

del 21 al 25 de noviembre de 2016  
**18 CONVENCIÓN CIENTÍFICA**  
**DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
PALACIO DE CONVENCIONES DE LA HABANA

**52**  
ANIVERSARIO  
**cujae**

## **“PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LAS CENTRALES DIESEL MTU SINCRONIZADAS AL SEN. CASO DE ESTUDIO”.**

**MsC. Emilio Francesena Bacallao<sup>1</sup>. Ing. Onel Aguiar Padilla<sup>2</sup>. Ing. Yasmani Cabrera González<sup>2</sup>. Otros<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Estudios Electroenergéticos. Univ. Central Marta Abreu de Las Villas. [emiliof@uclv.edu.cu](mailto:emiliof@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup>Empresa Eléctrica Villa Clara.

<sup>3</sup>Geysel Villa Clara y Cienfuegos.

<sup>1</sup>[emiliof@uclv.edu.cu](mailto:emiliof@uclv.edu.cu)

### **RESUMEN**

Las protecciones de las centrales de generadores diésel y su interconexión al Sistema Eléctrico Nacional, deben tener en cuenta algunos aspectos que pueden variar en la generación distribuida respecto a las protecciones usadas tradicionalmente, para que ambas partes funcionen con selectividad y coordinación, evitando operaciones incorrectas o consecuencias indeseables de fallas en el generador o en el sistema.

Este trabajo analiza la aplicación y respuesta de las protecciones situadas en la localidad de los generadores en las centrales diesel MTU y su interacción al conectarse al sistema, así como chequeos de sensibilidad y comprobación de operación selectiva dentro de la batería y con la interconexión al sistema.

Después de algunas experiencias en la explotación de estas unidades en Cuba, se toma como caso de estudio un ejemplo típico de baterías diésel acopladas a una subestación en nodos de generación, donde se realiza el cálculo de los niveles de cortocircuitos mediante el software PSX, así como el uso del Matlab para analizar la respuesta selectiva de las protecciones.

Se arriba a conclusiones y se emiten recomendaciones generales importantes, para análisis de las protecciones actuales y comparación con la de nuevos grupos similares o generación distribuida en general.

**PALABRAS CLAVES:**protecciones, generadores diésel, interconexión.

### **ELECTRIC PROTECTIONS OF THE DIESEL GENERATORS MTU SYNCHRONIZED TO THE ENS. STUDY CASE.**

### **ABSTRACT**

The protections of the diesel generators stations and his interconnection to the Electric National System, must take some aspects that its can vary in the generation distributed in relation to protections used traditionally, in order that both parts work with selectivity and coordination, avoiding incorrect operations or undesirable outcome of faults in the generator or in the system.

This work examines application and answer of protections at the locality of generators in the diesel plant MTU and his interaction when to connect to the system, as well as checkups of sensibility and checking of selective operation within the battery and with the interconnection.

After some experiences in the exploitation of these units in Cuba, takes like case of study a typical example of batteries of diesel generators coupled to substation in nodes of generation, where the software PSX is necessary to the calculation of the short circuits levels, as well as the use of the Matlab to analyze the selective answer of protections.

In this work, arrive to conclusions and to emit general important recommendations, for analysis of protections and comparison with new similar groups or generation distributed in general.

**KEY WORDS:** protections, generators diesel, interconnection



transformador de interconexión. Los objetivos específicos de un sistema de protección de interconexiones de plantas con GD, así como las funciones de protección necesarias para lograr cada objetivo, se resumen en la tabla 1. [3,5,6,8,9,11]

Tabla 1. Objetivo y función de la protección de interconexión.

Objetivo de la Protección	Función de Protección a emplear
Detección de la pérdida de operación en paralelo con el sistema.	81O/U, 81R, 27/59, Disparo Transferido, Salto de Vector.
Detección de alimentación de fallas	Fallas de Fase: 51V, 67, 21 Fallas a Tierra: 51N, 67N, 59N, 27N
Detección condiciones perjudiciales en el sistema	47, 46
Detección de flujo de potencia anormal	32
Restablecimiento o Recierre	25

### Características de los esquemas de protección para las unidades usadas en las Baterías Diésel MTU en Cuba.

En Cuba por lo general, los generadores diesel MTU de 2360 kVA se encuentran conectados en baterías de ocho máquinas, con sus respectivos transformadores de 2500 kVA, los cuales transforman el voltaje de 480V que entregan los generadores a una barra de 13,8 kV, como se muestra en la figura 2.

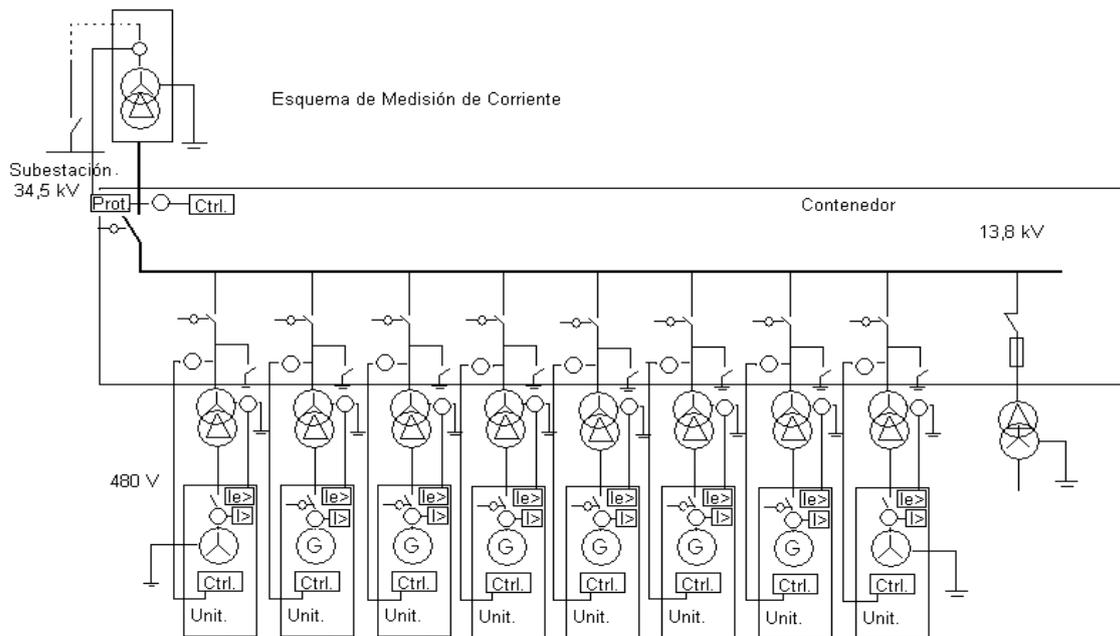


Figura 2. Esquema General con Grupos de Conexión.

La figura 3 muestra la ubicación de cada una de las protecciones utilizadas en la batería, tanto las que protegen directamente al generador como a la subestación de interconexión y su unión al SEN.

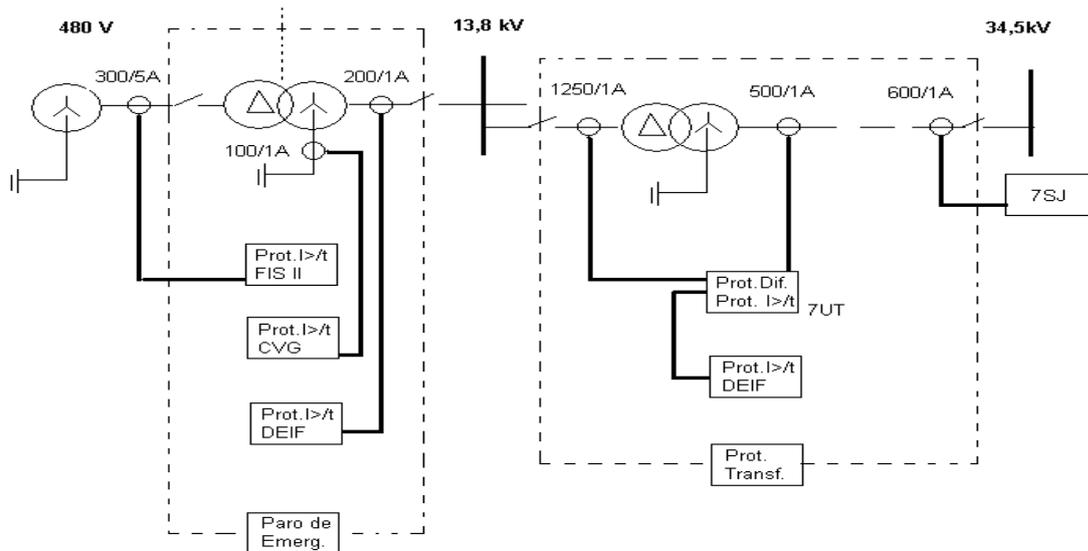


Figura 3 Esquema de Protección del grupo.

Los generadores de estos grupos electrógenos se encuentran protegidos por los dispositivos Unidad de Control Deif, Unidad FIS II y Relé de falla a tierra.

La tabla 2 que se muestra a continuación ofrece los ajustes típicos de las funciones de protecciones de la Unidad de Control Deif y del Relé de Protección de falla a tierra, e indica las acciones que desencadenan al operar.

Tabla 2. Ajuste de las protecciones del generador.

Función	Referencia	Tiempo	Habilitación	Función que realiza
Sobre carga 1	111%	100 s	Conectado	Desconexión + Parada
Sobre carga 2	110%	5 s	Desconectado	
Baja frecuencia 1	95%	12 s	Activado	Aviso
Baja frecuencia 2	92.5%	1 s	Activado	Desconexión + Parada
Sobre frecuencia 1	107%	0.5 s	Conectado	Parada
Sobre frecuencia 2	105%	12 s	Conectado	Aviso
Bajo voltaje 1	90%	2 s	Activado	Aviso
Bajo voltaje 2	83%	1 s	Activado	Parada
Sobre voltaje 1	110%	2 s	Conectado	Aviso
Sobre voltaje 2	115%	1 s	Conectado	Parada
Sobrecorriente instantánea 1	150%	2 s	Conectado	Parada
Sobrecorriente instantánea 2	250%	2 s	Conectado	Parada
Sobre corriente 1	112%	100 s	Conectado	Desconexión + Parada
Sobre corriente 2	120%	5 s	Conectado	Desconexión + Parada
Salto de Vector	10 grados		Desconectado	
df/dt (ROCOF)	5 Hz		Desconectado	Disp. BG
Desbalance de voltaje	20%	10 s	Conectado	Disp. + Parada
Desbalance de corriente	50%	5 s	Conectado	Disp. + Parada
Falla a tierra transform. (Ie)	60 % $I_{nTC}$	0.1 s	Conectado	Desconexión + Parada
Falla aislamiento (480V)		3 s	Conectado	Aviso

La Unidad FIS II cuenta con dos relé uno que responde a las características térmicas de la máquina y otro de sobrecorriente ajustado a un 250% In con tiempo de disparo de 1,5 segundos, por lo que responde a corrientes superiores o iguales a 7100 A.

### **Análisis general de la filosofía de operación de las protecciones de sobrecorriente.**

Después de analizar los esquemas actuales y ajustes de las protecciones dadas por el fabricante, se emitieron las siguientes consideraciones:

- Los TC a los que está conectada la protección de la Unidad FIS II están situados a la salida y no al neutro del generador, lo que hace que se necesite contribución exterior para detectar una falla dentro de la máquina, debido a esto la misma queda prácticamente sin protección durante el tiempo en que no ha sincronizado con el sistema o recibe contribución de otra máquina.
- Las dos protecciones de sobrecorriente instantánea (disparo más rápido) con distintos ajuste de corriente responden al mismo tiempo, lo que no debe ser.
- Como el generador no tiene protección direccional de sobrecorriente (67) es necesario protegerlo diferencialmente con (87G), ya que en las bibliografías consultadas se recomienda para generadores mayores a 1 ó 2MVA.

### **Análisis de la respuesta de protecciones de los generadores de las baterías y su interacción en el sistema.**

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente se tomó como ejemplo la batería instalada en el municipio Cruces de la provincia de Cienfuegos. Esta se encuentran situada muy cercana a la subestación Cruces 110/34,5 kV y conectada a la barra de 34,5 kV de la misma. Además se analizaron las tres configuraciones en las que puede operar dicha central:

- ✓ Batería conectada con el sistema a través de la subestación Cruces 110/34.5 kV.
- ✓ Batería en isla.
- ✓ Batería conectada con el sistema a través de un enlace 34.5 kV con la barra de la subestación de la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes.

Para chequear la sensibilidad de las protecciones fue necesario auxiliarse del programa PSX EXPLORER versión 2.81 y obtener los valores de cortocircuito en barras y en líneas, en los tres casos en que la batería interviene en la generación, emitiendo las siguientes consideraciones:

- Al realizar cortocircuitos trifásicos, bifásicos, bifásicos a tierra y monofásicos en los tres casos en que la batería interviene en la generación, se comprobó que la protección de sobrecorriente con disparo más rápido deja de ser sensible en los lados de baja tensión de los transformadores de distribución, debido a que esta protección tiene un ajuste de 150% In por lo que responde a una corriente de 145,5 A y al cortocircuitar por baja en estos lugares, la Unidad de Control Deif mide valores inferiores.
- Para el caso de la protección de bajo voltaje ocurre lo mismo, en estos casos la Unidad de Control Deif mide voltajes superiores al 83% Vn a los que está ajustada dicha protección, es decir mayor que 11,5 kV, pero existen algunos transformadores en que esta condición no se cumple.
- En el caso en que la batería se encuentra en isla la protección de sobrecorriente es sensible para los cuatro tipos de cortocircuitos a lo largo de toda la red.
- Al realizar cortocircuitos en los tres casos en que la batería interviene en la generación, se comprobó que la protección de sobrecorriente del FIS II, en general deja de ser sensible en los lados de baja tensión de los transformadores de las subestaciones de distribución.

### **Coordinación de las protecciones.**

Con los datos obtenidos del cálculo de los cortocircuitos, el ajuste de las protecciones y su filosofía de disparo, se chequea la coordinación selectiva de las protecciones en tiempo o por corriente.

No es necesaria la coordinación en cada bloque generador – transformador porque es intrascendente que el bloque salga por la protección FIS II, Deif del generador o de falla a tierra, al no ser para analizar donde ocurrió la falla.

Entonces se muestra primeramente la coordinación entre los dispositivos de protección dentro de la batería referidos a 13,8 kV, como se muestra en la figura 4, donde la Unidad de Control Deif del transformador de interconexión (analizada en un trabajo similar) tiene un ajuste de: 1087 A =1,6 s

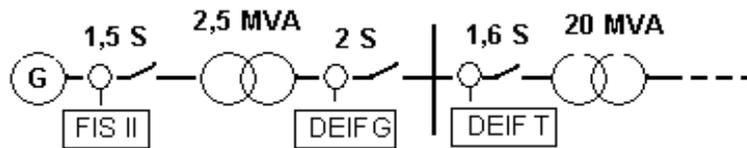


Figura 4. Esquema simplificado de Protección de la Batería.

La figura 5 muestra como responden las protecciones al ocurrir un cortocircuito en el generador, se puede apreciar que la protección FIS II responde primero y en el caso de fallar, la del Deif del generador que debería respaldarla opera después que el Deif del transformador de interconexión, lo que ocasiona que se desconecte la batería del sistema innecesariamente y no solo el bloque fallado.

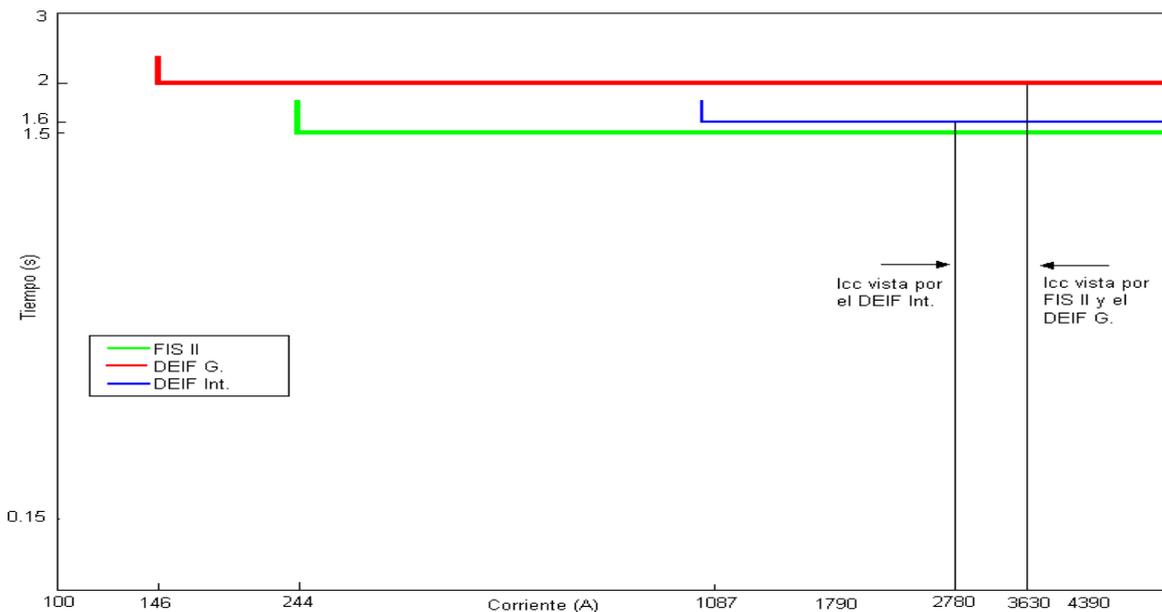


Figura 5. Esquema de coordinación de las protecciones del generador con las demás protecciones para un cortocircuito en el generador.

Al ocurrir una falla en las barras de 13,8 kV o en el transformador de interconexión el FIS II no coordina con el del DEIF del generador ya que para este tipo de falla debe responder primero el DEIF, por lo que debería existir direccionalidad en esta unidad para lograr un mejor ajuste de las protecciones en el sentido del generador y hacia el sistema, ya que el FIS II no le llega señal de voltaje y por lo tanto no se le puede implementar dicha función.

En la figura 6 se muestran los valores de cortocircuitos vistos por las protecciones al ocurrir una falla a la salida del interruptor totalizador en la barra de interconexión de los transformadores de 2,5 MVA con el de 20 MVA, donde se observa que el FIS II no coordina con el del DEIF del transformador de interconexión

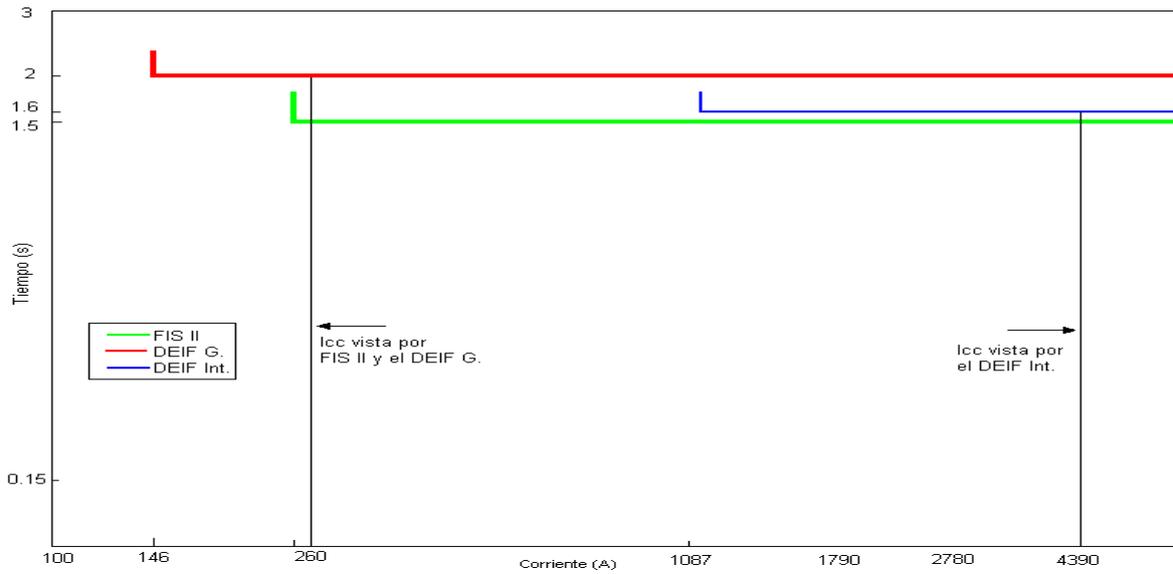


Figura 6. Esquema de coordinación de las protecciones al ocurrir una falla a la salida del interruptor de interconexión del transformador de 2,5 MVA con el de 20 MVA.

Las protecciones del lado del generador pueden responder a fallas situadas en la interconexión de la batería con en el sistema e incluso en los alimentadores que salen de la subestación del SEN, por lo que también se realizó un análisis de la coordinación de los dispositivos que operan para dichas fallas, como se muestra en la figura 7.

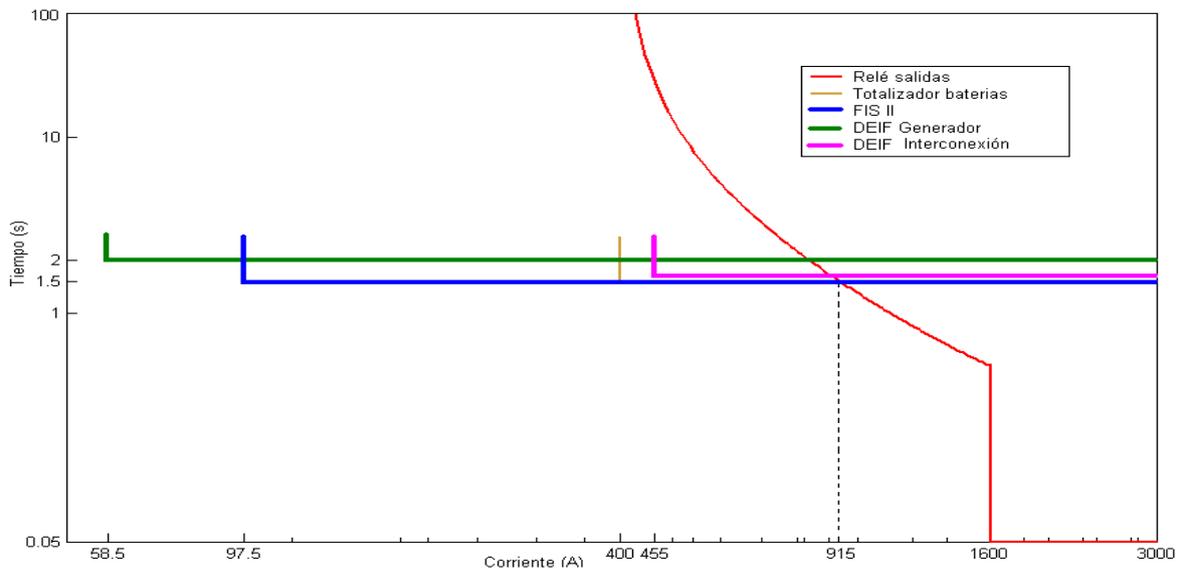


Figura 7. Esquema de coordinación de las protecciones de sobrecorriente del generador con las demás protecciones.

Para cortocircuitos menores de 915 A en el lado de 34,5 kV, en el caso en que la batería se encuentre en isla, los relés 7SJ600 no coordinan con el FIS II que puede ver fallas (bifásicas fundamentalmente) en los circuitos de salida, lo que se hace más problemático si se observa que el respaldo para estas fallas debe ser el totalizador de las baterías o el Deif de interconexión y tienen un ajuste de tiempo igual que el del FIS II, por lo que pueden salir los generadores individualmente si falla la operación de la protección de un alimentador según el análisis de sensibilidad realizado anteriormente.

Para fallas en el bloque del generador se comprobó que el relé totalizador no coordina con el Deif del generador ni el de la Unidad FIS II, ya que está ajustado para que responda a los 0,15 segundos en esta

dirección (no mostrado en la figura anterior), por lo que pudiera salir toda la batería para fallas en un bloque en lugar del fallado solamente.

Se simuló la respuesta del **relé de salto de vector** incluido en la unidad DEIF utilizando el paquete matemático Matlab, partiendo de su diagrama fasorial y un disparo a partir de los 10 grados de defasaje.

Obteniéndose el incremento de corriente para el que se manifiesta dicho defasaje y que saca la batería de operación instantáneamente.

Como se puede apreciar en la figura 8, se llegó al resultado que este valor de corriente para el cual el ángulo del voltaje varía 10 grados es de 2.8 In.

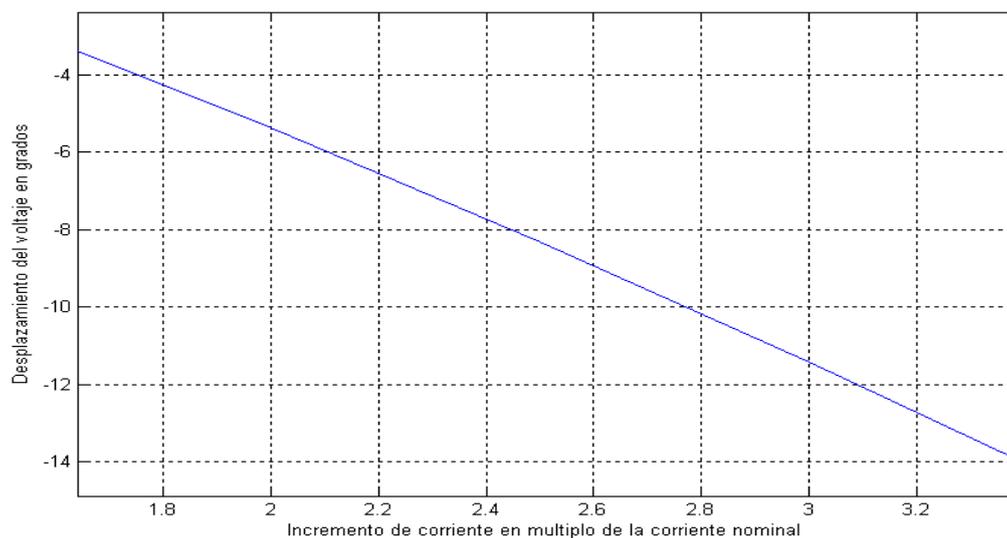


Figura 8: Respuesta de la protección de salto de vector

#### 4. CONCLUSIONES.

- Los grupos electrógenos diésel tienen gran uso como generadores de energía eléctrica para el respaldo a la generación en los sistemas eléctricos de potencia, dicha inclusión complica las exigencias de protección para un funcionamiento seguro de los generadores y el sistema.
- Usar una metodología adecuada, así como el auxilio de herramientas computacionales son necesarios para un análisis detallado de dichas protecciones.
- Los TC a los que está conectada la protección del generador están situados a la salida y no al neutro del generador, lo que hace que se necesite contribución desde el sistema para detectar una falla interna en la máquina.
- Se pudiera implementar direccionalidad en las unidades de protección de la planta generadora e interconexión, para ayudar en la sensibilidad y coordinación selectiva.
- No disponer de protección diferencial en los generadores de las baterías complica la respuesta para fallas internas.
- Con la batería trabajando en isla las protecciones son más sensibles, debido a que no ocurre el efecto de fuentes intermedias en la subestación del sistema.
- La Generación Distribuida ha producido un gran impacto en nuestras redes eléctricas, la coordinación entre todos los elementos de la batería y el sistema debe ser cuidadosa y con un análisis de casos en ambas localizaciones.
- La protección de salto de vector a pesar de ser sensible solo a cortocircuitos trifásicos y bifásicos en lugares cercanos a la batería, debe tenerse en cuenta, ya que no coordina selectivamente con las protecciones primarias que responden a estas fallas debido a que su operación es muy rápida.

#### 5. RECOMENDACIONES.

- Se debe usar una protección de sobrecorriente (51) conectada al lado del neutro del generador.
- Al no existir protección direccional de sobrecorriente (67) es aconsejable proteger el generador diferencialmente con (87G), ya que en la literatura se recomienda esta protección para generadores mayores a 1 ó 2 MVA.

- Hacer un reanálisis de la operación selectiva de las protecciones de la central al crecer la generación distribuida en el área cercana.
- Continuar el análisis de estas protecciones en otras localizaciones de grupos electrógenos aplicando lo mostrado en este trabajo, para seguir ganando en experiencia e implementar una metodología más detallada en tal sentido, así como en el análisis de nuevos grupos contratados por el país.
- Simular la respuesta en la planta y en el sistema de los tipos de protecciones que no se abordaron en este trabajo y conllevan a un análisis de transitorios y/o de frecuencia. **REFERENCIAS.**

[1] B., Donald. Power and Light Company Distributed Generation Interconetions: Protection, Monitoring.(2007), disponible en: <http://www.basler.com>.

[2]Conae. Generación distribuida energía de calidad(2007), disponible en: [http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui).

[3] Charles J. Mozina.(1999). “Protección de Interconexiones de Generadores de IPP Usando Tecnología Digital”.

[4] Evirnet. Grupos electrógenos, (2006) disponible en: <http://guia.mercadolibre.com.ar/grupos-electrogenos-3404-VGP>.

[5] Francesena B. Emilio. Bravo de las Casas, Marta. yCurbelo, Juan. “Esquemas de Protección en Plantas de Generación Distribuida” publicado en forma de artículo en las memorias en CD de la Conferencia Internacional FIE’06 ISBN 84-00-08424-1, Santiago de Cuba, Cuba. Julio 12-14/2006.

[6] JCG/HC. Criterio general de ajuste, (2007), disponible en: <http://www.coes.org.pe>.

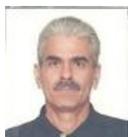
[7] Report to the Legislature on the Development of Distributed Electric Generation in Wisconsin Docket 05-EI-122, disponible en: <http://www.psc.state.wi.us/indelec.htm>,accedido 12/03/07.

[8] Schneider Electric. Cuaderno Técnico nº 196, disponible en: <http://www.schneiderelectric.es>, acce.

[9] SEL-547. Distributed Generator Interconnection Relay Utility-Grade Protection for Distributed Generation (2008) , disponible en: <http://www.selinc.com>.

[10] Statefarm,M. Generadores Portátiles, (2008) disponible en: <http://www.msucares.com/espanol/newsletters/safety/05/10extra.html>.

[11] The Power Engineering Education Committee. Protección de Generadores Sincrónicos (2006), disponible en: <http://www.beckwithelectric.com/infoctr/spanish/tutorialgenIEEE.pdf>.



**Emilio A Francesena Bacallao** es graduado de Ingeniero Electricista en la Universidad Central de Las Villas en 1985.Titulado de Master en Ingeniería Eléctrica, mención Sistemas Eléctricos en 2001. Profesor Auxiliar del Centro de Estudios Electroenergéticos en la Universidad Central de Las Villas. Se ha desempeñado como jefe disciplina y jefe de colectivos pedagógicos en la carrera. Nombrado Profesional de Alto Nivel de la UNAICC.Laboró desde su graduación y durante nueve años en el montaje, puesta en marcha y explotación de un Complejo Petroquímico, donde fue especialista técnico, jefe de departamento eléctrico y eléctrico principal. Curso entrenamiento en sistema eléctrico industrial en la antigua URSS, impartió cursos de postgrado en Nicaragua y colabora como especialista en la República de Angola. Cursado varios estudios de postgrado y participa en la impartición de varios diplomados, cursos de postgrado y maestrías, varios vinculados a la generación distribuida. Tutor de alrededor de veinte trabajos de diploma en las ramas de Protecciones Eléctricas y Sistema Eléctrico Industrial e Ingeniería Eléctrica como integradora, así como oponente y miembro del tribunal evaluador. Interviene directamente en varias tareas y proyectos en colaboración con la UNE, OBE e industrias de la región central de Cuba. Participación como ponente en más quince eventos internacionales, con varias publicaciones nacionales e internacionales.