



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA PROPUESTA DE  
MODERNIZACIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES DE GENERADORES  
EN PLANTA SIDEGUA**

**CARLOS VINICIO HERNANDEZ PORRES**  
ASESORADO POR ING. JULIO EDUARDO GONZÁLEZ VÁSQUEZ

**GUATEMALA, AGOSTO 2005**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA PROPUESTA DE  
MODERNIZACIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES DE GENERADORES  
EN PLANTA SIDEGUA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**CARLOS VINICIO HERNÁNDEZ PORRES**

**ASESORADO POR: ING. JULIO EDUARDO GONZÁLEZ VÁSQUEZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

Guatemala, agosto 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Otto Rene Andrino
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Duran Córdova
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Bedoya
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA PROPUESTA DE  
MODERNIZACIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES DE  
GENERADORES EN PLANTA SIDEGUA,**

tema que me fuere asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 11 de Mayo de 2004

---

**Carlos Vinicio Hernández Porres**

## **DEDICATORIA A**

### **DIOS**

Por darme la vida, y la sabiduría necesaria para poder alcanzar mis metas.

### **MIS PADRES**

Carlos Hernández e Idilse de Hernández, por su incalculable esfuerzo y dedicación, dándole gracias a Dios que pudieron ver su sueño a través de mi persona.

### **MI ESPOSA E HIJO**

Nancy y Luis Enrique, por ser ellos la razón de levantarme cada día para seguir luchando por un mejor mañana

### **MIS HERMANOS**

Jorge y Fernando porque me dan la oportunidad de darles un ejemplo de que sí se puede.

## **AGRADECIMIENTOS A**

### **MIS SUEGROS**

Otto y Aidé por su apoyo incondicional y sabios consejos.

### **MIS TIOS**

Jorge Hernández, Albadina Barrios por su cariño y aprecio.

### **MI ASESOR**

Ing. Julio González, por su tiempo y colaboración en la asesoría y revisión de este trabajo.

### **SIDEGUA, S.A.**

Por su valiosa colaboración para la elaboración de este trabajo, en especial al Ing. Rony Castillo, Ing. Edgar Tarot.

### **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

por brindarme los conocimientos necesarios

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTADO DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DE SIDEGUA</b>	
1.1 Descripción del diagrama unifilar del esquema de protecciones	01
1.2 Descripción de protecciones eléctricas de relevadores de estado sólido del generador y sus ajustes actuales	08
1.2.1 Relevador diferencial del generador 87G	08
1.2.2 Relevador de sobrecorriente de secuencia negativa del generador 46N	09
1.2.3 Relevador de Direccional de Potencia 32R	13
1.2.4 Relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje 50/51V	15
1.2.5 Características de operación a voltajes Reducidos	16
1.2.6 Relevador de Sobrecorriente de Neutro 50/51G	18
1.3 Descripción de protecciones eléctricas de relevadores de estado sólido de apertura del interruptor de posición del transformador lado secundario y sus ajustes actuales	19

1.3.1	Relevador de voltaje de secuencia de fase 47N	19
1.3.2	Relevador de bajo voltaje sobre voltaje	20
1.3.3	Relevador de baja frecuencia sobre frecuencia	22
1.4	Protecciones del promotor	24
1.5	Descripción del circuito de apertura y disparo del interruptor del generador y el esquema del relevador de bloqueo del relevador 86T	24
<b>2.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES UTILIZANDO EL RELEVADOR MULTILIN SR489</b>	
		<b>29</b>
2.1	Descripción del relevador multilin sr489	29
2.1.1	Calculo de los transformadores de corriente y de tensión	29
2.1.2	Transformadores de corriente de neutro	31
2.1.3	Especificaciones técnicas del generador	31
2.2	Instalación eléctrica del relevador multifunciones	32
2.3	Discusión de la importancia de protecciones eléctricas que se pueden implementar al esquema de protecciones del generador que ofrece el SR489	40
2.3.1	Relevador de pérdida de excitación	40
2.3.2	Protección sobrevoltaje de neutro	42
2.3.3	Protección de sobrecorriente de neutro	45
2.3.4	Protección direccional de neutro	46
2.3.5	Protección de sobretensión de tercera armónica	48
2.3.6	Protección de distancia	50
<b>3</b>	<b>PROCEDIMIENTOS PARA PROGRAMACIÓN DE AJUSTES AL RELEVADOR</b>	
		<b>53</b>



3.1	Programación de puntos de ajustes en <i>software</i>	53
3.2	Menú principal opción <i>file</i>	54
3.3	Menú principal opción <i>setpoint</i>	57
3.3.1	Características de la instrumentación <i>system setup</i>	58
3.3.2	Programación de entradas digitales	61
3.3.3	Programación de elementos de protección	65
3.3.4	Descripción del protocolo de comunicación	68
3.4	Menú principal opción comunicación	72

<b>4.</b>	<b>EVALUACIÓN TÉCNICA ESQUEMA ACTUAL DE PROTECCIONES Y RELEVADOR MULTIFUNCIONES</b>	<b>75</b>
4.1	Estudio de coordinación y ajustes de protecciones del esquema actual	75
4.1.1	Coordinación de la protección 51/27	75
4.1.2	Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección diferencial	87
4.1.3	Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección direccional de potencia Activa	89
4.1.4	Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección corriente de secuencia inversa	91
4.2	Evaluación de protecciones que se consideran deberían de incluirse al esquema de protecciones	92
4.2.1	Pérdida de excitación	93
4.2.2	Protección de baja frecuencia/sobre frecuencia	93
4.2.3	Protección de sobre voltaje/bajo voltaje	93

4.3 Ventajas y desventajas entre el esquema de protecciones con relevadores de estado sólido contra relevadores multifunciones	94
<b>5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE FUNCIONALIDAD ENTRE LOS RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO Y EL RELEVADOR MULTIFUNCIONES</b>	<b>97</b>
5.1 Costos que representa la modificación del esquema de protecciones	97
5.1.1 Costo por generación no vendida	98
5.1.2 Costo por desvíos de potencia	99
5.1.3 Costos de pruebas de instalación y calibración	99
5.1.4 Costos de equipo e instalación mano de obra	100
5.2 Costos total de instalación para la protección adecuada en el sistema de protecciones planta SIDEGUA	101
5.3 Costos por disparos de fallas mecánicas eléctricas que producen salidas forzadas monitoreadas por el sistema de protección	102
5.3.1 Costo por generación no vendida	102
5.3.2 Costo por desvíos de potencia	104
5.3.3 Costo total por salidas forzadas de los generadores	104
5.4 Análisis de relación Costo-Beneficios	105
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	113
APÉNDICES	

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Diagrama unifilar celda de alimentación a generadora lado de 22KV	04
2.	Diagrama unifilar celda de alimentación a generadora lado de 13.8KV	05
3.	Diagrama unifilar de posición de generación	06
4.	Curva característica de relevador diferencial de estado sólido	10
5.	Curva característica de sobrecorriente de secuencia negativa relevador de estado sólido	12
6.	Curva característica de secuencia de fase de voltaje relevador de estado sólido	21
7.	Diagrama de apertura y cierre del interruptor	24
8.	Diagrama de bloqueo del interruptor por medio del relevador 86T	26
9.	Diagrama unifilar de protecciones del relevador Multilin SR489	30
10.	Instalación eléctrica del relevador SR489	37
11.	Curva característica de pérdida de excitación del relevador Multilin SR489	41
12.	Diagrama de conexionado para la protección de sobrevoltaje de neutro del generador por medio del SR489	43
13.	Conexionado de Generadores con una sola Impedancia y sus cuchillas de tierra	44

14.	Diferencias de los arreglos de los transformadores de núcleos balanceados exclusivamente para el relevador SR489	46
15.	Conexión para protección de direccional de neutro para el relevador SR489	47
16.	Zonas de protección del generador por medio de la protección de distancia del Relevador SR489	50
17.	Creación de un nuevo archivo de programación extensión .489	55
18.	Ejemplo para la programación de transformadores de corriente de fase y neutro	59
19.	Calculadora: herramienta para ingresar valores de ajustes	60
20.	Resumen de programación de instrumentos de medición del relevador	61
21.	Ejemplo de programación de una entrada digital	64
22.	Programación de los elementos de corriente y tensión	66
23.	Ejemplo programación de los elementos de potencia y temperatura RTDs	67
24.	Ejemplo de la programación de las direcciones en el mapa de memoria	70
25.	Programación de los relevadores a través de computadora por comunicación RS232	72
26.	Conexión de forma de comunicación de los relevadores Multilin	74
27.	Curva característica de relevador 50/51V Extremadamente Inversa	81
28.	Coordinación del sistema de protección zona 1	82
29.	Coordinación del sistema de protección zona 2	83
30.	Coordinación del sistema de protección zona 3	84
31.	Programación de la función de sobrecorriente curva programada por el usuario llamada <i>Flexcurve</i>	96

## TABLAS

I.	Listado de protecciones celda de alimentación a planta generadora lado de 22KV	02
II.	Listado de protecciones celda de barra de alimentación a los generadores 13.8KV	03
III.	Listado de protecciones celda de generación	07
IV.	Datos para programación de ajustes de protección de potencia inversa para relevador de estado sólido	15
V.	Tabulación de datos de características de operación de protección de sobrecorriente con respaldo de voltaje relevador de estado sólido	18
VI.	Listado de temperaturas y parámetros de operación del relevador que pueden programarse en el relevador SR489	33
VII.	Terminales eléctricas físicas de conexión del relevador SR489	34
VIII.	Listado de entradas digitales y sus parámetros que pueden programarse en el relevador SR489	36
IX.	Listado de parámetros de comunicación que pueden programarse para el monitoreo de la información en sistema SCADA	39
X.	Ejemplo de tabla que presenta la información para ser programada en el mapa de memoria	71
XI.	Ajustes actuales de los relevadores de sobrecorriente esquema de protecciones Centro de Energía Escuintla	76
XII.	Selección de sensibilidad para coordinación de protección elemento diferencial de neutro	89

XIII.	Precios de Pruebas de Instalación y Calibración a relevador Multifunciones	100
XIV.	Precio de equipo e instalación de relevador SR489	101
XV.	Precio Total de la Instalación	101
XVI.	Tabulación de disparos por fallas eléctricas, mecánicas y barra De 13.8KV en Centro de Energía Escuintla	103
XVII.	Costo total de indisponibilidad por salidas forzadas	105
XVIII.	Proyección de relación costo-beneficio utilizando el esquema de protecciones actual	105
XIX.	Proyección de relación costo-beneficio utilizando el relevador multilin SR489	106
XX.	Representación de número de años de recuperación de inversión	107

## GLOSARIO

<b>Administrador del Mercado Mayorista (AMM)</b>	Ente encargado del control de la compra-venta de energía, estabilidad del SNI de los generadores y transportistas.
<b>Bit</b>	Dígito Binario.
<b>Byte</b>	Cadena de 8 bits.
<b>Componente de secuencia cero</b>	Son tres fasores que poseen la misma magnitud y poseen la misma dirección por lo que no hay desplazamiento angular entre ellos.
<b>Componente de secuencia negativa</b>	Son tres fasores que poseen la misma magnitud y están desplazados de fase entre uno y otro en $120^\circ$ y que tienen secuencia de fase opuesta a la de los fasores originales.
<b>Componente de secuencia positiva</b>	Son tres fasores que poseen la misma magnitud y están desplazados de fase entre uno y otro en $120^\circ$ y que tienen la misma secuencia de fase que los fasores originales.
<b>Corriente de Excitación</b>	Es la corriente que circula por medio de la excitatriz, a través del rotor para generar el flujo magnético necesario para crear un par entre el campo magnético del rotor y del estator en el entrehierro del generador.0

<b>CT (Transformador de corriente)</b>	Elemento de medición que consiste de dos devanados para transformar corriente de un nivel alto de tensión a una corriente proporcional a bajos niveles de tensión.
<b>Curvas de capacidad</b>	Es un diagrama de un generador, donde se muestran todas las condiciones de operación normal de los generadores.
<b>Curva de magnetización</b>	Es un gráfico que representa las características del núcleo de cualquier circuito magnético, el cual se presentan la relación que existe entre el flujo magnético y la intensidad máxima de corriente.
<b>Esquema de protecciones</b>	Conjunto de relevadores con los que cuenta un equipo, para su adecuada operación de acuerdo a sus parámetros eléctricos.
<b>Estado Estable</b>	Estado en el cual el generador está operando dentro de los parámetros eléctricos aceptables.
<b>Estado Transitorio</b>	Es una condición donde existe una falla en el sistema o en algún aparato eléctrico y la corriente se amortigua exponencialmente debido al circuito LC de la red.
<b>Estator</b>	Circuito eléctrico de una máquina rotativa, constituida por un devanado el cual permanece inmóvil o sin rotación.
<b>Flujo de</b>	Es un cálculo de magnitud y dirección de potencia



<b>potencia</b>	activa y reactiva a partir de los circuitos eléctricos equivalentes de máquinas o dispositivos eléctricos existentes en un sistema.
<b>Flujo Magnético</b>	Es el campo magnético orientado que fluye a través de la sección transversal de un circuito magnético.
<b>Generador Síncrono</b>	Es una máquina eléctrica utilizada para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de C.A. como su nombre lo indica sincronizado al SNI y generador de potencia reactiva.
<b>Hardware</b>	Se trata de todos los componentes físicos de una computadora.
<b>Lado primario del CT</b>	Devanado de un transformador de corriente que se conecta a niveles altos de corriente.
<b>Lado secundario del CT</b>	Devanado de un transformador de corriente que convierte proporcionalmente la corriente del lado primario a niveles de corriente bajos.
<b>PLC</b>	Controlador Lógico Programable utilizado para la automatización de mandos eléctricos, recepción y transmisión de señales eléctricas de 4-20mA etc.
<b>Presóstato</b>	Transductor que sirve para convertir una señal mecánica de presión a una señal eléctrica de 4-20mA.

<b>Puerto Serial</b>	Dispositivo de comunicación utilizado para transmisión y recepción de datos a través de distancias relativamente grandes, compatible con las normas RS232.
<b>Rotor</b>	Elemento eléctrico de una máquina rotativa, construida por devanados el cual rota.
<b>RTD</b>	<i>Resistance-Temperature detector</i> . Dispositivo que incrementa su resistencia con la temperatura.
<b>Relevador</b>	Circuito magnético que consiste de un núcleo devanado alimentado por una fuerza magnetomotriz, un entrehierro y contactos móviles, en el que los contactos se abren o se cierran dependiendo del tipo de mecanismo.
<b>Saturación Magnética</b>	Es el punto en una curva de magnetización en el cual se alcanza la intensidad de flujo máximo, en el que se requiere un aumento muy grande en la corriente de magnetización máxima para seguir aumentando la intensidad de flujo.
<b>Sincronización</b>	Es el acto de sincronizar es decir que el generador se acople a las características del sistema, cumpliendo con los requisitos de que la tensión y frecuencia sean iguales a los del SIN.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.

**Software**

Programa que se ejecuta en la computadora y que controla los elementos hardware y procesa información.

**Termocopla**

Transductor de temperatura que consiste en dos alambres de diferentes metales unidos entre si para convertir la temperatura a una señal eléctrica de 4-20mA.

**Transductor**

Dispositivos que convierten fenómenos físicos como temperatura, carga, presión o luz a señales eléctricas como voltaje y corriente.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación contiene la información necesaria de un esquema básico de protecciones, que el interesado puede utilizar para tener un conocimiento básico de los relevadores a instalar en una planta de generación, así como una propuesta de tecnología como la que presenta General Electric al relevador que realiza múltiples funciones y formas de comunicación modernas, se presenta un resumen de la forma de instalarlo, la forma de programarlo.

Asimismo presenta un estudio de la forma de coordinación y programación de los relevadores actuales como una alternativa para el usuario en la forma de proteger al generador, además de un análisis de los costos que hay que tomar en consideración en el momento de realizar cualquier proyecto de ingeniería, que es una herramienta que no puede faltar para el ingeniero moderno.



# OBJETIVOS

## General

Proponer un cambio de tecnología en el esquema de protecciones de generadores en planta SIDEGUA, presentando como una alternativa el relevador Multilin SR489 desde el punto de vista técnico-económico.

## Específicos

1. Describir el estado actual de protecciones eléctricas en las celdas de generación de la planta SIDEGUA, así como realizar una comparación, con el relevador multifunciones para obtener diferencias, ventajas y desventajas técnicas de los mismos sistemas de protección, sugerir protecciones de los generadores que no se encuentran actualmente y que se podrían implementar a través del nuevo relevador.
2. Presentar la forma de instalación, programación y administración de información y parámetros adecuados para generación que puede manejar el Multilin SR489, el cual, al instalar una forma de comunicación puede realizar funciones de monitoreos a través del sistema SCADA.
3. Realizar un análisis Técnico-Financiero que representa este cambio, presentando las ventajas y desventajas del relevador Multifunciones, comparado con la indisponibilidad de las unidades al ocurrir fallas mecánicas – eléctricas.



## INTRODUCCIÓN

En una planta de generación eléctrica, los motores, generadores eléctricos y transformadores son los equipos más importantes y aunque presentan menos fallas que las líneas de transmisión por su ubicación, el costo de reparación de daños ocasionados, representa un costo más elevado, incluyendo los costos de generación no vendida, y las sanciones que el administrador del mercado mayorista impone, como lo son las transacciones de desvíos de potencia.

En esta investigación se describen los relevadores que deben presentarse en el esquema de protecciones básicas, que deberían de coordinarse para mantener siempre confiabilidad y la interrupción en caso necesario, de un generador para su adecuada operación para mantener la producción de la planta al máximo, así como la continuidad en el servicio de suministro del fluido eléctrico.

Actualmente, los relevadores de protección, además de su función básica que es proteger de acuerdo a su programación, presentan la posibilidad de poder comunicarse por medio de protocolos de comunicación RS232, los cuales se pueden enlazar con redes de comunicación para la adquisición de datos o realizarlo, con un protocolo de comunicación independiente, para tener información específica del generador y lograr con esto ventajas como el almacenamiento de información de disparos, parámetros adecuados de los generadores, protecciones que pueden agregarse al esquema básico y otras alternativas que presentan estos relevadores.

En este trabajo de graduación, se propone el Relevador Multilin SR489 de General Electric como una alternativa para su implementación en la Generadora CENTRO DE ENERGÍA ESCUINTLA que pertenece a la



corporación ACEROS de Guatemala, así como para plantas similares o en proyecto, para que sea tomado como una opción.

Se realiza un análisis de la coordinación de protecciones de cada relevador del esquema básico instalado, para observar si los ajustes son los adecuados de acuerdo a las características del generador, para comprobar la correcta programación y si esta propuesta fuera implementada, utilizar los ajustes para referencia de programación del nuevo relevador.

Por último, se realiza un análisis financiero para establecer a cuánto asciende el monto total de la instalación, presentando todos sus costos así como los costos que se originan cuando se obtiene la información durante un año de la indisponibilidad por salidas forzadas por fallas mecánicas eléctricas, con esta información se analiza una relación costo-beneficio de la propuesta para determinar si a largo plazo es una inversión o es un gasto innecesario, teniendo presente que el relevador no garantizará la no destrucción del generador, ya que cada máquina eléctrica tiene su vida útil, pero con el monitoreo de los parámetros de operación específicos del generador, a través del relevador se pueden implementar acciones correctivas que puedan alargar la vida del mismo.

# **1. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIÓN ACTUAL EN LA PLANTA DE GENERACIÓN DE SIDEGUA**

## **1.1. Descripción del diagrama unifilar del esquema de protecciones**

La SIDERÚRGICA DE GUATEMALA, es una carga especial de grandes usuarios en el Sistema Nacional Interconectado, por lo tanto es un punto eléctrico nodal, que se encuentra alimentado por una línea de transmisión de 230KV, esta línea alimenta un transformador de reducción de 230/22KV donde se interconectan servicios propios para realizar la fundición de chatarra con el fin de la elaboración de hierro, además de una interconexión hacia un campo de generación denominado Centro de Energía Escuintla alimentado por una línea de transmisión subterránea.

En la figura No. 1 se presenta el diagrama que describe el esquema de protección de la interconexión de la subestación Centro de Energía Escuintla, ésta la denominaremos celda de alimentación a Generadora Lado de 22KV la cual contiene las protecciones descritas en la tabla I.

**Tabla I Listado de protecciones de la celda de alimentación a planta generadora lado 22 KV**

<b>EQUIPO</b>	<b>RELEVADOR DE PROTECCIÓN</b>	<b>CODIGO ANSI</b>
<b>Línea de Transmisión CEE-SIDEGUA</b>	Diferencial de Línea	87-1
	Sobrecorriente Instantánea	51-1
	Relé de Bloqueo	86-1
<b>Transformador de Potencia 22/13.8 KV</b>	Diferencial del Transformador	87-T
	Sobrecorriente de Neutro Instantáneo	51NT
	Temperatura de Devanados	49
	Temperatura de Aceite	26
	Nivel de Aceite	71
	Relevador Bucholtz	63

Un transformador ubicado en la subestación de Centro de Energía Escuintla disminuye la tensión de 22KV a 13.8KV, este último es el voltaje de operación de los generadores, por lo tanto existe una celda de protección la cual llamaremos CELDA DE BARRA 13.8 KV DE ALIMENTACIÓN A LOS GENERADORES la cual cuenta con las protecciones presentadas en la tabla II.

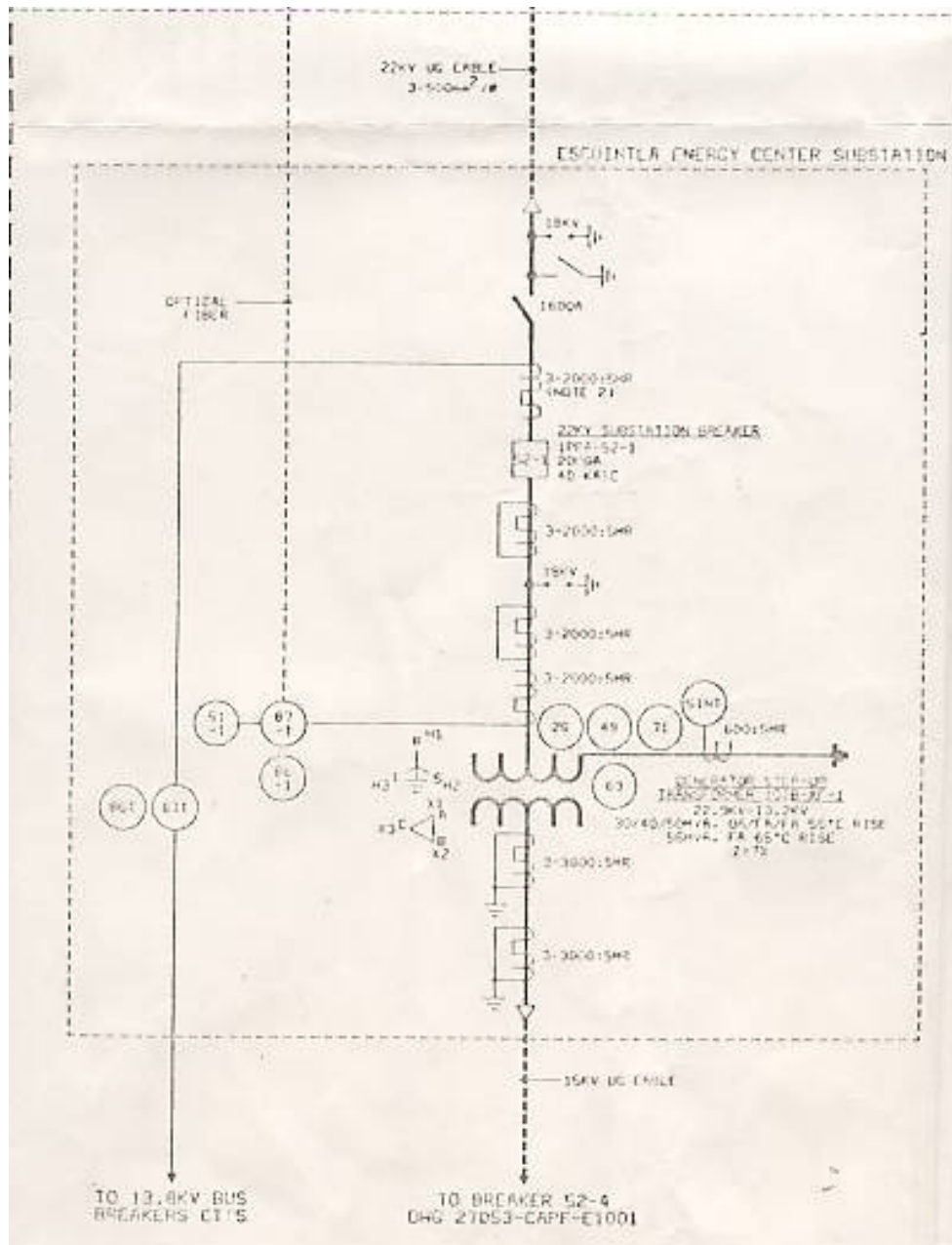
**Tabla II Listado de protecciones de la celda de barra de alimentación a los generadores 13.8KV**

<b>EQUIPO</b>	<b>RELEVADOR DE PROTECCION</b>	<b>CODIGO ANSI</b>
<b>BARRA DE ALIMENTACION A LOS GENERADORES</b>	Sobrecorriente Instantánea	50
	Sobrecorriente Temporizada	51
	Baja Sobre Frecuencia	80/81
	Bajo Sobre Voltaje	27/59
	Voltaje de Secuencia de Fase	47N
	Relevador de Sincronización	25

El objetivo de mencionar la celda descrita con anterioridad es para determinar en el análisis Técnico Capítulo IV, si la ubicación donde se encuentran instaladas las protecciones de frecuencia y voltaje actuales (celda de barra 13.8KV) pueden en su momento proteger al generador por alguna falla de este tipo, o determinar si se deberían agregar las protecciones de frecuencia - tensión en cada una de las celdas de generación.

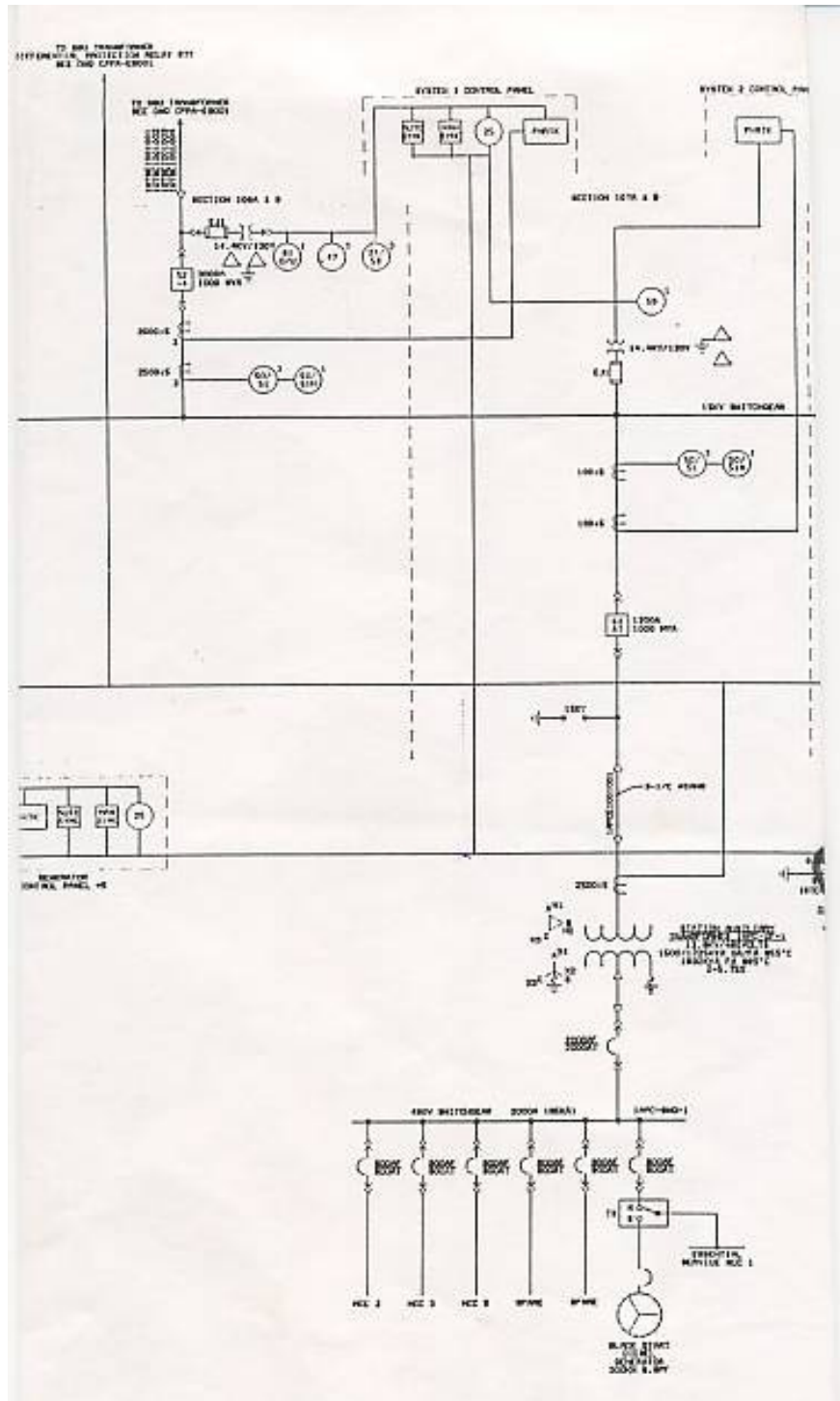
En este mismo análisis se determina si es factible agregar otras protecciones que tampoco se encuentran instaladas en cada una de las celdas de generación, presentadas por el relevador Multilin SR489, que podrían ser relevantes y evitarían la destrucción del generador a largo plazo, o determinar si las posiciones de generación cuentan con las protecciones básicas y necesarias, la celda de la barra de 13.8KV se muestra en la figura No 2.

**Figura 1 Diagrama unifilar celda de alimentación a generadora lado de 22KV**



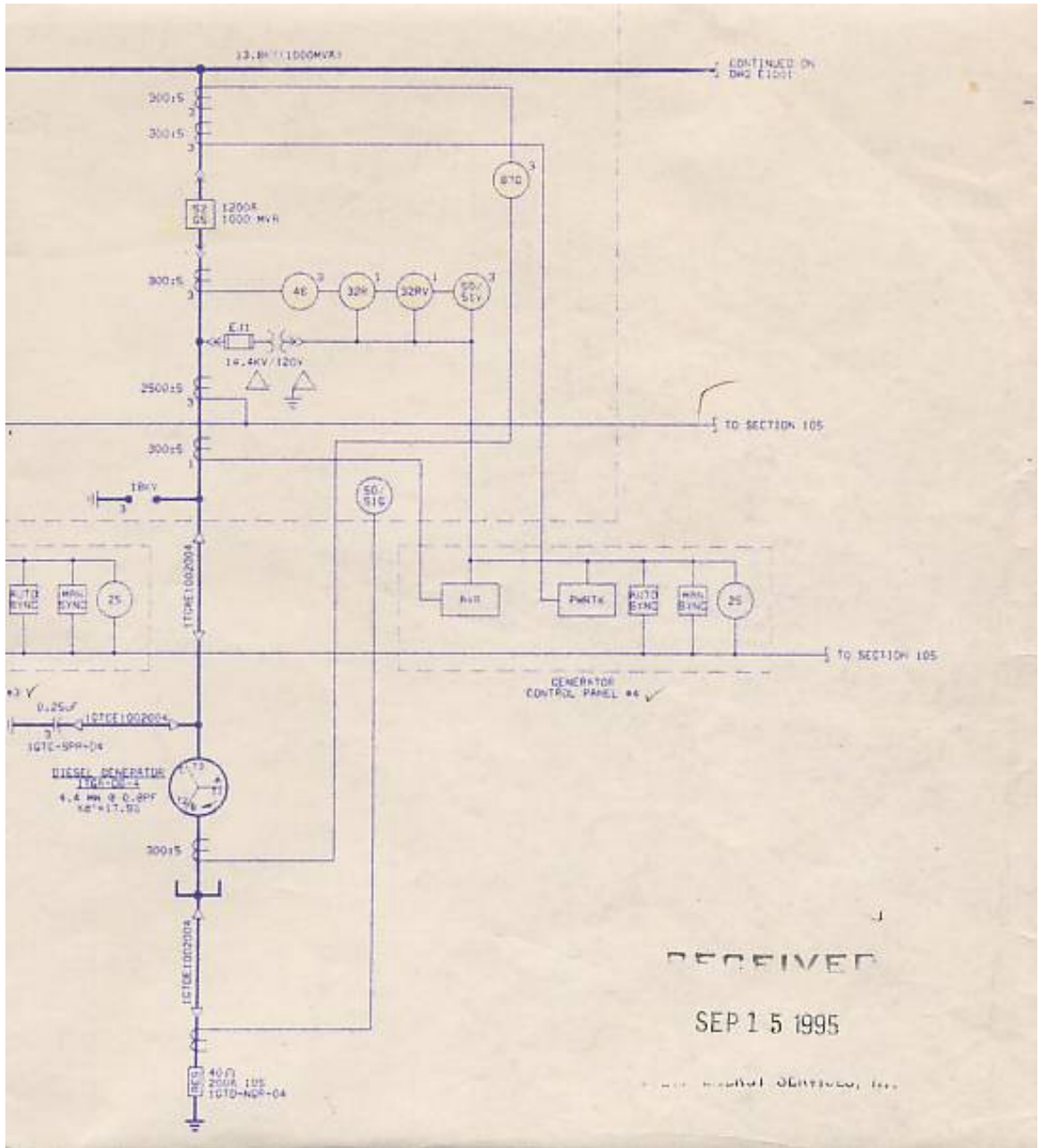
**Fuente: SIDERURGICA DE GUATEMA, S.A. ESCUINTLA ENERGY CENTER. PLANO 27053-CAPF-E1001**

**Figura 2 Diagrama unifilar celda de alimentación a generadora lado de 13.8KV**



Fuente SIDERURGICA DE GUATEMA, S.A. ESCUINTLA ENERGY CENTER. PLANO 27053-CAPF-E1001

**Figura 3 Diagrama unifilar de celdas de generación**



**Fuente Fuente SIDERURGICA DE GUATEMA, S.A. ESCUINTLA ENERGY CENTER.  
PLANO 27053-CAPF-E1002**

En la barra de 13.8KV se interconectan cada uno de los 10 interruptores de los generadores, (además de las celdas de servicios auxiliares), la misma es utilizada como referencia por cada uno de los generadores, para sincronizar al SNI. Esta es la celda o posición de generación, objeto de estudio de este trabajo de graduación. En la figura No 3, se muestran los instrumentos de medición y protección, además del transformador de corriente para completar la protección diferencial del Transformador de potencia, el cual se encuentra ubicado entre del transformador de tensión y el transformador de corriente que alimenta la excitación del generador, además de la barra del sistema de sincronización. Esta celda cuenta con las protecciones descritas en la tabla III.

**Tabla III Listado de protecciones celda de generación**

<b>EQUIPO</b>	<b>RELEVADOR DE PROTECCION</b>	<b>CODIGO ANSI</b>
<b>GENERADOR</b>	Diferencial del Generador	87G
	Direccional Potencia Activa	32R
	Sobrecorriente instantánea	50
	Sobrecorriente temporizada con respaldo de tensión	51/V
	Direccional de Potencia Reactiva	32RV
	Sobrecorriente de Secuencia Negativa	46N
	Sobrecorriente instantánea del Neutro	50G
	Sobrecorriente Temporizada del Neutro	51G

Cada una de las protecciones descritas en la tabla III están integradas al relevador de bloqueo 86T, el cual conjuntamente con las protecciones mecánicas del primotor conducen hacia la bobina de apertura del interruptor como se describirá mas adelante.



## **1.2. Descripción de protecciones eléctricas de relevadores de estado sólido del generador y sus ajustes actuales**

### **1.2.1. Relevador Diferencial del Generador 87G:**

El principio del relevador diferencial de cualquier equipo consiste en medir corrientes en cada una de las fases y el neutro del equipo, idealmente la diferencia entre el valor de corriente en las fases y el neutro debería ser cero en caso contrario, el relevador diferencial supervisará esta diferencia y dependiendo de la programación desconectará al generador.

Este relevador tiene la característica de poseer una Curva de Limitación Variable, la cual es aplicada en operaciones a niveles de corriente altas, esta aplicación es necesaria cuando existe saturación en los transformadores de corriente utilizados en la medición, en estas condiciones, se necesita una compensación en la sensibilidad del relevador.

La diferencia entre las dos corrientes medidas, es la corriente de operación del relevador esta es comparada al ajuste programado por el usuario. Este factor de limitación hace al relevador más sensible a fallas internas propias del generador y menos sensible a fallas externas.

El ajuste programado en el relevador diferencial del generador en Centro de Energía Escuintla es:

$$\text{Corriente de Sensibilidad} = \text{Tipo E}$$

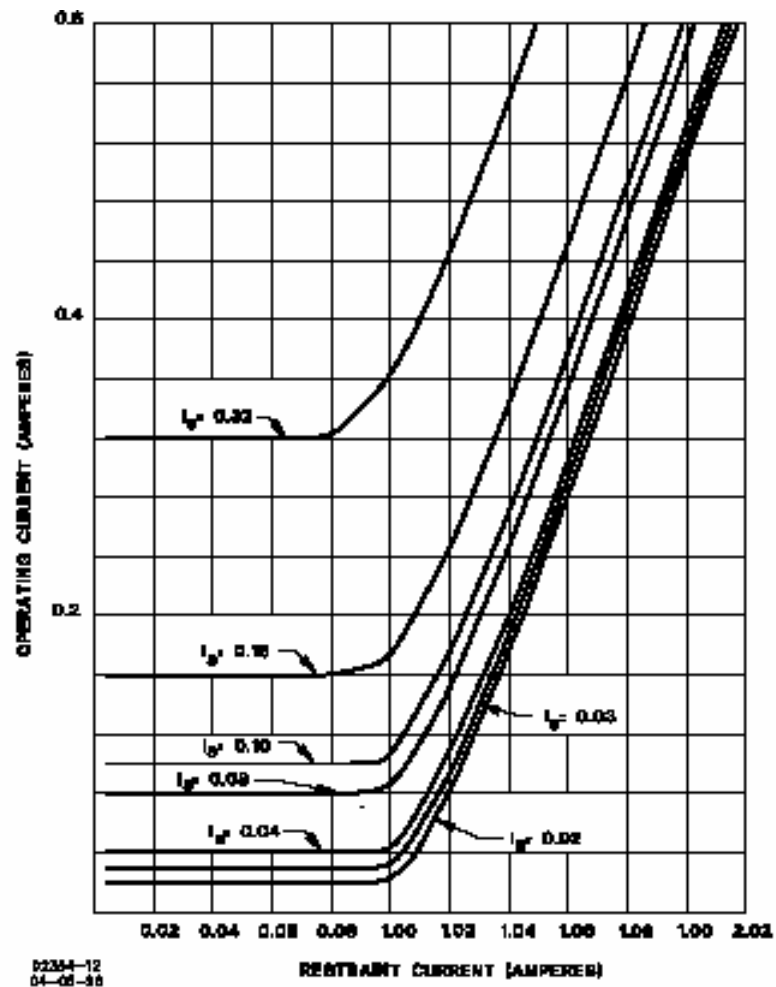
dependiendo del tipo de la corriente de sensibilidad así es la curva característica como se presenta en la figura No 4.

Este esquema en particular tiene una **corriente de operación de 0.5 Amperios**, la cual esta definida por la sensibilidad de los transformadores de corriente que se encuentran instalados y no por las características del generador, como se describe en el capítulo IV.

### **1.2.2. Relevador de sobrecorriente de secuencia negativa del generador 46N**

Para el estudio de este relevador se debe tener claro los principios del teorema de Fortescue, el cual dice que un sistema desbalanceado se puede considerar como 3 subsistemas balanceados, estos sistemas son: de secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero. Partiendo de esto sabemos que la secuencia positiva representa la parte total de la corriente, la cual tiene la rotación de fase normal y no produce efectos que afecten el sistema. La secuencia cero tampoco tiene un efecto que afecte el sistema porque no produce un flujo magnético y no produce calor excesivo en el generador.

Figura 4 Curva característica de protección diferencial relevador de estado sólido



Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé diferencial.

La componente de secuencia negativa produce un flujo magnético en el estator que tiene la misma rotación de fase como en el flujo del rotor pero en dirección opuesta. Esto causa que el flujo magnético del estator rote a dos veces la frecuencia e induce corrientes parásitas dentro del rotor

Estas corrientes parásitas crean excesivo calor en el núcleo del rotor y devanados que si persisten pueden ocasionar daños en el sistema. Esta energía o calor térmico puede expresarse en términos de la corriente de secuencia negativa y el tiempo, la cual es característica propia del generador y esta dada por:

Ecuación 1. 
$$K = \int (I_2)^2 dt$$

Otro de los parámetros importantes es el porcentaje o el valor en por unidad de la corriente de secuencia inversa la cual esta dada por:

Ecuación 2. 
$$I_{2 P.U.} = I_2 / \text{Corriente del estator a plena carga}$$

Los ajustes actuales programados en la carátula de este relevador en Centro de energía Escuintla se presentan, a continuación:

Porcentaje de Corriente inversa de arranque	10%
Porcentaje de Corriente inversa Alarma	4%
Constante de calentamiento térmico del generador K	30
Tiempo máximo de arranque	990 segundos
Corriente de referencia a plena carga	3.8A

Según la figura No 5 la curva característica muestra que para la constante de calentamiento térmico del generador, que es 30 y el tiempo de arranque 990 segundos, sí el generador opera con un porcentaje de corriente inversa del 10% durante aproximadamente 15 minutos existirá la condición de disparo, sin embargo según la curva característica de tiempo inverso de estos relevadores sí este porcentaje de corriente aumenta, el tiempo de disparo será menor.

**Figura 5 Curva característica de protección de sobrecorriente de secuencia negativa relevador de estado sólido**

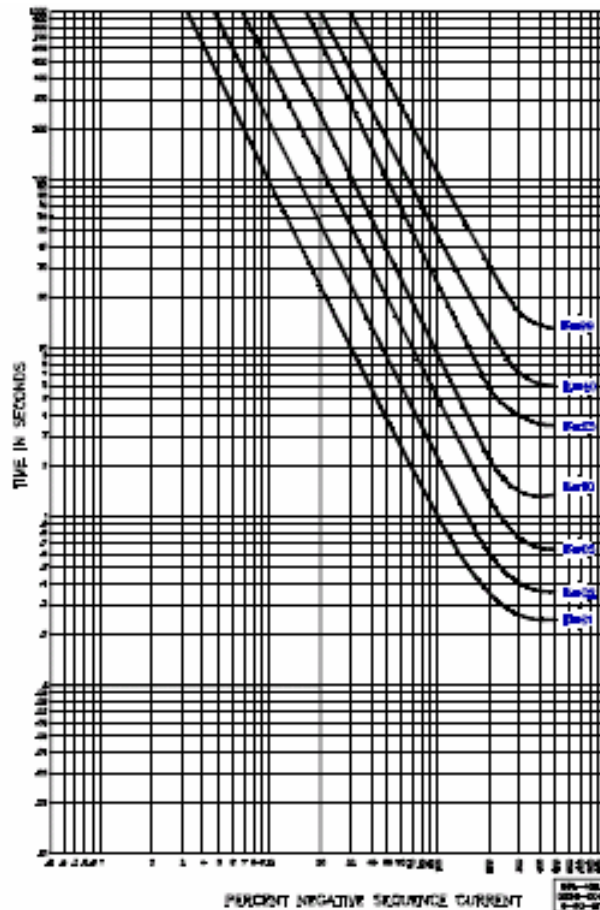


Figure 3-2: Characteristic Curves

**Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé de sobrecorriente de secuencia negativa**

### **1.2.3. Relevador direccional de potencia 32R**

Cuando un generador síncrono, operando en paralelo con el sistema de potencia pierde el torque del motor primario, queda sincronizado con el sistema y continúa operando como un motor síncrono, motorizando el motor primario lo cual puede ocasionar daños al mismo en este caso en el motor de combustión interna invirtiendo el sentido de rotación

El relevador 32R determina la dirección de flujo de potencia usando la corriente de fase y voltajes de fase a fase para determinar la dirección del flujo de potencia; son sensibles a la rotación de fase según el modelo del relevador y partiendo del mismo modelo posee su propio diagrama de conexión al instalarse en el esquema de protección. El modelo del relevador instalado es el B2E E1P BON1F su referencia de corriente es la fase B, y su referencia de voltaje es de la fase B a fase C. La característica del relevador es que posee un ángulo de retraso entre la corriente de fase y el voltaje de fase de 30°.

En la tabla IV se presenta el ajuste al cual se activará el relevador, definido por curvas de tiempo inverso para la sobre potencia, esta tabla se describe a continuación. La Columna *Sensing Input Type* describe el tipo de sensibilidad del relevador ya que pueden ser 6 modelos definidos de la letra A a la E; el relevador instalado en la planta es un modelo con tipo de sensibilidad B. La columna *Nom Volts*, define el voltaje medido en el secundario del transformador de tensión, como se ha mencionado el voltaje es 120 Voltios, La columna *Range* se encuentra dentro del intervalo de 1 a 7, este parámetro, define la sensibilidad de los transformadores de corriente respecto al relevador, y esta relacionado así:

- Si el rango de sensibilidad de entrada del relevador es 1, 4 o 7 los transformadores de corriente tienen una capacidad de 7 amperios de corriente continua, 10 amperios C.A. durante 1 minuto y de 140 amperios durante 1 segundo
- Si el rango de sensibilidad de entrada del relevador es de 2, 3, 5, 6, 8 o 9 los transformadores de corriente tienen una capacidad de 10 amperios de corriente continua, 15 amperios C.A. durante 1 minuto y de 200 amperios durante un segundo.

El rango de sensibilidad de los transformadores de corriente es 3. Existen en el relevador 2 seleccionadores físicos para que el usuario pueda programar el relevador de acuerdo al equipo a proteger estos son *Range Select Swicht* el cual tiene la opción de HI LO. En el relevador instalado se encuentra seleccionada la opción HI y el *Overpower Tap Selector* el cual se encuentra seleccionado en la posición **C**. De acuerdo con la descripción de cada uno de los parámetros existentes en la tabla, podemos ubicar en la tabla el valor de ajuste del relevador que es de 300 Watts en el secundario.

Este valor de ajuste está relacionado con los valores de los transformadores de corriente y de tensión por la siguiente formula

Ecuación 3. 
$$W = V * I \sqrt{3}$$

es decir que las variaciones de potencia en el relevador estarán definidas por la corriente más que por la tensión, el valor de ajuste de 300 watts, puede apreciarse cuando se conoce el valor de potencia en el primario a la cual el generador opera con una sobre potencia, este valor es de 4.3 MW con un retardo de 0.3 segundos, esto se explicará en el capítulo IV.

**TABLA IV Datos para programación de ajustes de protección de potencia inversa para relevador de estado sólido**

Sensing Input Type	Nom. Volts	Range	Switch Position (in watts)										
			A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	
A, B or V 1-phase	120	1	Hi	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0
			Lo	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		2	Hi	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
			Lo	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		3	Hi	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
			Lo	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
C, D, or E 3-phase	120	1	Hi	6.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	42.0	48.0	54.0	60.0
			Lo	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0
		2	Hi	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600
			Lo	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
		3	Hi	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
			Lo	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750
A, B, or V 1-phase	208 or 240	4, 7	Hi	4.0	8.0	12.0	16.0	20.0	24.0	28.0	32.0	36.0	40.0
			Lo	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
		5, 8	Hi	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
			Lo	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		6, 9	Hi	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
			Lo	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
C, D, or E 3-phase	208 or 240	4, 7	Hi	12.0	24.0	36.0	48.0	60.0	72.0	84.0	96.0	108.0	120.0
			Lo	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0
		5, 8	Hi	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200
			Lo	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
		6, 9	Hi	600	1200	1800	2400	3000	3600	4200	4800	5400	6000
			Lo	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500

**Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé de direccional de potencia Activa**

### 1.2.4 Relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje 50/51V

Un relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje, provee voltaje de respaldo a la función de sobrecorriente. La corriente de arranque del relevador 50/51V, disminuye proporcionalmente con la disminución de voltaje sobre el rango de voltaje seleccionado. Los elementos de corriente instantánea cuando son programados al relevador, operan independientemente de la función de respaldo de voltaje.



La función de respaldo de voltaje provee un significado agregado de discriminación entre condiciones de falla y carga, esto permite al tiempo de arranque de sobrecorriente estar ajustada debajo de la máxima corriente. Esta presentación permite al relevador proveer protección dual en el generador. Por ejemplo; respaldando la protección diferencial de las fallas del generador y respaldando otros relevadores externos a la zona del generador. Como una función de respaldo, deberá de estar ajustada con un tiempo de arranque prolongado.

Al momento de producirse una falla, la corriente varía continuamente conforme disminuye la corriente de campo, además, para otra falla localizada en las terminales del generador, el voltaje no será cero y variará con el tiempo, conforme la corriente de falla disminuya. Si el voltaje de respaldo se encuentra entre 25 y 100%, el elemento de tiempo de arranque de sobrecorriente también variará con el tiempo por el cambio de voltaje. Debido a que el arranque varia con el tiempo, los múltiplos de arranque, y por lo tanto el tiempo también variarán. Estos factores deberán ser considerados cuando se coordinan con dispositivos de fallas externas.

#### **1.2.5. Características de operación a voltajes reducidos**

El relevador de estado sólido ajusta los parámetros de operación basados en el sistema de voltaje. La sensibilidad del relevador es incrementada por las caídas de voltaje en el sistema. Esto provee un medio de discriminación entre condiciones de carga y de falla. Una disminución del voltaje medido a un punto entre 100% y 25% del voltaje nominal resulta en una disminución proporcional en el punto de arranque de sobrecorriente. Entonces, al 50% del voltaje nominal, el relevador de sobrecorriente disparará al 50% del ajuste.

A voltajes superiores del 100% del voltaje nominal, el arranque será el mismo que el ajuste. A voltajes debajo del 25% del nominal, el arranque será al 25% del ajuste.

Las características de tiempo (tiempo vrs corriente de falla) del relevador utilizan el ajuste de los múltiplos de arranque (corriente de falla) como base. El ajuste (*pickup setting*) no se refiere a la corriente de arranque, sino al punto de operación como ajuste para voltaje. Entonces, con un ajuste de 5.0 Amperios, y un porcentaje de tensión al ocurrir la falla de 50%, una corriente de 5 amperios representa 2 veces el arranque como se observa en las siguientes formulas:

**Ecuación 4**                      Múltiplos de corriente de falla =  $I_{pickup} / I_{reducida}$

Donde

$I_{reducida}$ :                      Corriente reducida por relación de transformación de tensión

**Ecuación 5**                       $I_{reducida} = (I_{falla} \times \% V_{falla})$

Donde

$V_{falla}$                       Es el porcentaje de reducción al ocurrir la falla

Para una falla de corriente dada, el relevador se disparará mas rápido, a voltajes reducidos porque el múltiplo de arranque se incrementa. Esto se muestra en la tabla V

**Tabla V Tabulación de datos de características de operación de protección de sobrecorriente con respaldo de Voltaje relevador de estado sólido**

*Table 1-1. Timing, Characteristic Curve B4, With BE1-51/27R At 100% and 50% Voltages,*

<b>Fault Current</b>	<b>System voltage</b>	<b>Effective Pickup</b>	<b>Multiples of Pickup</b>	<b>Approximate Trip Time</b>
4.25 Amps	100%	5.0 Amps	<1.0	NO TRIP
4.25 Amps	50%	2.5 Amps	1.7	1.499 Sec.
4.25 Amps	0%	1.25 Amps	3.4	.507 Sec.
7.50 Amps	100%	5.0 Amps	1.5	1.873 Sec.
7.50 Amps	50%	2.5 Amps	3.0	.772 Sec.
7.50 Amps	0%	1.25 Amps	6.0	.474 Sec.
15.00 Amps	100%	5.0 Amps	3.0	.772 Sec.
15.00 Amps	50%	2.5 Amps	6.0	.474 Sec.
15.00 Amps	0%	1.25 Amps	12.0	.355 Sec.

**Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé direccional de potencia**

### **1.2.6 Relevador de sobre corriente de neutro 50/51G**

En el esquema de protección de la planta se observa la protección de fallas de fase a tierra, se realiza por limitación de corriente, por medio de una resistencia insertada en el neutro del generador. La corriente de falla está limitada a un valor de 200 Amperios

Ajuste de parámetros del dispositivo de sobrecorriente de neutro

Corriente de arranque	1 A
Múltiplos de la corriente	0
Tiempo de retardo	10 segundos
Curva	Extremadamente inversa

El valor de la resistencia de limitación de corriente esta dado por la siguiente formula

Ecuación 6. 
$$R_n = \frac{1}{6 \pi F C}$$

donde al ingresar valores según la figura No 2 el valor de capacitor de 25  $\mu$ F una frecuencia de 60 hertz el valor de la resistencia es 35.36 ohms y el valor de resistencia comercial es de 40 ohms que es el valor adecuado para limitar la corriente. En el capítulo II se analizará la forma en que el relevador multifunciones protege al generador en situaciones de falla a tierra.

### **1.3 Descripción de protecciones eléctricas de relevadores de estado sólido relacionado con la apertura del interruptor de barra de 13.8 KV y sus ajustes actuales**

#### **1.3.1 Relevador de voltaje de secuencia de fase 47N**

Este relevador esta diseñado para detectar fase invertida en líneas, transformadores, generadores. Cuando es utilizado en protección de maquinas síncronas, el relevador provee protección para prevenir arranques con una de las fases abiertas o por una condición de fase invertida, desbalanceadas bajo y sobrevoltaje. Un voltaje de secuencia negativa es el resultado de condiciones de fase desiguales en la fuente. Esto puede ser debido a cargas monofásicas desiguales en el sistema o impedancia de transformador entre fases, un nivel entre 1% y 2% es aceptable en el sistema, cualquier incremento significativo cerca de este nivel puede indicar un problema en el servicio y puede conducir a problemas serios en la planta.

Las pérdidas en el generador y las corrientes desbalanceadas se incrementan con el voltaje de secuencia negativa. Las pérdidas incrementadas debido al voltaje de secuencia negativa no es función de la carga del generador sino es independiente, una maquina trabajando con un nivel de 3.5% de voltaje de secuencia negativa incrementará sus perdidas en un 25%. La curva característica de este relevador se presenta en la figura No 6. Los parámetros de ajuste para este relevador en la planta son los siguientes

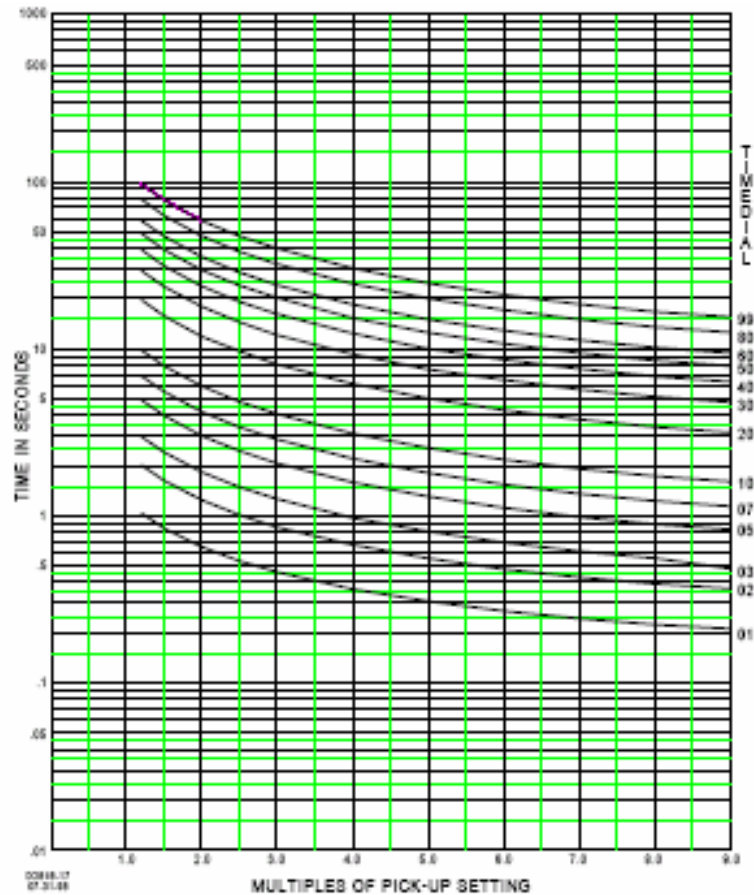
Porcentaje de voltaje de secuencia negativa	8%
Tiempo de retardo de disparo	99 segundos

Un circuito abierto, en un arrollamiento del estator, es muy difícil detectar antes de que haya originado daño considerable. En la práctica no es necesario proporcionar equipo de protección por medio de relevadores para propósito de circuitos abiertos. Los circuitos abiertos son muy improbables en maquinas bien construidas por lo tanto no es necesario incluirlo en las celdas de protección al generador.

### **1.3.2 Relevador de bajo voltaje y sobre voltaje**

La protección de sobretensión es recomendable para todos los generadores que están sujetos a sobrevelocidad y en consecuencia a sobretensión por pérdidas de la carga. Esta protección se proporciona a menudo mediante el equipo de regulación de tensión, si no es así se debe proporcionar mediante un relevador de sobretensión de C.A. el regulador de tensión de este generador es el regulador denominado KATO KCR 760 que cuenta con un circuito que opera cada vez que se arranca el generador.

**Figura 6 Curva característica de protección de secuencia de fase de voltaje relevador de estado sólido**



**Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé voltaje de secuencia negativa**

El circuito regula cuando el voltaje del generador se ha incrementado alrededor del 70% de la salida de voltaje seleccionado, sin embargo no cuenta con contactos de salida que alimenten la bobina de apertura del interruptor. El regulador está equipado con un límite Voltios / Hercios, e interactúa con la medición de regulador y un detector de error en una manera que disminuye el voltaje durante operación a baja velocidad.

El regulador tiene una unidad de acción retardada con puesta en trabajo de casi 110% de la tensión nominal y una unidad instantánea con puesta en trabajo de casi 130% a 150% de la tensión nominal. El relevador está alimentado con un transformador de corriente distinto, para el regulador automático de tensión. El funcionamiento del regulador debería de preferencia originar primero una resistencia adicional que ha de insertarse en el circuito de campo del generador o del excitador. Si persiste la sobretensión se debería disparar el interruptor principal del generador y el del campo de éste o del excitador.

Los ajustes para el relevador de alto y bajo voltaje son:

Porcentaje diferencial para sobrevoltaje	8%
Tiempo de arranque	10s
Porcentaje diferencial para bajo voltaje	6%
Tiempo de arranque	31s

### **1.3.3 Relevador de baja frecuencia / sobre frecuencia**

La protección contra sobrevelocidad también esta monitoreada no con un relevador, sino simplemente con un PLC y con un interruptor de velocidad para el motor, pero no para el generador. El interruptor de velocidad, tiene coordinada la presión de aceite del motor a determinada velocidad para la apertura del interruptor y la velocidad del generador es medida con pickup magnético, donde el PLC no cuenta con curvas características, sino únicamente esta ajustado a un valor de sobrevelocidad de 1019 RPM.

El valor de baja frecuencia esta monitoreado también por el circuito del regulador de tensión KATO KCR760 ajustado con un límite de baja frecuencia.

El límite de baja frecuencia provee una referencia de voltaje constante a un detector de error, cuando la frecuencia de salida del generador es más grande que un límite de frecuencia predeterminado. Cuando el generador esta operando por debajo del umbral de operación predeterminado del límite de baja frecuencia, el detector de error proveerá una referencia de voltaje que es proporcional a este valor de baja frecuencia.

El umbral de operación del limite de baja frecuencia para el sistema de 60 Hertz esta dado por 59.5 Hertz, nuevamente este dispositivo únicamente regulará el limite de baja frecuencia sin embargo no existen contactos destinados para la apertura del interruptor ni curvas características propias del generador. Por lo tanto el relevador de baja/ sobrefrecuencia esta de respaldo por la barra principal de 13.8KV.

Los ajustes de los parámetros para la protección de alta y baja frecuencia en la barra de 13.8KV están dados por

Ajuste de sobrefrecuencia en Hertz	61.5
Tiempo de disparo	2.5s
Ajuste de baja frecuencia en Hertz	58.0
Tiempo de disparo	30s



#### **1.4. Protecciones del primotor**

Estas formas de protección son mecánicas y no están clasificadas dentro del equipo de protección por relevador, únicamente están relacionadas por transductores de presión, temperatura a través de RTD's y termocoplas, detectores de Nivel, que a través de contactos (entradas digitales activado desactivado) envían señal de apertura del interruptor.

Dentro de estas podemos mencionar.

- Alta Presión en el Carter
- Baja Presión de Combustible
- Alta Temperatura de Aceite de Lubricación
- Alta temperatura de entrada a las Camisas del pistón
- Bajo Nivel del Tanque de Agua de las camisas
- Alto/Bajo Nivel de Aceite

#### **1.5. Descripción del circuito de apertura y disparo del interruptor del generador y el esquema del relevador de bloqueo del relevador 86T**

Los relevadores de bloqueo son aplicables en situaciones en las que se desea que un número de operaciones sean realizadas simultáneamente. Algunas de las operaciones que pueden ser realizadas por este relevador son: disparo de la bobina principal del interruptor, operación de relevadores en otras celdas a través de sus contactos.

Como se muestra en la figura No 8 la bobina HR, contactos A1 y A2 del relevador de bloqueo, es alimentada por cada una de las protecciones

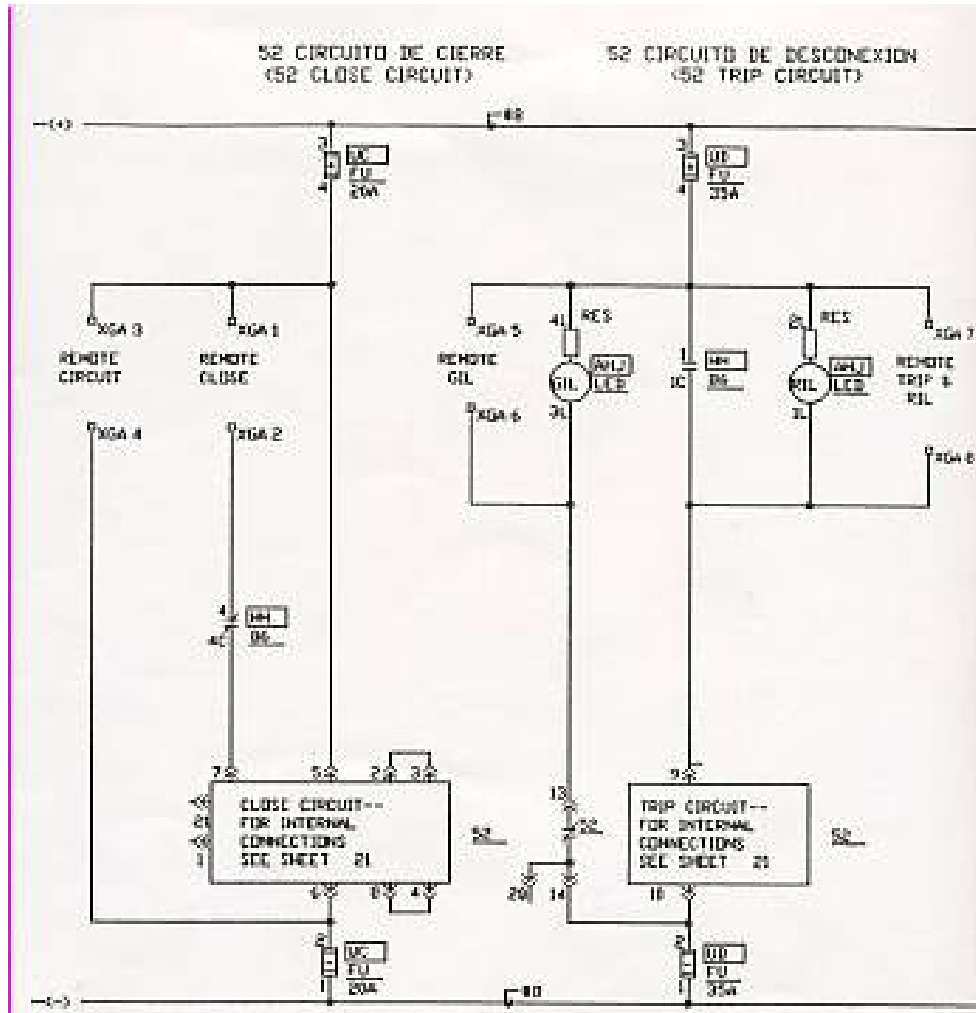
del generador, además existe un conexionado especial, el cual es utilizado únicamente para señalización del tipo de falla que se está dando.

El conexionado general para la bobina HR del relevador de bloqueo es activado por todas las protecciones; 87G, 50/51V, 50/51G, 32R, 32RV, 46N, sin embargo el conexionado especial, el cual es alimentado por las protecciones 87G, 50/51G, alimenta la bobina de un contactor auxiliar 94G el cual queda autoalimentado por sus contactos 13 y 14 y actúa independientemente de las otras protecciones a través de un diodo rectificador SPA y sus contactos auxiliares 21 y 22.

El contactor 94G a través de contactos de salida alimenta una indicación de **Falla Eléctrica Parada Inmediata**, que le permite al operador saber que el tipo de falla fue por protección diferencial o de fase a neutro del estator. Las otras protecciones activan una indicación **Falla Eléctrica Parada Normal** que le permite al operador saber que el relevador que se activo fue de potencia activa, reactiva, o sobrecorriente de fase.

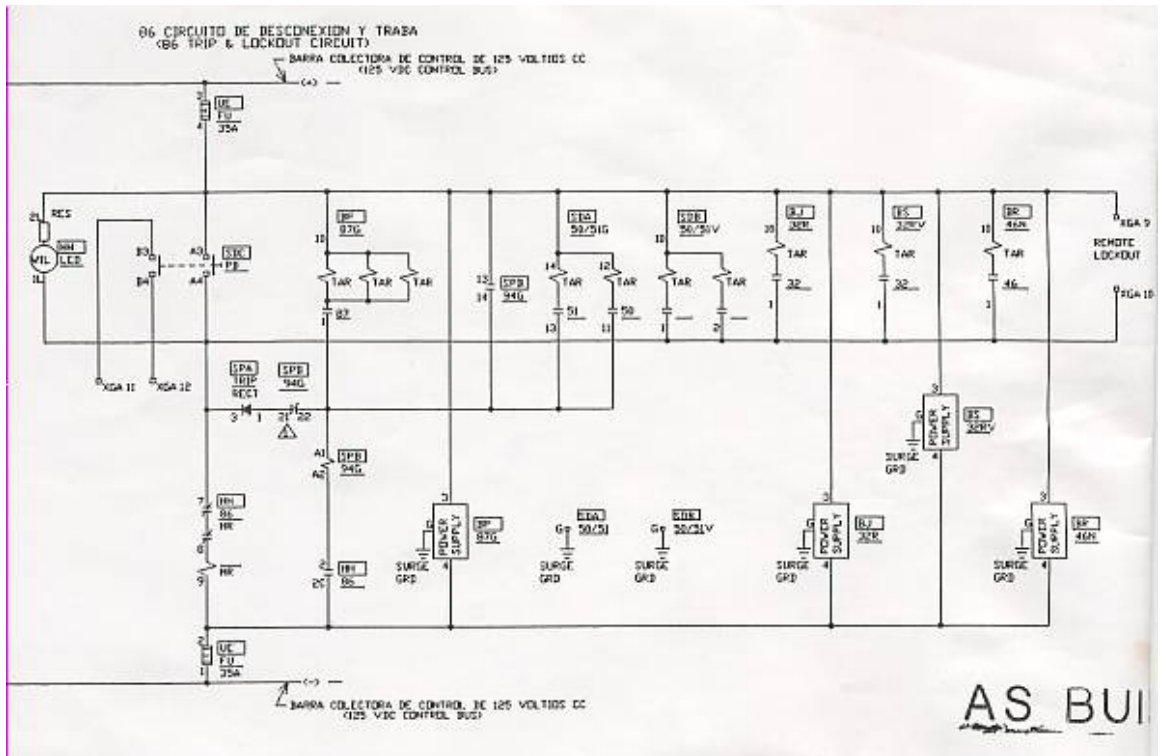
El relevador de bloqueo no interactúa con el interruptor principal ni viceversa, como se observa en la figura No 8 sus contactos únicamente actúan en la apertura y cierre del interruptor del generador. La apertura y cierre del interruptor se puede realizar de forma local o remota desde el cuarto de control del operador o directamente desde el panel donde se encuentran las protecciones

Figura 7 Diagrama de apertura y cierre del interruptor



Fuente: SIDERURGICA DE GUATEMA, S.A. ESCUINTLA ENERGY CENTER. PLANO SWGR 0185D9874

**Figura 8 Diagrama de Bloqueo del interruptor por medio del relevador**  
86



Fuente SIDERURGICA DE GUATEMA, S.A. ESCUINTLA ENERGY CENTER. PLANO  
SWGR 0185D9874



## 2. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE PROTECCIONES UTILIZANDO EL RELEVADOR MULTILIN SR489

### 2.1 Descripción del relevador multilin SR489

Este relevador está diseñado para la protección de generadores síncronos y de inducción. En la figura 9 se presenta el diagrama unifilar del relevador donde se muestran las protecciones para las cuales está diseñado, Las características de este relevador, además de protección de los generadores permiten obtener un registro de los eventos que ocurren; la programación vía computadora, cuando se desea realizar algún cambio de los ajustes de protección; los rangos de ajustes de protección son más amplios; puede realizar mediciones de tensión, corriente, potencia instantáneas, energía entregada por el generador, protección de temperatura del rotor y estator.

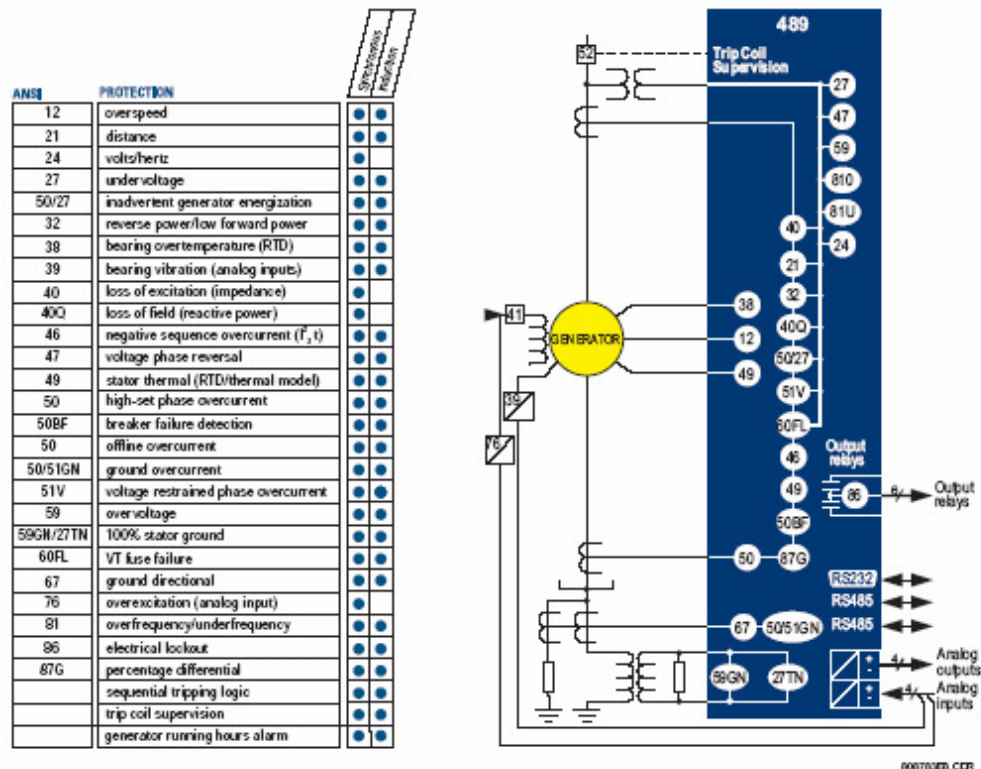
#### 2.1.1. Cálculo de los transformadores de corriente y de tensión para la instalación del SR489

Los transformadores de corriente se calculan de acuerdo a la corriente a plena carga del generador

**Ecuación 7.** Corriente a plena Carga =  $\frac{\text{Potencia Aparente}}{\sqrt{3} * \text{Voltaje de Línea}}$

$$\text{Corriente a plena carga} = \frac{5,500 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 13.8\text{KV}} = 230 \text{ Amperios}$$

**Figura 9 Diagrama unifilar de protecciones del relevador Multifunciones SR489**



**Figure 1-1: SINGLE LINE DIAGRAM**

**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Por lo tanto los transformadores de corriente adecuados para este relevador es el de relación 300: 5 como los que se encuentran instalados actualmente. En la tabla VI se observa que las conexiones de estos transformadores de corriente son las terminales .G06-G08 Y H06-H08

Referente a los transformadores de tensión, los que se encuentran instalados actualmente son de relación de transformación de 14400/120 Voltios los cuales podrían ser utilizados si se realizara la instalación del nuevo relevador. El relevador SR489 además posee dos protecciones adicionales pero optativas para una mejor supervisión de fallas en el neutro del generador las cuales se mencionarán mas adelante en este capítulo, para esto se utiliza otro transformador de tensión que va conectado en el neutro del generador y que también tendría la misma relación de

transformación, Según la tabla VI las conexiones de los transformadores de tensión se realizan en las terminales G02.H01 y H02.

### **2.1.2. Transformadores de corriente de Neutro:**

Los transformadores de corriente conectados en el neutro de cualquier equipo eléctrico, están destinados para encontrar la corriente de entrada de falla de neutro para protección del generador. El Multilin puede utilizar para tal propósito transformadores de corriente estándar, los cuales pueden tener relaciones de transformación de hasta 2000:1 o también presentan la opción de utilizar unos transformadores de corriente de núcleo balanceado de relación de transformación de 50.0 : 0.25 A con este tipo de transformadores de corriente se pueden medir corrientes pequeñas circulantes en el generador con un mínimo error, sin embargo sería un costo innecesario por lo tanto se pueden reutilizar los CT's que se encuentran actualmente, que poseen una relación de transformación de 300:5. Según la tabla VI los transformadores de corriente de neutro se conectan en las terminales G03, G04, G05, H03, H04 Y H05.

### **2.1.3. Especificaciones técnicas del generador.**

Potencia Aparente	5.5 MVA
Factor de potencia	0.8
Potencia activa	4.4 MW
Frecuencia	60HZ
Voltaje	13,800 Voltios
Velocidad de rotación	900 r.p.m.
Reactancia Sincronía	0.25 p.u.
Reactancia Transitoria	0.18 p.u.
Número de Polos	8
Polos Salientes	



## **2.2 Instalación eléctrica del relevador multifunciones**

Las conexiones que se realizarán en cada una de las terminales del relevador, serán de acuerdo a la tabla VI donde se presenta la función de cada terminal y, partiendo de esto se pueden realizar las conexiones. A diferencia de los relevadores de estado sólido, este relevador únicamente necesita 3 grupos de transformadores de corriente, uno para tomar referencia para cada protección que necesite señal de corriente, otro para completar la protección diferencial del generador y otro para la sobrecorriente de neutro. Se necesita dos transformadores de tensión, uno para realizar las restantes protecciones de tensión de potencia, y el otro para el sobrevoltaje de neutro, este ultimo si es deseable.

Realizando una descripción de las características en la tabla VI se observa que el relevador además de las protecciones eléctricas posee conexiones para la instalación de 12 RTD's para control de temperaturas en el generador, (terminales en el SR489 A01-A15 y D01-D15 ) en el motor de combustión interna o equipos auxiliares, los cuales pueden generar una condición de alarma o disparo del interruptor, dentro de estas se programaran las que son más críticas para el funcionamiento del generador, además de algunas de las temperaturas del primotor estas se tabulan en la tabla VII. En la instalación se pueden conectar las terminales A01-A15 y D01-D06 quedando disponibles 5 espacios para otras temperaturas que se deseen supervisar.

**Tabla VI Listado de Temperaturas y parámetros de operación del relevador que pueden programarse en el relevador SR489**

	<b>Nombre</b>	<b>Alarma °C</b>	<b>Disparo °C</b>
RTD 1	Cojinete Trasero	90	98
RTD 2	Cojinete Delantero	90	98
RTD 3	Estator Fase A	110	120
RTD 4	Estator Fase B	110	120
RTD 5	Estator Fase C	110	120
RTD 6	Aceite de Lubricación	87	92
RTD 7	Agua de Enfriamiento	95	100

**TABLA VII. Terminales eléctricas físicas de conexión del relevador SR489**

TERMINAL	DESCRIPTION	TERMINAL	DESCRIPTION
A01	RTD #1 HOT	D21	ASSIGNABLE SW. 06
A02	RTD #1 COMPENSATION	D22	ASSIGNABLE SW. 07
A03	RTD RETURN	D23	SWITCH COMMON
A04	RTD #2 COMPENSATION	D24	SWITCH +24 V DC
A05	RTD #2 HOT	D25	COMPUTER RS485 +
A06	RTD #3 HOT	D26	COMPUTER RS485 -
A07	RTD #3 COMPENSATION	D27	COMPUTER RS485 COMMON
A08	RTD RETURN	E01	R1 TRIP NC
A09	RTD #4 COMPENSATION	E02	R1 TRIP NO
A10	RTD #4 HOT	E03	R2 AUXILIARY COMMON
A11	RTD #5 HOT	E04	R3 AUXILIARY NC
A12	RTD #5 COMPENSATION	E05	R3 AUXILIARY NO
A13	RTD RETURN	E06	R4 AUXILIARY COMMON
A14	RTD #6 COMPENSATION	E07	R5 ALARM NC
A15	RTD #6 HOT	E08	R5 ALARM NO
A16	ANALOG OUT COMMON -	E09	R6 SERVICE COMMON
A17	ANALOG OUT 1 +	E10	NEUTRAL VT COMMON
A18	ANALOG OUT 2 +	E11	COIL SUPERVISION +
A19	ANALOG OUT 3 +	E12	IRIG-B +
A20	ANALOG OUT 4 +	F01	R1 TRIP COMMON
A21	ANALOG SHIELD	F02	R2 AUXILIARY NO
A22	ANALOG INPUT 24 V DC POWER SUPPLY +	F03	R2 AUXILIARY NC
A23	ANALOG INPUT 1 +	F04	R3 AUXILIARY COMMON
A24	ANALOG INPUT 2 +	F05	R4 AUXILIARY NO
A25	ANALOG INPUT 3 +	F06	R4 AUXILIARY NC
A26	ANALOG INPUT 4 +	F07	R5 ALARM COMMON
A27	ANALOG INPUT COMMON -	F08	R6 SERVICE NO
B01	RTD SHIELD	F09	R6 SERVICE NC
B02	AUXILIARY RS485 +	F10	NEUTRAL VT +
B03	AUXILIARY RS485 -	F11	COIL SUPERVISION -
B04	AUXILIARY RS485 COMMON	F12	IRIG-B -
C01	ACCESS +	G01	PHASE VT COMMON
C02	ACCESS -	G02	PHASE A VT +
C03	BREAKER STATUS +	G03	NEUTRAL PHASE A CT +
C04	BREAKER STATUS -	G04	NEUTRAL PHASE B CT +
D01	RTD #7 HOT	G05	NEUTRAL PHASE C CT +
D02	RTD #7 COMPENSATION	G06	OUTPUT PHASE A CT +
D03	RTD RETURN	G07	OUTPUT PHASE B CT +
D04	RTD #8 COMPENSATION	G08	OUTPUT PHASE C CT +
D05	RTD #8 HOT	G09	1A GROUND CT +
D06	RTD #9 HOT	G10	HGF GROUND CT +
D07	RTD #9 COMPENSATION	G11	FILTER GROUND
D08	RTD RETURN	G12	SAFETY GROUND
D09	RTD #10 COMPENSATION	H01	PHASE B VT +
D10	RTD #10 HOT	H02	PHASE C VT +
D11	RTD #11 HOT	H03	NEUTRAL PHASE A CT
D12	RTD #11 COMPENSATION	H04	NEUTRAL PHASE B CT
D13	RTD RETURN	H05	NEUTRAL PHASE C CT
D14	RTD #12 COMPENSATION	H06	OUTPUT PHASE A CT
D15	RTD #12 HOT	H07	OUTPUT PHASE B CT
D16	ASSIGNABLE SW. 01	H08	OUTPUT PHASE C CT
D17	ASSIGNABLE SW. 02	H09	1A GROUND CT
D18	ASSIGNABLE SW. 03	H10	HGF GROUND CT
D19	ASSIGNABLE SW. 04	H11	CONTROL POWER -
D20	ASSIGNABLE SW. 05	H12	CONTROL POWER +

Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489

Continuando con la descripción, posee siete entradas digitales para su programación, (terminales D16-D22 tabla VI), la Entrada Digital No 4 se encuentra reservada para programación de sobrevelocidad a 1017 RPM y también se programarán 5 entradas digitales más, las cuales en el diseño actual son controladas por PLC, activados por contactos del PLC a bobinas de relés, que a través de sus contactos disparan el interruptor, esto se puede implementar en este relevador para tener centralizadas las ordenes de disparo del interruptor y la propia seguridad del equipo.

Los instrumentos que se utilizan son presóstatos, detectores de nivel, que están ajustados a determinados valores y sus contactos, son los que se utilizan para las entradas digitales, solamente la entrada No 4 la cual tiene un transductor de velocidad – frecuencia llamado pick up magnético que sirve para medir la velocidad del eje del generador. A continuación se presenta la tabla VIII donde se muestran estas protecciones y sus parámetros

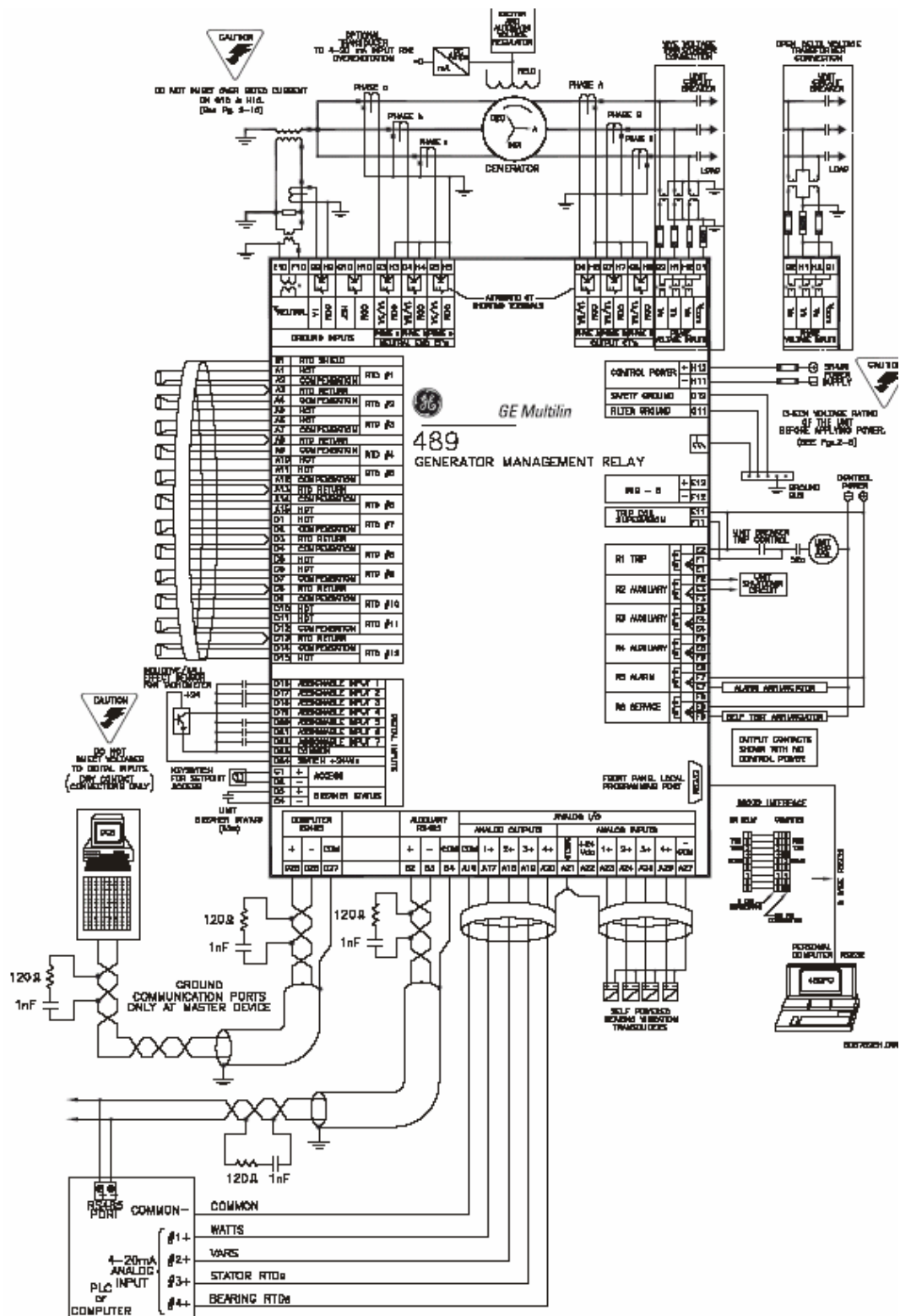
El circuito de apertura y disparo del interruptor siempre utiliza un relevador de bloqueo, externo 86, debido a que este relevador, como puede concentrar todas las protecciones del generador y primotor, podría enviar señal de disparo a la bobina del interruptor directamente (a través de la terminal E02), sin embargo se utilizará un relevador de bloqueo para la apertura o cierre del interruptor desde puntos remotos, como se opera localmente donde se encuentra el interruptor y remotamente donde se encuentra el operador.

**Tabla VIII. Listado de entradas digitales y sus parámetros que pueden programarse en el relevador SR489**

	Identificación	Ajuste del Instrumento	Tiempo de Disparo
Entrada A	Alta Presión en el Carter	1onz/inch <sup>2</sup>	5s
Entrada B	Baja Presión de Combustible	450 KPa	1s
Entrada C	Bajo Nivel de Tanque de Expansión	1/4	1s
Entrada D	Tacómetro	1017 RPM	0
Entrada E	Bajo Nivel de Aceite en el carter	1/4	1s
Entrada F	Alto Nivel de Aceite en el carter	1 1/4	1s

El relevador posee algunas funciones de monitoreo, algunas pueden ser externas, como las que se observan en la figura No 10 donde se muestra un conexionado para la supervisión de la bobina del interruptor y definir a partir de su estado el buen funcionamiento del mismo, según la Tabla VI la conexión se realiza en las terminales E11 y F11. También con el monitoreo de los contactos del interruptor se podría tener un conteo de las veces que se abre el interruptor para tener un control para mantenimiento del mismo, se conectan en las terminales C03 y C04 según tabla VI.

Figura 10 Instalación eléctrica del relevador SR489



Fuente: Manual De Instruccion Relé de protección SR489

Otra conexión eléctrica externa es el estado de los fusibles de los transformadores de Tensión, debido a que alguno podría tener alguna falla, motivo por el cual se encuentra abierto, el relevador no permitiría el arranque, alertando al operador donde se encuentra la falla.

Una función de monitoreo interno es un horómetro que cuenta la cantidad de horas que el generador ha trabajado en línea para la programación de mantenimiento al primotor y/o al generador.

Las características descritas con anterioridad representan el valor agregado de este relevador ya que son las funciones internas que el relevador presenta al usuario para la administración de la información que puede almacenar y desplegar en un sistema SCADA, útiles para el monitoreo de la generación en una planta, sin embargo se debe encontrar los medios para comunicarse utilizando el sistema actual o en su defecto instalar medios de comunicación externos.

Esta información se presenta en la tabla IX y corresponde a la programación interna de comunicación del relevador la cual será explicada mas adelante

**Tabla IX Listado de parámetros de Comunicación que pueden programarse para el monitoreo de la información en sistema SCADA**

<b>No</b>	<b>Dirección</b>	<b>CODIGO</b>	<b>Descripción</b>
1	0100	0400	Corriente de salida de la fase a
2	0101	0402	Corriente de salida de la fase b
3	0102	0404	Corriente de salida de la fase c
4	0103	0440	Voltaje de la fase a-b
5	0104	0441	Voltaje de la fase b-c
6	0105	0442	Voltaje de la fase c-a
7	0106	0443	Voltaje promedio de línea
8	0107	0444	Voltaje de la fase a neutro a-n
9	0108	0445	Voltaje de la fase a neutro b-n
10	0109	0446	Voltaje de la fase a neutro c-n
11	010A	0447	Voltaje promedio de fase
12	010B	0449	Frecuencia
13	010C	0460	Factor de potencia
14	010D	0461	Potencia real
15	010E	0463	Potencia reactiva
16	010F	0465	Potencia aparente
17	0110	0467	Watt-hour positivos
18	0111	0469	Var-hour positivos
19	0112	04A2	Temperatura de rtd 1
20	0113	04A3	Temperatura de rtd 2
21	0114	04A4	Temperatura de rtd 3
22	0115	04A5	Temperatura de rtd 4
23	0116	04A6	Temperatura de rtd 5
24	0117	04A7	Temperatura de rtd 6
25	0118	04A8	Temperatura de rtd 7
26	0119	0520	Tacómetro
27	011A	07E0	Numero total de horas en línea del generador
28	011B	1200	Estado del interruptor
29	011C	3004	Causa del evento



## **2.3 Discusión de la importancia de protecciones eléctricas que se pueden implementar al esquema de protecciones del generador que ofrece el SR489**

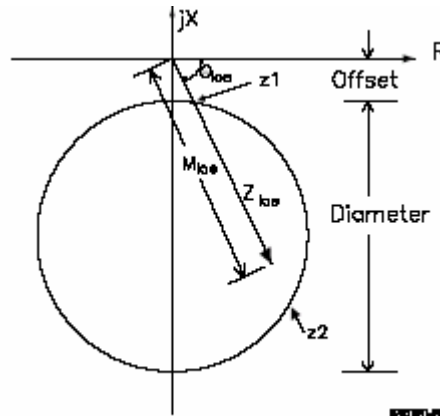
### **2.3.1 Relevador de pérdida de excitación**

Cuando un generador síncrono pierde la excitación, funciona como un generador de inducción, que gira arriba de la velocidad síncrona y no posee corriente de excitación. El estator de cualquier tipo de generador síncrono puede sobrecalentarse, debido a la presencia de sobrecorrientes en los arrollamientos del mismo, mientras la maquina esta girando como un generador de inducción. “La razón principal de la protección por perdida de excitación es que al no desconectarse inmediatamente, se puede desarrollar una inestabilidad general, y puede ocurrir un paro mayor del sistema por ejemplo, en los reguladores de tensión automáticos debido a que cuando un generador pierde la excitación, extrae potencia reactiva del sistema, aumentando de 2 a 4 veces la carga nominal del generador “<sup>(1)</sup>.

Antes de perder la excitación, el generador podría haber estado entregando potencia reactiva al sistema. De este modo, la gran carga reactiva desperdiciada en el sistema, junto con la pérdida de la potencia reactiva de salida del generador, puede originar una reducción general en la barra de tensión, que a su vez puede originar inestabilidad, a menos que los otros generadores puedan absorber de inmediato la carga reactiva adicional.

La figura No 11 muestra la curva característica de la perdida del relevador SR485 en un diagrama R-X

**Figura 11 Curva característica de pérdida de excitación del relevador SR489**



**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Los parámetros para la programación de esta protección esta dada por un círculo grande el cual debe de ser ajustado a la reactancia síncrona del generador, y el círculo grande de compensación (offset) ajustado a la reactancia subtransitoria del generador media  $X_d'/2$ . El círculo pequeño debe de ser ajustado a 0.7 veces la reactancia síncrona y el círculo pequeño a la reactancia subtransitoria del generador  $X_d'/2$ .

Valor de Reactancia Síncrona	34.6	ohms
Valor de Reactancia Subtransitoria	6.2	ohms
Valor del círculo 1	34.6	ohms
Valor Offset del círculo 1	3.1	ohms
Valor del Círculo 2	2.4	ohms
Valor Offset del círculo 2	3.1	ohms

A diferencia de otros relevadores que utilizan las curvas de capacidad de los generadores para calcular los ajustes de protección, este lo realiza a través de impedancias del generador.

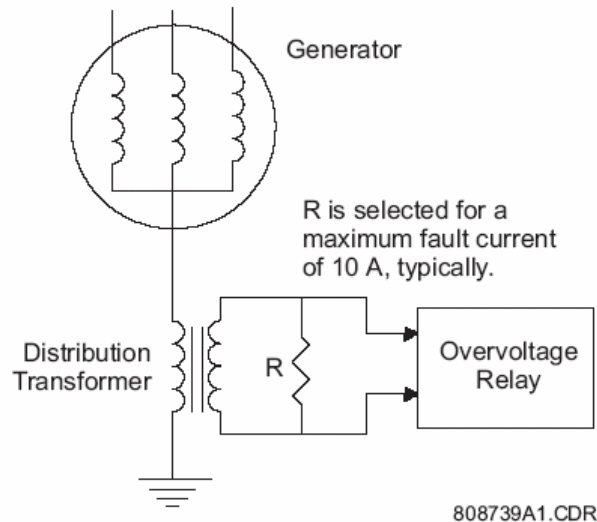
### **2.3.2 Protección de sobrevoltaje de neutro**

En generadores con impedancia aterrizada, una falla monofásica a tierra en el estator no requiere que la unidad sea puesta fuera de servicio. La impedancia de aterrizaje limita la corriente de falla a unos pocos amperios, una segunda falla en el estator puede, de alguna forma convertirse en un daño significativo a la unidad, es allí la importancia de detectar fallas aun aquellas que se encuentran al 5% de corriente del estator. Los métodos de detección de fallas dependen del arreglo de aterrizaje, de la disponibilidad de transformadores de núcleo balanceado y el tamaño de la unidad.

El método de detectar una falla de tierra en el SR489 es a través de una conexión de transformadores de tensión del neutro, hacia la señal de entrada del voltaje neutral en las terminales E10 y F10 del relevador. Esta opción de protección protege de fallas a tierra aproximadamente al 95% del devanado del estator, la protección del neutro se complementa cuando la protección de sobrevoltaje es programada simultáneamente con la función de Bajo voltaje de neutro (3ra Armónica).

El tiempo de operación de este elemento deberá ser coordinado con elementos de protección tales como elementos en la falla de alimentación de tierra, los elementos de sobrevoltaje de neutro responderán a fallas externas de tierra si el generador es directamente conectado a un nivel de potencia, sin el uso de transformador delta estrella aterrizada.

**Figura No 12 Diagrama de conexionado para la protección de sobrevoltaje de Neutro del Generador por medio del SR489**



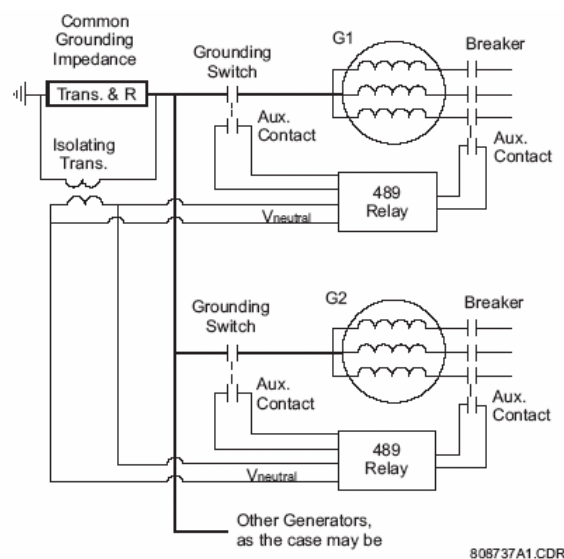
**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Cuando varios generadores pequeños son operados en paralelo con un transformador, todos los generadores deberán ser aterrizados a través de la misma impedancia (La impedancia normalmente consiste de un transformador de distribución y una resistencia debidamente dimensionada). Es posible que únicamente un generador esté aterrizado mientras que los otros tienen un punto neutral flotante cuando esta conectada a la red de potencia (ver la figura No 13).

Este modo de operación a menudo es adoptado para prevenir la circulación de corrientes de tercera armónica a través del generador, la instalación es de la forma en que todos los puntos de la estrella de los generadores deberán terminar conectados delante de la impedancia de tierra, (si cada generador tiene su propia impedancia, la magnitud del cálculo de la corriente de tercera armónica deberá ser un poco menor).

Con un punto de tierra común la misma señal de tensión de neutros es llevada a todos los relés pero únicamente el que se encuentre aterrizado tendrá el elemento de sobrevoltaje de neutro en servicio.

**Figura 13 Conexión de generadores con una sola impedancia de neutro y sus cuchillas de tierra**



**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Para estos casos, el elemento neutral de sobrevoltaje ha sido provisto con una señal supervisada para obtener un contacto auxiliar de interruptor de tierra, como es el contacto auxiliar del interruptor, si todos los generadores están aterrizados a través de la misma impedancia, el elemento de sobrevoltaje neutral en cada relevador responderá a una falla en cualquiera de los generadores, Por esta razón, el elemento direccional de neutro deberá ser utilizado en cada relevador, sumado al elemento de sobrevoltaje neutral.

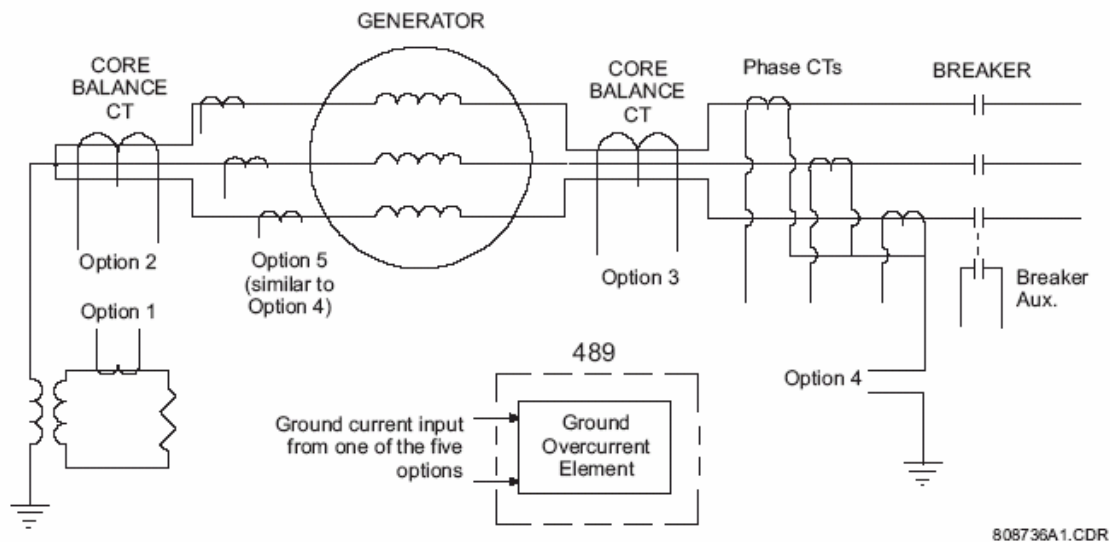
### **2.3.3 Protección de sobrecorriente de neutro**

El elemento de sobrecorriente de neutro puede ser utilizado en lugar o como respaldo para el elemento de sobrevoltaje neutral con la apropiada señal del punto neutral del generador, para generadores aterrizados. Este elemento también puede ser usado con un Transformador de Núcleo balanceado, ya sea en las terminales del neutral (opción 2) o en las salidas del generador (opción 5) como se muestra en la figura 14. El uso del transformador de corriente especial, con sus entradas exclusivamente al relevador multifunciones, tendrá una detección de corriente muy sensible, pero todavía no ofrece una protección 100% completa al estator.

El ajuste de este elemento deberá estar cerca de la máxima corriente desbalanceada que normalmente fluye en el neutro del circuito. Teniendo la respuesta del elemento solamente para la componente de frecuencia fundamental.

El transformador de corriente de núcleo balanceado puede ser un transformador de corriente convencional con una relación de transformación de 50.0 : 0.25, permitiendo la medida de corriente del lado del primario a niveles debajo de 0.25 A. Usando un transformador de este tipo, en este lado del secundario del transformador proveerá protección contra fallas del estator en generadores sin aterrizar, conociendo que existe una fuente de corriente de secuencia cero en el sistema. Con respecto a la teoría, se podría utilizar el transformador de núcleo balanceado, conectado en la estrella del generador para obtener la señal de corriente de secuencia cero, obtenida como la suma de las tres corrientes que circulan por el neutro del generador, como se presenta en cualquiera de las opciones siguientes de la figura No 14

**Figura 14 Diferencias de los Arreglos de los transformadores de núcleo balanceados exclusivamente para el relevador SR489**

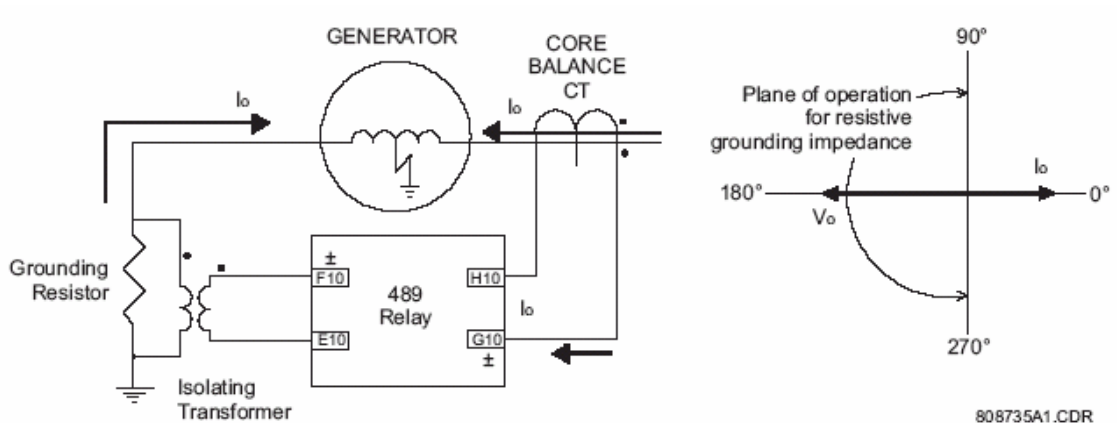


**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

### **2.3.4 Protección direccional de neutro**

El relevador multifunciones puede detectar fallas internas de tierra del estator usando un elemento direccional de neutro, utilizando el Voltaje neutral y las entradas de corriente de neutro. La señal de tensión es obtenida a través de la impedancia de neutro del generador, la secuencia cero es la corriente obtenida de un transformador de corriente con núcleo balanceado, como se muestra en la figura No. 15.

**Figura 15 Conexión para protección direccional de neutro para Relevador SR489**



**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Si están bien colocadas las polaridades en las conexiones de todas las señales al relevador, la señal de voltaje neutral estará en fase con la señal de corriente. El elemento está provisto con un ajuste que permite al usuario cambiar el plano de operación para intentar reactivar las impedancias de tierra o invertir las polaridades

El principio de operación de este elemento es simple, para fallas de neutro las dos señales estarán  $180^\circ$  fuera de fase y para fallas a tierra externas, las dos señales estarán en fase. Este simple principio permite al elemento ser ajustado con alta sensibilidad, no es normalmente posible realizarlo con elemento de sobrecorriente. El nivel de corriente de arranque puede ser ajustado a un nivel inferior de  $0.05 \times CT$  en el primario, permitiendo un nivel de operación de 0.25 A en el primario.



El nivel mínimo del voltaje neutral al cual el elemento operará esta determinado por limitaciones de hardware y es ajustado internamente a 2 Voltios. Debido a que este elemento es direccional, no necesita ser coordinado con protecciones de corriente y puede ser utilizado el tiempo de corta operación.

Las aplicaciones con generadores operados en paralelo y aterrizados a través de una impedancia común requieren consideraciones especiales. Si solo un generador es aterrizado y los otros quedan con neutro flotante, el elemento direccional para los generadores flotantes no recibe la correcta señal del Voltaje neutral y no puede operar correctamente en tales aplicaciones, el elemento hace uso de contactos auxiliares de las cuchillas de puesta a tierra y del interruptor para cambiar el elemento de sobrecorriente con un nivel de arranque ajustado para elemento direccional. De esta manera el elemento puede tener alta sensibilidad y rápida operación ya que responderá a fallas internas del estator.

### **2.3.5 Protección de sobretensión de tercera armónica**

El elemento de sobrevoltaje de neutro o el elemento de sobrecorriente de neutro no son una fuente confiable para detectar fallas abajo del 5% del estator, debido a la falta de sensibilidad. Para proveer cobertura confiable libre de fallas al estator de 100%, se utiliza la señal de voltaje de tercera armónica, las señales de voltaje en el neutral o en las terminales de salidas del generador. En el relevador multifunciones, la componente de tercera armónica esta compuesta de dos señales una señal que proviene del transformador de tensión del neutro llamada  $V_{N3}$  y la segunda es la cantidad de tercera armónica que proviene del voltaje de fase del generador llamada  $V_{p3}$

La cantidad de tercera armónica que aparece en el neutral del generador depende de la carga y la maquina. El método de protección de tercera armónica utiliza la siguiente ecuación

Ecuación 8 
$$\frac{V_{N3}}{V_{P3}/3 + V_{N3}} < 0.15$$
 lo cual se simplifica a  $V_{P3} > 17 V_{N3}$

Donde:

$V_{P3}$  es la magnitud de tercera armónica en las terminales del generador

$V_{N3}$  es la magnitud de tercera armónica en el neutral del generador

El relevador multifunciones prueba las siguientes condiciones previo a probar la ecuación básica de operación para asegurarse que  $V_{N3}$  es de una magnitud medible

Ecuación 9

$$V_{P3'} > 0.25V \text{ Y } V_{P3'} > \text{umbral permisible} \times 17 \times \frac{\text{Relación de cts de neutro}}{\text{Relación de cts de fase}}$$

Donde:

Umbral permisible 0.15 para el elemento de alarma y 0.1875V para el elemento de disparo

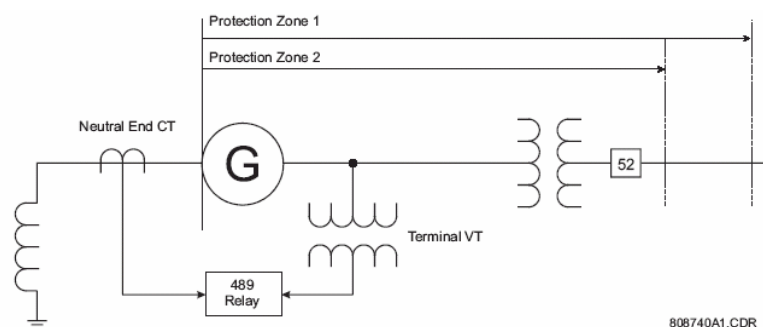
$V_{P3'}$  son los valores del secundario del transformador de tensión

Además, la lógica para este elemento verifica que la secuencia positiva del generador se encuentre al menos al 30% del nominal, para asegurarse que el generador se encuentra excitado. Este método del uso de voltajes de tercera armónica para detectar fallas de aterrizado del estator cerca del neutral del generador, es viable en grandes generadores con unidades de transformadores, su utilidad en aplicaciones de otros generadores es desconocida.

### 2.3.6 Protección de distancia

La función de distancia, implementa 2 zonas de protección de fase a fase tipo  $mho$  (seis elementos en total), utilizando un comparador de fase convencional. Esta protección es provista como respaldo para la línea primaria de protección. El elemento hace uso de señales de terminales de neutro de corriente y de las señales de terminal de voltaje como se muestra en la figura No 16

**Figura 16 Zonas de protección del generador por medio de la protección de distancia del relevador SR489**



**Fuente: Manual De Instrucciones Relé de protección SR489**

Con la conexión presentada en la figura anterior presenta protección para fallas internas del generador y fallas en la unidad del transformador ya que es alcanzado por la zona 1 y zona 2. En sistemas con transformadores delta estrella (DY330) las señales de transformadores de tensión y corrientes son implementados internamente para permitir detectar fallas de fase a fase del lado de alta del transformador. El ajuste de alcance es la impedancia de secuencia positiva a ser cubierta, expresada en ohmios secundarios. La misma transformación mostrada en el elemento de protección puede ser utilizada para calcular los ajustes deseados como funciones de las impedancias del lado del primario. Los elementos tienen un tiempo de operación de 150ms

### 3. PROCEDIMIENTOS PARA PROGRAMACION DE AJUSTES AL RELEVADOR

#### 3.1 Programación de puntos de ajuste en *software*

La programación de los puntos de ajuste se puede realizar desde la pantalla principal del relevador o se puede realizar vía *software*, debido a la facilidad de programación de estos ajustes en el relevador y de acuerdo a los datos y cálculos realizados en el capítulo I y II se estarán dando los pasos a seguir para su programación

El programa se obtiene cuando se realiza la compra del relevador, sin embargo también se puede obtener sin ningún costo, de la pagina de Internet, de General Electric ([www.geindustrial.com](http://www.geindustrial.com)) donde da la opción de descargar el programa 489setup300.exe que, al realizar una sencilla instalación de *software* se puede visualizar las pantallas para la programación de ajustes. El programa cuenta con una barra de herramientas o menú principal donde se realiza la programación del dispositivo, en la parte superior, esta barra cuenta con las opciones

*File*                      *New Setting File, Open, Remote Setting File, Read Settings From Device, Write Setting To Device, Properties, Set to Factory Default Values, Preference, Print Settings, Print Preview Settings, Exit, Edit Memory Map.*

*Setpoint*                *SR489 Setup, System Set up. Digital Inputs, Output Relays Protection, Monitoring Analog I/O, 489 Testing, User Map*

*Actual*                      *Status, Meternig Data, Learn Data, Maintenance, Event Recorder, Wave From Carture, Trendings      Product Information, 489 Front Panel*

*Comunication*            *Quick Conect, Device Setup, TroubleShooting, Update Firmware*

*View*

*Help*

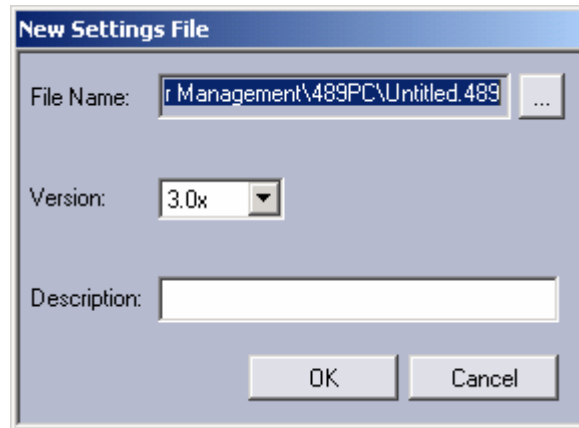
En el desarrollo de este trabajo de graduación solo se describirán las opciones de *File*, *Setpoint* y *comunication*, debido a que la opción *Actual* es una forma que despliega la información de mediciones que está realizando el relevador en tiempo real, son parámetros de solo lectura, mientras los que se describen a continuación son parámetros de lectura y escritura.

### **3.2 Menú principal opción *File***

A continuación se da una descripción de cada función de la opción *File* para la programación del relevador. La función de *New Setting File*, posee un archivo con los ajustes iniciales del relevador, los cuales no son los adecuados, debido a que cada relevador protegerá de acuerdo a las características del generador y características de coordinación a los requerimientos de cada instalación.

Al seleccionarse debe ser creada con el nombre que el usuario desee, como aparece en la siguiente grafica que despliega la forma de programar, figura 17

**Figura 17 Creación de un nuevo archivo de programación extensión .489**



Al presionar el botón ... se puede cambiar el nombre del archivo de extensión .489, en este trabajo se desarrollara el archivo PROTECCIONES SIDEQUA y automáticamente se forma una columna que contiene carpetas en la parte izquierda de la pantalla, la cual contiene la misma información que la opción de **Setpoint** del menú principal como se verá posteriormente en la figura 18. En la opción *Window* existe la función *File Window*, la cual al seleccionarse despliega en la parte izquierda de la pantalla la columna de carpetas de lo contrario para la programación de parámetros de protección se debe de seleccionar en la opción *setpoint*. A continuación se describe en forma detallada como operan las funciones del programa que pertenecen a la opción **FILE**

**Open:** sirve para abrir algún archivo que contiene programación del relevador u otro que fue guardado en un archivo .489, el cual servirá para hacer modificaciones o utilizar esta información, cambiarle algunos parámetros o ajustes.

**Read Setting from Device:** Previo a seleccionarse esta función debe comunicarse el relevador con la computadora (las funciones anteriores pueden realizarse prescindiendo de dicha comunicación) cuando se selecciona esta función se recupera la información que se encuentra programada en la memoria del Relevador y con la cual el relevador actuará a cambios en el comportamiento del generador o en el sistema, esta información también se puede utilizar para ser modificada, grabarse en el archivo de extensión .489 y guardarse nuevamente en la memoria del relevador a través de la siguiente función.

**Write Setting to Device** se utiliza cuando todos los parámetros ya son los adecuados para proteger al generador o si se va a realizar alguna modificación en algún ajuste. Se deben de realizar primero en el archivo de información con extensión .489 y posteriormente guardar en la memoria del relevador. En cada una de las pantallas de ajustes se tiene la función de **Save**, esta, guarda la información en el archivo PROTECCIONES SIDEGUA.489 la información de este archivo puede verse únicamente en el software del relevador, pero también se puede abrir en archivos de Microsoft Office, sin embargo en estos programas no se presenta tabulada, pero si se puede leer.

La función **Set to Factory Default Values**, si el archivo Protecciones SIDEGUA ya tiene los parámetros reales y se selecciona esta opción, el programa borra la información ingresada y cambiará todos los valores iniciales del relevador, los cuales no son los adecuados para proteger el generador. Al seleccionarse aparece una pantalla que pregunta si esta seguro de continuar.



Las funciones de **Print Settings** y **Print Preview**, se utilizan para imprimir en hojas o en la pantalla de la computadora todos los ajustes de protección que se guardaron en el archivo PROTECCIONES SIDEGUA.489. Al seleccionar *print preview* el programa le pregunta que información es la que desea que se vea o imprima puede escoger entre los ajustes del relevador o el mapa de memoria del relevador, si desea que aparezca la información que se programó o toda la información programada.

Por ultimo la función **Edit Memory Map** que también se observa en la columna de las carpetas que se presenta en la parte izquierda, con la cual se programan las direcciones de cada uno de los parámetros que van a ser monitoreados por medio de SCADA

### **3.3 Menú principal opción *Setpoint***

Esta opción es en la que se programan todos los ajustes del relevador, para que se accione ante fallas internas o externas así como la programación del mapa de memoria del relevador como se mencionó anteriormente, estos ajustes se programan también en la parte izquierda de la pantalla donde se observa una columna de carpetas y subcarpetas que contiene la información de interés para este estudio, esta es la siguiente:

- A. Características de la medición **System Setup**
  - I Características de los transformadores de Corriente
  - II Características de los transformadores de Tensión
  - III Características del Generador
- B. Programación de Los Contactos auxiliares **Output Relays**
- C. Entradas Digitales **Digital Inputs**
- D. Elementos de Protección **Protection**
  - I Elementos de Protección de Corriente
  - II Elementos de Protección de Voltaje
  - III Elementos de Protección de Potencia

IV Elementos de Temperatura

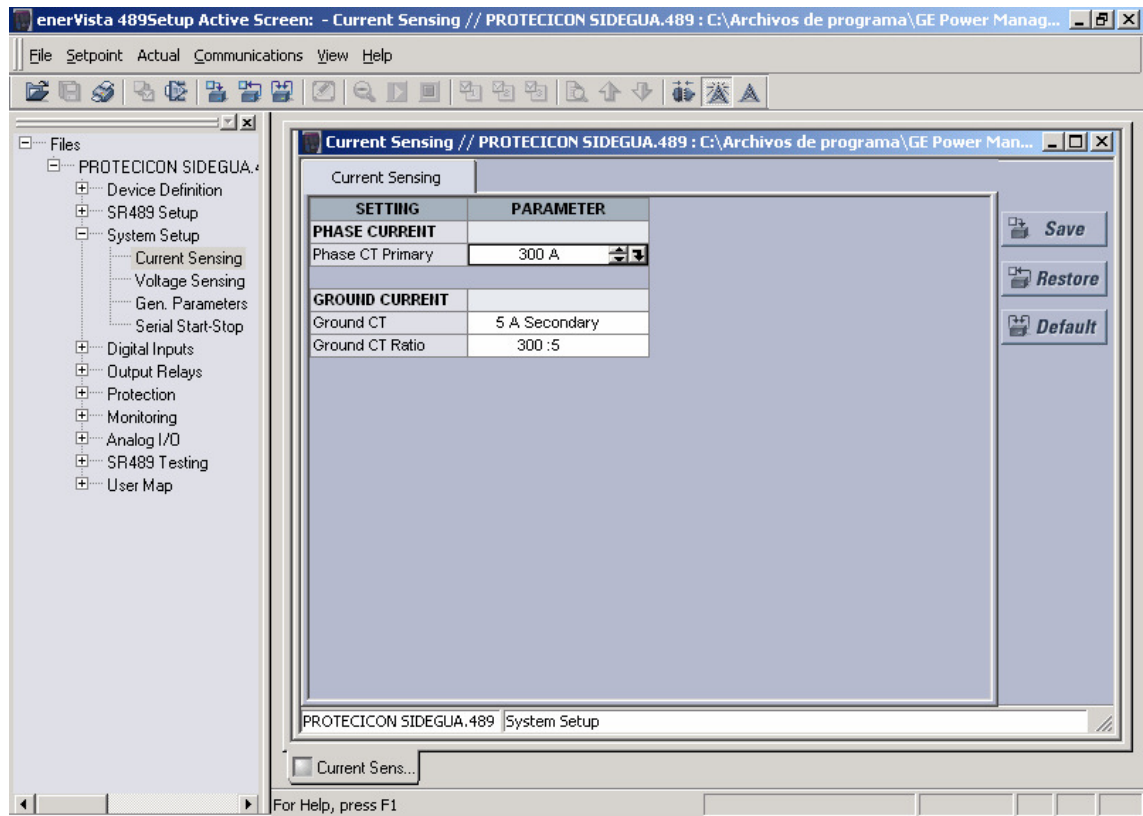
V Elementos de Comunicación

*E. Monitoring*

### **3.3.1 Características de la instrumentación *system setup***

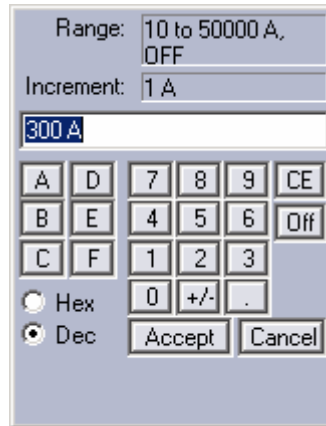
La subcarpeta a programar es la de las características de los transformadores de corriente, para esto, se presiona dos veces la opción ***Current Sensing*** como se muestra en la figura 18. Para programar el parámetro *Phase CT Primary* nos indica que debemos ingresar el valor de corriente primaria del transformador de corriente instalado, este valor lo podemos seleccionar de acuerdo a las flechas hacia arriba o hacia abajo

**Figura 18** Ejemplo para la programación de transformadores de corriente de fase y neutro



Sin embargo los incrementos o disminuciones son de uno en uno, por lo que es más complicado. Otra forma de realizarlo es seleccionando la flecha de la forma  $\updownarrow$  (la cual aparece en la parte derecha del valor a ingresar) la cual despliega una calculadora en la que se pueden ingresar los valores seleccionando los números, y al marcarlos presionar la opción de aceptar. Si no se tiene este software la programación en la pantalla del relevador si se tiene que hacer en incrementos o disminución de uno en uno.

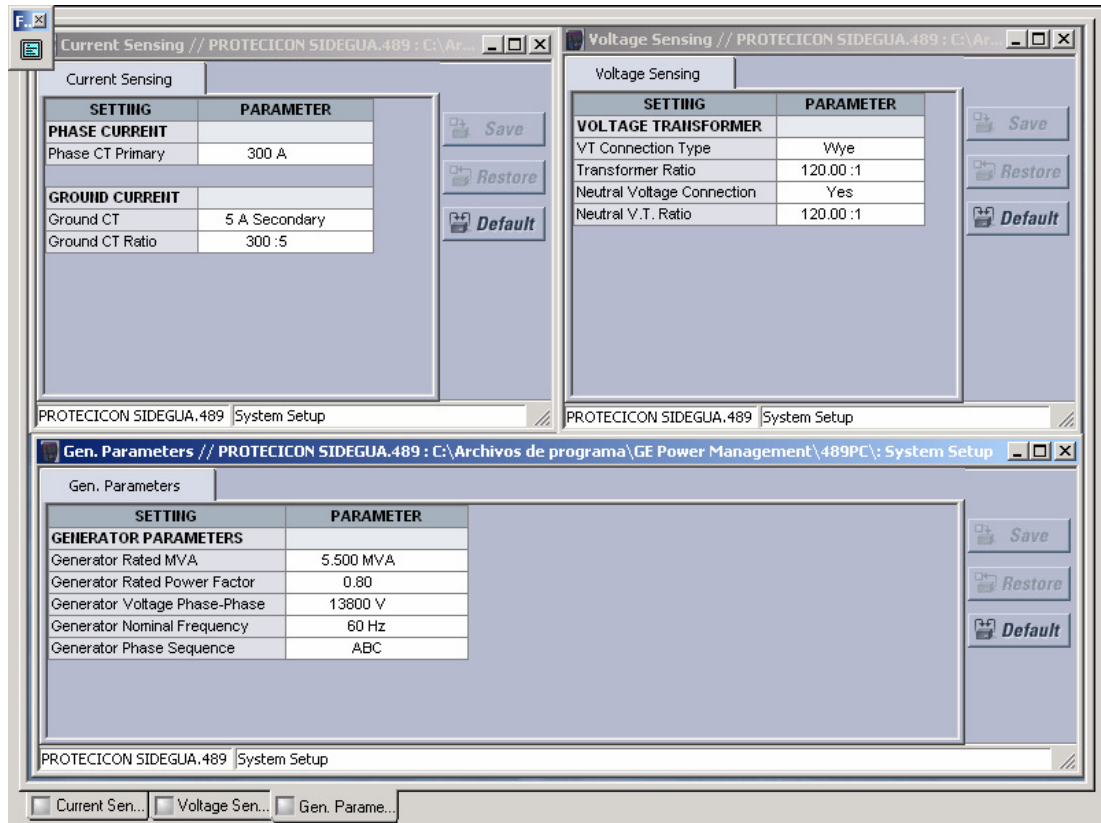
**Figura 19 Calculadora: herramienta para ingresar valores de ajustes**



De la misma forma se programan los parámetros de transformadores de corriente de neutro, donde el secundario del transformador de corriente es de 5 Amperios, y su relación de transformación 300:5. Al terminar la programación se presiona la opción de SAVE guardar la información en el archivo PROTECCIONES SIDEGUA.489

A continuación se presenta un resumen de los parámetros de instrumentación que se programan en el relevador de los restantes Transformadores de Tensión y Parámetros del Generador

**Figura 20 Resumen de programación de instrumentos de medición del relevador**



### 3.3.2 Programación de entradas digitales

Las entradas digitales las cuales fueron tabuladas de acuerdo a la Tabla VIII se programan aquí, de acuerdo a los ajustes realizados a cada uno de los instrumentos de presión, nivel etc, los cuales cerrarán un contacto y este contacto enviará la señal de Activado o Desactivado al Multilin comportándose como una entrada digital el cual al programar en la opción

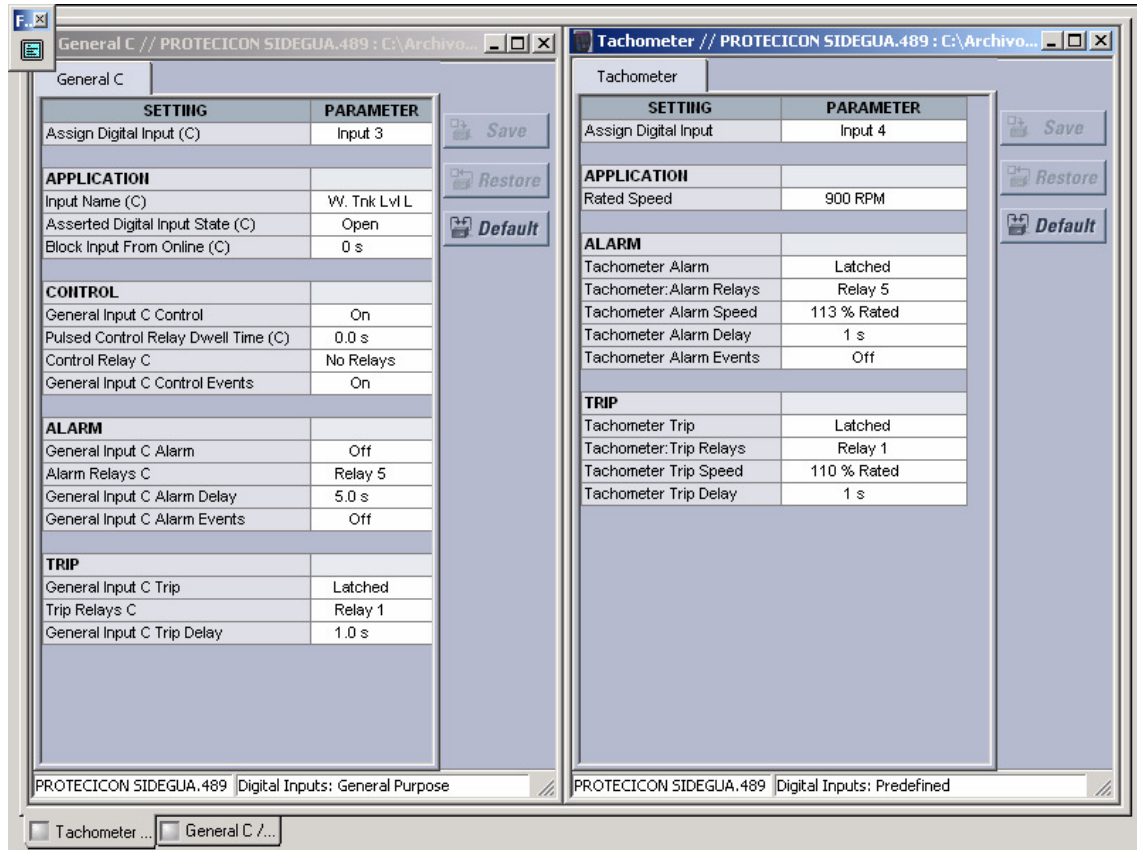
de *Trip* con su respectivo tiempo de retardo disparará el interruptor. A continuación se describe que es lo que se programó en una de las entradas y las restantes tendrán la misma información

<i>Input Name</i>	Nombre de la Entrada Digital.
<i>Asserted Digital Input State</i>	El estado de los contactos del instrumento si se encuentra normalmente abierto o normalmente cerrado. Para este caso todos los instrumentos son normalmente abiertos.
<i>Block Input From Online</i>	El tiempo en el cual la entrada Digital empezara a funcionar después de arrancado el generador, motor.
<i>Pulse Control Relay Dwell Time</i>	Indica que si tiene programado un valor de cero la salida operará solamente mientras la entrada es valida. Si esta opción se le asigna un periodo de tiempo los contactos de salida operarán tan pronto como la entrada es valida por el tiempo especificada por el ajuste. Si es habilitada una alarma o disparo y la entrada es valida una alarma o disparo ocurrirá después del retardo especificado.

Las entradas digitales de baja presión de aceite a 400RPM y baja presión aceite a 900 R.P.M. están coordinadas con un Interruptor de control de velocidad del motor, el cual cuenta con temporizadores, los cuales tienen un tiempo de retardo programado para no abrir el interruptor instantáneamente, ya que se basa en muestras de periodos determinados y no a valores instantáneos que dispararían el interruptor si alcanzaran un valor de presión instantáneo, igual al valor del instrumento.

Debido a que estas protecciones del primotor son esenciales para el buen funcionamiento del mismo, no se utilizará la opción de alarmas que presentan las entradas digitales, sino se programará con un tiempo mínimo de retardo de 2 segundos para que el relevador a través de su contacto envíe señal de apertura al interruptor y como cada una de estas entradas digitales requieren que el motor deje de rotar completamente, la apertura del interruptor esta coordinada también con la solenoide de cierre de combustible, lo que cierra la alimentación que provoca el movimiento de la maquina. En la figura No 21 se presenta una pantalla donde se encuentran los parámetros programados para la entrada Digital

**Figura 21. Ejemplo de programación de una entrada digital**



Cabe mencionar que la entrada Digital No 4 esta reservada para la programación de velocidad del generador la cual se encuentra en las funciones predefinidas de las entradas digitales, cuya función es *Tachometer* y cuenta con la alarma y disparo del interruptor cuando existe sobrevelocidad, la entrada digital predefinida No 8 es la que se encuentra reservada para determinar el estado del interruptor, si se encuentra abierto o cerrado.



### **3.3.3 Programación de elementos de protección**

En las figuras No 22 y 23 se presentan ejemplos para la programación de los elementos de protección de corriente, tensión, potencia y temperaturas del generador, en las cuales se realiza una transformación de la información de protección del esquema de protecciones actual, al software del relevador Multilin SR 489. A diferencia del esquema actual, en el multifunciones se puede activar un registro de alarmas, el cual, con la adecuada programación en el PLC o una red independiente del sistema, y el correcto direccionamiento como se explicará más adelante, se puede tener un detalle sobre disparos para tomar decisiones preventivas que mantengan el buen funcionamiento del generador para establecer el estado del mismo, por ejemplo acciones correctivas como medición de resistencia entre fases, de fase a tierra del estator y/o rotor, del estado de la tierra física, si esta cumpliendo o no con los rangos de operación, etc.

En el mismo campo de las alarmas existe la opción de seleccionar si se desea que el relevador envíe una señal de alarma al operador por medio de instrumentos audibles o visibles, esto a través del contacto auxiliar 5 del multilin (como se observa en la figura 10).

**Figura 22 Programación de los elementos de protección de corriente y tensión**

The screenshot displays three windows for configuring current protection elements. Each window has a 'SETTING' and 'PARAMETER' table, along with 'Save', 'Restore', and 'Default' buttons.

**Phase Differential**

SETTING	PARAMETER
Phase Differential Trip	Latched
Assign Trip Relays (1-4)	Relay 1
Differential Trip Min. Pickup	0.16 x CT
Differential Trip Slope 1	10 %
Differential Trip Slope 2	19 %
Differential Trip Delay	0 Cycles

**Negative Sequence**

SETTING	PARAMETER
<b>NEGATIVE SEQ. O/C ALARM</b>	
Negative Sequence Alarm	Latched
Negative Sequence Alarm Relays	Relay 5
Neg. Sequence Alarm Pickup	4 % FLA
Negative Sequence Alarm Delay	5.0 s
Negative Sequence Alarm Events	On
<b>NEGATIVE SEQ. O/C TRIP</b>	
Negative Sequence O/C Trip	Latched
Negative Sequence O/C Trip Relays	Relay 1
Neg. Sequence O/C Trip Pickup	10 % FLA
Neg. Sequence O/C Constant k	30
Neg. Sequence O/C Max. Time	1000 s
Neg. Sequence O/C Reset Rate	227.0 s

**Ground O/C**

SETTING	PARAMETER
<b>GROUND O/C ALARM AND TRIP</b>	
Ground O/C Alarm	Latched
Ground O/C Alarm Relays	Relay 5
Ground O/C Alarm Pickup	0.20 x CT
Ground O/C Alarm Delay	0 Cycles
Ground O/C Alarm Events	On
<b>GROUND O/C TRIP</b>	
Ground O/C Trip	Latched
Ground O/C Trip Relays	Relay 1
Ground O/C Trip Pickup	0.20 x CT
Ground O/C Curve Shape	ANSI Extremely I
Ground O/C Curve Multiplier	0.00
Ground O/C Curve Reset	Instantaneous

The screenshot displays two windows for configuring voltage protection elements. Each window has a 'SETTING' and 'PARAMETER' table, along with 'Save', 'Restore', and 'Default' buttons.

**Undervoltage**

SETTING	PARAMETER
<b>ALARM</b>	
Undervoltage Alarm	Latched
Undervoltage Alarm Relay	Relay 5
Undervoltage Alarm Pickup	0.96 x Rated
Undervoltage Alarm Delay	3.0 s
Undervoltage Alarm Events	Off
<b>TRIP</b>	
Undervoltage Trip	Latched
Undervoltage Trip Relay	Relay 1
Undervoltage Trip Pickup	0.94 x Rated
Undervoltage Trip Delay	10.0 s
Undervoltage Curve Reset Rate	1.4 s
Undervoltage Curve Element	Definite Time

**Overfrequency**

SETTING	PARAMETER
Block Overfrequency from Online	1 s
Voltage Level Cutoff (overfrequency)	0.50 x Rated
<b>ALARM</b>	
Overfrequency Alarm	Off
<b>TRIP</b>	
Overfrequency Trip	Latched
Overfrequency Trip Relay	Relay 1
Overfrequency Trip Level (overfrequency)	61.50 Hz
Overfrequency Trip Delay1	2.5 s
Overfrequency Trip Level2	62.00 Hz
Overfrequency Trip Delay2	0.1 s

**Figura 23 Ejemplo programación de los elementos de potencia y temperatura RTDs**

The screenshot displays three configuration windows for power elements. Each window has a 'SETTING' and 'PARAMETER' table, and buttons for 'Save', 'Restore', and 'Default'.

**Reverse Power Trip // PROTECICON SIDEGUA.489**

SETTING	PARAMETER
Block Reverse Power from Online	0 s
Reverse Power Trip	Latched
Reverse Power Trip Relays	Relay 1
Reverse Power Trip Level	0.05 x Rated
Reverse Power Trip Delay	1.0 s

**Low Forward Power Trip // PROTECICON SIDEGUA.489**

SETTING	PARAMETER
Block Low Fwd Power From Online	0 s
Low Forward Power Trip	Latched
Low Forward Power Trip Relays	Relay 1
Low Fwd Power Trip Level	0.05 x Rated
Low Fwd Power Trip Delay	1.0 s

**Reactive Power Trip // PROTECICON SIDEGUA.489**

SETTING	PARAMETER
Block Mvar Element from Online	1 s
Reactive Power Trip	Latched
Reactive Power Trip Relays	Relay 1
Positive Mvar Trip Level	0.85 X Rated
Negative Mvar Trip Level	0.20 X Rated
Positive Mvar Trip Delay	1.0 s
Negative Mvar Trip Delay	2.0 s

At the bottom, there are checkboxes for 'Reactive P...', 'Reverse Po...', and 'Low Forward...'.

The screenshot displays two configuration windows for RTDs. Each window has an 'APPLICATION', 'ALARM', 'TRIP', and 'COPY SETTINGS' section, and buttons for 'Save', 'Restore', and 'Default'.

**RTD #1 // PROTECICON SIDEGUA.489**

SETTING	PARAMETER
<b>APPLICATION</b>	
RTD#1 Application	Bearing
RTD#1 Name	Trasero
<b>ALARM</b>	
RTD#1 Alarm	Latched
RTD#1 Alarm Relays	Relay 5
RTD#1 Alarm Temperature	90 °C
RTD#1 Alarm Events	On
<b>TRIP</b>	
RTD#1 Trip	Latched
RTD#1 Trip Voting	RTD 1
RTD#1 Trip Relays	Relay 1
RTD#1 Trip Temperature	98 °C
<b>COPY SETTINGS</b>	
Copy From RTD	RTD#1
	<b>Copy</b>

**RTD #2 // PROTECICON SIDEGUA.489**

SETTING	PARAMETER
<b>APPLICATION</b>	
RTD#2 Application	Bearing
RTD#2 Name	Delanter
<b>ALARM</b>	
RTD#2 Alarm	Latched
RTD#2 Alarm Relays	Relay 5
RTD#2 Alarm Temperature	90 °C
RTD#2 Alarm Events	On
<b>TRIP</b>	
RTD#2 Trip	Latched
RTD#2 Trip Voting	RTD 1
RTD#2 Trip Relays	Relay 1
RTD#2 Trip Temperature	98 °C
<b>COPY SETTINGS</b>	
Copy From RTD	RTD#1
	<b>Copy</b>

At the bottom, there are checkboxes for 'RTD #1 // P...' and 'RTD #2 // ...'.

### 3.3.4 Descripción del protocolo de comunicación

La información almacenada en el SR489 esta agrupada como Ajustes y Valores Actuales. Los puntos de ajuste solo pueden ser leídos y escritos por una computadora maestra. Los valores actuales sólo pueden ser leídos. Todos los puntos de ajuste y valores actuales son almacenados como bytes de información. Esto es cada dirección de registro es la dirección del byte de información. Las direcciones se encuentran en números hexadecimales y se presentan en una tabla que puede ser consultada en el manual del usuario. En la tabla XI se presentan algunos ejemplos de los puntos de ajuste, los rangos, incrementos y valores por *default*

El 489 contiene un área de mapa de memoria definida por el usuario, esta área le permite el remapeo de la direcciones de los valores actuales y registros de puntos de ajuste, para adaptarlo a un SCADA con varios elementos de comunicación. El área definida por el usuario tiene dos secciones:

1. Un área de Dirección del Valor del Mapa (CODIGO) que contiene valores Actuales o registros de ajustes (0000H a 3400H) las que el usuario decida monitorear
2. Un área de Direcciones Asignadas por el usuario (100h a 17C h ) que contiene la información de la Dirección a transmitirse

Un ejemplo; si se quiere programar el parámetro *Average Phase B Output Current*, "Salida de Corriente de fase B" *Real Power*, "Potencia Real" Dirección del valor del Mapa 0402 y 0481 respectivamente mostrada en la tabla XI.

En la columna de Dirección del Valor del Mapa existe la opción de la flecha ↴ donde aparece la opción de la calculadora, escogemos la opción de HEX y escribimos el valor de 0402 la calculadora automáticamente convertirá el valor a un valor decimal 1024, esto es asignándolo o direccionando hacia el campo del área de direcciones por ejemplo en la figura 24 aparece que la dirección es asignada en la *User Assigned Adress # 1* (0X100) de la misma forma ingresamos el otro parámetro 0461(hex) 1121 (dec) el cual esta direccionado hacia (0X10D) (HEX)

La Tabla IX que se presentó en el capítulo II presenta los 29 parámetros que se consideran de importancia para que sean monitoreados en un sistema SCADA por el operador. Quedan 95 espacios por si se quisieran monitorear mas parámetros

**Figura 24 Ejemplo de la programación de las direcciones en el mapa de memoria**

The screenshot shows a software window titled "User Map" with a table of memory addresses and values. The table is organized as follows:

SETTINGS	User Assigned Address (DEC)	User Map Value Address (HEX)	User Map Value
User Assigned Address #1	1024	0x0100	---
User Assigned Address #2	1026	0x0101	---
User Assigned Address #3	1028	0x0102	---
User Assigned Address #4	1088	0x0103	---
User Assigned Address #5	1089	0x0104	---
User Assigned Address #6	1090	0x0105	---
User Assigned Address #7	1091	0x0106	---
User Assigned Address #8	1092	0x0107	---
User Assigned Address #9	1093	0x0108	---
User Assigned Address #10	1094	0x0109	---
User Assigned Address #11	1095	0x010a	---
User Assigned Address #12	1097	0x010b	---
User Assigned Address #13	1120	0x010c	---
User Assigned Address #14	1121	0x010d	---
User Assigned Address #15	1123	0x010e	---
User Assigned Address #16	1125	0x010f	---
User Assigned Address #17	1127	0x0110	---
User Assigned Address #18	1129	0x0111	---
User Assigned Address #19	1186	0x0112	---
User Assigned Address #20	1187	0x0113	---
User Assigned Address #21	1188	0x0114	---
User Assigned Address #22	1189	0x0115	---
User Assigned Address #23	1190	0x0116	---
User Assigned Address #24	1191	0x0117	---

On the right side of the window, there are three buttons: "Save", "Restore", and "Default". At the bottom of the window, the status bar displays "PROTECICON SIDEGUA,489 User Map" and a checkbox labeled "User Map // ...".

**Tabla X Ejemplo de tabla que presenta la información para ser programada en el mapa de memoria**

**Table 6-1: 489 MEMORY MAP (SHEET 4 OF 24)**

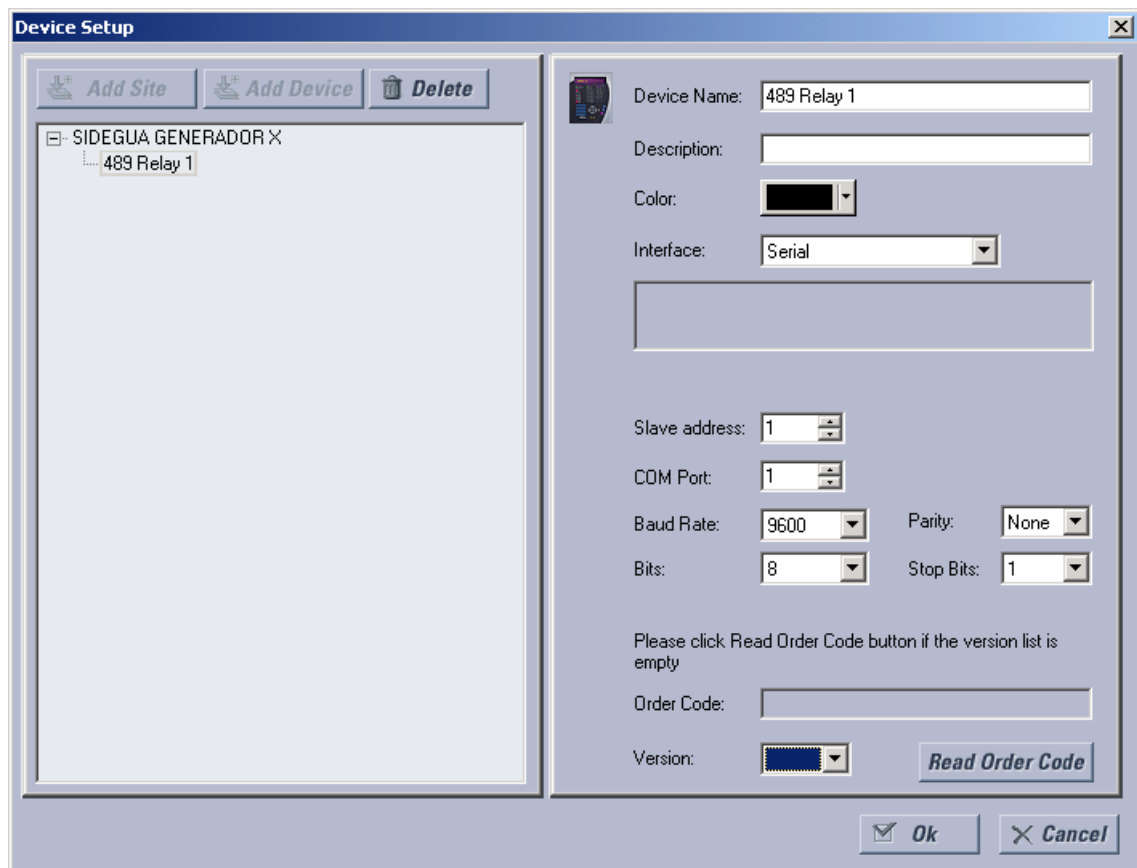
ADDR	NAME	RANGE	STEP	UNITS	FORMAT	DEFAULT
0402	PHASE B OUTPUT CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0404	PHASE C OUTPUT CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0406	PHASE A NEUTRAL-SIDE CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0408	PHASE B NEUTRAL-SIDE CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
040A	PHASE C NEUTRAL-SIDE CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
040C	PHASE A DIFFERENTIAL CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
040E	PHASE B DIFFERENTIAL CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0410	PHASE C DIFFERENTIAL CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0412	AVERAGE PHASE CURRENT	0 to 999999	1	Amps	F12	0
0414	GENERATOR LOAD	0 to 2000	1	% FLA	F1	0
0415	NEGATIVE SEQUENCE CURRENT	0 to 2000	1	% FLA	F1	0
0416	GROUND CURRENT	0 to 10000	1	Amps	F14	0
0420	PHASE A CURRENT ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0421	PHASE B CURRENT ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0422	PHASE C CURRENT ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0423	PHASE A NEUTRAL-SIDE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0424	PHASE B NEUTRAL-SIDE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0425	PHASE C NEUTRAL-SIDE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0426	PHASE A DIFFERENTIAL ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0427	PHASE B DIFFERENTIAL ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0428	PHASE C DIFFERENTIAL ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0429	GROUND CURRENT ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
<b>METERING DATA / VOLTAGE METERING</b>						
0440	PHASE A-B VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0441	PHASE B-C VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0442	PHASE C-A VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0443	AVERAGE LINE VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0444	PHASE A-N VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0445	PHASE B-N VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0446	PHASE C-N VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0447	AVERAGE PHASE VOLTAGE	0 to 50000	1	Volts	F1	0
0448	PER UNIT MEASUREMENT OF V/Hz <sup>2</sup>	0 to 200	1	-	F3	0
0449	FREQUENCY	500 to 9000	1	Hz	F3	0
044A	NEUTRAL VOLTAGE FUND	0 to 250000	1	Volts	F10	0
044C	NEUTRAL VOLTAGE 3rd HARM	0 to 250000	1	Volts	F10	0
044E	NEUTRAL VOLTAGE Vp3 3rd HARM	0 to 250000	1	Volts	F10	0
0450	Vab/lab	0 to 65535	1	ohms	F2	0
0451	Vab/lab ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0460	LINE A-B VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0461	LINE B-C VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0462	LINE C-A VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0463	PHASE A-N VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0464	PHASE B-N VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0465	PHASE C-N VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	°	F1	0
0466	NEUTRAL VOLTAGE ANGLE	0 to 359	1	-	F1	0
<b>METERING DATA / POWER METERING</b>						
0480	POWER FACTOR	-100 to 100	1	-	F6	0
0481	REAL POWER	-2000000 to 2000000	1	MW	F13	0
0483	REACTIVE POWER	-2000000 to 2000000	1	Mvar	F13	0
0485	APPARENT POWER	-2000000 to 2000000	1	MVA	F13	0
0487	POSITIVE WATTHOURS	0 to 4000000000	1	MWh	F13	0
0489	POSITIVE VARHOURS	0 to 4000000000	1	Mvarh	F13	0
048B	NEGATIVE VARHOURS	0 to 4000000000	1	Mvarh	F13	0
<b>METERING DATA / TEMPERATURE</b>						
04A0	HOTTEST STATOR RTD	1 to 12	1	-	F1	0
04A1	HOTTEST STATOR RTD TEMPERATURE	-52 to 250	1	°C	F4	-52
04A2	RTD #1 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A3	RTD #2 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A4	RTD #3 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A5	RTD #4 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A6	RTD #5 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A7	RTD #6 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A8	RTD #7 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04A9	RTD #8 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04AA	RTD #9 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52
04AB	RTD #10 TEMPERATURE	-52 to 251	1	°C	F4	-52

Fuente Manual de Instrucciones Multilin SR4898

### 3.4 Menú principal opción *comunicacion*

A continuación se describe la programación de comunicación del relevador utilizando un sistema de red de varios relevadores: En este caso serían 10 suponiendo una red únicamente para protección del generador y otras protecciones del motor, independientemente del sistema SCADA. Cuando en el menú Principal en la opción *Comunicacion* se selecciona la función *Device Set up* o configuración del dispositivo aparece la pantalla para la programación del patrón de comunicación de cada relevador.

**Figura 25 Programación de los relevadores a través computadora por comunicación RS232**





Muchos de los controladores programables (PLC) soportan el protocolo de comunicación Modbus RTU sin embargo el protocolo de comunicación que existe actualmente se denomina Genius que es totalmente diferente al protocolo propuesto, por lo que los sistemas de comunicación son totalmente incongruentes lo que hace necesario agregar equipo de instalación como tarjetas de conversión de un sistema a otro. El protocolo Modbus consiste en un único Maestro y múltiples esclavos, provisto por hardware de comunicación RS485, en el caso exclusivo de este relevador. Esta configuración le permite hasta 32 esclavos las cuales pueden ser entrelazadas en un canal de comunicación. El relevador 489 es siempre un esclavo, no puede ser programado como maestro.

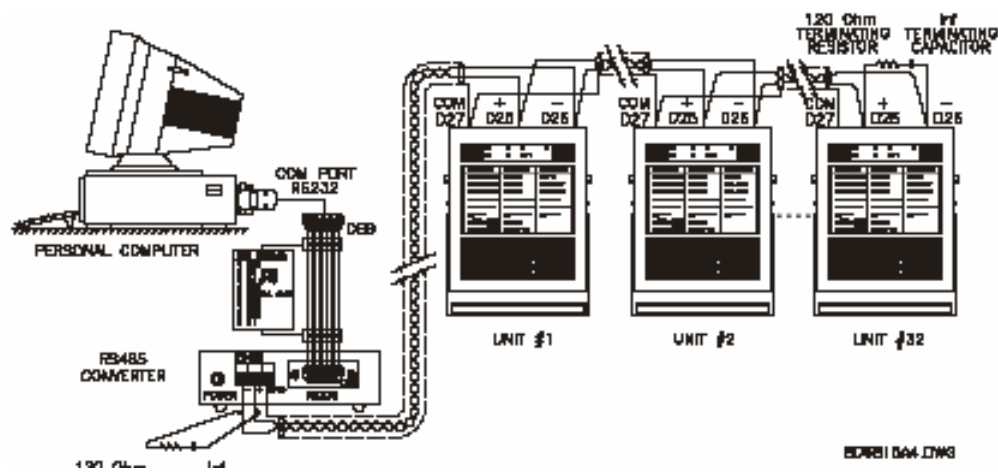
Describiendo la figura 26 el título *Slave Address* es la dirección esclava de cada relevador. Está asignada una dirección, esta va de 1 a 10. *Com port* es el puerto de comunicación de la computadora principal esta se selecciona dependiendo de la ubicación del cable de comunicación.

Un marco de información de transmisión asíncrona hacia o desde un 489 es por default 1 bit de arranque y 8 bits de información, como se muestra en la figura. En las opciones de *Stop Bit*, se debe de ingresar esta información

La opción de *parity* es opcional como *odd* o *even* (par, non). El protocolo Modbus debe de ser implementado a cualquier velocidad de operación de 1200, 2400, 4800, 9600 y 19200 dependiendo de la velocidad de transmisión del sistema de comunicación. Una breve explicación sobre el protocolo de comunicación Modbus se presentó, para saber los conocimientos básicos, pero si se desea más información se puede investigar en el manual del relevador.

El esquema básico de comunicación para un sistema aislado de instalación en planta SIDEGUA es como el que se presenta en la siguiente figura

**Figura 26** Conexión de forma de comunicación de los relevadores multilin



## **4. EVALUACIÓN TÉCNICA DEL ESQUEMA ACTUAL DE PROTECCIONES Y RELEVADOR MULTIFUNCIONES**

### **4.1 Estudio de coordinación de protecciones y ajustes del esquema actual**

#### **4.1.1 Coordinación de la protección 51/27**

En el capítulo 1, en las Figuras 1, 2 y 3 se presentaron los diagramas unifilares de la subestación de Centro de Energía Escuintla, en este capítulo se estudiará la coordinación de protección de sobrecorriente con respaldo de voltaje con los relevadores de sobrecorriente de la posición de los transformadores de servicios auxiliares y transformador general de potencia.

El análisis consiste en verificar el comportamiento de los relevadores, si actúan cuando exista alguna falla en alguna de las posiciones mencionadas, de no ser así, verificar si el tiempo de respuesta del relevador 51/27 actuará para la apertura del interruptor del generador o de lo contrario presentar una propuesta para realizar cambios en la coordinación.

**Tabla XI Ajustes actuales de los relevadores de sobrecorriente esquema de protecciones Centro de Energía Escuintla**

<b>POSICION</b>	<b>RELEVADOR</b>	<b>I pickup</b>	<b>Time dial</b>	<b>Tipo de Curva</b>	<b>Relación de CT's</b>
Generador	50/51 27	4.5 A	83	Extremadamente Inversa (B7)	300:5
Servicios Auxiliares	50/51	5.25 A	99	Extremadamente Inversa (B7)	100:5
Transformador de Potencia	50/51	4 A	20	Extremadamente Inversa (E7)	2000:5

De acuerdo a estos datos y a los datos que se presentan en las figuras mencionadas se puede realizar el análisis de coordinación de protecciones.

#### **Para el transformador de potencia general**

El cálculo del ajuste de sobrecorriente en el relevador del transformador de potencia se puede considerar de dos formas

- Protección de conductor
- Protección por falla en el transformador

Para la calibración del relevador considerando la protección del conductor se obtienen los siguientes datos

Capacidad del conductor      685 A

Existen 4 conductores por fase entonces la corriente total a proteger es 2,740 A

Asumiendo un máximo de carga del 95% por la forma en que se encuentran entubados los conductores ahora la corriente total es 2,603 A. Para conocer la corriente que circula por el relevador y el transformador de corriente con una relación de transformación de 2500:5

Ecuación 10

$$I_{\text{pickup}} = I / (\text{Relación de CT's})$$

$$I_{\text{pick up}} = 2,603 / (2500/5) = 5.21 \text{ (secundario)}$$

Para la calibración del relevador considerando la capacidad total del transformador de potencia se calcula conforme a la ecuación 7 y posteriormente de acuerdo a la ecuación 10 se obtienen los siguientes datos

$$I_{\text{plena Carga}} = 56\text{MVA} / (13.2\text{KV} * 3) = 2,450 \text{ A (primario)}$$

$$I_{\text{pickup}} = 2,450 / 500 = 4.9\text{A (secundario)}$$

Entonces la calibración debe de ser 4.9

El cálculo del ajuste de sobrecorriente en el relevador del transformador de servicios auxiliares se puede considerar en forma parecida

- Protección de conductor
- Protección por falla en el transformador

Para la calibración del relevador considerando la protección del conductor se obtienen los siguientes datos

Capacidad del conductor 685 A

Asumiendo un máximo de carga del 95% igual que el transformador de potencia por la forma en que se encuentra entubado el conductor ahora la corriente total es 650.75 A. Para conocer la corriente que circula por el relevador y el transformador de corriente con una relación de transformación de 100:5

$$I_{\text{pick up}} = 650.75 / (100/5) = 32.5 \text{ (secundario)}$$

Para la calibración del relevador considerando la capacidad total del transformador de potencia se obtienen los siguientes datos

$$I_{\text{plena carga}} = 1932 \text{ KVA} / (13.8\text{KV} * 3) = 80.8 \text{ (primario)}$$

$$I_{\text{pickup}} = 80.8 / 20 = 4.04 \text{ A (secundario)}$$

Entonces la calibración debe de estar en 4.04

### **Calibración del relevador 51/27R**

Se calcula la corriente a plena carga al 110% de la capacidad total, y con la relación de transformación del transformador de corriente 300:5, se obtienen los siguientes resultados

Ecuación 11

$$I_{\text{instalación}} = 1.1 \times I_{\text{plena Carga}}$$

$$I_{\text{Instalacion}} = (1.1 \times 5500 \text{ KVA}) / (13.8\text{KV} \times 3) = 253.11 \text{ A (primario)}$$

$$I_{\text{pickup}} = 253.11 / (300/5) = 4.22 \text{ A (secundario)}$$

Coordinación del Relevador 51/27 y el relevador 50/51 del transformador de potencia general. La corriente transitoria o de falla de cada generador esta dada por

Ecuación 12

$$I_{falla} = I_{plena\ carga} / X_d$$

$$I_{falla} = 230 / 0.18 = 1,224\ A$$

Entonces la corriente total de falla que puede circular por las terminales del transformador en caso de que exista falla en los 10 generadores es de 12,240 A La coordinación de estos relevadores es para determinar el time dial que va ajustado en el relevador 51/27R para esto calculamos los múltiplos de la corriente de arranque de acuerdo a la ecuación 13

Ecuación 13

$$\text{Múltiplos de } I_{pickup} = \frac{\text{Corriente en Estado Transitorio}}{\text{Corriente de Arranque en Primario}}$$

Donde:

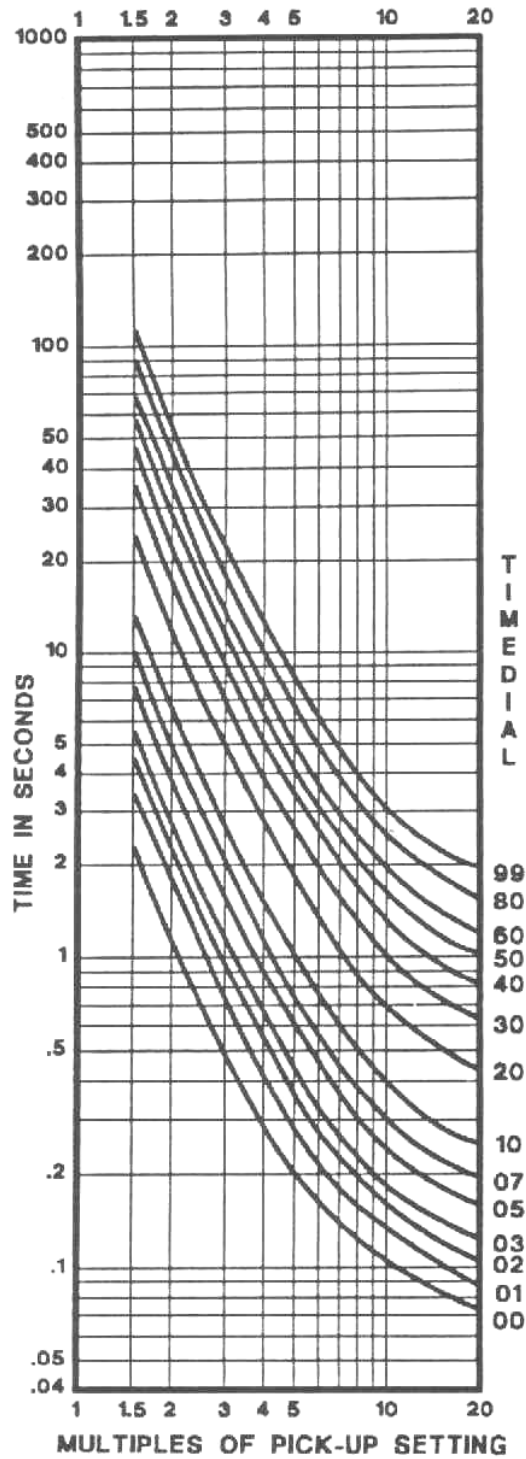
Ecuacion 14

$$I_{pickup\ primario} = \frac{(I_{m\acute{a}xima\ Primario\ CT} * I_{Arranque\ en\ el\ Secundario})}{I_{maxima\ Secundario\ CT}}$$

$$\text{Múltiplos de } I_{pickup} = 12240 / (2500/5 * 5) = 4.9$$

En las curvas de estos relevadores esta determinada por el múltiplo de  $I_{pickup}$  en el eje horizontal y el tiempo de disparo en el eje vertical, el tiempo de disparo del relevador de sobrecorriente del transformador es de 1.9 segundos sin embargo el tiempo de disparo del relevador de sobrecorriente del generador debe de incrementársele 0.3 segundos de retardo para su activación. Entonces con los datos de múltiplos de  $I_{pickup}$  y el tiempo de disparo de 2.2 segundos se obtiene un time dial de 83 segundos en el relevador 50/51V tal como se observa en la figura 28

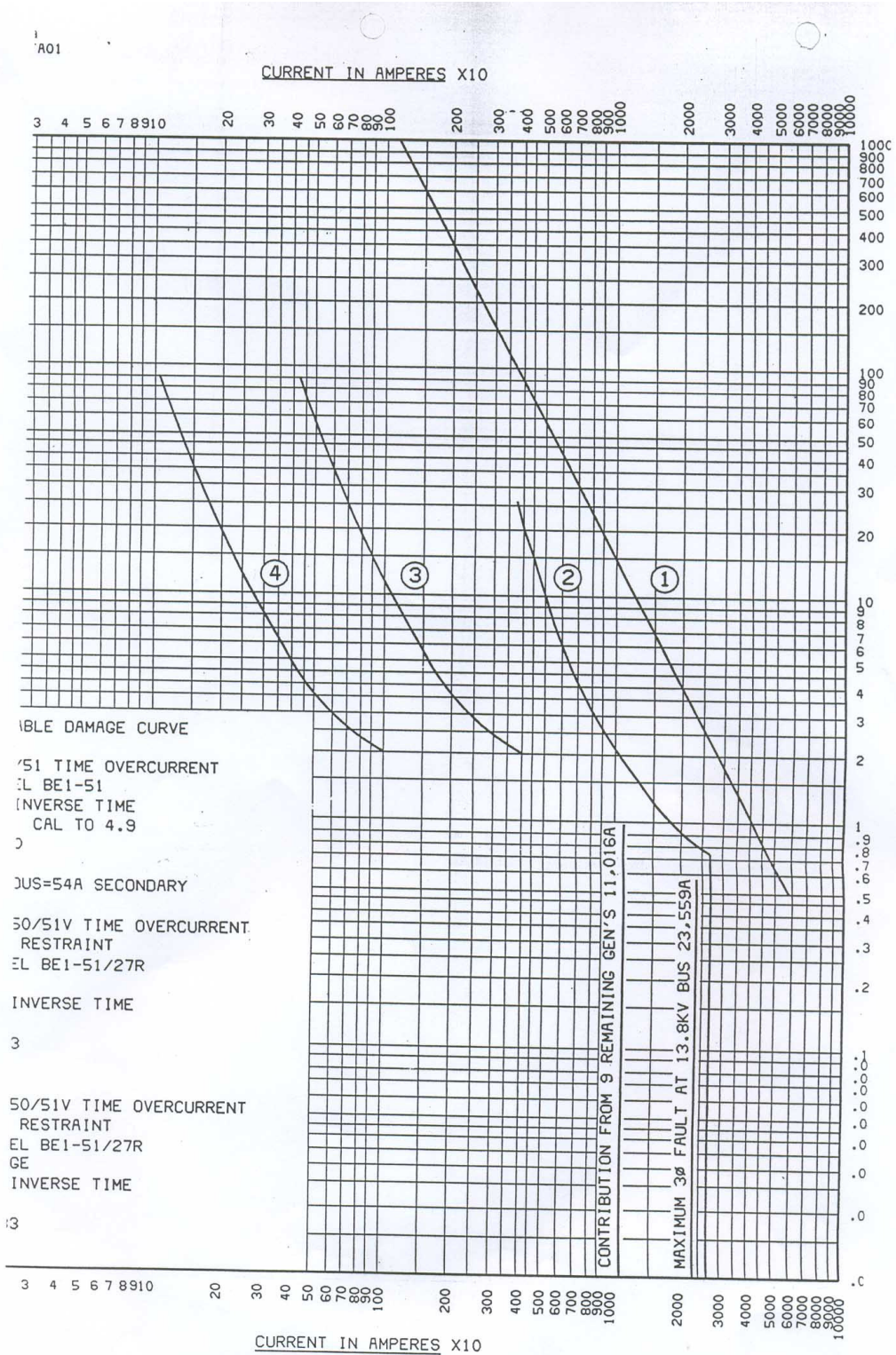
**Figura 27 Curva característica de relevador 50/51V Extremadamente Inversa**



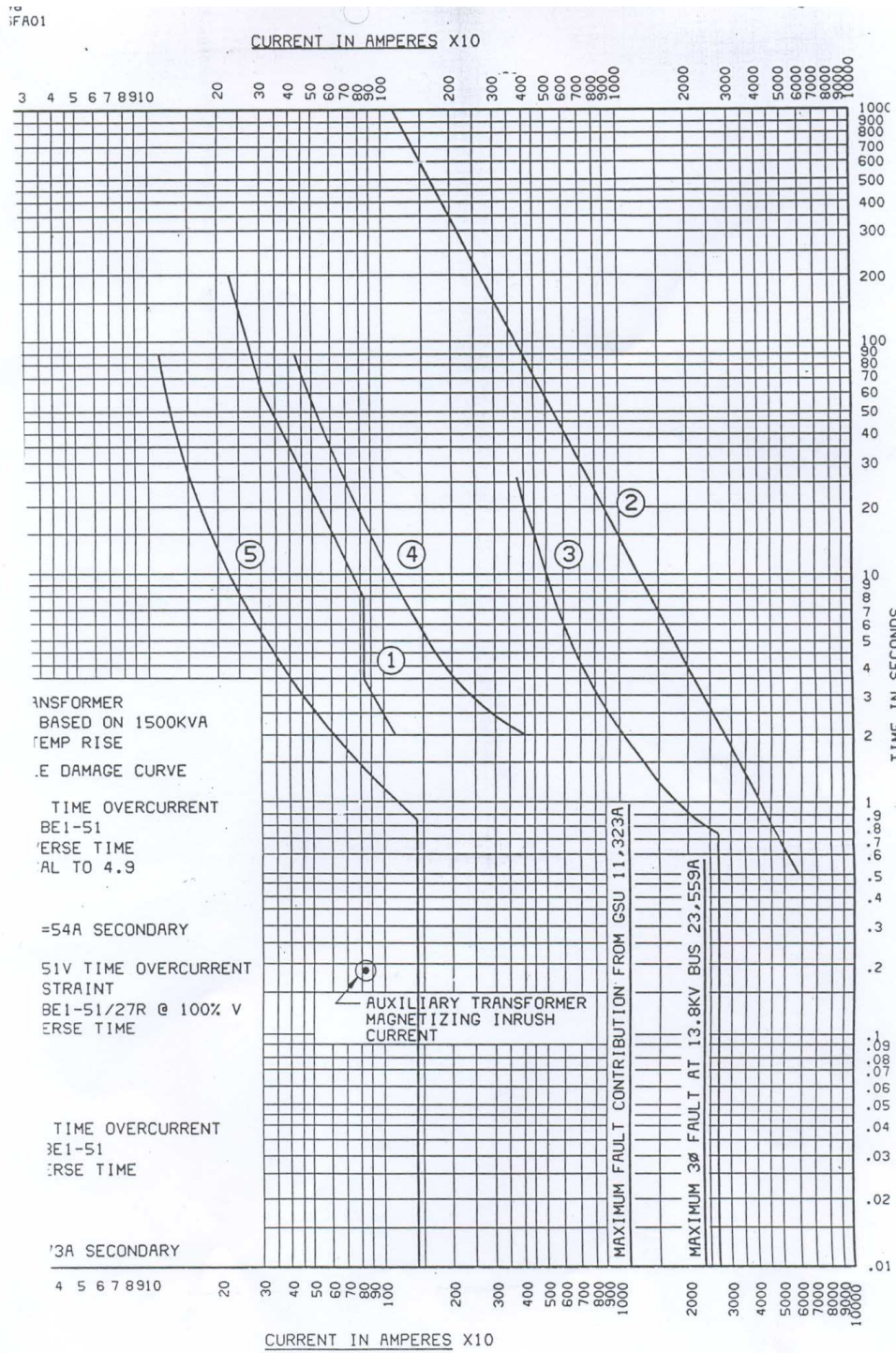
Fuente: Basler Electric Highland, Manual de Instrucciones para el relé de sobrecorriente con respaldo de voltaje.



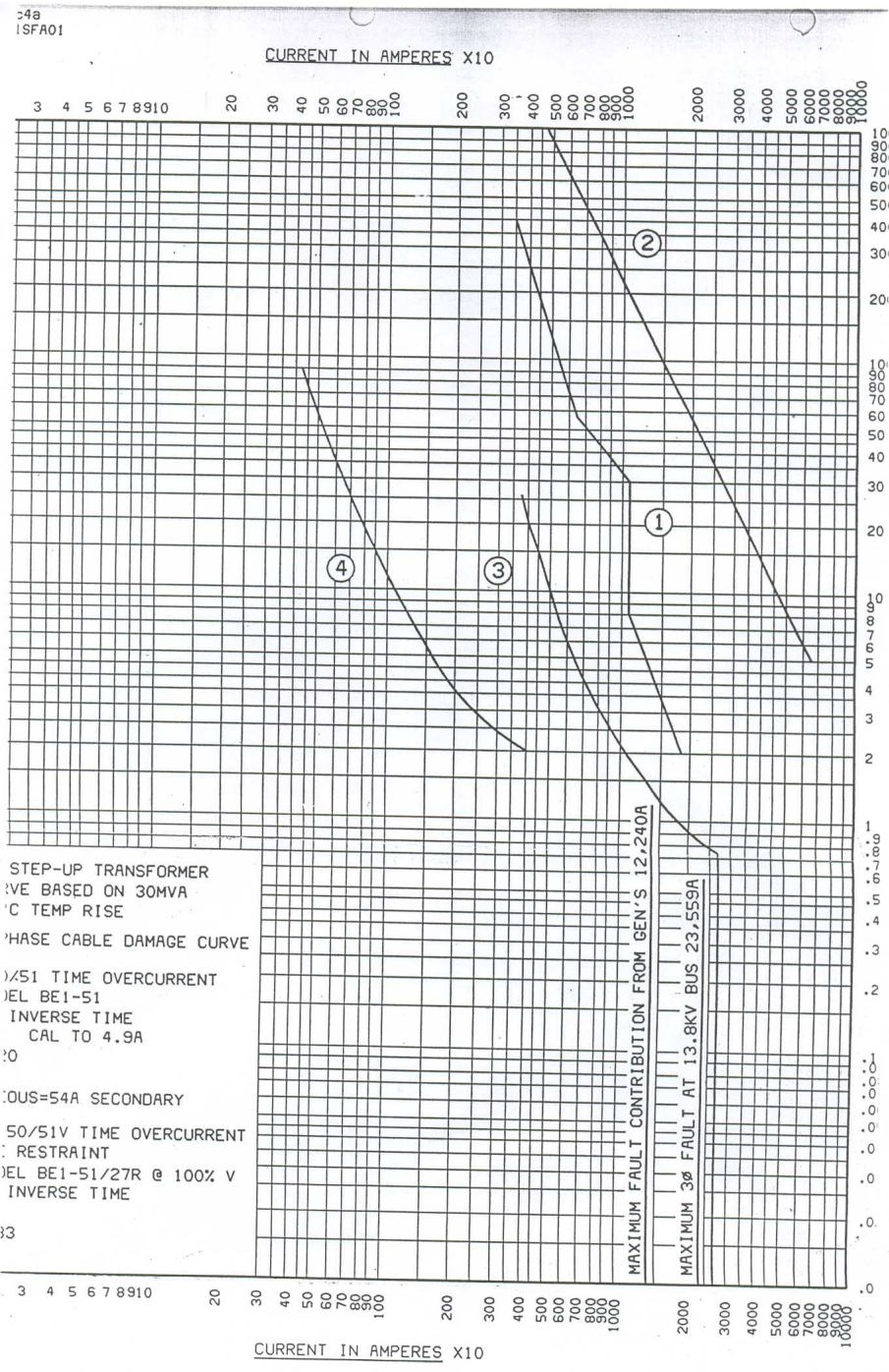
**Figura 28 Coordinación del sistema de protecciones de sobrecorriente zona 1**



**Figura 29 Coordinación del sistema de protecciones de sobrecorriente zona 2**



**Figura 30 Coordinación del sistema de protecciones de sobrecorriente zona 3**



**Fuente de figuras 28,29,30: Estudios de coordinación de protecciones para Centro de Energía Escuintla**

En la figura 28 las curvas están enumeradas de la siguiente forma

1. Curva de daño a conductor por fase 1 conductor de 500 MCM
2. Relevador de sobrecorriente del transformador de potencia 50/51
3. Relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje cuando se encuentra al 100 % de su rango de tensión
4. Relevador de sobrecorriente con respaldo de tensión cuando se encuentra al 25% de su rango.

En la figura 29 las curvas están enumeradas de la siguiente forma

1. Daño en el transformador de servicios auxiliares curva basada en una potencia base de 1500 KVA con una temperatura de 55°C
2. Curva de daño a conductor por fase 1 conductor de 500 MCM
3. Relevador de sobrecorriente del transformador de potencia 50/51
4. Relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje cuando se encuentra al 100 % de su rango de voltaje
5. Relevador de sobrecorriente del transformador de servicios auxiliares

En la figura 30 las curvas están enumeradas de la siguiente forma

1. Daño en el transformador curva basada en una potencia base de 30MVA con una temperatura de 30°C
2. Curva de daño a cada conductor por fase 4 conductores
3. Relevador de sobrecorriente del transformador 50/51
4. Relevador de sobrecorriente con respaldo de voltaje cuando se encuentra al 100 % de su rango de tensión

Comentarios de la figura 28

Existe una coordinación entre el relevador 51/27R con el relevador de sobrecorriente del transformador de potencia para protección del conductor que va del transformador de servicios auxiliares hacia la barra de 13.8KV, como se observa la curva 2 cubre cuando existe una máxima corriente de falla trifásica que es de 23,559 A como se calculó anteriormente, sin embargo esta curva no cubre cuando existe una falla que se encuentre en el rango aproximado entre 100 y 3500 Amperios, sin embargo para este caso si existiese una falla el relevador 51/27 despejaría la falla .

#### Comentarios de la figura 29

La protección del transformador de servicios auxiliares se encuentran debidamente cubierta por la curva del relevador de sobrecorriente. El conductor de la barra de 13.8KV hacia el transformador de servicios auxiliares se encuentra protegido de la misma manera y no hubo necesidad de utilizar las curvas del relevador 51/27

#### Comentarios de la figura 30

Esta es la curva de protección del transformador de potencia y de los conductores hacia la barra de 13.8KV donde la curva 3 protege correctamente el equipo y conductores, se necesitarían las curvas del 51/27 para despejar falla únicamente en un rango pequeño entre 300-3500 Amperios que es un pequeño rango de corriente de falla en la cual actuaría este relevador

#### **4.1.2 Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección diferencial**

Asumiendo que los transformadores de corriente en ambos lados de la zona del generador actúan de manera idéntica, la corriente de operación será igual a cero. El ajuste de sensibilidad sirve para evitar operaciones innecesarias por diferencias de los transformadores de corriente resultado de las diferencias de los mismos, por características de calidad, burden y remanencias. Durante operaciones normales, el arranque en las partes bajas de la curva característica figura 4 deberá de exceder la diferencia en errores de estado estable de los transformadores de corriente. El relevador deberá de reemplazar la diferencia de error en la presencia de los componentes de corriente directa desarrollado por fallas externas o maniobras de interruptores en subestaciones. Las corrientes deberán ser compensadas en caso de fallas externas del generador, durante arranque de motores, y durante maniobras de interruptores o condensadores.

Las máquinas con sincronización fuera de fase también producen componentes de compensación, estos componentes también llamados componentes de corriente directa producirán corrientes de saturación de los transformadores de corriente. Algunas corrientes pequeñas pueden también desarrollarse a niveles de respaldo que caen en la parte baja de la curva característica si la compensación persiste. El ajuste de sensibilidad necesita estar cerca de la corriente de operación.

Términos para cálculos de ajuste de sensibilidad del relevador

- N      Número total de Vueltas del CT
- $N_a$     Número total de Vueltas en uso
- $R_t$     Resistencia de cableado en ohms
  
- $R_w$     Resistencia de devanados

- $R_t$  Resistencia total de Burden de los CT`s  
 $R_t = R_l + R_w$  (Para fallas de fase y maniobras)  
 $2R_l + R_w$  para fallas externas de neutro  
 $V_c$  Rango de Voltaje del Transformador  
 $V_{ce}$  Rango del Voltaje Efectivo =  $V_c / (N_c / N)$   
 SFR Factor de Rango de Saturación =  $\{(V_{CE})_1 / (V_{CE})_2\} * \{(R_T)_2 / (R_T)_1\}$

Según las placas características de los Transformadores de Corriente y según cálculos, y los valores tabulados, se obtiene el siguiente valor de la sensibilidad, del relevador

$R_{W1} = 0.09$	$R_{W2} = 0.275$
$V_{CE1} = 200$	$V_{CE2} = 200$
$R_{l1} = 0.0266$	$R_{l2} = 0.168$
<b><math>R_{t1} = 0.1166</math></b>	<b><math>R_{t2} = 0.443</math></b>

$$SRF = (200/200) * (0.443/0.1166)$$

$$SRF = 3.8$$

Con un valor de  $V_{ce}$  igual en ambos lados de los transformadores de 200V y de acuerdo a la tabla de sensibilidad y a valores de SRF se obtiene que esta es de 0.5

**Tabla XII Selección de sensibilidad para coordinación de protección elemento diferencial de neutro**

*Table 5-1. Recommended Pickup Settings*

Vce (Lower Value)	SFR				
	1	1.5	2	3	4
20	0.2	0.4	0.5	0.8	1.6
50	0.2	0.4	0.4	0.5	0.8
100	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5
200	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5
>200	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5

**4.1.3 Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección direccional de potencia Activa**

La cantidad de potencia requerida para motorizar un generador depende primeramente del tipo de motor primario al cual esta conectado. Como por ejemplo en las turbinas de gas, el gran compresor representa un requerimiento de potencia substancial arriba del 50% del rango de la placa característica. Un motor diesel representa una carga arriba del 25% del rango.

El relevador direccional de potencia inversa deberá de ser suficientemente sensible para detectar un nivel de potencia que es el requerido al motor del generador entre 25 y 50%

Para los primotores que su potencia motriz es de 3.8 MW se realizan los siguientes cálculos para el ajuste del relevador direccional de potencia

La corriente a plena carga del generador es de 230 A

La corriente en el secundario del transformador de corriente con relación 300:5 es de acuerdo a la ecuación 10



$$I_{\text{pickup}} = 230/60 = 3.84$$

El voltaje en el lado secundario es de

$$\text{Ecuación 15 } V_{\text{secundario}} = V_{\text{nominal}} / \text{Relación de PT's}$$

$$V_{\text{secundario}} = 13,800/120 = 115$$

La potencia activa nominal en el relevador es de acuerdo a la ecuación 3

$$P = (115 \times 3.84 \times \sqrt{3}) = 763.88W$$

Pero se le debe de colocar el factor de monitorización dependiendo del motor primario, en el caso para los motores diesel se le calculó un factor del 10% por lo tanto la potencia es de

$$\text{Ecuación 16}$$

$$P_m = P \times (\text{factor de limitación})$$

Donde

$P_m$	Potencia de motorización del generador
Factor de Limitación	Factor de limitación de acuerdo al tipo de primotor para motores diesel es hasta el 25%

$$P = 763.88 \times 0.1 = 76.38$$

Que como se observa en la Tabla IV el tap C es el adecuado 75W. Sin embargo esta programado para 300W por lo que se debe de cambiar el Switch de Hi a Lo.

#### 4.1.4 Análisis de los parámetros de ajuste del elemento de protección Corriente de Secuencia Inversa

El ajuste de este relevador es el que se debería de considerar para modificación ya que de acuerdo a los parámetros ajustados en el relevador el porcentaje de corriente de secuencia inversa es del 12%. De acuerdo con este dato el máximo tiempo esta calculado de la siguiente manera

$$K = I_2^2 t$$

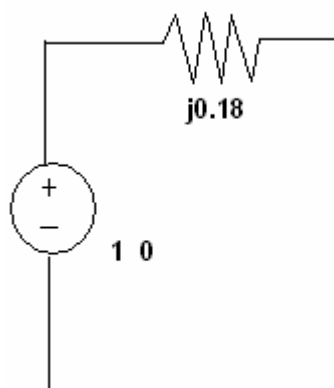
Entonces el tiempo de disparo es

$$t = K / I_2^2 = 40 / (0.12)^2$$

$$t = 2778 \text{ seg.}$$

Por lo tanto el ajuste de tiempo del relevador esta bien en 999

Sin embargo al calcular la contribución de corriente de secuencia inversa del generador al existir una falla en el mismo se obtiene a partir de la siguiente figura



$$I_1 = I_2 = 1 / j0.18 = 5.55 \text{ p.u}$$

$$t = 40 / ( 5.55 )^2$$

$$t = 1.3 \text{ segundos}$$

## **4.2 Evaluación de protecciones que se consideran deberían de incluirse al esquema de protecciones**

Esta evaluación consiste en determinar la forma de instalación que se encuentra en las posiciones celda de 13.8 KV u otros dispositivos electrónicos y si estas están protegiendo a los generadores o si es presindible utilizar equipos de protección que realicen estas funciones. Los equipos que se proponen son los siguientes.

### **4.2.1 Pérdida de excitación**

En el esquema de protecciones también se encuentra el relevador de potencia inversa reactiva, sin embargo no existe un valor de bajo nivel de excitación, y ya se observaron las consecuencias de la falta de este relevador, por lo tanto si debería de agregarse en el esquema de protecciones de la planta.

### **4.2.2 Protección de baja frecuencia / sobre frecuencia**

La frecuencia debería de ser la misma en cualquier lugar del sistema, por lo tanto es suficiente colocar un rele de frecuencia ya que todos los generadores están enlazados al mismo sistema por lo tanto no es indispensable colocar un relevador en cada una de las celdas

### **4.2.3 Protección de sobre voltaje / bajo voltaje**

El relevador de sobrecorriente utilizado para el generador, como se repasó anteriormente, está diseñado con un respaldo de voltaje, estos reles ajustan la protección de sobrecorriente cuando la salida de voltaje del generador disminuye por la falla, por lo tanto está protegiendo al generador contra fallas de bajo voltaje, de la misma forma para una sobretensión arriba del 100% automáticamente lo ajusta al máximo valor que precisamente es 100. Además como en el caso de los relevadores de frecuencia, existe un relevador de tensión en la barra de 13.8KV que la tensión debería de ser la misma en cualquier lugar del sistema. Por lo tanto esta protección en este esquema de protecciones particular no es indispensable

### **4.3 Ventajas y desventajas entre el esquema de protecciones con relevadores de estado sólido contra relevadores multifunciones**

Ventajas de los relevadores de estado sólido

- Descentralización de protecciones mecánicas eléctricas

Desventajas de los relevadores de estado sólido

- Ineficiente comunicación del estado de equipo de generación; interruptor generador y relevadores de protección.

Ventajas del relevador multifunciones

- Esquema de protección extraordinario al esquema básico de protección
- Protección en los ajustes en el relevador de personas no autorizadas a realizar cambios en los parámetros de ajustes del relevador, ya que

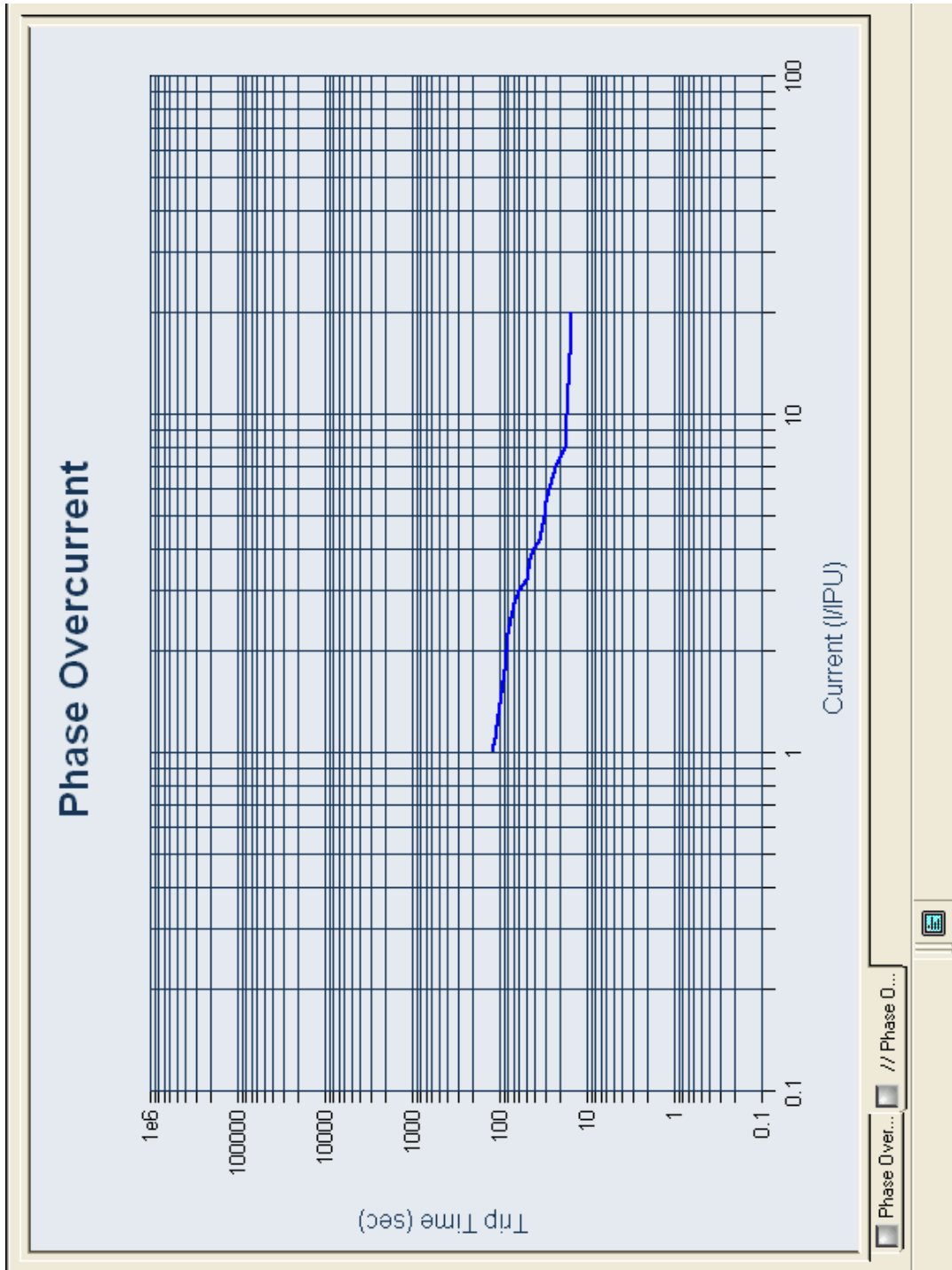
su programación es vía software o en la carátula del relevador a través de contraseña

- Cuando la instalación del relevador es al inicio del proyecto se pueden presentar ventajas técnicas como encontrar forma de compactar sistemas de comunicación para que el relevador presente ventajas como mediciones y causas de alarmas y disparos y estos presentarlos en el sistema SCADA general
- Mayor cobertura de protección para elementos de neutro
- En su función de protección de sobrecorriente se puede programar en caso de no existir curvas definidas por las normas estándar que se acoplen a las necesidades del equipo o coordinación. Se puede realizar una curva determinada *Flexcurve* como se presenta en la figura 31, y que en el apéndice 3 se muestra como se programó en el relevador, únicamente los parámetros para plotear la curva, la cual se programa en el relevador, en dicha función.

#### Desventajas del relevador multifunciones

- Costo de Indisponibilidad de Generación mayor cuando existe falla interna en el relevador debido a la centralización de protecciones eléctricas en el caso de no existir repuesto debido a que no se puede realizar arranque de la unidad

Figura 31 Programación de la función de sobrecorriente curva programada por el usuario llamada *Flexcurve*



## **5. EVALUACION ECONOMICA DE FUNCIONALIDAD ENTRE LOS RELEVADORES DE ESTADO SÓLIDO Y EL RELEVADOR MULTIFUNCIONES**

Haciendo un resumen del análisis técnico realizado en el capítulo IV los resultados indican que existe una adecuada protección en el esquema de protecciones presentado en la tabla III con la única limitación de que el relevador de sobrecorriente de secuencia inversa debería de cambiarse el tiempo de disparo como se discutió en el capítulo IV. Sin embargo de acuerdo a las normas y la adecuada protección del generador, los relevadores que deberían de complementarlo en la planta CENTRO DE ENERGIA ESCUINTLA son el relevador de pérdida de excitación además de la ventaja técnica que cuenta el relevador de un mejor monitoreo y sistema de comunicación que vale la pena instalarlo. En el caso de destrucción total de este dispositivo el generador quedaría trabajando sin excitación y comportándose como un generador de inducción teniendo las consecuencias descritas en el capítulo I, por esta razón este capítulo presenta los costos de instalación del relevador SR489 para analizar el impacto económico.

### **5.1 Costos que representa la modificación del esquema de protecciones**

Cuando se realiza una modificación, nueva instalación, o mantenimiento preventivo y/o correctivo en alguna planta generadora, esto representa costos comerciales que deben de tomarse en cuenta para la adecuada evaluación. Estos costos son los siguientes

- Costo de Generación no vendida (Lucro Cesante): Cuando un generador se encuentra sin generar por mantenimiento o modificación, este deja de producir energía.
- Costo por Desvío de Potencia. Es el costo por déficit de potencia comprometida en contratos de los participantes productores del Mercado Mayorista. El participante productor que resulta en un mes con un desvío de potencia negativo, establecido como la diferencia entre su oferta firme disponible total y la potencia total comprometida en los contratos en que vende potencia dicho participante, debe comprar el faltante mediante transacciones de desvíos de potencia.
- Costo de Pruebas de instalación y calibración: Son las pruebas que se tienen que realizar a cada uno de los relevadores que se vayan a instalar también llamadas pruebas de servicio
- Costo de equipo e Instalación.

### **5.1.1 Costo por generación no vendida**

La instalación puede llevarse a cabo en diferentes épocas del año, preferiblemente se puede realizar en periodos donde existe menos generación por parte de la planta. Si hubiese generación esta sería en la hora pico, la cual comprende en el periodo de 18:00 a 21:00 hrs por lo tanto serían 3 horas, el tiempo estimado de instalación de los relevadores sería de 4 días por generador en total 40 días. Un generador produce en una hora 3.8 MW



El costo del MW-h promedio durante el año de planta SIDEGUA es 50.00 \$ / MW- h, el costo de producción corresponde aproximadamente a un 20% sobre las utilidades por lo tanto el costo de generación no vendida en los meses mencionados es

Ecuación 17

$$\text{Costo de producción} = 0.8 * (\text{Costo de Generación})$$
$$\text{Costo de Generación} = (\text{MW-H}) * (\text{precio } \$ / \text{MW-H}) - \text{Costo de Producción}$$

$$\text{CG1} = (120 \text{ horas}) * (3.8\text{MW}) * (50.0 \text{ \$ / MW-hora}) - 18,240 = \$4560$$

### **5.1.2 Costo por Desvío de potencia**

El AMM en su coordinación de despacho de carga define que antes de la finalización de cada año estacional que comienza el 1 de mayo y termina el 30 de abril del año siguiente, efectúa la programación indicativa de la operación correspondiente al año estacional siguiente, dentro de esta información se encuentra el programa de mantenimiento mayor de unidades generadoras, durante este periodo se puede programar dicha instalación evitando el costo de desvío de potencia.

### **5.1.3 Costo de pruebas de instalación y calibración:**

Como se analizó en el capítulo anterior las protecciones se encuentran debidamente coordinadas mientras que para el multifunciones se le deben de realizar pruebas de instalación y calibración. Los costos de instalación fueron ofertados por una empresa de servicios técnicos Solucion a Panamá con fecha 28 de noviembre de 2004.

Que dentro de varios servicios presta el servicio de pruebas de instalación ya que cuenta con equipo de inyección secundaria y de simulación para dichas pruebas

**Tabla XIII Precios de pruebas de instalación y calibración a relevador Multiifunciones**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO UNITARIO \$</b>	<b>COSTO TOTAL \$</b>
10	Perdida de excitación	300.00	3,000.00
10	Sobre / baja frecuencia	300.00	3,000.00
10	Sobre / baja voltaje	300.00	3,000.00
10	Sobrecorriente con respaldo Tensión	500.00	5,000.00
10	Sobrecorriente secuencia Negativa	300.00	3,000.00
10	Diferencial del generador	300.00	3,000.00
10	sobrecorriente de neutro	300.00	3,000.00
10	Sobrepotencia Activa	500.00	5,000.00
10	Sobrepotencia Reactiva	500.00	5,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>33,000.00</b>

#### **5.1.4 Costo de equipo e Instalación y mano de obra**

La mano de obra calificada para la instalación de este equipo la puede realizar personal técnico de SIDEGUA para minimizar los costos, debido a que las pruebas de calibración las realiza personal ajeno a la empresa con equipo adecuado y certificado.

La cotización del equipo convertidor RS485/232 y del relevador multifunciones SR4899 fue realizada el día 23 de agosto de 2004 por la empresa PROELCA DE GUATEMALA el cual es el representante local de General Electric

**Tabla XIV Precio de equipo e instalación de relevador SR489**

<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO UNITARIO</b> \$	<b>COSTO TOTAL</b> \$
10	Multilin SR489	6,900	69,000
1	Computadora Personal		1,000
1	Convertidor de Comunicación RS485/RS232		875
	Materiales y Accesorios de Instalación		5,000
	Montaje		10,000
<b>GRAN TOTAL</b>			<b>85,875</b>

## 5.2 Costo Total de Instalación para la protección adecuada en el sistema de protecciones Planta SIDEGUA

A continuación se resumen todos los costos que representa la modificación del esquema de protecciones planta

**Tabla XV Precio Total de la Instalación**

<b>Descripción</b>	<b>Costo \$</b>
Costo de Pruebas de Instalación	33,000.00
Costo de Equipo e Instalación	85,875.00
Costo por generación no vendida	4,560.00
Costo por desvíos de potencia	00,000.00
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>123,435.00</b>

### **5.3 Costos por disparos de fallas mecánicas eléctricas que producen salidas forzadas monitoreadas por el sistema de protección**

Cuando ocurre una falla en cualquiera de las unidades generadoras, se tiene un control del tipo de falla, el tiempo en que la unidad permanece sin generar, en la tabla XVI fueron tabulados el número de disparos que efectuó el sistema de protecciones de los generadores eléctricos, durante el año 2004, datos que fueron extraídos de la bitácora de Centro de Energía Escuintla, además se agrega las fallas mecánicas ya que si se desea instalar el nuevo relevador que monitoree también algunas fallas de tipo mecánico como se mencionó en el capítulo II, por último las fallas que ocurrieron en la barra de 13.8KV ya que por alguna falla en el sistema protegió a los generadores que se encontraban generando. De acuerdo a este tipo de fallas se pueden desglosar los siguientes costos

- Costo por Generación no vendida
- Costo por desvío de potencia.

#### **5.3.1 Costo por Generación No Vendida**

De acuerdo a la tabla XVI, los 109,498 minutos son convertidos a 1825 horas de indisponibilidad, se obtiene el costo por generación no vendida entendiéndose que el residuo de la operación es debido a los costos de operación que como se mencionó la planta tiene un 20% de utilidades.

Costo por generación no vendida = (1,850 horas)\*(3.8MW)\* (50 \$ / MW-h) –  
\$281,200

Costo por generación no vendida = \$ 70,300

**TABLA XVI Tabulación de disparos por fallas eléctricas, mecánicas y barra de 13.8KV en Centro de Energía Escuintla**

**DISPAROS Y TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD DE LOS INTERRUPTORES DE GENERADOR Y BARRA EN PLANTA CENTRO DE ENERGIA ESCUINTLA DEL 18 DE ENERO AL 31 DE DICIEMBRE 2004**

<b>DISPAROS DEL INTERRUPTOR DEL GENERADOR</b>	<b>FALLAS MECANICAS</b>	<b>No DE DISPAROS</b>	<b>TIEMPO FUERA DE LINEA (min)</b>
	Baja Presion Aceite	3	67
	Baja Presion Combustible	13	281
	Alta Presion en el Carter	15	332
	Alta Temperatura agua de camisas	1	15
	Sobrevelocidad	2	58
	<b>TOTAL</b>		<b>753</b>
	<b>FALLAS ELECTRICAS</b>	<b>No DE DISPAROS</b>	<b>TIEMPO FUERA DE LINEA (min)</b>
	32R	15	248
	32RV	6	91
	Falla en Comunicación	6	132
	50/51	1	108000
	Desconocida	4	109
	<b>TOTAL</b>		<b>108580</b>
<b>DISPARO DEL INTERRUPTOR BARRA DE 13.8KV</b>	<b>TIPO DE FALLA</b>	<b>No DE DISPAROS</b>	<b>TIEMPO FUERA DE LINEA (min)</b>
	Alto Voltaje	1	280
	Baja Frecuencia	1	320
	Desconocida	3	1050
	<b>TOTAL</b>		<b>1650</b>
	<b>TIEMPO TOTAL</b>		<b>110983</b>

### **5.3.2 Costo por desvíos de potencia**

El AMM calculará la demanda firme de cada participante consumidor (por desvíos de potencia). El participante consumidor deberá de cubrir su demanda firme mediante contratos de potencia. El participante consumidor que temporalmente y por autorización de la comisión nacional de energía eléctrica no tenga cubierta su demanda firme con contratos de potencia debe comprar el faltante mediante transacciones de desvíos de potencia.

De acuerdo a la tabla XVI por indisponibilidad de fallas en las unidades la planta deberá de comprar energía por desvíos de potencia. Según datos de administración Centro de Energía Escuintla de \$10,000.00 mensuales, como se observa en el apéndice I los cálculos de este valor son hechos principalmente por el AMM sin embargo se muestra una introducción de la forma en la que se calcula este valor, aunque no se obtiene el dato exacto, ya que la mayoría de información es procesada por este ente.

La planta es convocada aproximadamente 13 horas diarias, 390 horas al mes, por lo que de las 1850 horas, son aproximadamente 4.75 meses. En este lapso anual se tiene que el costo por desvío de potencia anual es de \$47,500.

### **5.3.3 Costo total por salidas forzadas de los generadores**

A continuación se presenta el costo total por salidas forzadas de los generadores posteriormente se analizará la relación costo beneficio

**Tabla XVII Costo total de indisponibilidad por salidas forzadas**

<b>Descripción</b>	<b>Costo \$</b>
Costo por generación no vendida	70,300
Costo por desvío de potencia	47,500
<b>GRAN TOTAL</b>	<b>117,800</b>

#### **5.4 Análisis de Costos y Beneficios**

Para la instalación del relevador multifunciones en el sistema de protecciones representa un costo de \$123,435.00 mientras que el costo total por salidas forzadas durante un año es de \$117,800, cabe mencionar que la tendencia por indisponibilidad durante los últimos tres años en la planta ha tenido una tendencia parecida, a la que se presenta en el presente análisis, por lo que se podría presentar una proyección de los gastos que podría implicar durante los próximos 5 años.

**Tabla XVIII Proyección de relación costo-beneficios utilizando el esquema de protecciones actual**

<b>No de Años</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Inversion \$</b>	<b>Beneficio</b>
1	117,800.00	0.0000	117,800.00
2	117,800.00	0.0000	117,800.00
3	117,800.00	0.0000	117,800.00
4	117,800.00	0.0000	117,800.00
5	117,800.00	0.0000	117,800.00
		<b>TOTAL</b>	<b>589,000.00</b>

Como se mencionó anteriormente los relevadores multifunciones poseen entre otras características: un rango de programación de ajustes mas amplio, un monitoreo de parámetros de operación mecánica eléctrica y un registro de eventos para una retroalimentación que le permita al operador realizar acciones preventivas y correctivas. Estas ventajas permiten una protección más confiable y precisa al equipo de generación, y aunque siempre existe un margen de error, se pondera un valor de precisión aproximado de 40% más exacto que los relevadores que se encuentran instalados actualmente, por lo que se reduciría un 60% el tiempo de salidas forzadas por indisponibilidad, este porcentaje se resume en una disminución de costos ya que a partir del segundo año los costos por indisponibilidad de salidas forzadas se reduce de \$117,800 a \$ 70,680 como se observa en la siguiente tabla.

**Tabla No IX Proyección de relación costos-beneficios utilizando el Relevador Multilin SR489**

<b>No de Años</b>	<b>Costo \$</b>	<b>Inversion \$</b>	<b>Beneficio</b>
1	117,800.00	123435.00	-5,635.00
2	70,680.00	0.0000	70,680.00
3	70,680.00	0.0000	70,680.00
4	70,680.00	0.0000	70,680.00
5	70,680.00	0.0000	70,680.00
<b>TOTAL</b>			<b>277,085.00</b>

Al realizar esta proyección, se observa que con el relevador se podría reducir costos a un 50% aproximadamente en 5 años recuperando la inversión aproximadamente en el año 4 como se muestra en la siguiente tabla



**Tabla XX Representación de Número de años de recuperación de inversión**

<b>No de Años</b>	<b>Costo Protección Actual \$</b>	<b>Costo Nueva Protección</b>	<b>Ahorro \$</b>	<b>Recuperación \$</b>
1	117,800	123,435	-5,635	-5,635
2	117,800	70,680	47,120	41,485
3	117,800	70,680	47,120	88,605
4	117,800	70,680	47,120	<b>135,725</b>
5	117,800	70,680	47,120	182,845

Por lo que se concluye que la inversión es rentable.

## CONCLUSIONES

1. El relevador multifunciones presenta mayores ventajas que desventajas sobre relevadores de estado sólido.
2. El análisis técnico, muestra que la coordinación de protecciones del esquema actual de cada relevador se encuentra debidamente ajustado y coordinado
3. El resultado del análisis económico, es que en un período de 3 años se puede recuperar la inversión, porque la precisión y confiabilidad es mayor, reduciendo los costos de indisponibilidad por salidas forzadas, por lo que la inversión es rentable.
4. Cualquier tecnología de protecciones no garantiza la no destrucción de una máquina eléctrica de gran potencia, sin embargo, la innovación de tecnología que permita un mejor monitoreo sobre los parámetros de operación de la máquina, que le permitirá al operador tomar decisiones preventivas o correctivas que alarguen la vida útil de la máquina, representando una inversión a largo plazo



## RECOMENDACIONES

1. En el esquema actual de protecciones, los parámetros y coordinación se encuentran bien ajustados y actuarán en su momento oportuno, sin embargo, si se pudiera implementar protecciones por pérdida de excitación, se considera que el esquema estaría aun con mejor cobertura. Adicionalmente, se sugiere que en el relevador de sobrecorriente de secuencia inversa sea cambiado el tiempo de operación como se discutió en el capítulo IV.
2. Los relevadores de estado sólido que se encuentran instalados no presentan las ventajas de almacenamiento con precisión, de la información de eventos que ocurren en el generador, si tienen la opción de informar al operador de alguna falla pero éstas se encuentran en algunos relevadores deshabilitadas. Por tal razón, si no se optara por la propuesta de compra del equipo de protecciones, se sugiere maximizar el esquema de comunicación de alarmas y disparos para el mejor monitoreo.
3. La desventaja que presenta el relevador multifunciones puede ser omitida una vez que se adquiriera un relevador de reserva y que tenga las pruebas de instalación y calibración correspondientes. Con estas condiciones el relevador puede ser reemplazado en veinte minutos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. López Morales, Cristian Alfonso. **Esquema de desconexión de disparo de baja frecuencia de enlaces de interconexión en áreas eléctricas.** Tesis del Ingeniero Electricista. Guatemala, USAC. Facultad de Ingeniería, 2002.
2. Martínez Marroquín, Manuel Eduardo. **Guía para la determinación de límites de operación, curva de capacidad, pruebas y mantenimiento predictivo de generadores Síncronos.** Tesis del Ingeniero Electricista. Guatemala, USAC. Facultad de Ingeniería 2003.
3. Basler Electric Higland, Illinos. **Manuales de instrucción para los relevadores del esquema de protecciones.**1992.
4. Zea Sandoval, Miguel y Hector Santiago Castro. **Formulación y Evaluación de Proyectos. 2ª edición. Guatemala s.e.** 1995.
5. GE MULTILIN. **489 Generator Management Relay Instruction Manual. 2002.**

## **APENDICE I**

### **Determinación de los desvíos de potencia para los participantes productores**

El participante productor que resulte en un mes con un desvío de potencia negativo, establecido como la diferencia entre su Oferta Firme Disponible Total y la potencia total comprometida en los contratos en que vende dicho participante debe comprar el faltante mediante transacciones de desvíos de potencia.

Potencia total comprometida, es la potencia que el participante productor obliga a tener disponible para respaldar los requerimientos de potencia de todos sus compradores en el período de demanda máxima. La potencia máxima de planta SIDEGUA es de 38MW-hora, sin embargo debe participar en el regulación de frecuencia y libre de los consumos propios, debe aportar al sistema 36.8MW-hora

La Oferta Firme Disponible Diaria OFDT es la que se genera en el día, de acuerdo a la convocatoria del AMM a cada participante productor. De acuerdo a esto se puede realizar la siguiente tabla y el cálculo del desvío de potencia para cada día, de acuerdo a los datos proporcionados por la generación de planta SIDEGUA durante el mes de enero de 2005 en la que su participación en el mercado fue casi constante durante los días de Lunes a Viernes y en la que se puede dar un ejemplo ya que el generador 2 se encuentra indisponible por razones de destrucción del estator, estos cálculos fueron realizados de la siguiente fórmula

$$DP_d = OFDT_d - PTC$$

**CÁLCULO DE LOS DESVÍOS DE POTENCIA EN EL  
MES DE ENERO DE 2005**

<b>DÍA</b>	<b>OFDT Kw hora/día</b>	<b>Horas Convocado</b>	<b>PTC Kw-h</b>	<b>PTC Kw- hora/día</b>	<b>DPd Kw-hora/día</b>
1	0		36800	0	0
2	0		36800	0	0
3	0		36800	0	0
4	25824	1	36800	36800	-10976
5	24768	1.5	36800	55200	-30432
6	57888	2	36800	73600	-15712
7	80928	3	36800	110400	-29472
8	0		36800	0	0
9	0		36800	0	0
10	0		36800	0	0
11	45840	1.5	36800	55200	-9360
12	10944	0.5	36800	18400	-7456
13	87312	3	36800	110400	-23088
14	62784	2.5	36800	92000	-29216
15	0		36800	0	0
16	0		36800	0	0
17	90672	3	36800	110400	-19728
18	316416	11	36800	404800	-88384
19	0		36800	0	0
20	20208	0.7	36800	25760	-5552
21	46800	1.5	36800	55200	-8400
22	0		36800	0	0
23	0		36800	0	0
24	225744	9	36800	331200	-105456
25	334800	11	36800	404800	-70000
26	225744	8.5	36800	312800	-87056
27	391824	12	36800	441600	-49776
28	328752	10	36800	368000	-39248
29	35136	1.2	36800	44160	-9024
30	0		36800	0	0
31	347280	10	36800	368000	-20720

DPT (M)

-659056



En base a la tabla se observa que existieron desvíos de potencia negativa, por lo que se tiene una necesidad de compra de potencia; los cálculos para la penalización que se impone a cada planta que necesita comprar potencia por desvíos de potencia, están fuera del alcance de este apéndice y del estudio de este trabajo de graduación, debido a que se deben tener datos que sólo el AMM posee para calcular tales como los desvíos de potencia positivos y negativos de cada participante productor del SNI de acuerdo a las siguientes fórmulas

$$DPT_{(m-)} = \sum DP_{(g-)} + \sum_{cm(-)} DP_{(c-)}$$

Donde

gm	Productor g en el mes m.
cm	Consumidor c en el mes m.
DP(g-)	Requerimientos de desvíos de potencia negativos del Generador.
DP(c-)	Requerimientos de desvíos de potencia negativos del consumidor.

Luego de esto ya se calcula la recaudación por desvíos de potencia  $RDP_m$  en el mes.

Donde

PREFP	Precio de referencia de potencia.
NDR	Número de días afectos a desvíos de potencia.

## **APÉNDICE II**

### **TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LOS AJUSTES Y PARÁMETROS QUE SE PROGRAMAN EN EL RELEVADOR MULTIFUNCIONES**

A continuación se presenta la información que se debe programar en el relevador para su correcto funcionamiento, se realiza como una analogía a lo que se encuentra programado en los relevadores de estado sólido para que los ajustes de protección sean iguales aunque la forma de programación es diferente, el tiempo de disparo, el ajuste es el mismo.

## **APÉNDICE III**

**TABULACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE LA CURVA FLEXCURVE DE  
SOBRECORRIENTE PARA COORDINACIÓN Y PROTECCION DE UN  
GENERADOR REALIZADA POR EL USUARIO**

