida de estado, 5 salidas de relés; 2 salidas de impulsos y 5 entradas digitales.
<b>2</b>	73 - 89	Medición de corriente alterna; 3 x tensión del generador; 3 x corriente del generador; 3 x tensión en barras/red.
<b>3</b>	98 - 125	Entradas de medida del motor (Interfaz del motor).
<b>4</b>	-	Puerto Serial (Comunicación con el panel AOP).
<b>5</b>	-	Puerto Ethernet (Comunicación con el controlador).

Fuente: elaboración propia, con base en DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrógeno, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 20.

De forma general, el controlador tiene un panel *AOP (Advanced Operator Panel)* en la parte frontal, que permite y facilita la comunicación entre usuario y máquina, cuenta con entradas y salidas analógicas (lazos de corriente 4-20 mA), entradas digitales, salidas a relés de control de motores y salidas a relés de mando de interruptores.

### **2.2.1 Modos de operación del AGC-4 de DEIF**

**2.2.1.1 Modo isla.** Indica la operación de un grupo o grupos electrógenos autónomos sin conexión a la red. Los generadores modelan automáticamente la onda de potencia, conservando la calidad de esta, en situaciones en que fluctúa la demanda energética debido a cambios repentinos en el consumo<sup>9</sup>.

En este modo de operación, el controlador AGC-4 de DEIF permite inicialmente, establecer los parámetros de tensión y frecuencia del primer grupo electrógeno que entra en funcionamiento (en barra de potencia cero o vacío); luego, realiza la preparación de los demás grupos electrógenos, cuantos sean necesarios para suplir la demanda de la carga, y cierra los interruptores de potencia asociados a los mismos, permitiendo la sincronización al sistema de generación de energía eléctrica. Este modo de operación, monitoriza que se lleve a cabo un óptimo funcionamiento bajo carga, y realiza la apertura de los interruptores de potencia ante situaciones de falla o paradas programadas, enfriando el motor para una adecuada parada de servicio<sup>10</sup>.

**2.2.1.2 Automático en fallo de red (AMF).** El modo de operación *AMF* surge como necesidad ante situaciones de falla en la red, principalmente debido a inestabilidades en el servicio energético<sup>9</sup>.

El controlador AGC-4 de DEIF, inicialmente monitorea el estado de la red, verificando que los parámetros de tensión y frecuencia sean los óptimos de servicio; en caso de falla, abre automáticamente el interruptor de potencia asociado a la red y simultáneamente dispone en funcionamiento los grupos electrógenos. Verifica la tensión y la frecuencia de la red posterior a la falla y una vez reestablecidos los parámetros ideales de funcionamiento del sistema de

---

<sup>9</sup> DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrógeno, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 10.

<sup>10</sup> IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. Diapositivas 16-23.

energía eléctrica, el controlador sincroniza la red e inicia el proceso de enfriamiento de los motores, permitiendo una óptima parada de operación de los grupos electrógenos<sup>11</sup>.

**2.2.1.3 Potencia fija (FIXED POWER).** La planta generadora suministra una potencia fija. Para llevar a cabo su funcionamiento, requiere de una tensión de referencia proveniente de la red, es decir, los grupos electrógenos involucrados en el sistema de generación de energía eléctrica tienen dependencia de la red para poder sincronizarse con el sistema de potencia<sup>12</sup>.

El controlador AGC-4 de DEIF, verifica que los parámetros de tensión y frecuencia de la red sean los adecuados para llevar a cabo la sincronización, y así disponer en funcionamiento los grupos electrógenos asociados, monitoriza la operación del sistema de generación, dando apertura o cierre a los interruptores asociados a la red o a los grupos electrógenos según convenga. La Figura 3, evidencia la puesta en marcha de un grupo electrógeno en potencia fija; inicialmente al generador se le asigna una potencia por debajo de la carga demandada, y luego de forma ascendente y escalonada, se le asigna la potencia nominal demandada<sup>13</sup>.

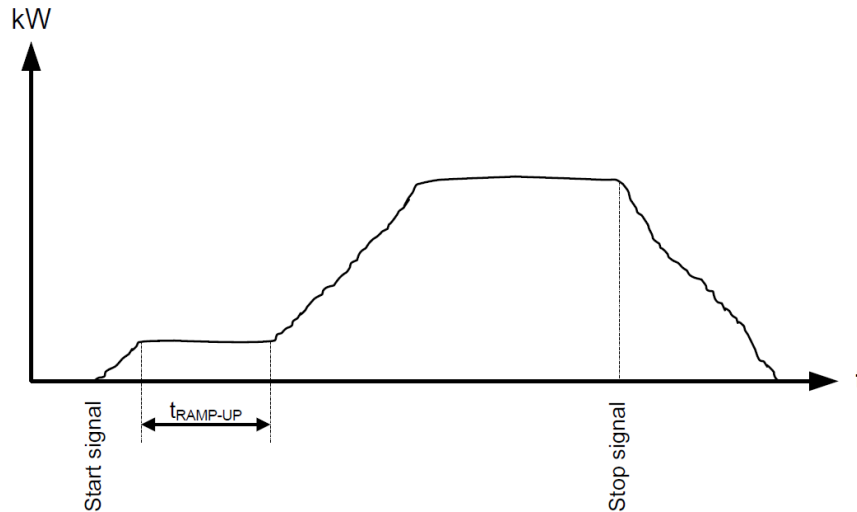
---

<sup>11</sup> IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. Diapositivas 73-87.

<sup>12</sup> DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrógeno, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 10.

<sup>13</sup> Op. Cit., Diapositivas 38-48.

**Figura 3. Comportamiento en el modo de operación POTENCIA FIJA**



Fuente: DEIF A/S. Manual de consulta del proyectista. Controlador Automático de Grupo Electrónico, AGC-4. 4189341141B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 25.

**2.2.1.4 Transferencia de carga (LOAD TAKE OVER).** Modo de operación que permite realizar cambios de fuentes de energía sin generar cruces por cero, es útil en situaciones en los que se desea realizar mantenimiento a la red o grupos eléctricos<sup>14</sup>.

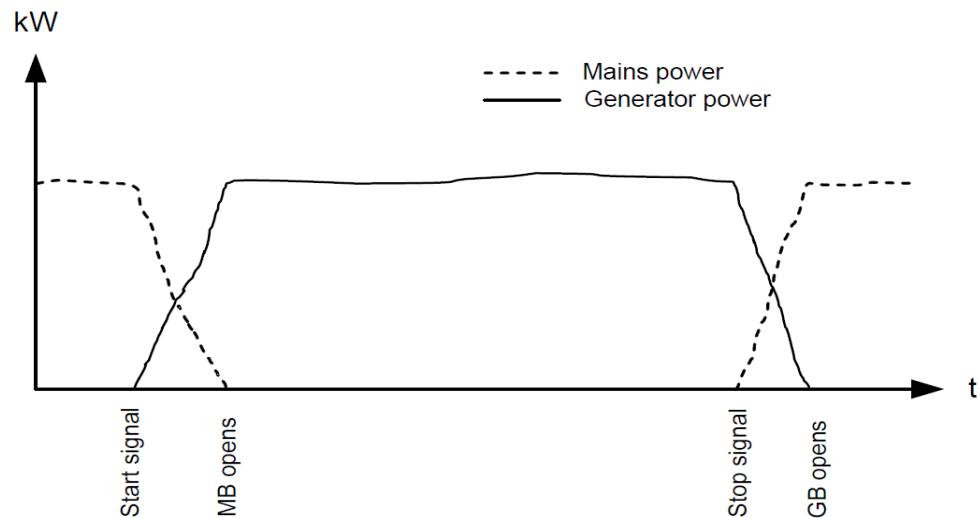
El controlador AGC-4 de DEIF, verifica que los parámetros de sincronización de los grupos eléctricos sean los adecuados para realizar sincronismo con la red u otro grupo eléctrico, al cual se va a transferir la carga. Una vez esto se cumple, el controlador procede a cerrar progresivamente los interruptores de potencia asociados a los grupos eléctricos, y luego realiza la transferencia de carga, monitorizando que se suministre la energía demandada por la carga, garantizando que en el proceso no haya un corte de suministro de energía eléctrica o cruce por cero. Cuando el controlador verifica la tensión y la frecuencia de la red o grupo

---

<sup>14</sup> DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo eléctrico, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 10.

electrógeno, y estos son los idóneos para la resincronización, la red o grupo electrógeno asume la carga nuevamente y se inicia el proceso de enfriamiento de los motores, permitiendo una óptima parada de operación de los grupos electrógenos. La Figura 4, evidencia el comportamiento de la potencia entregada por cada fuente de energía eléctrica, cuando se dispone del controlador funcionando en el modo de operación *load take over*<sup>15</sup>.

**Figura 4. Comportamiento en el modo de operación TRANSFERENCIA DE CARGA**



Fuente: DEIF A/S. Manual de consulta del proyectista. Controlador Automático de Grupo Electrónico, AGC-4. 4189341141B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 29.

<sup>15</sup> IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. Diapositivas 24-36.

**2.2.1.5 Exportación de potencia a la red.** En este modo de operación el controlador AGC-4 de DEIF, determina si el grupo electrógeno o la red funciona entregando una potencia fija al sistema eléctrico, mientras le asigna a la otra fuente de energía, un modo de operación que le permite modelar automáticamente su potencia según sean las variaciones de la demanda energética<sup>16</sup>.

Cuando el grupo electrógeno entrega potencia fija y la red se acomoda a las exigencias de la carga, el funcionamiento del sistema es el siguiente: El controlador prepara los grupos electrógenos, cuantos sean necesarios para suplir la demanda estándar de la carga, y cierra los interruptores de potencia asociados a los mismos, permitiendo la sincronización al sistema de generación de energía eléctrica. Simultáneamente, monitoriza el comportamiento de la carga, controlando el flujo de potencia que suministra la red, de forma que, si la demanda energética de la carga cae, los excedentes producidos por los grupos electrógenos se exportan a la red, o en caso contrario, si la demanda energética aumenta, la energía faltante la suministra la red<sup>17</sup>.

**2.2.1.6 Recorte de puntas de demanda (PEAK SHAVING).** Modo de operación en el cual los generadores funcionan en paralelo a la red, suministrando la carga demandada en horas punta<sup>16</sup>.

El controlador AGC-4 de DEIF, hace que el generador empiece a funcionar en la medida que sensa un cambio abrupto de potencia, con relación a la curva promedio de consumo de energía eléctrica, de esta forma, cierra el interruptor de potencia que habilita el ingreso de los grupos electrógenos que funcionan en paralelo con la red, suministrando la energía que alivia la demanda de punta

---

<sup>16</sup> DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrógeno, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 10.

<sup>17</sup> IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. Diapositivas 49-60.

presente en el sistema de potencia, monitoriza la generación de energía eléctrica y detiene el funcionamiento de los grupos electrógenos en un tiempo preestablecido de operación<sup>18</sup>.

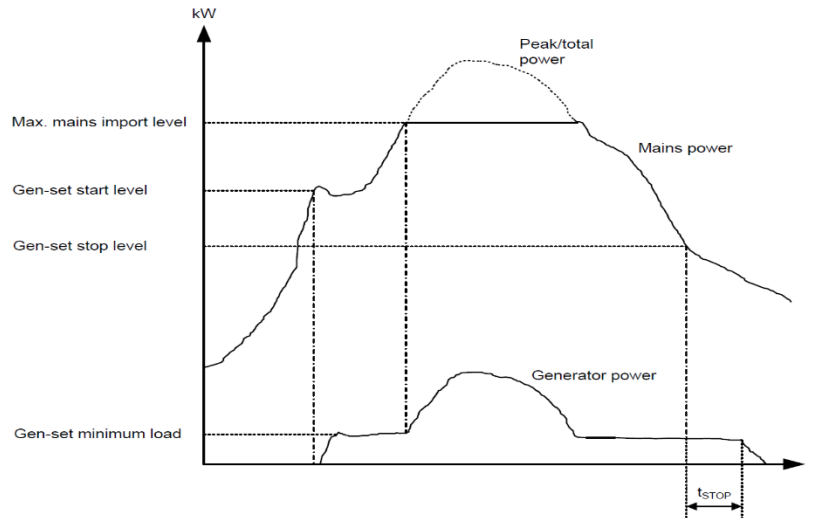
El costo de la energía se incrementa en horas punta, luego *peak shaving*, es un modo de operación que surge como una alternativa eficaz para el ahorro económico a consumidores de nivel industrial. La necesidad principal de estas compañías, es disminuir el consumo de energía eléctrica en periodos de punta de demanda, disponiendo así de generadores en funcionamiento bajo este régimen de trabajo, supliendo la carga en horas punta, evitando que se detenga la producción y respaldando los sistemas con una óptima calidad de servicio.

La Figura 5, evidencia que el grupo electrógeno suple la energía demandada por la carga, cuando se desconecta el suministro energético del proveedor u operador de red. El poner en marcha un sistema de generación de energía propio, brinda respaldo al sistema de potencia.

---

<sup>18</sup> IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. Diapositivas 61-72.

**Figura 5. Comportamiento en el modo de operación RECORTE DE PUNTAS DE DEMANDA**



Fuente: DEIF A/S. Manual de consulta del proyectista. Controlador Automático de Grupo Electrónico, AGC-4. 4189341141B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 27.

**2.2.1.7 Gestión de potencia (POWER MANAGEMENT).** Modo de operación bajo el cual, una fuente de suministro de energía eléctrica adopta el modo de operación de otra fuente de energía, con el fin de entregar de forma óptima la demanda energética exigida por la carga. En este modo de operación, se pueden establecer prioridades en la inyección de energía, realizar reparto de carga, transferencias de carga de forma automatizada, entre otras acciones.

**2.2.2 AGC-4 como ASC-4.** El controlador AGC-4 de DEIF, tiene la característica de ser flexible no solo en su *hardware* sino también en su *software*. Este controlador, además de permitir actualizar, permite cambiar su *firmware* por uno correspondiente al de un ASC-4 Solar, de manera que el *hardware* de un controlador AGC-4 puede ser utilizado como controlador ASC-4 Solar.

El controlador ASC-4 Solar de DEIF (*Automatic Sustainable Controller*, en español: 'controlador sostenible automático'), se caracteriza por ser un dispositivo que funciona como vía de comunicación entre el sistema fotovoltaico (FV) y los grupos electrógenos en los sistemas híbridos de generación de energía eléctrica, cuya finalidad es optimizar y garantizar el reparto de carga entre las fuentes de generación de energía eléctrica<sup>19</sup>.

A continuación, se muestra el paso a paso de cómo cambiar el *firmware* de un controlador AGC-4 por uno correspondiente al controlador ASC-4 Solar<sup>20</sup>:

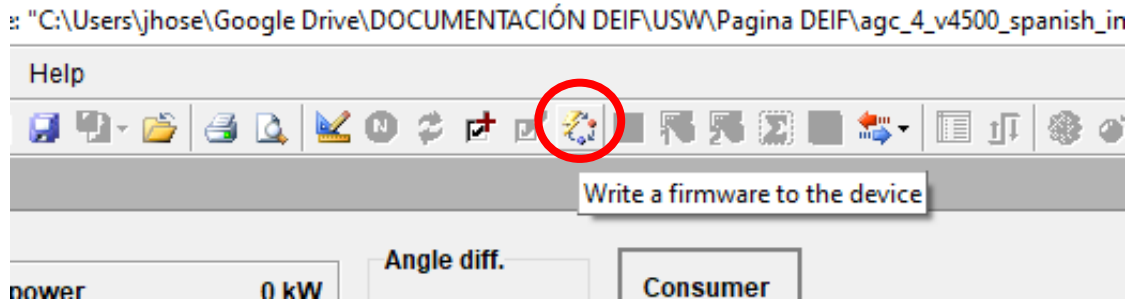
1. Diríjase a la página web <https://www.deif.com/software/multi-line-2-asc-application-software-series-4x>
2. Registre un correo y descargue el archivo comprimido (Revisar la bandeja de correo no deseado). Al descomprimir obtendrá un archivo con extensión .a37 y un archivo .txt en el que se explica también el paso a paso por seguir.
3. Conecte el controlador AGC-4 de DEIF al PC.
4. Ejecute el USW y establezca la comunicación con el controlador.
5. Hacer clic en el icono mostrado en la Figura 6.

---

<sup>19</sup> Hoja de datos. ASC-4, controlador sostenible automático enlace entre plantas sostenibles y convencionales. 4921240529D. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p. 3.

<sup>20</sup> DEIF A/S. *Multi-line 2 application. Getting started - USW 3.x*. 4189340867B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. p 18.

**Figura 6. Icono de actualización o cambio de *Firmware***



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

6. Seleccione el archivo con extensión .a37 y de clic en aceptar. Tardará de 8 a 10 minutos la actualización.

Para el desarrollo de este trabajo de grado, se tiene como herramienta una maleta compuesta por 3 controladores AGC-4 de DEIF. Para efectos del desarrollo de escenarios de falla en un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, compuesto por un sistema fotovoltaico, un grupo electrógeno y la red, se cambió el *firmware* de uno de los controladores, con fines de obtener un controlador ASC-4 Solar con el *hardware* de un controlador AGC-4.

### 3. ESCENARIOS DE FALLA

Este capítulo describe los escenarios de funcionamiento de una planta híbrida de generación de energía eléctrica, los cuales son emulados. Se define el modo de operación del sistema y las fallas a los que se somete el mismo. De forma general, los escenarios constan de las siguientes fuentes de energía eléctrica: un grupo electrógeno, un sistema fotovoltaico y la red eléctrica.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

Se dispone de un sistema eléctrico cuya fuente energética es una red de distribución de energía eléctrica, con capacidad suficiente para suplir toda la demanda energética. La introducción de un grupo electrógeno y un sistema fotovoltaico, son respuesta al elevado costo que conlleva abastecer el consumo energético del sistema, y a las variaciones en las magnitudes de tensión y frecuencia que presenta la red de suministro energético. El grupo electrógeno entra en funcionamiento en caso de corte de energía en la red, o de oscilaciones que perturben el estado de las cargas conectadas al sistema. De esta forma, el sistema eléctrico convencional pasa a ser un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, que cuenta con la participación de un grupo electrógeno, un sistema fotovoltaico (FV) y una red de suministro eléctrico.

El sistema de generación en estudio abastece una carga de 500 kW. La inyección de energía y funcionamiento del sistema híbrido de generación de energía eléctrica se describe como sigue:

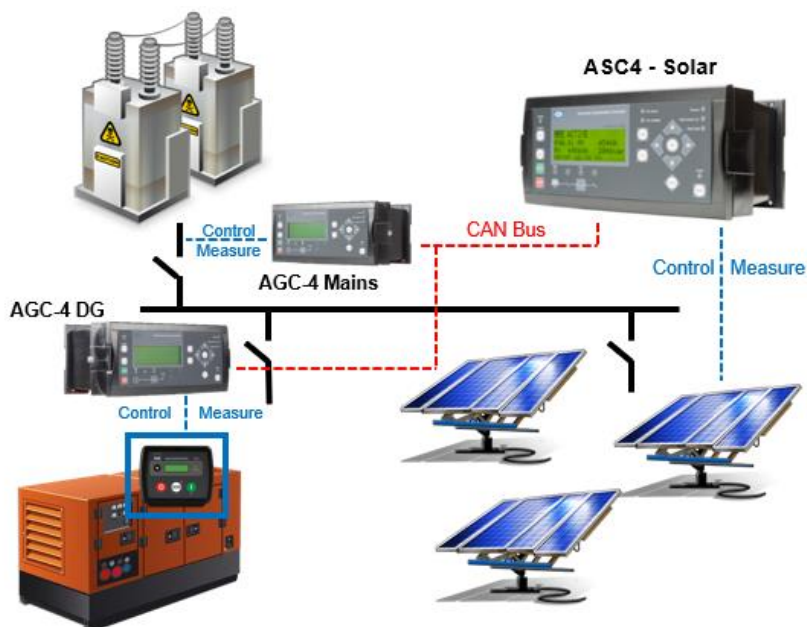
- Red de suministro eléctrico en modo de operación AMF (*Automático en fallo de red*), la cual asume un porcentaje de la carga cuando suministra energía

en paralelo con el sistema fotovoltaico (funcionamiento normal del sistema), y asume totalmente la carga cuando no hay participación de los grupos electrógenos y del sistema fotovoltaico.

- Grupo electrógeno en modo de operación AMF bajo la modalidad de *Power Management* (gestión de potencia), funcionando en paralelo al sistema fotovoltaico cuando no hay presencia de la red debido a un fallo en la misma y asumiendo la totalidad de la carga cuando no hay participación del sistema FV.
- Sistema fotovoltaico (FV) en modo de operación *Fixed Power* (potencia fija), entregando el 100% de su capacidad nominal (100 kW) en presencia de condiciones climáticas favorables y en modalidad *ON – GRID*.

La Figura 7, muestra la estructura y componentes del sistema híbrido de generación de energía eléctrica descrito, incluyendo los controladores necesarios para realizar una gestión de potencia sobre el sistema eléctrico.

**Figura 7. Sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: IRMIA, A. *DEIF solution for hybrid power plant*. [Diapositivas]. 2019. Diapositiva 8.

**3.1.1 1<sup>er</sup> Escenario de falla. Sobrecarga en el sistema eléctrico:** Para esta falla, el sistema se encuentra en funcionamiento normal, es decir, la red de suministro energético se encuentra trabajando en paralelo con el sistema fotovoltaico.

Una sobrecarga en un sistema eléctrico representa un aumento no deseado en la magnitud de corriente, causando directamente un incremento en el consumo energético, para lo cual el sistema eléctrico no fue diseñado. Como consecuencia de una sobrecarga en el sistema de generación de energía eléctrica, se tiene sobrecalentamiento en el devanado del transformador de distribución, así como también en los cables de potencia del sistema<sup>21</sup>.

Cuando el controlador AGC-4 de DEIF, sensa un cambio significativo en la magnitud de corriente, inmediatamente envía un disparo al interruptor de potencia del equipo sobre el cual está realizando control y protección, evitando que sufra efectos secundarios y causen una pérdida parcial o completa del activo.

**3.1.2 2<sup>do</sup> Escenario de falla. Pérdida de excitación:** Inicialmente, la red de suministro energético se encuentra fuera de servicio; en consecuencia, el abastecimiento de carga lo asume el sistema fotovoltaico y el grupo electrógeno.

Cuando el generador síncrono presenta una pérdida de excitación, deja de entregar potencia reactiva y empieza a consumir, operando de manera similar a un generador de inducción. Esta condición genera inestabilidad en las señales de tensión, oscilaciones de potencia y sobrecalentamiento en los devanados del

---

<sup>21</sup> RAMIREZ, Carlos Felipe. Introducción a los relés de protección. 2 ed. Medellín, Colombia: Mejía Villegas S.A y Universidad Pontificia Bolivariana, 1987. p 243.

estator, debido a los cambios en la magnitud de corriente que pueden elevarse hasta cuatro (4) veces la nominal. Además, la pérdida de excitación induce corrientes de baja frecuencia en el rotor, que ocasionan un sobrecalentamiento en los devanados de este. La pérdida de excitación es causada por: circuito abierto del campo, cortocircuito en el campo, mal contacto con las escobillas, apertura accidental del interruptor de excitación de campo, funcionamiento inadecuado del AVR (Regulador Automático de Tensión), pérdida de suministro de energía para el sistema de excitación, entre otros eventos<sup>22</sup>.

Una pérdida de excitación en el escenario descrito traería como consecuencia, además de las ya mencionadas, mal funcionamiento del generador originando pérdida de sincronismo. El sistema FV es afectado por la salida del generador con falla de pérdida del campo de excitación, dado que pierden la referencia eléctrica que necesitan para seguir suministrando energía eléctrica en AC.

Como medida de protección el controlador AGC-4 de DEIF, incorpora la función de subexcitación o importación de potencia reactiva, donde su función principal es aislar el generador del sistema de potencia en el momento en el que percibe la falla.

### **3.1.3 3<sup>er</sup> Escenario de falla. Sobretensiones en la red de suministro eléctrico:**

Para este escenario de falla, al igual que en el primer escenario de falla, el sistema se encuentra en funcionamiento normal, es decir, la red de suministro energético se encuentra trabajando en paralelo con el sistema fotovoltaico.

Las sobretensiones son fallas muy frecuentes en los sistemas eléctricos, debido a la diversidad de causas que la generan. Dentro de las causas más comunes se

---

<sup>22</sup> RAMIREZ, Carlos Felipe. Introducción a los relés de protección. 2 ed. Medellín, Colombia: Mejía Villegas S.A y Universidad Pontificia Bolivariana, 1987. p 248.

encuentran: fallas a tierra, rechazo de carga, resonancia y ferroresonancia, despeje de fallas, recierre de líneas, descargas atmosféricas y maniobra en los sistemas eléctricos. Según su naturaleza u origen, las sobretensiones pueden ser de muy corta o larga duración<sup>23</sup>.

La emulación de este escenario de falla se centra únicamente en las sobretensiones producidas por una mala maniobra en la operación del sistema. Una sobretensión provoca pérdida de aislamiento, permitiendo la aparición de arcos eléctricos, que deterioran el estado de los equipos y en casos muy críticos causan el fin de su vida útil.

Como respuesta, el controlador AGC-4 de DEIF, al percibir un cambio significativo en la magnitud de la señal de tensión, ordena el disparo de los interruptores de potencia, ocasionando que las máquinas de generación queden aisladas de la falla, con el fin de no causar desastres.

**3.1.4 4<sup>to</sup> Escenario de falla. Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico:** El sistema de generación híbrido se encuentra en funcionamiento normal, es decir, la red de suministro energético trabaja en paralelo con el sistema fotovoltaico, suministrando la energía que demanda la carga. La apertura inesperada de los circuitos principales de carga en una subestación vecina, que conecta con la red de suministro energético del sistema híbrido, origina una sobre frecuencia.

La pérdida súbita de carga genera un desbalance entre el consumo y la generación, y simultáneamente valores no admisibles de frecuencia y de tensión,

---

<sup>23</sup> RAMIREZ, Carlos Felipe. Subestaciones de Alta y extra alta tensión. 2 ed. Medellín, Colombia: Mejía Villegas S.A, 2003. p 64-65.

los cuales deben retornar a valores normalizados en un tiempo razonado<sup>24</sup>. Este escenario de falla se centra en la sobre frecuencia, que surge como consecuencia de la pérdida súbita de carga.

El controlador AGC-4 de DEIF, involucra la función del relé de sobre frecuencia, que actúa de inmediato disparando el interruptor de potencia asociado a la red y permitiendo el ingreso del grupo electrógeno, seguido del sistema fotovoltaico, garantizando la preservación de la carga y el óptimo funcionamiento del sistema de generación eléctrico.

**3.1.5 5<sup>to</sup> Escenario de Falla. Alta temperatura del líquido refrigerante del motor:** El estado térmico del motor de un grupo electrógeno, tiene una relación estrecha con la temperatura del líquido refrigerante del mismo, y esta a su vez, está ampliamente relacionada con la magnitud de trabajo del motor. De esta forma, si el motor trabaja a una exigencia baja, la probabilidad de que el líquido refrigerante alcance un valor de temperatura crítico para su funcionamiento, será mínimo. Un motor que opera cuando el líquido refrigerante alcanza una elevada temperatura, puede provocar sobrecalentamiento y una alta probabilidad de fundición de sus elementos<sup>25</sup>.

Como respuesta, el controlador AGC-4 de DEIF, integra entradas digitales sobre las cuales se puede recibir señales de equipos externos, por ejemplo: un termóstato, que indique la temperatura del líquido refrigerante. Recibida una señal de estado crítico, el controlador dispara el interruptor de potencia asociado al generador, y simultáneamente deja al grupo electrógeno en *cooldown* (enfriamiento).

---

<sup>24</sup> CÉSPEDES, Renato; RESTREPO, Bernardo y ROA, Hernando. Deslastre de cargas en sistemas de potencia. Ingeniería e investigación. 1984. Issue 10. p. 31.


<sup>25</sup> PALOMARES ANSELMO, Jim. Motores de combustión interna I. Lima, Peru: 2007. p 64-65.

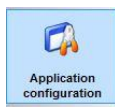
## 4. CONSIGNAS DE OPERACIÓN

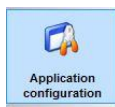
Este capítulo, orienta al lector en el paso a paso que se ejecuta para llevar a cabo la emulación de los escenarios de falla descritos en el Capítulo 3, mediante la utilización del controlador AGC-4 de DEIF y la herramienta de emulación USW. Asimismo, se establecen las principales consignas de operación, que garantizan el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, ante estas situaciones de falla.

### 4.1 CONFIGURACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE EMULACIÓN Y CONTROLADOR AGC-4 DE DEIF

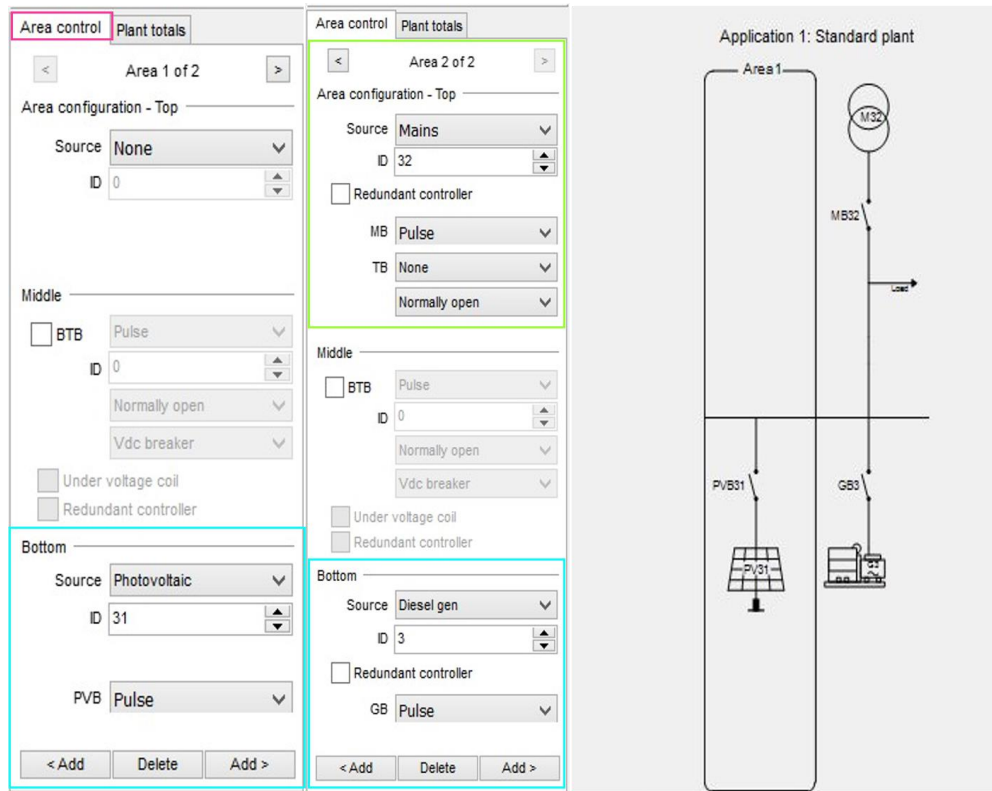
Se configuran los controladores para que funcionen según el escenario descrito. A continuación, el paso a paso para su configuración:

1. Hacer clic en el icono , permite establecer comunicación con los controladores vía *Ethernet* (TCP/IP).




2. Hacer clic en el icono , permite configurar el diagrama unifilar del sistema híbrido de generación de energía eléctrica, como se muestra en la Figura 8. El cuadro rosado, define la ventana de área de control, en la cual se realizan las modificaciones correspondientes al diagrama unifilar. Esta área se divide en tres secciones: superior (cuadro verde), medio (sin utilizar), e inferior (cuadro azul). Las secciones permiten modificar el tipo de fuente eléctrica a utilizar, el ID y el tipo de breaker empleado en la emulación.

**Figura 8. Construcción del sistema eléctrico emulado**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.









3. Hacer clic en el icono , permite parametrizar el controlador según corresponda el caso.




En esta pestaña, se configuran los parámetros nominales de la fuente de suministro eléctrico, las protecciones, los tipos de comunicación, modos de operación, la gestión de potencia, entre otros parámetros que se emplean en la emulación.

El Cuadro 2, lista los parámetros configurados para el funcionamiento del sistema de generación híbrido descrito.

**Cuadro 2. Parámetros configurados en los controladores**

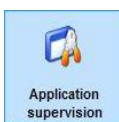
<p align="center"><b>CONTROLADOR DEL GRUPO ELECTRÓGENO</b></p> 	<p align="center"><b>CONTROLADOR DEL SISTEMA FV</b></p> 	<p align="center"><b>CONTROLADOR DE LA RED</b></p> 
<b>GENERAL</b>		
CANAL / TAG / VALOR	CANAL / TAG / VALOR	CANAL / TAG / VALOR
6001 / f / 60 Hz 6002 / P / 500 kW 6003 / I / 722 A 6004 / U / 400 V 6041 / PT primario / 400 V 6042 / PT secundario / 400 V 6043 / CT primario / 1000 A 6044 / CT secundario / 1 A 6070 / Modo operación / Gestión de potencia.	6001 / f / 60 Hz 6002 / P / 100 kW 6003 / I / 145 A 6004 / U / 400 V 6005 / Q / 111 kVAR 6006 / S / 150 kVA 6041 / PT primario / 400 V 6042 / PT secundario / 400 V 6043 / CT primario / 150 A 6044 / CT secundario / 1 A 6071 / Modo operación / Potencia fija.	6001 / f / 60 Hz 6002 / P / 660 kW 6003 / I / 953 A 6004 / U / 400 V 6041 / PT primario / 400 V 6042 / PT secundario / 400 V 6043 / CT primario / 1200 A 6044 / CT secundario / 1 A 6070 / Modo operación / Automático en fallo de red (AMF).
<b>PROTECCIÓN (HABILITADA)</b>		
CANAL / TAG	CANAL / TAG	CANAL / TAG
1030 / I >	1030 / I >	1030 / I >

<b>CONTROLADOR DEL GRUPO ELECTRÓGENO</b> 	<b>CONTROLADOR DEL SISTEMA FV</b> 	<b>CONTROLADOR DE LA RED</b> 
1040 / I > 1150 / G U > 1160 / G U > 1170 / G U < 1180 / G U < 1210 / G f > 1220 / G f > 1240 / G f < 1250 / G f < 1450 / P > 1460 / P > 1520 / -Q > 1530 / Q >	1040 / I > 1270 / BB U > 1280 / BB U > 1300 / BB U < 1310 / BB U < 1350 / BB f > 1380 / BB f <	1040 / I > 1150 / M U > 1160 / M U > 1170 / M U < 1180 / M U < 1210 / M f > 1220 / M f > 1240 / M f < 1250 / M f < 1450 / P > 1460 / P >
<b>OTROS</b>		
<b>CANAL / TAG / VALOR</b>	<b>CANAL / TAG / VALOR</b>	<b>CANAL / TAG / VALOR</b>
2781 / Salida de la GOV para regulación / Análogo 2783 / Salida de AVR para regulación / Análogo 5981 / Salida de la GOV para regulación / Transductor 66	8011 / Mínimo porcentaje de carga en el DG en modo isla / 0%	7083 / Re sincronismo / habilitado

<p style="text-align: center;"><b>CONTROLADOR DEL GRUPO ELECTRÓGENO</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>CONTROLADOR DEL SISTEMA FV</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>CONTROLADOR DE LA RED</b></p> 
<p>5991 / Salida de AVR para regulación / Transductor 71 3430 / Entrada digital / Trip+Stop</p>		

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros nominales utilizados en el sistema híbrido de generación de energía eléctrica son tomados de las fichas técnicas evidenciadas en el Anexo A. Los parámetros de protección que se habilitaron son los mínimos exigidos según el Anexo del acuerdo 1258 del 20 diciembre de 2019, del Consejo Nacional de Operación (CNO).



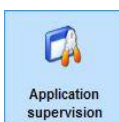
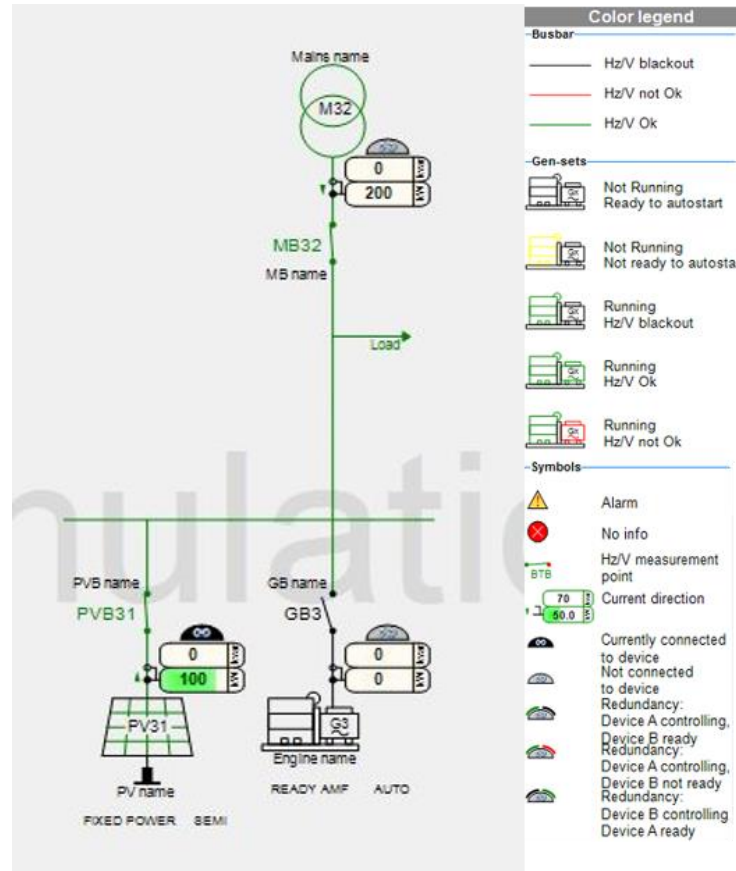

- Hacer clic en el icono , muestra el diagrama unifilar (ver Figura 9), configurado en la pestaña “*application configuration*”.

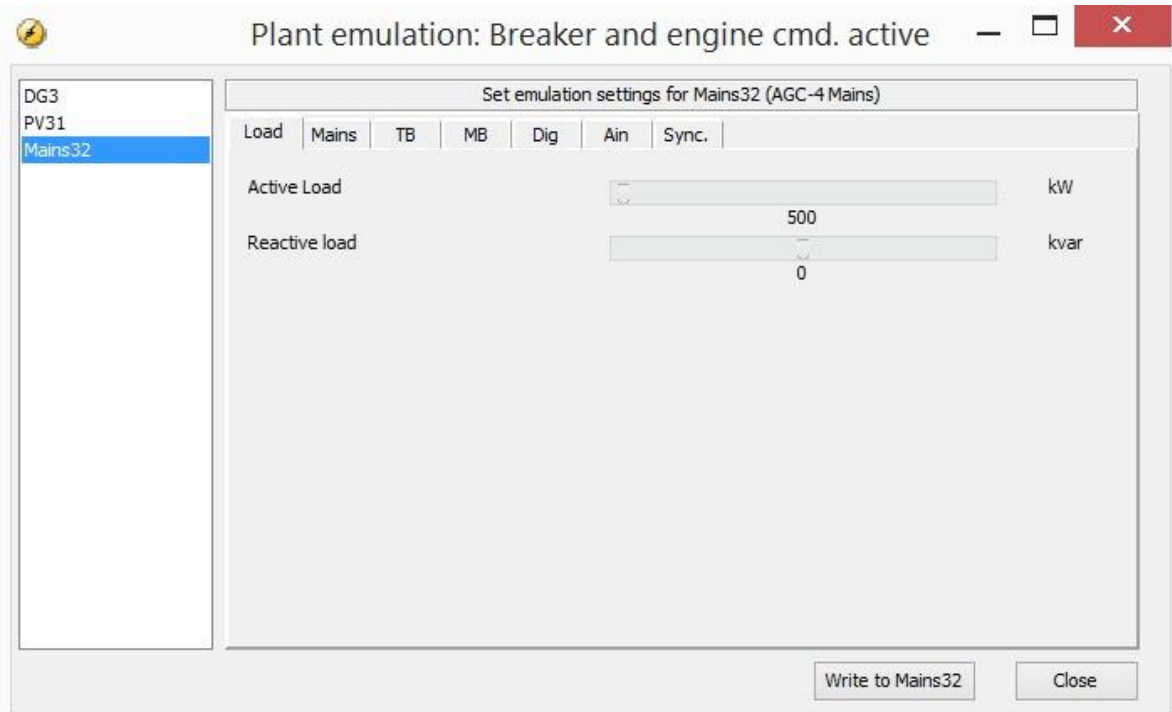
Figura 9. Lado izquierdo: Diagrama unifilar de emulación en la pestaña “*application supervision*”. Lado derecho: Leyenda según el estado del equipo



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

- Hacer clic en el icono , da apertura a la ventana de emulación “*Plant emulation*” (ver Figura 10), que permite cambiar el comportamiento del sistema de potencia mientras está siendo emulado. Esta herramienta permite cambiar datos como: carga, potencia activa, potencia reactiva, combustible, datos de sincronización como son: voltaje y frecuencia en terminales, falla en la secuencia de fases, entre otros.

**Figura 10. Ventana emulación de planta**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

## 4.2 EMULACIÓN DE FALLAS

El Cuadro 3, permite relacionar e identificar las figuras correspondientes a esquemas unifilares, parámetros configurados en la ventana de emulación, gráficas de señales de tensión, frecuencia y potencia, y alarmas actuantes en el controlador, para cada uno de los escenarios de falla emulados.

**Cuadro 3. Listado de figuras correspondientes a los escenarios de falla emulados**

	Sobrecarga en el sistema eléctrico	Pérdida de excitación	Sobretensión en la red de suministro eléctrico	Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico	Alta temperatura del líquido refrigerante del motor
Esquema unifilar inicial	Figura 11	Figura 15	Figura 11	Figura 11	Figura 15
Ventana emulación de planta	Figura 12	Figura 16	Figura 19	Figura 22	Figura 25
Esquema unifilar Respuesta del sistema	Figura 13 a)	Figura 17 a)	Figura 20 a)	Figura 23 a)	Figura 26 a)
Gráfica de señales Controlador de la red	Figura 13 b)		Figura 20 b)	Figura 23 b)	
Gráfica de señales Controlador del FV	Figura 13 c)		Figura 20 c)	Figura 23 c)	
Gráfica de señales Controlador Genset		Figura 17 b)			Figura 26 b)

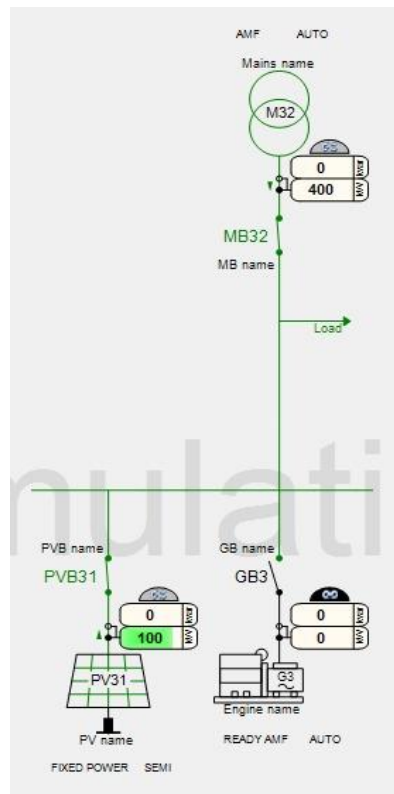
	Sobrecarga en el sistema eléctrico	Pérdida de excitación	Sobretensión en la red de suministro eléctrico	Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico	Alta temperatura del líquido refrigerante del motor
Alarmas Controlador de la red	Figura 14 a)		Figura 21 a)	Figura 24 a)	
Alarmas Controlador del FV	Figura 14 b)	Figura 18 b)	Figura 21 b)	Figura 24 b)	Figura 27 b)
Alarmas Controlador Genset		Figura 18 a)			Figura 27 a)

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.1 Emulación del 1<sup>er</sup> escenario de falla. Sobrecarga en el sistema eléctrico:

Inicialmente, el sistema opera con una carga de 500 kW (ver Figura 11). Se realiza una sobrecarga del 112% de la capacidad instalada del sistema híbrido de generación de energía eléctrica. Esto se logra, configurando el parámetro de carga activa en la ventana de 'emulación de planta' (ver Figura 12).

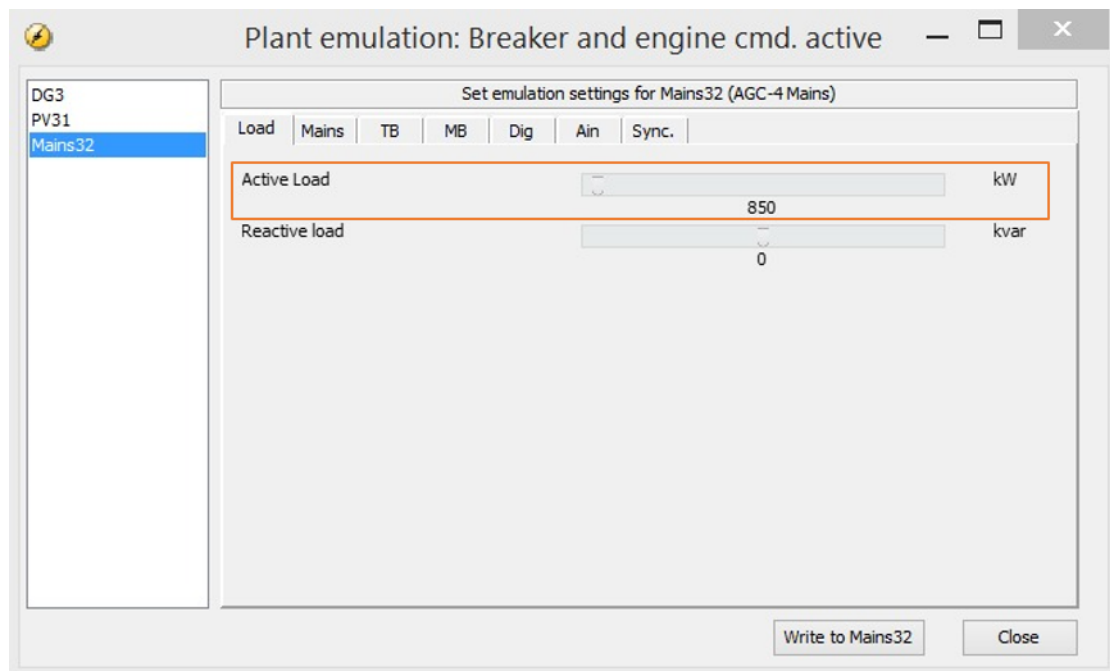
**Figura 11. Esquema unifilar del sistema de generación de energía eléctrica en funcionamiento normal para la primera, tercera y cuarta falla**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

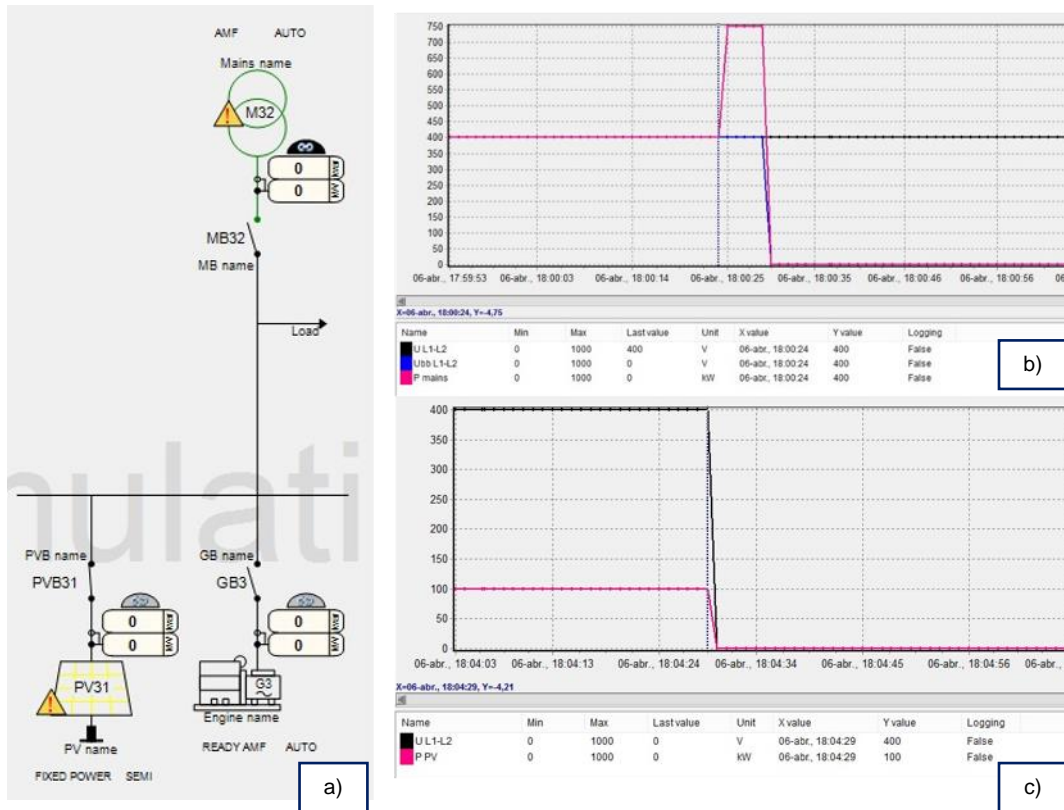
Como respuesta a la sobrecarga, el controlador AGC-4 de DEIF, envía una señal de disparo al interruptor de potencia asociado a la red, dejando sin referencia de tensión al inversor del sistema fotovoltaico, que en consecuencia sale de funcionamiento (ver Figura 13).

**Figura 12. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro carga activa del sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 13. Respuesta del sistema ante una sobrecarga en el sistema eléctrico**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 13 a), evidencia en un diagrama unifilar la respuesta del sistema ante una sobrecarga en el sistema eléctrico.

Las señales de tensión y potencia del sistema, antes, durante y después de la falla, se evidencian en la Figura 13 b) y la Figura 13 c). En la Figura 13 b), la línea azul vertical está ubicada en el instante en que ocurre la falla.

Figura 13 b): Falla vista desde el controlador de la red eléctrica de suministro energético. Figura 13 c): Falla vista desde el controlador del sistema fotovoltaico.

Adicionalmente, la Figura 13 a), deja en evidencia que solo los controladores de las fuentes que se encuentran activas son los alarmados, es decir, el controlador de la red y el controlador del sistema FV.

A continuación, las alarmas actuantes en los controladores:

**Figura 14. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobrecarga en el sistema eléctrico**

Active alarms		Alarma history
Text	Timestamp	
I> 1	2020-04-02 22:32:20.516	
P> 2	2020-04-02 22:32:24.629	

Active alarms		Alarma history
Text	Timestamp	
BB U< 1	2020-04-02 22:35:40.777	
BB U< 2	2020-04-02 22:35:40.777	
BB f< 1	2020-04-02 22:35:40.777	

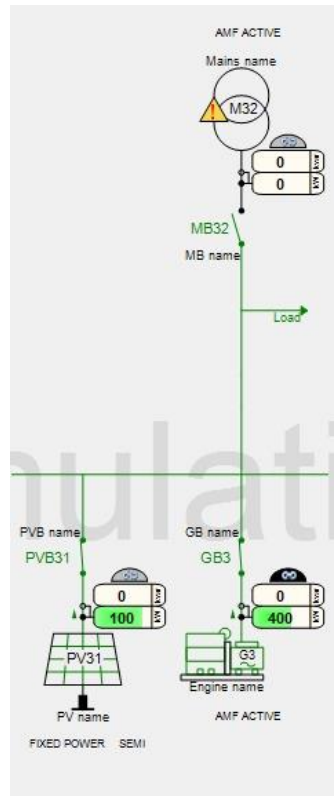
Fuente: elaboración propia.

La Figura 14 a), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador de la red, y la Figura 14 b), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del sistema fotovoltaico, ambas ante una sobrecarga en el sistema.

#### **4.2.2 Emulación del 2<sup>do</sup> escenario de falla. Pérdida de excitación:**

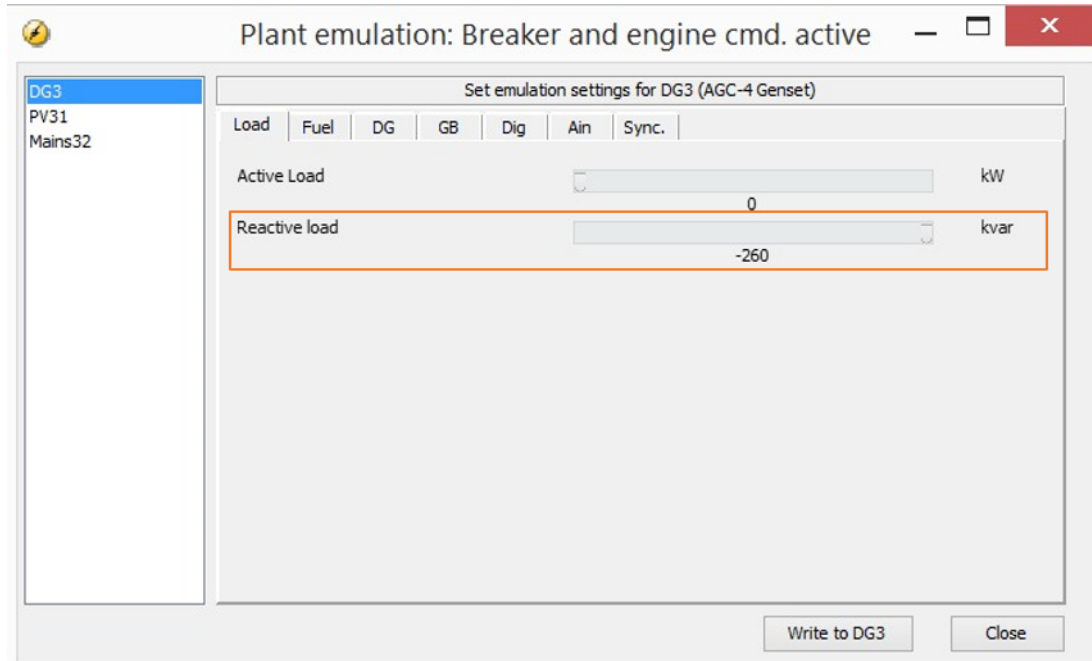
Inicialmente, el sistema opera con una carga de 500 kW sin participación de la red de suministro eléctrico (ver Figura 15). Como respuesta a la pérdida de campo de excitación, se establece en el generador un consumo del 52% de potencia reactiva, con respecto a la capacidad nominal del mismo. Esto se logra, configurando el parámetro de carga reactiva en la ventana de 'emulación de planta' (ver Figura 16).

**Figura 15. Esquema unifilar del sistema de generación de energía eléctrica en funcionamiento normal para la segunda y quinta falla**



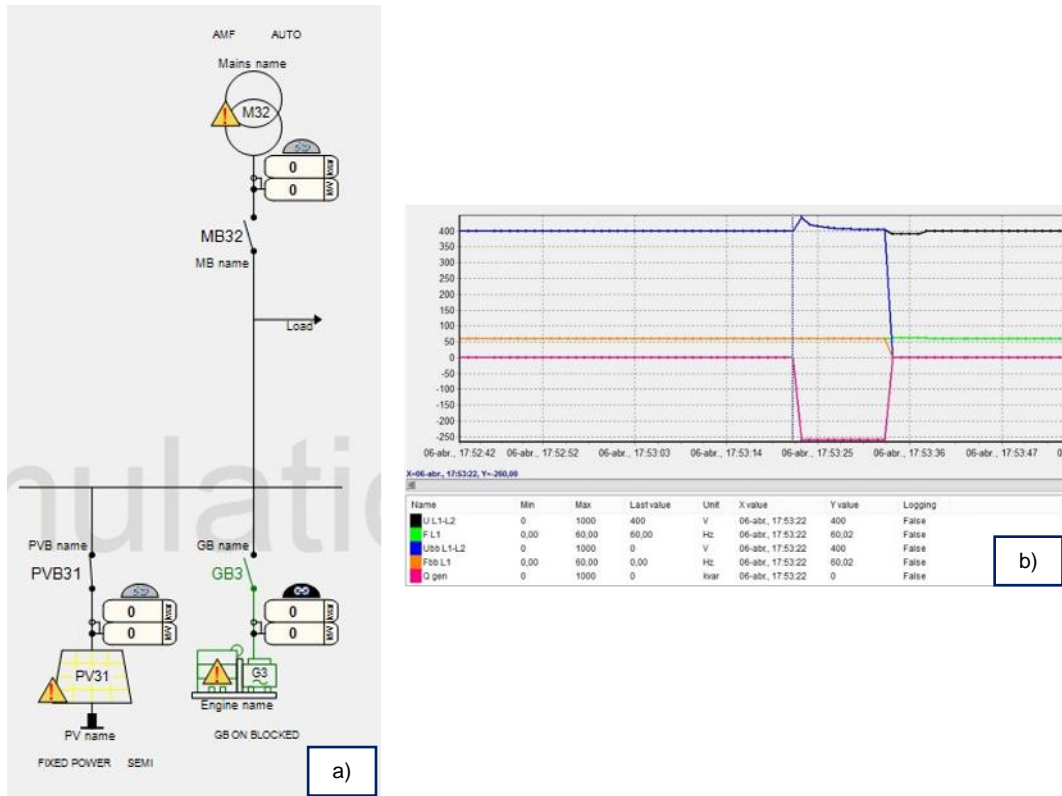
Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 16. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro de consumo de carga reactiva en el sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 17. Respuesta del sistema ante una pérdida de excitación en el generador síncrono**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 17 a), evidencia en un diagrama unifilar la respuesta del sistema ante una pérdida de excitación. La carga queda totalmente sin suministro energético, razón por la cual, el operador debe realizar un control inmediato, donde establezca los parámetros normales de generación del sistema de potencia.

Las señales de tensión, frecuencia y potencia reactiva consumida o generada por el grupo electrógeno, antes, durante y después de la falla, se evidencian en la Figura 17 b), donde la línea azul vertical, está ubicada en el instante en que ocurre la falla.

El controlador ordena la apertura del interruptor de potencia del generador, en el instante en que este empieza a consumir reactivos, dejando sin referencia el inversor del sistema FV y quedando en vacío el generador.

A continuación, las alarmas actuantes en los controladores:

**Figura 18. Alarmas arrojadas por los controladores ante una pérdida de excitación**

Figure 18 consists of two screenshots, (a) and (b), showing active alarms in a control system. Both screenshots have tabs for 'Active alarms' and 'Alarms history'. The alarm records are displayed in a table with columns for 'Text' and 'Timestamp'.

**Table a)**

Text	Timestamp
-Q-	2020-04-04 00:21:48.724

**Table b)**

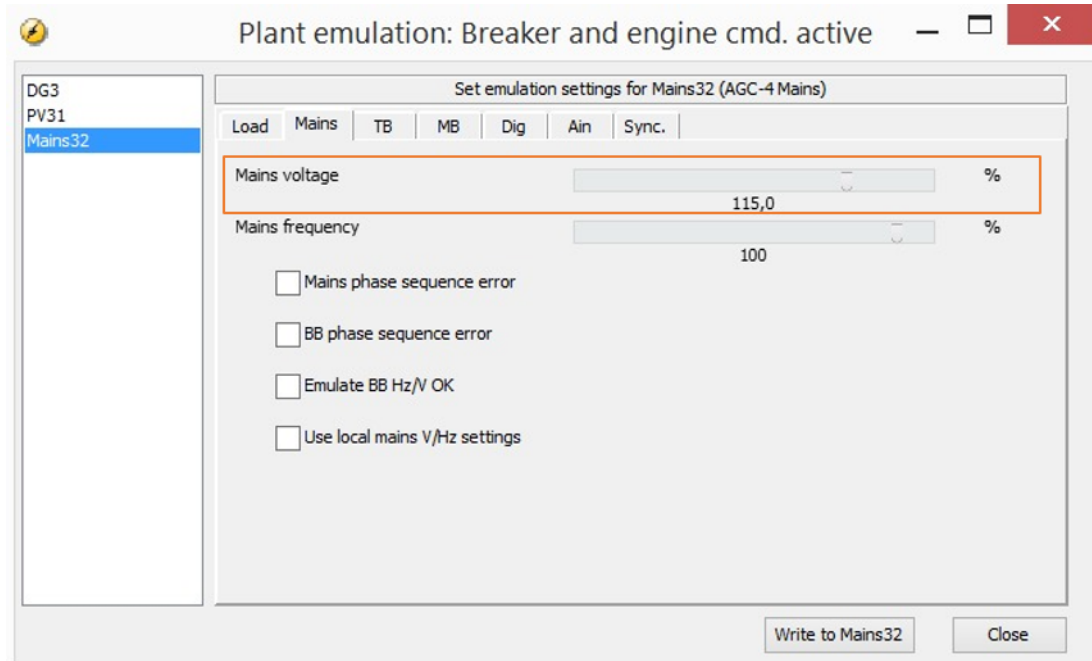
Text	Timestamp
BB U< 1	2020-04-04 00:25:54.446
BB U< 2	2020-04-04 00:25:54.446
BB f< 1	2020-04-04 00:25:54.446

Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 18 a), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del grupo electrógeno, y la Figura 18 b), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del inversor del sistema fotovoltaico, ambas ante una pérdida de excitación en el generador síncrono.

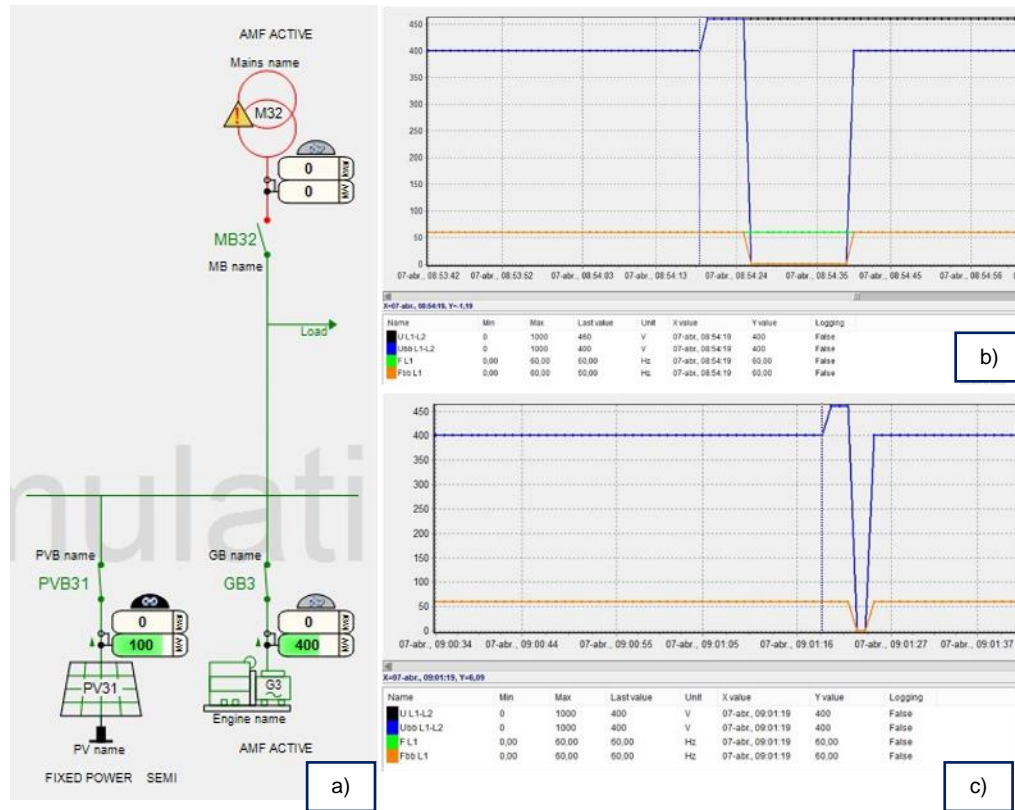
**4.2.3 Emulación del 3<sup>er</sup> escenario de falla. Sobretensión en la red de suministro eléctrico:** Inicialmente, el sistema opera con una carga de 500 kW (ver Figura 11). Se realiza una sobretensión del 115% de la tensión de servicio del sistema híbrido de generación de energía eléctrica. Esto se logra, configurando el parámetro de magnitud de tensión en la ventana de 'emulación de planta' (ver Figura 19).

**Figura 19. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro magnitud de voltaje de la red de suministro eléctrico del sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 20. Respuesta del sistema ante una sobretensión**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 20 a), evidencia en un diagrama unifilar la respuesta del sistema ante una sobretensión en la red de suministro eléctrico.

Las señales de tensión y frecuencia del sistema, antes, durante y después de la falla, se evidencian en la Figura 20 b) y la Figura 20 c), donde la línea azul vertical, está ubicada en el instante en que ocurre la falla.

Figura 20 b): Falla vista desde el controlador de la red eléctrica de suministro energético. Figura 20 c): Falla vista desde el controlador del inversor del sistema fotovoltaico.

La Figura 20, evidencia el funcionamiento del modo de operación AMF, donde el grupo electrógeno entra como respaldo, ante un fallo en la red de suministro eléctrico. Por tal razón, en operación normal, la tensión de la red y la tensión de la

barra son iguales, pero cuando ocurre la sobretensión, la red eléctrica es aislada y la tensión de la barra cae a cero. Luego de un instante de tiempo, la sobretensión permanece en la red; sin embargo, la tensión de la barra se normaliza e iguala a la tensión suministrada por el grupo electrógeno.

A continuación, las alarmas actuantes en los controladores:

**Figura 21. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobretensión**

a)

Text	Timestamp
M U> 2	2020-04-03 22:30:32.677
M U> 1	2020-04-03 22:30:37.707

b)

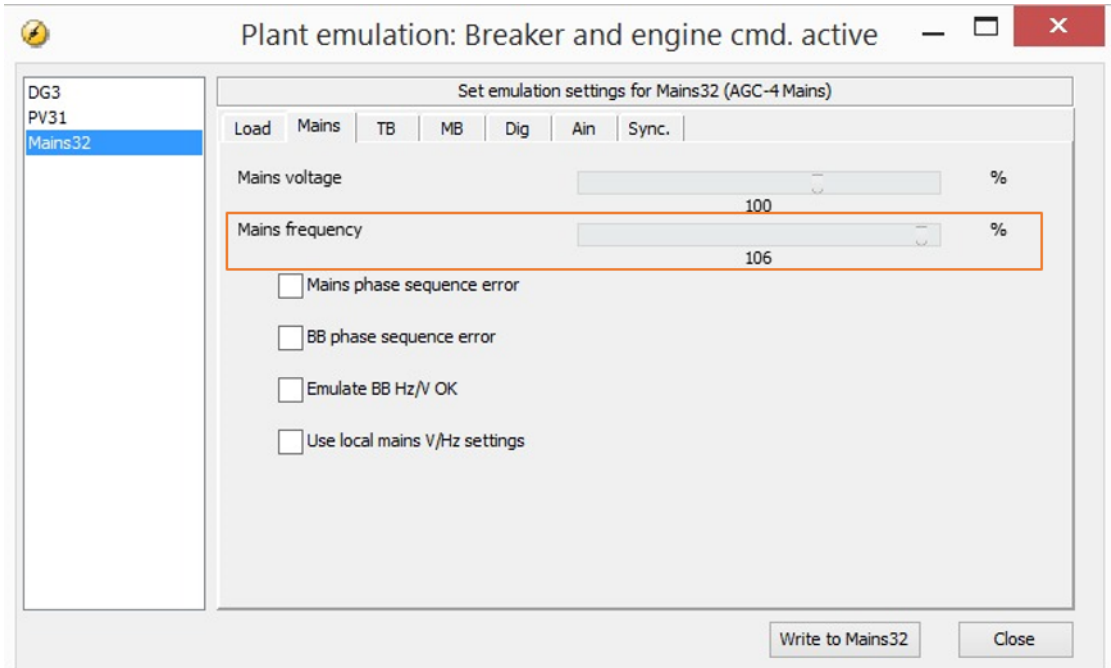
Text	Timestamp
BB U> 1	2020-04-03 22:44:24.62
BB U< 1	2020-04-03 22:44:24.62
BB U< 2	2020-04-03 22:44:24.62
BB f< 1	2020-04-03 22:44:24.62

Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 21 a), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador de la red de suministro energético, y la Figura 21 b), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del inversor del sistema fotovoltaico, ambas ante una sobretensión en la red de suministro eléctrico.

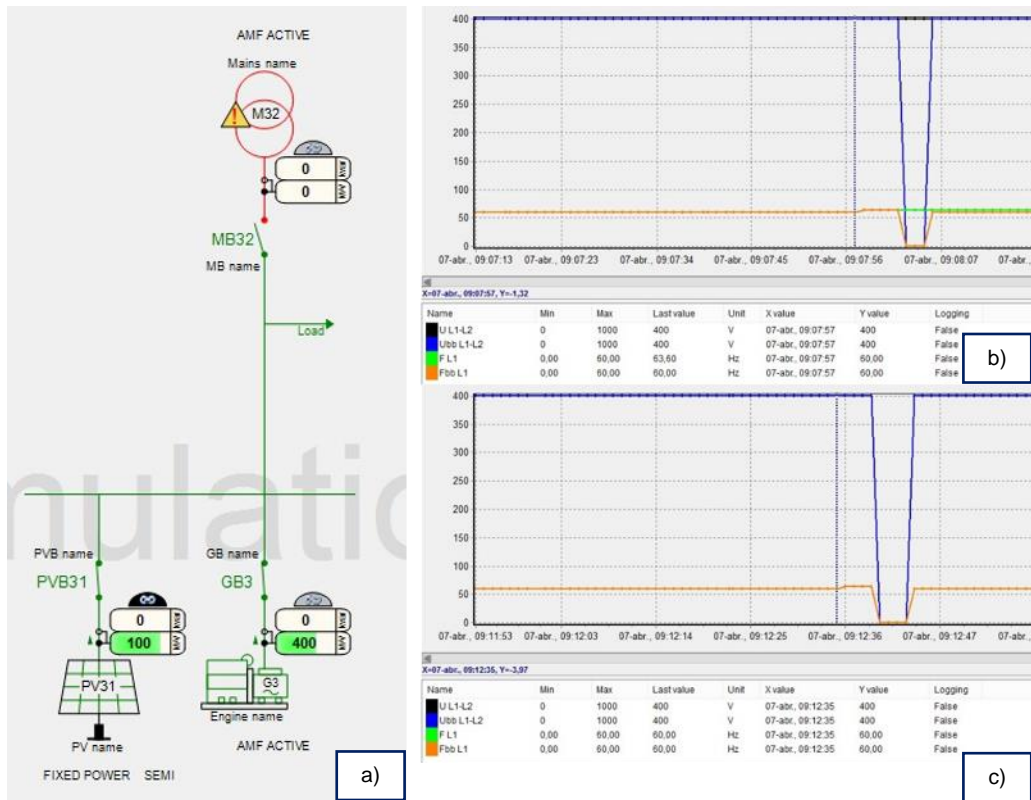
**4.2.4 Emulación del 4<sup>to</sup> escenario de falla. Sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico:** Inicialmente, el sistema opera con una carga de 500 kW (ver Figura 11). Se realiza una sobre frecuencia del 106% de la frecuencia nominal del sistema híbrido de generación de energía eléctrica. Esto se logra, configurando el parámetro de magnitud de frecuencia en la ventana de ‘emulación de planta’ (ver Figura 22).

**Figura 22. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro frecuencia de la red de suministro eléctrico del sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 23. Respuesta del sistema ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 23 a), evidencia en un diagrama unifilar la respuesta del sistema ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico.

Las señales de tensión y frecuencia del sistema, antes, durante y después de la falla, se evidencian en la Figura 23 b) y 23 c), donde la línea azul vertical, está ubicada en el instante en que ocurre la falla.

Figura 23 b): Falla vista desde el controlador de la red eléctrica de suministro energético. Figura 23 c): Falla vista desde el controlador del inversor del sistema fotovoltaico.

La Figura 23, evidencia el funcionamiento del modo de operación AMF, donde el grupo electrógeno entra como respaldo, ante un fallo en la red de suministro

eléctrico. Por tal razón, en operación normal la frecuencia eléctrica de la red y la frecuencia de la barra son iguales, pero cuando ocurre la sobre frecuencia, la red eléctrica es aislada y la frecuencia de la barra cae a cero. Luego de un instante de tiempo, la red sigue presentando una sobre frecuencia; sin embargo, la frecuencia de la barra se normaliza e iguala a la frecuencia suministrada por el grupo electrógeno.

A continuación, las alarmas actuantes en los controladores:

**Figura 24. Alarmas arrojadas por los controladores ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico**

Active alarms		Alarms history
a)		
Text	Timestamp	
BB ▷ 1	2020-04-03 23:39:27.488	

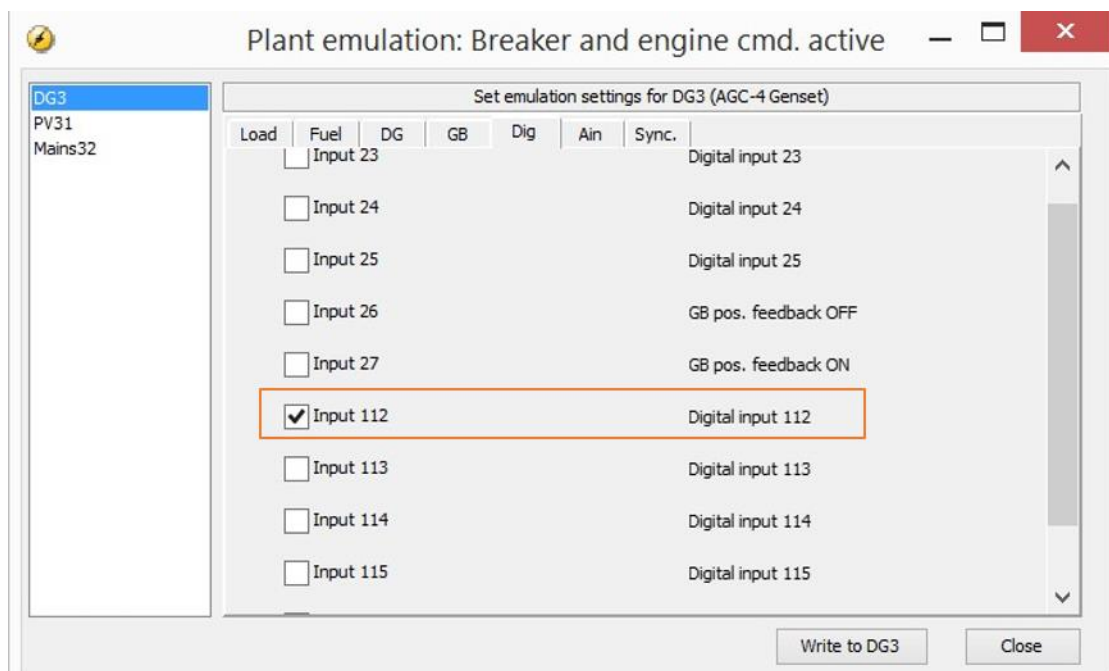
Active alarms		Alarms history
b)		
Text	Timestamp	
M ▷ 2	2020-04-03 23:27:12.312	
M ▷ 1	2020-04-03 23:27:17.457	

Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 24 a), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del inversor del sistema fotovoltaico, y la Figura 24 b), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador de la red de suministro energético, ambas ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico.

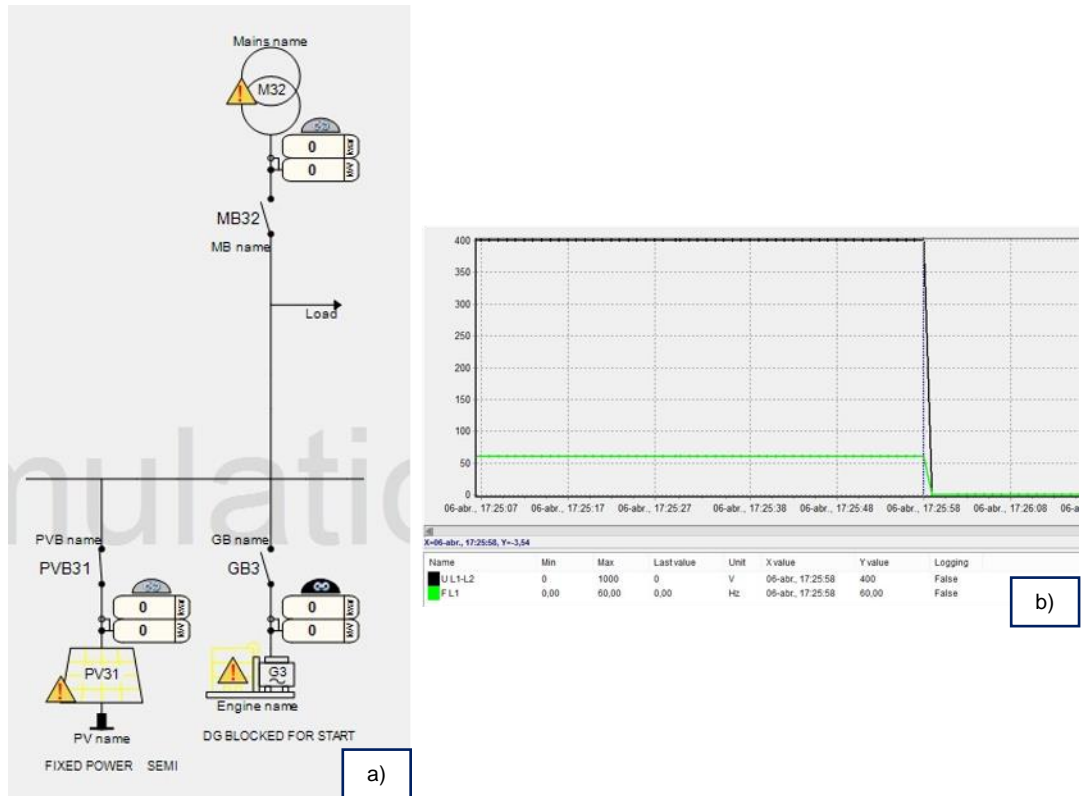
**4.2.5 Emulación del 5<sup>to</sup> escenario de falla. Alta temperatura del líquido refrigerante del motor:** Inicialmente, el sistema opera con una carga de 500 kW sin participación de la red de suministro eléctrico (ver Figura 15). Se emula una entrada digital del controlador, la cual al estar en valor alto (1), indica una temperatura del líquido refrigerante sobre la cual no puede operar el grupo electrógeno. Esto se logra, configurando el parámetro *Input 112* en la ventana de 'emulación de planta' (ver Figura 25).

**Figura 25. Ventana emulación de planta; Configuración del parámetro entrada digital en el controlador del grupo electrógeno del sistema híbrido de generación de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

**Figura 26. Respuesta del sistema ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno**



Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 26 a), evidencia en un diagrama unifilar la respuesta del sistema ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno, en donde la carga queda totalmente sin suministro energético, razón por la cual, se requiere de una respuesta rápida que normalice la generación, por parte del operador del sistema.

Las señales de tensión y frecuencia del generador síncrono, antes, durante y después de la falla, se evidencian en la Figura 26 b), donde la línea azul vertical, está ubicada en el instante en que ocurre la falla.

El controlador ordena la apertura del interruptor de potencia del grupo electrógeno, en el instante en que el motor presenta alta temperatura en el líquido refrigerante,

dejando sin referencia el inversor del sistema FV y quedando en vacío el generador.

A continuación, las alarmas actuantes en los controladores:

**Figura 27. Alarmas arrojadas por los controladores ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno**

Text	Timestamp
Dig. input 112	2020-04-06 17:27:18.785

Text	Timestamp
BB U< 1	2020-04-04 00:25:54.446
BB U< 2	2020-04-04 00:25:54.446
BB f< 1	2020-04-04 00:25:54.446

Fuente: elaboración propia, con base en el USW.

La Figura 27 a), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del grupo electrógeno, y la Figura 27 b), evidencia las alarmas arrojadas por el controlador del inversor del sistema FV, ambas ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno.

### 4.3 PROTOCOLOS DE OPERACIÓN

A continuación, se presentan las consignas de operación para cada uno de los escenarios de falla. Estas consignas de operación representan una instrucción operativa necesaria, para una operación segura y confiable del sistema eléctrico. Su ejecución, permite modificar el estado de equipos de potencia en la subestación, garantizando el funcionamiento normal del sistema de potencia.

**Advertencia:** En ningún caso, el primer paso del operador debe ser ubicarse en el panel AOP del controlador y oprimir la tecla OK. sobre la palabra ack (*acknowledge*, que traduce reconocer), ya que, al ejecutar esta acción, el controlador interpreta que la falla ha sido arreglada, con lo cual pondrá en marcha la máquina sí se encuentra en modo automático.

**Cuadro 4. Consignas de operación ante una sobrecarga en el sistema eléctrico**

SOBRECARGA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	
ALARMA EN EL CONTROLADOR DE LA RED	CONSIGNAS
<p><b>I</b> &gt; Relé instantáneo de sobreintensidad.</p> <p><b>P</b> &gt; Relé direccional de potencia.</p>	<p>El operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el interruptor de potencia asociado al sistema fotovoltaico, de forma que se garantice la protección anti-isla, para una intervención segura del operario. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla asociada a la apertura del interruptor de potencia.</li> <li>2. Realizar una inspección visual sobre el transformador de corriente, con el fin de identificar posibles conexiones defectuosas o elementos que ocasionen este tipo de falla.</li> <li>3. Inspeccionar equipos y cableado eléctrico, con el fin de identificar posibles anomalías. (Sí se detectan quemaduras en cables o terminales de equipos, se debe modificar el</li> </ol>

SOBRECARGA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	
	<p>umbral de corte del relé instantáneo de sobreintensidad).</p> <p>4. Compensar el sistema deslastrando carga.</p> <p>Una vez garantizada la ausencia de sobrecargas en el sistema eléctrico, se procede a operar el controlador:</p> <p>5. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado a la red de suministro energético y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>açk</u>. (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), cuantas veces sea necesario para hacer desaparecer las alarmas. Automáticamente el controlador dará flujo de energía hacia la carga.</p>
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL FV	CONSIGNAS
<p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra.</p> <p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra (con un umbral menor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta más rápido en segundos).</p>	<p>Una vez garantizada la ausencia de sobrecarga en el sistema, se procede a operar el controlador:</p> <p>1. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al sistema fotovoltaico y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>açk</u>. (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), cuantas veces sea</p>

SOBRECARGA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO	
<b>BB f &lt;</b> Relé de baja frecuencia en barra.	<p>necesario para hacer desaparecer las alarmas.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla asociada al cierre del interruptor de potencia.</li> <li>3. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla <i>START</i>, con lo cual el controlador pondrá en marcha la generación solar fotovoltaica.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 5. Consignas de operación ante una pérdida de excitación en el generador del grupo electrógeno**

PÉRDIDA DE EXCITACIÓN	
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL GRUPO ELECTRÓGENO	CONSIGNAS
<b>-Q &gt;</b> Relé de campo.	<p>El operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el interruptor de potencia asociado al sistema fotovoltaico, de forma que se garantice la protección anti-isla, para una intervención segura del operario. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir</li> </ol>

## PÉRDIDA DE EXCITACIÓN

la tecla asociada a la apertura del interruptor de potencia.

2. Verificar la funcionalidad del sistema de excitación del generador:

- Verificar continuidad de los fusibles que se encuentran en los circuitos de alimentación y retroalimentación del AVR.
- Revisar minuciosamente el estado del AVR. Verificar si tiene daños, tales como: rectificador defectuoso, falta de una señal de control, tiristores defectuosos, ausencia de la señal de alimentación de campo, mal estado del potenciómetro de ajuste de estabilidad, entre otros. En caso de hallar elementos defectuosos, reemplazar con repuestos según el manual de usuario del equipo.
- Calibrar el AVR. Quitar cubiertas de protección si es necesario. (No olvide reubicarlas nuevamente).
- Medir la resistencia óhmica y la resistencia de aislamiento en los bobinados del rotor, para descartar un cortocircuito o circuito abierto. (Realizar las medidas con instrumentos independientes, no los incluidos en el panel).
- En caso de grupo electrógeno sin PMG (Generador de imanes permanentes), se

## PÉRDIDA DE EXCITACIÓN

debe verificar que el voltaje residual esté equilibrado y tenga la magnitud de voltaje esencial para hacer funcionar el AVR, este proceso se describe como sigue<sup>26</sup>:

- I. Desconectar y aislar los cables de potencia del generador.
- II. Desconectar los cables del AVR y protegerlos.
- III. Arrancar el generador en vacío. (Estar pendiente si se hace necesario usar el botón de PARADA DE EMERGENCIA).
- IV. Medir el voltaje de línea en los bornes de salida del generador. (Ese es el voltaje residual).
- V. Registrar las medidas para el análisis.

Una vez garantizada la ausencia de falla en el sistema de excitación del grupo electrógeno, se procede a operar el controlador:

3. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al grupo electrógeno y oprimir la tecla OK. sobre la palabra ack (*acknowledge*, que traduce reconocer), con lo cual la alarma del controlador desaparece y

<sup>26</sup> STAMDFORD. Alternadores Stamford Localización De Fallas. A054E990. [s.d]. p 11.

PÉRDIDA DE EXCITACIÓN	
	automáticamente dispone en marcha el grupo electrógeno nuevamente.
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL FV	CONSIGNAS
<p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra.</p> <p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra (con un umbral menor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta más rápido en segundos).</p> <p><b>BB f &lt;</b> Relé de baja frecuencia en barra.</p>	<p>Una vez garantizada la ausencia de falla en el sistema de excitación del grupo electrógeno, se procede a operar el controlador:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al sistema fotovoltaico y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>ack</u>. (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), cuantas veces sea necesario para hacer desaparecer las alarmas.</li> <li>2. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla asociada al cierre del interruptor de potencia.</li> <li>3. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla <i>START</i>, con lo cual el controlador pondrá en marcha la generación solar fotovoltaica.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 6. Consignas de operación ante una sobretensión en la red de suministro eléctrico**

<b>SOBRETENSIONES EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO</b>	
<b>ALARMA EN EL CONTROLADOR DE LA RED</b>	<b>CONSIGNAS</b>
<p><b>M U &gt;</b> Relé de sobretensión en la red.</p> <p><b>M U &gt;</b> Relé de sobretensión en la red (con un umbral mayor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta más rápido en segundos).</p>	<p>En este tipo de falla (Fallas en la red), el operador no debe realizar maniobras sobre el controlador asociado a la red de suministro energético.</p> <p>Una vez restablecidos los valores normales de operación de la red de suministro energético, automáticamente el controlador sincroniza la red con el grupo electrógeno, evitando un segundo cruce por cero o interrupción de suministro, e inicia la transferencia de carga hacia la red.</p> <p>El operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consultar con el operador de red la falla en cuestión.</li> <li>2. Realizar una inspección visual sobre el transformador de potencia, con el fin de identificar posibles conexiones defectuosas o elementos que ocasionen este tipo de falla. Si el transformador cuenta con cambiador de tomas, revisar la posición en la que se</li> </ol>

SOBRETENSIONES EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	
	<p>encuentra.</p> <p>3. Realizar una inspección visual sobre los transformadores de tensión, con el fin de identificar conexiones defectuosas o elementos que ocasionen este tipo de fallas.</p>
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL FV	CONSIGNAS
<p><b>BB U &gt;</b> Relé de sobretensión en barra.</p> <p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra.</p> <p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra (con un umbral menor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta más rápido en segundos).</p> <p><b>BB f &lt;</b> Relé de baja frecuencia en barra.</p>	<p>Ocurrida la falla y restablecido el nivel de tensión en la barra, el operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al sistema fotovoltaico y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>ack</u>. (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), cuantas veces sea necesario para hacer desaparecer las alarmas.</li> <li>2. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla <i>START</i>, con lo cual el controlador pondrá en marcha la generación solar fotovoltaica.</li> </ol> <p>Una vez restablecidos los valores normales de operación de la red de suministro energético, automáticamente el controlador sincroniza la red</p>

SOBRETENSIONES EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	
	con el grupo electrógeno, evitando un segundo cruce por cero o interrupción de suministro, con lo cual, el sistema fotovoltaico no pierde la referencia de tensión que necesita para su funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 7. Consignas de operación ante una sobre frecuencia en la red de suministro eléctrico**

SOBRE FRECUENCIA EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	
ALARMA EN EL CONTROLADOR DE LA RED	CONSIGNAS
<p><b>M f &gt;</b> Relé de alta frecuencia en la red.</p> <p><b>M f &gt;</b> Relé de alta frecuencia en la red (con un umbral mayor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta más rápido en segundos).</p>	<p>En este tipo de falla (Fallas en la red) el operador no debe realizar maniobras sobre el controlador asociado a la red de suministro energético.</p> <p>Una vez restablecidos los valores normales de operación de la red de suministro energético, automáticamente el controlador sincroniza la red con el grupo electrógeno, evitando un segundo cruce por cero o interrupción de suministro e inicia la transferencia de carga hacia la red.</p> <p>El operador debe:</p>

SOBRE FRECUENCIA EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Consultar con el operador de red la falla en cuestión.</li> <li>2. Realizar una inspección visual sobre el transformador de potencia, con el fin de identificar posibles conexiones defectuosas o elementos que ocasionen este tipo de falla.</li> </ol>
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL FV	CONSIGNAS
<p><b>BB f &gt;</b> Relé de alta frecuencia en barra.</p>	<p>Ocurrida la falla y restablecido el nivel de frecuencia en la barra, el operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al sistema fotovoltaico y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>ack</u>. (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), con lo cual la alarma desaparece.</li> <li>2. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla <i>START</i>, con lo cual el controlador pondrá en marcha la generación solar fotovoltaica.</li> </ol> <p>Una vez restablecidos los valores normales de operación de la red de suministro energético, automáticamente el controlador sincroniza la red</p>

SOBRE FRECUENCIA EN LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	
	con el grupo electrógeno, evitando un segundo cruce por cero o interrupción de suministro, con lo cual, el sistema fotovoltaico no pierde la referencia de tensión y frecuencia que necesita para su funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 8. Consignas de operación ante alta temperatura en el líquido refrigerante del motor del grupo electrógeno**

ALTA TEMPERATURA DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE	
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL GRUPO ELECTRÓGENO	CONSIGNAS
Dig. Input 112	<p>El operador debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Abrir el interruptor de potencia asociado al sistema fotovoltaico, de forma que se garantice la protección anti-isla, para una intervención segura del operario. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla asociada a la apertura del interruptor de potencia.</li> </ol>

## ALTA TEMPERATURA DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE

2. Inspeccionar el estado del sistema de refrigeración<sup>27</sup>:

- Revisar que el sensor de temperatura funcione adecuadamente. (La medida del sensor se puede contrastar con la medida de temperatura del líquido refrigerante, hecha con un termómetro infrarrojo digital).
- Verificar que el nivel del líquido refrigerante esté en los límites de operación establecidos, según la hoja de datos del fabricante.
- Drenar de forma adecuada y reemplazar el líquido refrigerante, sí en la inspección visual se evidencian partículas contaminantes. (Tener en cuenta el líquido refrigerante especificado por el fabricante).
- Revisar el estado eléctrico y mecánico de las bombas de circulación del líquido refrigerante.
- Verificar y garantizar la ausencia de fugas.
- Verificar que no haya saturación, debido a corrosión en la vía de circulación del líquido refrigerante.
- Un caso poco probable, es que se dé una fuga al interior del grupo electrógeno y que no

<sup>27</sup> COPOWER LIMITADA. Manual de instalación de grupos electrógenos a gas natural. Bucaramanga, Colombia: 2014. p 45-47.

ALTA TEMPERATURA DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE	
	<p>se perciba con una simple inspección. Para ello, el operario debe remitir la máquina a un mantenimiento correctivo, evitando de esta forma, que el fallo por alta temperatura en el líquido refrigerante del motor pueda ocasionar daños irreversibles en el mismo.</p> <p>Una vez garantizada la ausencia de falla en el sistema refrigerante del grupo electrógeno, se procede a operar el controlador:</p> <p>3. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al grupo electrógeno y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>ack</u> (<i>acknowledge</i>, que traduce reconocer), con lo cual la alarma del controlador desaparece y automáticamente el controlador pondrá en marcha el grupo electrógeno nuevamente.</p>
ALARMA EN EL CONTROLADOR DEL FV	CONSIGNAS
<p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra.</p> <p><b>BB U &lt;</b> Relé de mínima tensión en barra (con un umbral menor en porcentaje (%) y un tiempo de respuesta</p>	<p>Una vez garantizada la ausencia de falla en el sistema refrigerante del grupo electrógeno, se procede a operar el controlador:</p> <p>1. Ubicarse en el panel AOP del controlador asociado al sistema fotovoltaico y oprimir la tecla OK. sobre la palabra <u>ack</u>. (<i>acknowledge</i>,</p>

## ALTA TEMPERATURA DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE

más rápido en segundos).

**BB f <** Relé de baja frecuencia en la barra.

que traduce reconocer), cuantas veces sea necesario para hacer desaparecer las alarmas.

2. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla asociada al cierre del interruptor de potencia.
3. En el panel AOP asociado al sistema fotovoltaico, oprimir la tecla *START*, con lo cual el controlador pondrá en marcha la generación solar fotovoltaica.

Fuente: elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

- Para modificar asertivamente los parámetros que permiten evaluar el impacto de una falla en un sistema de generación de energía eléctrica, es necesario entender las características que definen la herramienta de emulación USW y el controlador AGC-4 de DEIF.
- La descripción del desempeño del sistema híbrido ante escenarios de falla evidencia la necesidad de implementar sistemas de control eficientes, como es el controlador AGC-4 de DEIF, el cual incorpora funciones que le permiten actuar de inmediato, como medida de protección del sistema eléctrico.
- El análisis de escenarios de falla en un sistema híbrido, mediante la utilización de la herramienta de emulación USW, en conjunto con el controlador AGC-4 de DEIF, permitió postular y evaluar consignas de operación con una respuesta rápida y eficaz.
- Las consignas de operación definidas no representan la solución a todos los tipos de fallas que pueden presentarse en un sistema híbrido de generación de energía eléctrica; es importante resaltar que el operador debe contar con un perfil profesional apto para enfrentar situaciones de falla en el sistema de generación de energía eléctrica.
- Las consignas de operación son únicas para cada falla en el sistema de generación, siendo dependientes de factores como, el número de controladores y el modo de operación del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

BANSAL, R. C. Y BHATTI, T. S. *Small signal analysis of isolated hybrid power systems: reactive power and frequency control analysis*. Oxford, Inglaterra: Alpha Science International Ltda, 2008. 240 p. ISBN 9781842654804.

CÉSPEDES, Renato; RESTREPO, Bernardo y ROA, Hernando. Deslastre de cargas en sistemas de potencia. *Ingeniería e investigación*. 1984. Issue 10. p. 30-34. ISSN 2248872

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIONES (CON). Anexo. Acuerdo 1258 Por el cual se actualiza el documento "Requisitos de Protecciones para la conexión de Sistemas de Generación en el SIN". Bogotá, Colombia. 2019. 17 p.

COPOWER LIMITADA. Manual de instalación de grupos electrógenos a gas natural. Bucaramanga, Colombia: 2014. 48 p.

DEIF A/S. Controlador Automático de Grupo(s) Electrónico(s), AGC-4. B00368-270815. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 2 p.

DEIF A/S. Hoja de datos. ASC-4, controlador sostenible automático enlace entre plantas sostenibles y convencionales. 4921240529D. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 13 p.

DEIF A/S. Hoja de datos. Controlador automático de grupo electrónico, AGC-4. 4921240400R. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 26 p.

DEIF A/S. Manual del operador. Controlador Automático de Grupo Electrónico, AGC-4. 4189340839B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 24 p.

DEIF A/S. Manual de consulta del proyectista. Controlador Automático de Grupo Electrónico, AGC-4. 4189341141B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 260 p.

DEIF A/S. *Multi-line 2 application. Getting started - USW 3.x.* 4189340867B. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 20 p.

DEIF A/S. *Multi-line 2 application notes. The DEIF Emulation Tool.* 4189340932A. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 20 p.

DEIF A/S. *Land Power.* Guía de aplicación. [Catálogo]. ca. 2018. 189 p.

DEIF A/S. *Parameter list. Automatic genset controller, AGC-4.* 4189340688P. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 217 p.

DEIF A/S. *Quick start guide. Automatic genset controller, AGC-4.* 4189340689D. Frisenborgvej, Dinamarca: [s.f]. 26 p.

GURU, Bhag S. y HIZIROGLU, Huseyn R. Máquinas eléctricas y transformadores. Traducido del inglés por Javier Enrique BRITO. 3 ed. México: universidad iberoamericana, 2003. 699 p. ISBN 9789706136732.

IEEE STANDARDS COORDINATING COMMITTEE 21. *IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.* Nueva York, EE.UU. 2008. 207 p.

IRMIA, A. *DEIF solution for hybrid power plant*. [Diapositivas]. 2019. 26 diapositivas.

IRIMIA, A. *Operation Modes*. [Diapositivas]. 2019. 113 diapositivas.

PALOMARES ANSELMO, Jim. *Motores de combustión interna I*. Lima, Peru: 2007. 253 p. Partida Registral N° 00268 – 2007.

RAMIREZ, Carlos Felipe. *Introducción a los relés de protección*. 2 ed. Medellín, Colombia: Mejía Villegas S.A y Universidad Pontificia Bolivariana, 1987. 518 p.

RAMIREZ, Carlos Felipe. *Subestaciones de Alta y extra alta tensión*. 2 ed. Medellín, Colombia: Mejía Villegas S.A, 2003. 778 p. ISBN 9583352950.

STAMDFORD. *Alternadores Stamford Localización De Fallas*. A054E990. [s.d]. 78 p.