



Residencia profesional Agosto-Diciembre 2018

Alumno: Jorge Alberto Pérez Pérez

Nombre del proyecto:

**CÁLCULO DE AJUSTES DE LAS PROTECCIONES  
ELÉCTRICAS DE UN GENERADOR DE POTENCIA 300  
MW**

Lugar donde se realizara:

CFE GENERACION IV

C.H. MANUEL MORENO TORRES

CARRERA: Ingeniería Eléctrica

Asesor interno:

Dr. Rafael Mota Grajales

Asesor Externo:

Ing. Edson Benavidez Ovando Othón

# INDICE

INDICE		
1	Introducción	4
1.1	Antecedentes	4
1.2	Estado del Arte	5
1.3	Justificación	6
1.4	Objetivo	6
1.5	Metodología	6
2	fundamento teórico	7
2.1	Conceptos del sistema de protecciones eléctricas	7
2.2	Fallas internas que se presentan en los generadores.	8
2.3	Fallas de fase a tierra.	9
2.4	Fallas entre espira.	10
2.5	Fallas en el rotor	10
2.6	Fallas externas	10
3	Características de las protecciones.	11
3.1	Esquema de protecciones.	14
3.2	Protecciones primarias	14
3.3	Protecciones de respaldo.	14
4	Tipos de protección de un generador	15
4.1	Protección de distancia (21G)	15
4.2	Protección volts/Hertz (24G)	
4.4	Protección de potencia inversa (32G)	18
4.3	Protección de verificador de sincronismo (25G)	17
4.4	Protección de potencia inversa (32G)	18
4.5	Protección de pérdida de campo (40G)	19
4.6	Protección de secuencia negativa (46G)	20
4.7	Protección de sobretemperatura (49G)	21
4.8	Protección de falla a tierra del estator (64G)	22
4.9	Protección falla a tierra en el rotor (64F)	22
4.10	Protección diferencial de generador (87G)	24
5	Protecciones de la central Manuel Moreno Torres	24
5.1	SEL-300G relevador multifunción de generador	25
5.2	SEL-387 relevador diferencial de grupo G-T	26
5.3	Desarrollo	28
5.4	Datos del equipo de la unidad 8	28
5.5	Protección térmica por corriente de estator (51G)	32
5.6	Protección térmica por corriente del rotor (49F)	33
5.7	Protección volts/Hertz sobreexcitación (24G)	33

5.8	Protección de Pérdida de campo 40G	34
5.9	Protección de secuencia negativa 46G	35
5.10	Protección diferencial del generador (87G)	36
5.11	Protección de distancia (21)	36
6	Resultados.	37
7	Conclusión	41
8	Referencia	42

## **1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes**

La Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres inicio su construcción en el año de hicieron hacia junio 1970 finaliza hacia el año de 1975. Las primeras unidades de generación entraron en operación comercial entre 1980 y mayo de 1981, mientras que las últimas tres lo de 2004.

Su cortina es del tipo enrocamiento, con una elevación de la corona de 402.00 m.s.n.m. y una longitud de corona de 584 m de longitud Su cortina tiene una altura máxima de 262 m desde la base, por lo que se considera una de las más altas del país y del mundo, la cual no debía ser de concreto, pues el perfil irregular de la barranca y la gran altura de la obra hacían indispensable que la cortina tuviese cierta "flexibilidad", ´por lo que se optó por construir el corazón de la cortina con arcilla mezclada con lutita (roca blanda), ambos materiales locales, con respaldos de enrocamiento; los trabajos de construcción de la cortina ocuparon tres años y medio.

La central fue equipada con cinco unidades turbogeneradoras de 300 MW cada una, para una capacidad instalada total de 1,500 MW. Actualmente cuenta con otras tres unidades generadoras de 300 MW cada una, con lo que la central cuenta ahora con una capacidad instalada de 2,400 MW. El área total ocupada por la cuenca es de unos 7940 Km cuadrados, cuya cortina y vaso ocupan tierras de los municipios de Usumacinta y San Fernando

La cortina de Chichasen es de las más altas del mundo. Tiene una longitud de 200 m y una altura de 262 m, equivalente a cuatro y media veces la de las torres de la catedral de la Ciudad de México (que es la más alta del continente Americano y la quinta a nivel mundial). Sus turbinas y generadores están alojados en una caverna excavada en la roca a 200 m de profundidad, se ubica al final del recorrido por el Parque Nacional Cañón del Sumidero, se considera como la cuarta planta de generación de energía hidroeléctrica más productiva del mundo, la energía eléctrica generada por esta planta abastece 35% del consumo nacional de electricidad, así como 20% de la de Centroamérica

-Esta central forma parte de un complejo de cuatro plantas hidroeléctricas (Malpaso, La Angostura, Chicoasén y Peñitas, por orden de construcción), llamado Sistema Hidroeléctrico del río Grijalva, en el extremo izquierdo de la cortina se encuentra un monumento, constituido por tres esculturas de obreros, de aproximadamente 5 m de altura; en reconocimiento al personal que hizo posible la realización de esta obra, en el vaso de la presa se pueden pescar las siguientes especies: mojarra negra, mojarra blanca, mojarra roja, mojarra tenhuayaca, jaiba, róbalo, bagre y pejepuerco.



**FIGURA 1. UBICACION DE LA CENTRAL H.**

## 1.2 Estado del arte

Ajustes de las protecciones eléctricas de la unidad 8 de la central hidroeléctrica, detectar las fallas para aislar los equipos e instalaciones falladas tan pronto como sea posible, respaldar las protecciones del sistema cuando estas no operen correctamente. [1]

Procedimiento CFE G0100-07. Gerencia de LAPEM, este procedimiento ha sido elaborado de acuerdo con las Bases Generales para la normalización en CFE. Ajustes de protecciones eléctricas de las unidades generadoras, transformadores de unidad e interruptores de potencia.[2]

Libro de Verde de Protecciones Eléctricas (CFE) la adecuada selección y coordinación de los dispositivos de protección, es

fundamental para el correcto funcionamiento del sistema de protección y por consecuencia para la operación confiable del sistema de distribución. [3]

### **1.3 Justificación**

Los dispositivos de protección de un generador tienen como función dar soluciones para reducir los diferentes tipos de fallas que las unidades de los generadores provocan, como también mantener la seguridad de los equipos e instalaciones, como de las personas que se encuentran en su entorno garantizando una mayor confiabilidad, seguridad y la continuidad en la generación de la energía eléctrica.

El proyecto se realizó a la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres de la unidad 8 segunda etapa con la finalidad de realizar el cálculo de ajustes de protección de generador eléctrico y sus componentes de acuerdo a la guía **CFE-G0100-07** y los números **ANSI**.

Con este proyecto se espera tener una mejor confiabilidad y seguridad para las generadoras evitar las fallas, con el uso adecuado de los dispositivos de protección y medición para cada componente que lo conforma la unidad.

### **1.4 Objetivo**

Realizar la detección de fallas en el sistema para desconectar de la forma más rápida posible el elemento fallado, con el propósito de reducir los efectos que produce una falla eléctrica.

### **1.5 Metodología**

La metodología a emplear será conocer los equipos auxiliares y esquemas de protección y medición que proporcionan seguridad y confiabilidad a los equipos primarios de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres. Conforme a la nomenclatura de los números ANSI, llevar a cabo un análisis sobre los valores con los que operan los equipos de la unidad, como son el estator, rotor, transformadores de potencia, de excitación, y los equipos de instrumentos, en base a ello analizar y realizar los cálculos para observar el comportamiento

de la curva de capacidad y capacidad y los límites de cada uno de los equipos para corregirlo de acuerdo al manual.

Los cálculos se realizan por medio del programa de Excel, con la intención de facilitar las gráficas que serán requeridos para cada número de protección.

Las protecciones que se encuentran en la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres son; 51G protección térmica por corriente de estator, 49F protección térmica por corriente del rotor, 24G volts/Hertz sobreexcitación, 32G protección de potencia inversa del generador, 40G Perdida de campo, 46G corriente de secuencia negativa

## **2. Fundamento teórico**

### **2.1 Conceptos del sistema de protecciones eléctricas**

Los generadores tienen características especiales que exigen esquemas de protección distintos a los empleados para otros equipos que forman el sistema eléctrico, una falla en un generador invariablemente es de carácter permanente, su reparación requiere tiempo y es costosa. En consecuencia se justifica a emplear una protección lo más sensible y completa posible.

El margen de sobrecarga o tolerancia para operar fuera de sus límites nominales, es menor en generadores que en otros equipos. Esta protección exige una protección adicional, de respaldo, que impida, su operación prolongada bajo condiciones anormales debidas a causas externas.

La gran importancia de los dentro del sistema del sistema eléctrico exige que la protección de respaldo sea seleccionada y ajustada con mucho cuidado para evitar disparos innecesarios. La protección eléctrica empleada en generadores se encuentra orientada para detectar tres tipos de condiciones anormales:

- Falla debido a corto circuitos eléctricos en la zona del generador.
- Operación anormal del generador (fuera de los límites operacionales).
- Fallas en el resto del sistema eléctrico debido a corto circuitos.

## **2.2 fallas internas que se presentan en los generadores.**

Este tipo de cortocircuitos genera la circulación de elevadas corrientes. Estas pueden producir daños significativos en el lugar del cortocircuito.

Se trata de uno de los cortocircuitos más perjudiciales que puede tener lugar en el estator de un generador, ya que en el caso de no ser despejado prontamente puede originar la destrucción de las láminas del estator en el área del cortocircuito. Para detectar el cortocircuito entre fases se utiliza el principio de comparar, en las tres fases, la corriente que circula por el extremo del neutro con la que circula por el extremo de los bornes.

Bajo condiciones normales, estas corrientes son idénticas. Por el contrario, cuando tiene lugar un cortocircuito surge una diferencia que es medida por un relé. La protección que se fundamenta en este principio de comparación recibe el nombre de “protección diferencial longitudinal”.

Es una protección unitario o de zona, debido a que sólo se protege cada fase del generador en la zona situada entre los transformadores de corriente. Como consecuencia de esto, es inherentemente selectiva. Es necesario recurrir a relés especiales denominados relés diferenciales, debido a la existencia de problemas tales como: distinto comportamiento de los transformadores de corriente para cortocircuitos externos al generador, diversos errores para los niveles de corriente de carga, etc. Estos relés contienen algún medio de retención, el cual varía de acuerdo con el fabricante, y que impiden que operen falsamente.

Cuando opera la protección diferencial es usual que energice un relé auxiliar del tipo reposición manual. Este relé se encarga de dar las órdenes de: a) Apertura del interruptor principal del generador o del interruptor del lado de alta tensión del transformador de subida, en el caso de que se trate de un esquema en bloque.

b) Apertura del interruptor del lado de baja tensión del transformador de servicios auxiliares de la unidad, en el caso de que exista.

c) Apertura del interruptor de campo.

d) Detención de emergencia

e) Inyección de CO<sub>2</sub>. El empleo de un relé auxiliar de reposición manual asegura que el generador no se pondrá en servicio nuevamente, sin que previamente se haya repuesto en forma manual el auxiliar.



## 2.3 falla de fase a tierra

Se presenta debido al deterioro del aislamiento entre dos fases, que con lleva corrientes muy grandes que pueden producir graves daños al embobinado, y de persistir, es muy probable que la falla llegue a incluir la tierra, causando así un daño más significativo.

Al detectar una falla entre fases, es imperativo que la unidad se dispare sin retardo, usando un disparo simultáneo (turbina, interruptor de campo, interruptor de potencia).

Contra cortocircuito entre fase y tierra El núcleo del estator se ve forzadamente comprometido cuando tiene lugar un cortocircuito entre fase y tierra del estator de un generador, debido a que, independientemente de la conexión del neutro del generador con respecto a tierra, la carcasa del generador se encuentra conectada a tierra. El daño que originará el cortocircuito a tierra en las láminas del estator estará supeditado a la intensidad de la corriente del cortocircuito y al tiempo que circule dicha corriente.

La intensidad de la corriente que circula, para un cortocircuito de fase a tierra en el estator, está condicionada por el tipo de conexión que tiene el neutro del generador. Dicha intensidad será máxima en el caso de que el neutro esté sólidamente conectado a tierra y será mínima si el neutro se encuentra desconectado físicamente de tierra y se opera con un sistema de tipo bloque.

Las normas de fabricación de los generadores determinan que los mismos resistirán los esfuerzos térmicos y mecánicos que surgen al producirse un cortocircuito de una fase a tierra en sus bornes, siempre que el valor de la corriente de cortocircuito de una fase a tierra se limite al valor del cortocircuito trifásico a través de la utilización de reactores o resistores entre neutro y tierra.

En este momento, surgen dos corrientes de opinión: los partidarios a dejar el neutro desconectado de tierra, con lo que se acataría la norma, y los que mantienen la idea de emplear un limitador de corriente entre neutro y tierra. Dentro de este último grupo, surge una variada separación entre diversas alternativas: resistencia, reactancia, transformador de distribución con resistencia secundaria y reactancia sintonizada o de Peterson.

El neutro del estator del generador normalmente se conecta a través de un transformador, en cuyo secundario se coloca una resistencia.

## **2.4 Falla entre espiras**

Puede ser bastante destructiva, ya que tiene alguna relación con el material ferromagnético, puede dañar gradualmente el aislamiento y las laminaciones.

La corriente de falla puede ser muy peligrosa, aun sin notarse en el resto del devanado, esto se puede analizar, considerándose como un transformador de alta relación de transformación.

Este tipo de fallas no se detecta con la protección diferencial longitudinal, puesto que la corriente de entrada es igual a la de la salida, por ello su protección debe ser especial

## **2.5 Fallas en el rotor**

- Falla a tierra en el devanado del rotor

El devanado de campo del generador esta eléctricamente aislado de tierra. Por lo tanto, la existencia de una falla a tierra en el devanado no dañara el rotor.

Sin embargo la presencia de dos o más puntos a tierra en el devanado causará desbalances magnéticos y efectos térmicos, que pueden dañar el devanado, el material magnético y otras partes metálicas del rotor.

- Perdida de excitación

Cuando se presenta una pérdida de excitación, la máquina comienza a absorber reactivos del sistema y se inducen corrientes de baja frecuencia (deslizamiento) en el rotor, las cuales causan sobrecalentamiento en el rotor.

## **2.6 Fallas externas**

- Cargas desbalanceadas

Cuando el generador alimenta una carga desbalanceada, las corrientes de fase y voltajes terminales varían de la relación ideal balanceada, y aparece por lo tanto, una corriente de armadura de secuencia negativa ( $I_2$ ) en el generador. La corriente de secuencia negativa en el devanado de la armadura crea una onda de flujo magnético en el entre hierro, la cual gira en oposición al rotor, a la velocidad sincrónica.

Este flujo induce corrientes en el entrehierro del rotor, ranuras, anillos de retención y devanados amortiguadores, al doble de la frecuencia de línea.

El calentamiento se presenta en estas áreas y las temperaturas resultantes dependen del nivel y duración de las corrientes desbalanceadas.

Es posible alcanzar temperaturas a las cuales los materiales del rotor no soportan por mucho tiempo las fuerzas centrifugas impuestas en ellos, dando como resultado serios daños al conjunto turbina-generador.

Los fabricantes de generadores han establecido algunos límites para la corriente de secuencia negativa que podría existir permanentemente(a no ser que se especifique lo contrario).

### **3. Características de las protecciones eléctricas.**

- Sensibilidad

La protección debe distinguir inequívocamente las situaciones de falla de aquellas que no lo son y para ello es necesario:

Establecer las magnitudes mínimas necesarias que permiten distinguir las situaciones de falla de las situaciones normales de operación.

En pocas palabras, es que la protección opere con los mínimos valores de falla.

- Selectividad

Es la capacidad que debe tener una protección para que una vez detectada la falla, discrimine si está dentro o fuera de su área de operación y en consecuencia, disparar los interruptores necesarios para librar la falla.

- Rapidez.

Esta característica a que una vez detectada la falla, esta debe ser librada lo más rápido posible. Cuanto menos tarde en aislar la falla, menos se extenderá los efectos de la misma. Obteniendo así, una disminución de costes y tiempos de restablecimientos de las condiciones normales de operación; así como de la reparación de los daños.

- Confiabilidad

Esto se refiere a que la protección siempre debe de responder con seguridad y efectividad ante cualquier situación que se produzca. La respuesta de la protección puede ser tanto en actuación así como el de no actuación. Seguridad significa que no deben producirse actuaciones innecesarias ni omitirse actuaciones necesarias.

- Economía y simplicidad

La instalación de una protección debe estar justificada tanto por motivos técnicos como económicos, para ellos, se debe obtener la mayor protección con un menor costo. La simplicidad se basa en que debe ser sencillo en su construcción y que el cableado sea el menor para alcanzar los requerimientos de proteger de manera correcta.

- clasificación de acuerdo a su construcción.

Existen tres principales clasificación de las protecciones según su construcción estos pueden ser:

- Electromecánicos

Estos relevadores son hechos a base de bobinas de alta carga generalmente son muy robustos y pesados. Se constituyen principalmente por discos giratorios y contacto móviles.



*Figura 3 Electromecánica*

- Estáticos

Estos relevadores son pequeños y menos pesados que los electromecánicos, y están hechos con componentes electrónicos, emplean relés de estado sólido o tipo encapsulado.



*Figura 3.1 Estáticos*

- Microprocesados

Estos relevadores son de tecnología de punta y estos son capaces de manejar varios esquemas de protección en uno solo, estos además de ser protecciones generalmente también almacenan en memoria los eventos que ocurren en la operación de estos mismos.



*Figura 3.2 relevador microprocesados*

### **3.1 Esquema de protecciones**

Derivado a la gran importancia del esquema de protección es necesario considerar una estructura que impida que las fallas en cualquier de sus equipos deje desprotegido al SEP (Sistema Eléctrico de Potencia), y desencadene una serie de consecuencias indeseables.

Es recomendable cubrir con equipos de respaldo en caso de fallar las protecciones principales, por esta razón el esquema completo de protección se basa en:

1. Protecciones primarias.
2. Protecciones de respaldo.

#### **3.2 Protecciones primarias.**

Son aquellas que tienen la responsabilidad de librar la falla en primera instancia y desconectan el mínimo número de elementos necesarios para aislar la falla. La SEP se divide en zonas de protección primaria definidas en torno a cada equipo primario.

Cuando se produce una falla en el interior de una de protección primaria debe disparar los interruptores pertenecientes a la misma, ningún otro debe ser disparado para librar la falla. A menos de que la falla sea en un lugar donde se encuentren traslapadas las zonas de protección, la operación de las protecciones primarias puede llegar a desconectar un área más amplia que la estrictamente necesaria para librar la falla.

#### **3.3 Protecciones de respaldo**

Son las que tienen la responsabilidad de librar la falla en segunda instancia, es decir, solamente deben operar en caso de las protecciones primarias hayan fallado. Por esta razón es importante independizar entre si las causas de fallo de la protección principal y de respaldo. Las protecciones de respaldo deben operar con retardo de tiempo respecto a las primarias con el fin de dejarles tiempo suficiente para que puedan librar la falla, una vez presentado el disparo, las protecciones de respaldo deben ser inicializadas para evitar innecesarias aperturas de interruptores.

## **4. Tipos de Protección de un generador**

En la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres, se manejaron esquemas de protección que se tomaron como referencia para la segunda etapa. Estos esquemas se conservan en la actualidad aunque no todos se encuentran en operación con la tecnología actualizada.

A continuación se hará una breve descripción de los esquemas de protección utilizados habitualmente para el resguardo del generador.

### **4.1 Protección de distancia (21G)**

Esta protección detecta fallas entre fases y trifásicas exteriores a la unidad y dispara con demora en caso de que esas fallas no hayan sido libradas a tiempo por interruptores más próximos.

Adicionalmente la protección de respaldo de fase puede detectar fallas dentro de la unidad, respaldando por tanto a las protecciones diferenciales del generador y del transformador.

Existen tres tipos de relevadores distintos que se utilizan para esta protección, las cuales se diferencian por su principio de operación.

- **Relevadores de sobrecorriente con control por bajo voltaje (51 V).**

Estos relevadores son una modificación de los relevadores de sobrecorriente habituales.

El relevador de sobrecorriente con control por bajo voltaje permite usar un ajuste de arranque del elemento de sobrecorriente nominal asegurándose que operara siempre en caso de falla; pero no disparara bajo condiciones de carga, mientras el voltaje sea normal.

- **Relevadores de sobrecorriente con retención por voltaje (51 v).**

Estos relevadores son híbridos entre elemento de sobrecorriente y de distancia, su característica de sobrecorriente es afectada por la magnitud de voltaje.

A voltaje pleno el disco de inducción empieza a girar para corrientes mayores a la nominal, a voltaje bajo opera con corrientes menores a la nominal.

Estos relevadores utilizan la corriente y el voltaje del generador para medir la impedancia entre el generador y la falla, que es proporcional a la distancia eléctrica hasta el corto circuito.

### Características (21G)

#### 1. Alcance.

El elemento de distancia se ajusta para alcanzar a detectar holgadamente fallas en el bus de alta tensión, pero sin exceder el límite de la primera zona de protección de distancia de la línea más corta.

#### 2. Tiempo

- **Disparo.** Por tratarse de una protección de respaldo, los relevadores **51V** o **21** deben disparar únicamente al interruptor de unidad (**52G**), dejando a la unidad en disponibilidad para ser resincronizada tan pronto como se haya librado la falla exterior que causo el disparo.

Cuando se usan relevadores de distancia pueden emplearse relevadores auxiliares de tiempo de dos pasos, en cuyo caso se supone que el segundo paso operara únicamente si falla el interruptor de unidad o alguna protección propia del generador.

- **Bloqueo.** Como tanto los relevadores 51V como los 21 tienden a disparar por falta de voltaje, el disparo de la protección de respaldo de fase debe bloquearse con el relevador 60, que detecta fusibles fundidos en el circuito potencial.

### 4.2 Protección de Voltz/Hertz (24G).

Esta protección detecta sobrevoltaje en el generador mientras esta rueda a velocidad menor a la nominal.

Un sobrevoltaje a frecuencia baja causa una corriente de excitación muy alta en los transformadores conectados al generador, pudiendo dañarse por calentamiento excesivo en tiempos relativamente cortos.

La base de operación consiste en utilizar un relevador que se emplea para detectar sobrevoltaje a baja frecuencia, es transistorizado y tiene una característica de respuesta constante a la relación de voltaje entre frecuencia.

$$K=V/f$$



Es suficiente con medir voltaje y la frecuencia entre dos fases del generador para determinar si está sobreexcitado a baja frecuencia. En consecuencia el relevador es monofásico.

En las conexiones de control los contactos de disparo de los dos elementos del relevador de protección contra sobreexcitación (Volts/Hertz) manda disparo y a su vez dispara a:

- Interruptor de campo (41 G).
- Interruptor de generador e interruptor medio ya que la bahía usualmente está cerrada (52 G).
- Interruptor de servicios propios (52 A).

Por otra parte el mismo relevador tiene contactos actuados instantáneamente por los instantáneamente por los propios elementos detectores, que se usan normalmente, para conectarlos a un circuito de alarma.

#### **4.3 Verificador de sincronismo (25G).**

La entrada de una maquina al sistema requiere comprobar el cumplimiento de condiciones necesarias para realizar el acople, sin afectar la maquina o la estabilidad del sistema. La sincronización consiste en verificar el cumplimiento de estas condiciones, para permitir la orden de cierre del interruptor de potencia y acoplar de esta manera dos sistemas en paralelo.

El relé de verificación de sincronismo (25) es empleado para supervisar el cierre manual o automático del interruptor de acople, con el fin de permitir el cierre solo cuando el ángulo de desfase, la frecuencia de deslizamiento y la diferencia de voltaje sean menores o iguales a los valores de ajustes introducidos previamente al relé. El relé de sincronización automática (25A) cumple la misma función, pero adicionalmente envía señales de corrección a los reguladores de velocidad y de tensión del generador, con el fin de cumplir las condiciones apropiadas de sincronización.

A continuación se describen los parámetros concernientes a los relés de sincronismo, fundamentales para presentar los criterios de ajustes.

- **frecuencia de deslizamiento (Df).**

Se define como la diferencia entre las frecuencias de los generadores o sistemas a acoplar. Es considerado positivo cuando la frecuencia del sistema entrante es mayor que la del sistema de referencia y negativo cuando se presenta la situación inversa. Cuando el deslizamiento de frecuencia es negativo se presenta la motorización de la unidad, trayendo como consecuencia sobre presiones que afectarían directamente a la turbina, ocasionando la actuación de los relés de potencia inversa.

- **tiempo de cierre del interruptor de acople (Tr).**

Para obtener la condición exacta de sincronismo debe tenerse en cuenta la velocidad de operación del interruptor de acople, es decir, el tiempo que emplea dicho interruptor desde el momento mismo en que su circuito de control es energizado hasta que sus contactos se cierran completamente.

- **Angulo de desfase o compensación (qr).**

Este ángulo representa la diferencia angular máxima que debe existir entre los dos sistemas en el momento de enviar la señal de cierre al circuito de control del interruptor de acople, para que en el instante en que este interruptor cierre sus contactos, la diferencia de fase sea cercana a cero grados.

#### **4.4 Protección de potencia inversa (32G)**

La protección de potencia inversa detecta que el generador recibe potencia y dispara después de un retardo de tiempo. El generador recibe potencia del sistema cuando su turbina ya no le entrega potencia y empieza a absorber la necesaria para mantener al generador en sincronismo, venciendo las pérdidas de generador y motor.

Esta pérdida de potencia del motor puede ser a las siguientes causas:

- Falla en la propia secuencia de operación de turbina.
- Problema de operación en el sistema eléctrico.

La motorización del generador es un fenómeno tolerable por tiempo corto si no es a consecuencia de falla mecánica de la turbina. Si se

mantiene por un tiempo excesivo causa calentamiento excesivo en partes de la turbina.

En caso de que la motorización del generador se deba a falla en la turbina, la protección de potencia inversa tiene función de protección de respaldo a las protecciones de ese equipo que deben haber disparado al conjuntó generador-turbina.

La protección de potencia inversa debe disparar cuando las unidades trabajan como generador, el cual a su vez disparara:

Interruptor de campo (41 G)

Interruptor de servicios propios (52 A)

Válvula de paro de turbina (65 SHUT DOWN).

#### **4.5 Protección de pérdida de campo (40G)**

Un generador síncrono requiere tensión y corriente de C.D. adecuadas en su devanado de campo para mantener sincronismo con el sistema eléctrico de potencia.

La función de esta protección es detectar excitación anormalmente baja y dar alarma o disparo antes de que la operación del generador se vuelva inestable. Las principales causas de baja de excitación son:

- Regulador de voltaje desconectado y ajustes manual de excitación demasiado bajo.
- Falla en las escobillas.
- Apertura del interruptor de campo principal o del campo del excitador.
- Corto circuito en el campo.
- Falta de alimentación al equipo de excitación.

Para generadores de mayor tamaño se emplean relevadores del tipo de distancia conectados a transformadores de corriente y potencial del generador para detectar si sus condiciones de excitación tienden a la inestabilidad. Esto se basa en que la localización de la impedancia vista por relevadores de distancia indica con toda precisión las condiciones de perdida de excitación en las cuales opera el generador.

Como todos los relevadores de distancia, estos elementos son inherentemente instantáneos. El relevador puede contener en la misma caja un relevador de tiempo para demorar la operación del conjunto. Al igual que la función 32 la protección de pérdida de excitación debe disparar a:

Interruptor de campo (41 G)

Interruptor de generador e interruptor medio ya que la bahía usualmente está cerrada (52 G).

Interruptor de servicios propios (52 A).

Válvula de paro de turbina (65 SHUT DOWN)

#### **4.6 Protección de secuencia negativa (46G)**

La protección de sobrecorriente de secuencia negativa protege al generador contra toda clase de corrientes asimétricas que causan corrientes de doble frecuencia y calentamiento en el rotor.

- Fallas asimétricas en alta tensión.
- Una fase abierta en algún circuito conectado al generador.
- Cargas desbalanceadas monofásicas.

Base de operación:

Los relevadores de sobrecorriente de secuencia negativa que se emplean actualmente contienen un filtro de secuencias que a partir de las corrientes de las tres fases obtienen un voltaje proporcional a su componente de secuencia negativa.

Este voltaje es aplicado a un elemento de disco de inducción o bien de estado sólido, cuya característica de operación se asemeja a la curva de resistencia al calentamiento del rotor del generador.

Característica del relevador:

- La característica de tiempo.
- Corriente del relevador de sobrecorriente de secuencia negativa es extremadamente inversa.
- La curva de calentamiento tolerable del rotor en función de su corriente de secuencia.

## **Conexión de control.**

El contacto de disparo del relevador de sobrecorriente de secuencia negativa debe conectarse a disparar únicamente al interruptor de unidad (52 G), pues se trata de una protección que opera en función de causas extremas al generador. La unidad debe quedar rodando y excitada, disponible para ser resincronizada tan pronto como se haya eliminado la causa del disparo.

Algunos relevadores de sobrecorriente de secuencia negativa contienen dentro de la misma caja un elemento de sensibilidad mayor, que se emplea para dar alarma en caso de desbalances prolongados de la corriente.

### **4.7 Protección de sobretemperatura (49G)**

La protección contra temperatura alta en el estator del generador detecta las condiciones de operación que causan calentamiento del generador, que son principalmente.

- Sobre carga continua.
- Sistema de enfriamiento dañado.
- Sistema de enfriamiento mal ajustado.

La protección contra temperatura alta en el estator opera por medio de un medidor de temperatura, generalmente tipo puente de wheatstone, que recibe su señal de un detector de resistencia intercalado en el embobinado del generador.

#### ➤ Conexión de control

El contacto de disparo debe conectarse para disparar únicamente al interruptor de unidad (52 G), preferentemente dando una alarma que indica la causa del disparo, para que el operador revise el sistema de enfriamiento.

#### **4.8 Protección de falla a tierra del estator (64G)**

Trabaja sobre la base de detección de voltaje en el neutro de un sistema que opera con neutro aislado o aterrizado a través de una impedancia alta. Detecta fallas monofásicas a tierra tanto en la mayor parte del embobinado del generador como en todas las conexiones a voltaje de generación: bus ducto, embobinado del transformador de unidad y embobinado del transformador de auxiliares.

Esta protección se aplica básicamente a generadores conectados en esquema unitario, o sea conectados directamente a un transformador elevador, en los que el sistema a voltaje de generación se compone exclusivamente de equipo instalado dentro de la misma planta y no dotado de interruptores para su separación.

La protección contra fallas a tierra en el estator de generador basa su operación en la detección de voltaje en el neutro del propio generador. El voltaje en ese punto en condiciones normales es cero, excepto la componente de tercera armónica, que puede ser apreciable pero es fácilmente eliminable por medio de un filtro contenido dentro del propio elevador.

El voltaje en el neutro del generador será más alto cuanto más alejada del neutro se encuentre la falla. Inversamente, una falla a tierra en el propio neutro no podrá ser detectada por no reproducir voltaje; pero ese es el punto menos expuesto a falla por no estar sujeto a voltaje en operación normal. El relevador habitualmente empleado tiene sensibilidad suficiente para cubrir el 90 a 95% del embobinado del generador.

#### **4.9 Protección falla a tierra en el rotor 64F**

Esta protección detecta cuando se presenta una falla a tierra en cualquier punto del circuito de campo.

Se emplea para dar alarma, con objeto de que la unidad sea retirada de servicio para su inspección tan pronto como las condiciones de carga del sistema lo permitan.

La primera falla a tierra en el campo no impide seguir operando, pero debe prepararse antes de que se presente una segunda, pues ya significaría un corto circuito, causaría vibraciones y calentamiento irregular en el rotor.

Existen dos esquemas diferentes para detectar fallas a tierra en campos de generadores:

- Aplicando voltaje de corriente directa entre el campo y tierra para medir la corriente que circula
- Midiendo voltaje entre tierra y un neutro artificial formando en el circuito de campo por medio de un potenciómetro de resistencia.

La conexión básica del esquema con voltaje exterior aplicado es la siguiente:

La alimentación de 120v C.A. se toma preferentemente de servicios propios, para que siga en servicio la protección aunque este parada la unidad. El voltaje de corriente directa aplicado es del orden de 100 a 200 volts, la sensibilidad varia a lo largo del embobinado de campo.

La conexión básica de esquema con neutro artificial es la siguiente:

El voltaje que parece a través de la bobina de 64F es tanto mayor mientras más cerca de los extremos del campo se encuentre la falla. Algunos relevadores contienen una resistencia no-lineal en serie con R, con lo cual se logran detectar fallas aun en el centro del embobinado de campo, pues el neutro se desplaza en función del voltaje de operación del tiempo.

Para ambos esquemas de protección el elemento detector es un relevador instantáneo de corriente directa, ya sea de sobrecorriente o de sobrevoltaje. Vienen diseñados con sensibilidad muy alta, para detectar fallas de alta resistencia, pero a la vez resisten seguir operando energizados indefinidamente.

Los relevadores de protección contra a tierra respecto a la cual se piensa detectar es el eje del generador. La conexión del relevador hasta la escobilla que toca al eje debe tener aislamiento adecuado (1000V) para no introducir un circuito adicional de corrientes parasitas a lo largo del eje, cuando se tienen chumaceras aisladas de tierra.

Cuando se trata de generadores con sistemas de excitación sin escobillas, deben proveerse anillos rodantes y escobillas únicamente para aplicar esta protección. Algunos fabricantes de generadores insisten en que estas escobillas no deben de hacer contacto continuo, en esos casos debe proveerse un conmutador que energiza un solenoide que aplica las escobillas sobre los anillos para probar periódicamente el campo con esta protección.

#### 4.10 Protección diferencial de generador (87g)

Protege contra corto circuitos entre fases dentro del embobinado del generador. Cuando el generador se halla con neutro aterrizado por medio de un reactor de baja impedancia, esta protección también detecta corto circuitos interiores de fase a tierra.

Su operación se basa en la comparación de la corriente que sale de un embobinado con la corriente que entra por otro extremo del mismo embobinado.

Si no existe diferencia entre estas corrientes, el embobinado está bien, pero si las corrientes difieren el embobinado presenta una falla.

En condiciones anormales, las corrientes en la protección se reparten equitativamente. Cuando se presenta una falla interna del generador. Así la bobina del relevador de protección recibe corriente únicamente cuando hay una falla dentro del generador; es decir, el relevador solo puede detectar únicamente fallas que queden entre los dos juegos de TC's.

### 5 Protecciones de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

#### ➤ Protecciones microprocesadas.

Como se mencionó en un principio estos relevadores son muy versátiles ya que pueden desempeñar varias funciones en uno solo, su tecnología es la más avanzada. Dentro de los esquemas de protección que tenemos en la central son de este tipo y haremos menciones de algunos de ellos:

- **Relevador SEL-300G:** Es un relevador multifunción (varios esquemas de protección de generador).
- **SEL-387:** Es utilizado para la protección diferencial de grupo transformador-generado, transformador de servicios propios y transformador de excitación.
- 

Actualmente cada uno de estos se tiene instalados en la unidades 1, 2, 4, 5, 6,7 y 8 es decir en la primera y segunda etapa, estos relevadores como protecciones primarias y los relevadores multifunción SEL-300G de respaldo que se encuentran ubicadas en los tableros descentralizados que se ubican en el piso de



generadores; en las unidades de la primera etapa se cuenta con un relevador Beckwith para protección primaria del generador. Estas se han venido instalando con los mantenimientos menores y mayores en cada unidad.

Los relevadores SEL-387 son los esquemas de protección diferencial de los transformadores de servicios propios, estos equipos tienen diferentes funciones de protección se tiene la ventaja de poder supervisar los circuitos de disparo de los interruptores de potencia, quebradora de campo e interruptor de servicios propios.

### 5.1 SEL-300G relevador multifunción de generador.



**FIGURA 5.2 SEL-300G**

Este relevador tiene la función de proteger casi en su totalidad diferentes tipos de fallas en el generador ya que cuenta con varias protecciones integradas en un solo relevador, a continuación se enlista las protecciones programadas en los esquemas de la Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

- ❖ 21G PROTECCION DE DISTANCIA
- ❖ 24G PROTECCION DE SOBREEXCITACION V/Hz
- ❖ 25G VERIFICADOR DE SINCRONISMO (2da ETAPA)
- ❖ 27G PROTECCION DE BAJO VOLTAJE
- ❖ 32G PROTECCION DE POTENCIA INVERSA
- ❖ 40G PROTECCION DE PERDIDA DE CAMPO
- ❖ 46G PROTECCION DE SECUENCIA NEGATIVA
- ❖ 5G PROTECCION DE SOBRE VOLTAGE
- ❖ 64G PROTECCION DE FALLA A TIERRA DEL ESTATOR
- ❖ 87G PROTECCION DIFERENCIAL DE GENERADOR

Los relevadores multifunción SEL-300G están instalados en cada una de las unidades, para el caso de la segunda etapa existen relevadores de respaldo por cada unidad y para el caso de las unidades de la primera etapa se encuentran los relevadores Beckwith de tal forma que tendremos dos esquemas similares protegiendo al generador ante fallas.

## 5.2 sel-387 relevador diferencial de grupo G-T.

### SEL-387



**FIGURA 5.3 SEL-387**

Estos relevadores se encuentran instalados en su totalidad en cada una de las unidades y tiene como función la evaluación de corrientes diferenciales entre el neutro del generador y el lado de alta del transformador de potencia, estas también son denominadas protecciones diferenciales de grupo o protecciones diferenciales del transformador, este relevador vienen a sustituir a los tres relevadores que evaluaban pro fases independientes, es decir que esta diferencial se compone de tres relevadores monofásicos.

La operación de este relevador hace que se activen sus leds indicándonos en qué fase fue la falla y además su contacto de disparo hace operar al 86G, 41G, 65S y al propio interruptor de maquina directamente.



FIGURA 5.3.1 PROGRAMA PARA EL SEL

Como se muestra en la figura 5.3.1 es la forma para ingresar a los SEL y realizar los justes necesarios para las protecciones que necesitan el generador.

A continuación se mostrara algunos de los comando mas comunes de los **SEL**.

ACC	Acceso 1 <sup>o</sup> nivel
2AC	Acceso 2 <sup>o</sup> nivel
SHO	Muestra de ajustes
SER	Secuencial de eventos
HIS	Historial de eventos
MET	Muestra de medición actual
CTR	Relacion transformación normal
CTRD	Relación transformación diferencial
PTRN	Rel de transformación de Neutro ( $5000/240=62.5$ )

En el primer nivel solo podemos monitorear y ver lecturas de los ajustes de las protecciones, en el segundo nivel podemos modificar como el usuario lo desee.

## 5.3 Desarrollo

### 5.4 Datos del equipo de la unidad generadora 8 segunda etapa.

Para el ajuste de las protecciones del generador de la unidad 8 segunda etapa central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres fue necesario recopilar los datos de la máquina y de algunos otros equipos como:

- Datos de la maquina

14	POTENCIA PRIMOMOTOR			310	MW's
15	POTENCIA GENERADOR			300	MVA
16	VOLTAJE NOMINAL			17,000	VOLTS
17	CORRIENTE NOMINAL	10,188.5		10188.50	AMPERES
18	FACTOR DE POTENCIA F.P.			0.95	
19	ROTACION DE FASES			ABC	
20	RAZON DE CORTOCIRCUITO	1.39548		1.39548	
21	X'd REACTANCIA SINCRONA EJE DIRECTO / CUADRATURA	0.7166		0.738	0.554 pu
22	X'd REACTANCIA TRANSITORIA EJE DIRECTO / CUADRATURA			0.268	pu
23	X"d REACTANCIA SUBTRANSITORIA EJE DIRECTO / CUADRATURA			0.188	0.217 pu
24	REACTANCIA SECUENCIA NEGATIVA			0.197	pu
25	REACTANCIA SECUENCIA CERO			0.123	pu
26	RESISTENCIA DE ARMADURA	0.00170	0.00170	0.0017	OHMS / FASE A, B, C
27	FRECUENCIA			60	Hz
28	I <sub>2</sub> VALOR DE CORRIENTE DE SEC. NEGATIVA PERMANENTE			10	%
29	K VALOR DE CORRIENTE DE SEC. NEGATIVA PARA DAÑO		I <sub>2</sub> <sup>2+t</sup>	40	SEGUNDOS
30	VELOCIDAD			180	RPM
31	POLOS	SALIENTES	No. DE POLOS	40.0	
32	TIPO Y CLASE DE AISLAMIENTO DEL ESTATOR			F	90 °C
33	TIPO Y CLASE DE AISLAMIENTO DEL ROTOR			F	an °C

Figura 3.1 valores recopilados

- Tipo de excitación

36	TIPO EXCITACIÓN		ESTATICA	
37	VOLTAJE NOMINAL CAMPO		355	VCD
38	CORRIENTE NOMINAL DE CAMPO		1937	ACD
39	VOLTAJE DE CAMPO EN VACIO		177	VCD
40	CORRIENTE DE CAMPO EN VACIO		1235	ACD
41	CORRIENTE DE CAMPO A CORRIENTE NOMINAL (PBA. C.C.)		885	ACD
42	RESISTENCIA DE CAMPO	0.14332	0.14332	OHMS @ 90 °C.
43	CONSTANTE DE TIEMPO DE CIRCUITO ABIERTO T'd0		8.34	SEGUNDOS

figura 3.1.2 valores de la maquina

- Datos del transformador de excitación

46	ENFRIAMIENTO		OA	FA	
47	POTENCIA		3.35	3.35	MVA's
48	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO BAJA	ESTRELLA	0.830	0.830	KV
49	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO ALTA	DELTA AC	17.0	17.0	KV
50	CORRIENTE LADO BAJA		2330.34	2330.34	AMPS
51	CORRIENTE LADO ALTA		113.78	113.78	AMPS
52	IMPEDANCIA		7.73	7.73	%
53	IMPEDANCIA EN ASPEN @ 100 MVA's		2.30746	2.30746	
54					
55					

**Figura 3.1.3 valores del transformador de excitación**

- Datos del transformador del neutro

72	<b>DATOS DEL TRANSFORMADOR DE NEUTRO</b>		
73	VOLTAJE PRIMARIO		15,000 VOLTS
74	VOLTAJE SECUNDARIO		240 VOLTS
75	EXISTE DIVISOR ADICIONAL?	NO	
76	RELACION		62.50
77	POTENCIA		80 KVA
78	TIEMPO EN ESTA POTENCIA		5 SEGS.
79	RESISTENCIA DE NEUTRO ( LADO SECUNDARIO )		0.088 OHMS
80	VOLTAJE DE LA RESISTENCIA DE NEUTRO		168.41 VOLTS
81	CORRIENTE RESISTENCIA DE NEUTRO		1563 AMPERES
82			

**Figura 3.1.4 valores recopilados de la placa del equipo**

- Datos del transformador de potencia

84	ENFRIAMIENTO		OA	FA1	FA2	
85	POTENCIA		345	345.0	345.0	MVA's
86	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO BAJA	DELTA AC	17.0	17.0	17.0	KV
87	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO ALTA	ESTRELLA	400.0	400.0	400.0	KV
88	CORRIENTE LADO BAJA		11717.16	11717.16	11717.16	AMPS
89	CORRIENTE LADO ALTA		497.98	497.98	497.98	AMPS
90	IMPEDANCIA		10.06	10.06	10.06	%
91	IMPEDANCIA EN ASPEN		0.02916	0.02916	0.02916	
92						

**Figura 3.1.5 VALORES DEL TRANSFORMADOR**

- Datos del transformador de servicios propios

DATOS DEL TRANSFORMADOR DE SERVICIOS PROPIOS					
		OA	FA1	FA2	
93	ENFRIAMIENTO				
94	POTENCIA		3	3	3.0 MVA's
95	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO BAJA	DELTA AC	0.44	0.44	0.44 KV
96	CONEXIÓN Y VOLTAJE LADO ALTA	ESTRELLA	17.0	17.0	17.0 KV
97	CORRIENTE LADO BAJA		3936.59	3936.59	3936.59 AMPS
98	CORRIENTE LADO ALTA		101.89	101.89	101.89 AMPS
99	IMPEDANCIA		8.88	8.88	8.88 %
100	IMPEDANCIA EN ASPEN		2.96000	2.96000	2.96
101					
102					

**Figura 3.1.6**

- Relaciones de transformadores de instrumentos

GENERADOR						
105	<b>ARREGLO TP's 1</b>					
106	RTP FASE	17,850	/	120	=	ESTRELLA
107	RTP FASE A NEUTRO	10306.0	/	69.28	=	148.75
108						VOLTAJE DE LINEA
109						148.75
110						VOLTAJE DE FASE A TIERRA
111	<b>ARREGLO TP's 2</b>					
112	RTP FASE	17,850	/	120	=	ESTRELLA
113	RTP FASE A NEUTRO	10306.0	/	69.28	=	148.75
114						VOLTAJE DE LINEA
115						148.75
116						VOLTAJE DE FASE A TIERRA
117	RT NEUTRO	15,000	/	240	=	62.50
118						TRANSF. DE DISTRIBUCIÓN
119	RTC 1 FASE	15,000	/	5	=	3000
120	RTC 2 FASE	15,000	/	5	=	3000
121	RTC 3 FASE	15,000	/	5	=	3000
122						1
123	VOLTAJE SECUNDARIO NOMINAL DE LA UNIDAD					114.29
124	CORRIENTE SECUNDARIA NOMINAL DE LA UNIDAD					3.396
						VOLTS SECS
						AMPS SECS.

**Figura 3.1.7**

Toda esta información fue necesario recopilarlo de las placas de los equipos e insertarlo en el programa de Excel para realizar la tabla de la curva de capacidad y a si observar en la gráfica los límites del estator, rotor ya que no se puede rebasar del límite para obtener un buen resultado.

CURVA DE CAPACIDAD					
P	Q	FP	ANGULO	R	X
0.000	300.000	0	90.00	0.0000	0.9633
30.000	298.495	0.1	84.26	0.0963	0.9585
60.000	293.935	0.2	78.46	0.1927	0.9439
90.000	286.177	0.3	72.54	0.2890	0.9190
120.000	274.950	0.4	66.42	0.3853	0.8829
150.000	259.807	0.5	60.00	0.4817	0.8343
180.000	239.999	0.6	53.13	0.5780	0.7707
210.000	214.231	0.7	45.57	0.6744	0.6880
240.000	180.000	0.8	36.87	0.7707	0.5780
255.000	158.042	0.85	31.79	0.8188	0.5075
270.000	130.757	0.9	25.84	0.8670	0.4199
285.000	93.700	0.95	18.20	0.9151	0.3009
294.000	59.707	0.98	11.48	0.9441	0.1917
300.000	0.000	1	0.00	0.9633	0.0000
294.000	-59.707	0.98	11.48	0.9441	-0.1917
285.000	-93.700	0.95	18.20	0.9151	-0.3009
270.000	-130.757	0.9	25.84	0.8670	-0.4199
255.000	-158.042	0.85	31.79	0.8188	-0.5075
240.000	-180.000	0.8	36.87	0.7707	-0.5780
210.000	-214.231	0.7	45.57	0.6744	-0.6880
180.000	-239.999	0.6	53.13	0.5780	-0.7707
150.000	-259.807	0.5	60.00	0.4817	-0.8343
120.000	-274.950	0.4	66.42	0.3853	-0.8829
90.000	-286.177	0.3	72.54	0.2890	-0.9190
60.000	-293.930	0.2	78.46	0.1927	-0.9439
30.000	-298.496	0.1	84.26	0.0963	-0.9585
0.000	-300.000	0	90.00	0.0000	-0.9633

figura 3.1.8 valores calculado

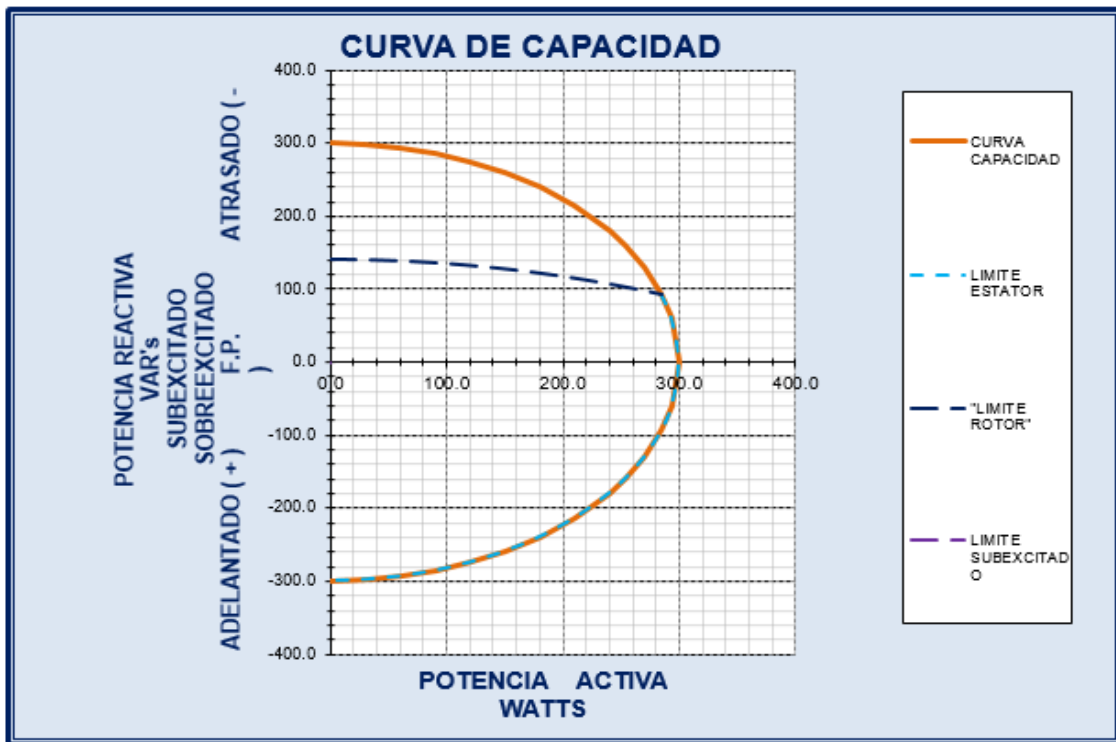


figura 3.1.9 grafica de acuerdo a los límites de cada equipo

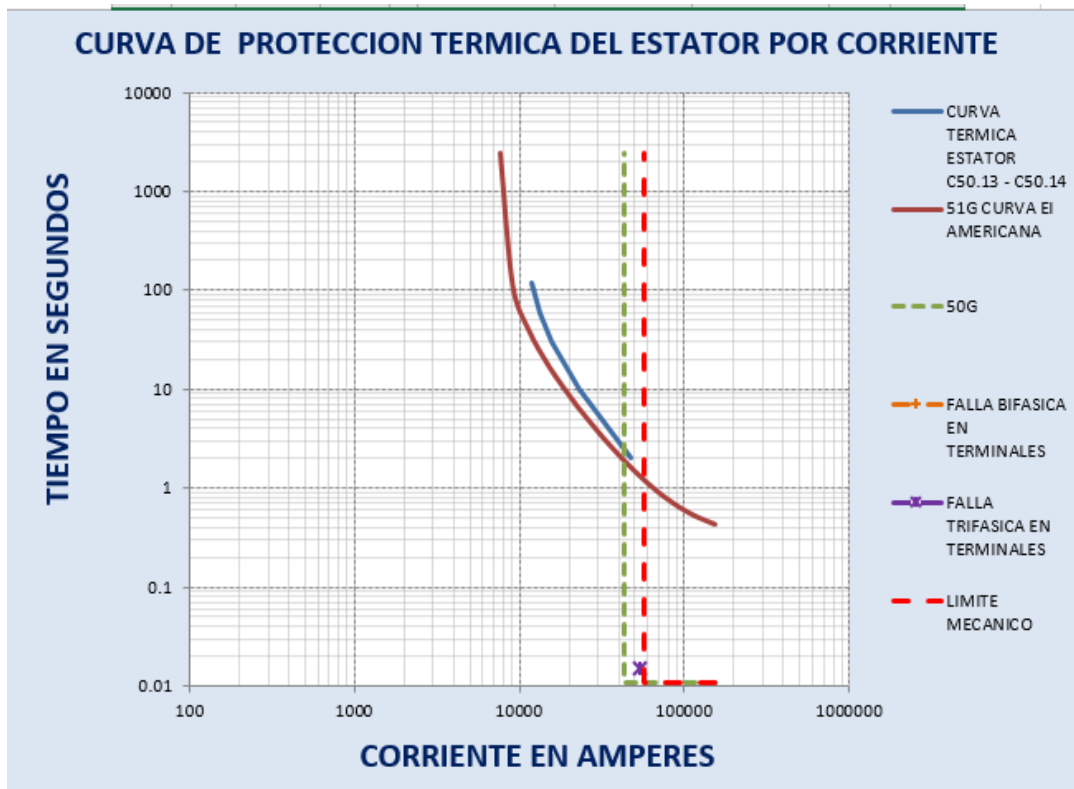


## 5.5 Protección térmica por corriente de estator (51G)

Esta protección se realiza mediante el uso de dos elementos:

- Instantáneo
- Tiempo inverso.

El elemento instantáneo se debe ajustar como control de torque al 110%  $I_{nom}$ . El elemento temporizado se debe ajustar al 75% de  $I_{nom}$  y debe operar en 7 segundos para el 208% de  $I_{nom}$ . Se debe habilitar la emulación del reset electromecánico de la curva. El esquema incluye una alarma con ajustes del 100%  $I_{nom}$  con retardo del tiempo de 1 segundo.



**Figura 3.2.1** límites de falla de la protección (51G)



## 5.6 PROTECCION TERMICA POR CORRIENTE DEL ROTOR (49F)

Este esquema se realiza mediante el uso de dos elementos: uno instantáneo y otro de tiempo inverso con curva extremadamente inversa, proporcionando protección al rotor del generador eléctrico desde el transformador de excitación.

El elemento temporizador se debe ajustar para arranque al 75% de  $I_{nom}$ . Del rotor vista en el lado primario del transformador de excitación, con un elemento instantáneo al 113% para control de torque, debe operar en 7 segundos para una corriente del 208% de la corriente nominal del rotor.

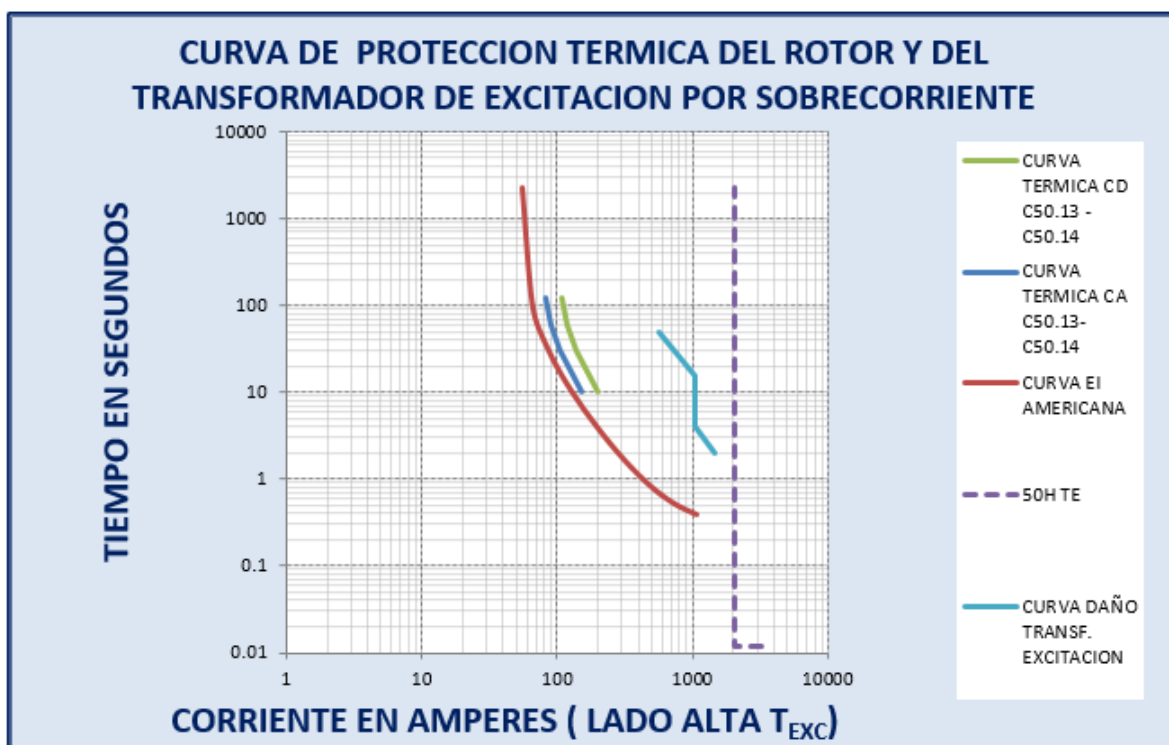
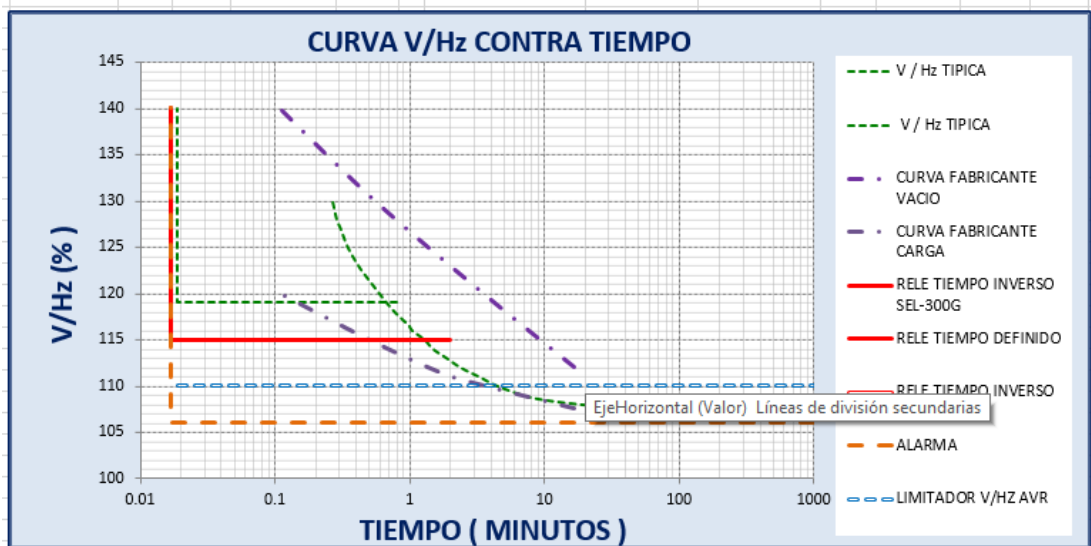


Figura 3.3.1 curva de térmica de la protección 49F

## 5.7 Protección Volts/Hertz sobreexcitación (24g)

Para esta protección se utilizara un primer paso como alarma al 106% con 1 segundo para el disparo que ocupara un elemento de tiempo inverso y uno de tiempo definido, el de tiempo inverso arrancara al 106% y el tiempo definido lo hará al 115% con 1 segundo.



**Figura 3.4.1 curva de la protección 24G**

En la gráfica podemos que está relacionado de acuerdo al voltaje y el tiempo y los límites de las cuales no debe sobrepasar la protección como también se observa en que momento la alarma de la protección.

### Salidas del SEL-300G

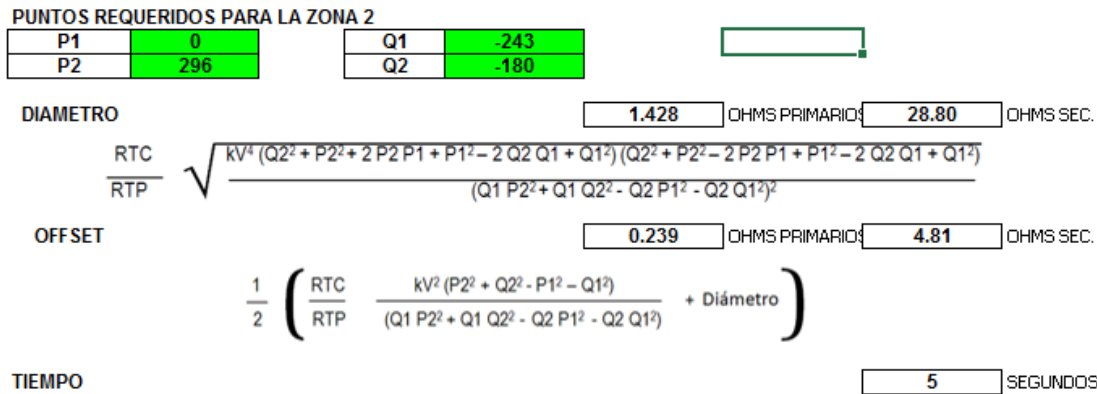
106 %	Alarma (1 segundo)	PLC V=18360V
106%	Disparo (30 segundos)	Alambrado (cobre)
108%	Disparo (30 segundos)	Alambrado
116%	Disparo (0.5 segundos)	Alambrado

### 5.8 Protección de pérdida de campo 40

Esta protección sirve para la detección de pérdida de campo o cuando la excitación es demasiado baja.

Para esta simulación se utilizó dos zonas de protección MHO. La primera con OFFSET NEGATIVO y la segunda con OFFSET POSITIVO.

Para esta simulación se utilizó los diagramas R-X y los diagramas P-Q.



**Figura 3.5.1** formula y valores que se utilizaron de la protección 40G

Como se observa en la figura la protección 40G se utilizaron fórmulas para realizar el ajuste ya que se utilizaron mediante dos zonas (zona 1 y zona 2) como también fue fundamental el tiempo de arranque.

### 5.9 Protección de secuencia negativa 46G

Esta protección se encarga de proteger la unidad contra cargas desbalanceadas y es respaldo de fallas ante fallas del sistema. Para realizar esta simulación de la protección se necesitaron tiempo de arranque, arranque factor K.

PARA DETECTAR CONDICIONES DE PUENTE ABIERTO TENEMOS:

A PLENA CARGA:

UN PUENTE ABIERTO = $\frac{1}{3} (IA + 0 + IC)$	<input type="text" value="6792.29"/>	AMPS	66.666 %	78.8 segs
DOS PUENTES ABIERTOS = $\frac{1}{3} (IA + 0 + 0)$	<input type="text" value="3396.14"/>	AMPS	33.333 %	315.0 segs

A MEDIA CARGA:

UN PUENTE ABIERTO = $\frac{1}{3} (IA + 0 + IC)$	<input type="text" value="3396.14"/>	AMPS	33.333 %	315.0 segs
DOS PUENTES ABIERTOS = $\frac{1}{3} (IA + 0 + 0)$	<input type="text" value="1698.07"/>	AMPS	16.6665 %	1260.0 segs

AL 10% CARGA

UN PUENTE ABIERTO = $\frac{1}{3} (IA + 0 + IC)$	<input type="text" value="679.23"/>	AMPS	6.6666 %	7875.2 segs
DOS PUENTES ABIERTOS = $\frac{1}{3} (IA + 0 + 0)$	<input type="text" value="339.61"/>	AMPS	3.3333 %	31500.6 segs

**Figura 5.6** valores para realizar los ajustes de la protección.

En la hoja de cálculo tuvimos que insertarle valores para hacer los ajustes correctamente y así poder detectar los puentes abiertos.

## 5.10 Protección diferencial del generador (87G)

Con esta protección se deberán habilitar tanto el elemento restringido como el no restringido.

Para el elemento no restringido se debe ajustar a 8 veces la corriente nominal del generador en valores secundarios.

PARA EL ELEMENTO NO RESTRINGIDO SE DEBE AJUSTAR A 8 VECES LA CORRIENTE NOMINAL DEL GENERADOR EN VALORES SECUNDARIOS.

ARRANQUE DEL ELEMENTO NO RESTRINGIDO  AMPS PRIMOS.  AMPS SECUNDARIOS

LOS TC'S QUE ALIMENTAN LA PROTECCION DIFERENCIAL SON IGUALES

LOS TC'S SON DE UN TIPO QUE TENGAN UN ERROR MAXIMO DEL 10% A 20 VECES LA CORRIENTE NOMINAL? POR EJEMPLO: CLASE C-400 O 20H200.

EL ELEMENTO RESTRINGIDO DEBERÁ TENER UN VALOR DE ARRANQUE DE 15%  $I_{nom}$  EN VALORES SECUNDARIOS SI SUS TC'S SON IGUALES Y SON DE CLASE ADECUADA, CON UN MÍNIMO DE 0.3 AMPERES. EN CASO CONTRARIO, DEBE TENER UN VALOR DE ARRANQUE MAYOR SIN EXCEDER EL 25%  $I_{nom}$ .

15%	<input type="text" value="1,528.3"/>	AMPS PRIMOS.	<input type="text" value="0.51"/>	AMPS SECUNDARIOS
25%	<input type="text" value="2,547.1"/>	AMPS PRIMOS.	<input type="text" value="0.85"/>	AMPS SECUNDARIOS

ARRANQUE DEL ELEMENTO RESTRINGIDO  AMPS SECUNDARIOS

PARA LA PENDIENTE 1, SE DEBERÁ USAR UN AJUSTE DE 25%.

PARA LA PENDIENTE 2, SE DEBERÁ USAR UN AJUSTE DE 100%.

EL PUNTO DE QUIEBRE DE LAS PENDIENTES SERÁ DE ENTRE 2 Y 3 VECES LA CORRIENTE NOMINAL DEL GENERADOR.

AJUSTE DE LA PENDIENTE 1	<input type="text" value="15"/>	%
AJUSTE DE LA PENDIENTE 2	<input type="text" value="100"/>	%
PUNTO DE QUIEBRE	<input type="text" value="3"/> VECES	<input type="text" value="10.19"/> AMPS SECUNDARIOS

**Figura 5.7** colocación de valores secundarios para el ajuste de la protección

Para esta protección se necesitó insertar valores secundarios y verificar si los TC's que alimentan las protección son iguales.

## 5.11 PROTECCION DE DISTANCIA (21G)

Esta proteccion se encuentra clasificado en las protecciones de respaldo y para simular el ajuste se necesita insertar algunos valores en la hoja electrónica de Excel y está compuesto por dos zonas la zona 1 y zona 2.

KV2/MVA BASE				0.96	OHMS PRIM
KV2/MVA BASE*RTC/RTP			Z CARGA	19.4	OHMS SEC.
REACTANCIA DEL GENERADOR		0.268	pu reactancia tran	5.207	OHMS SECUNDARIOS
IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR		10.06	% EN BASE PROPIA A CAPACIDAD OA		
		0.08748	pu EN BASE GEN	1.6996	OHMS SECUNDARIOS
<b>ZONA 1</b>					
ALCANCE	100%	XT		5.0987	OHMS SECUNDARIOS
TIEMPO				0.10	SEGUNDOS
OFFSET	50%	XT		-0.8498	OHMS SECUNDARIOS
ANGULO DE PAR MAXIMO MTA				85.00	
COMPENSACIÓN				SI	
<b>ZONA 2</b>					
ALCANCE	150%	XT		7.6481	OHMS SECUNDARIOS
TIEMPO				0.50	SEGUNDOS
OFFSET	50%	XT		-0.8498	OHMS SECUNDARIOS
ANGULO DE PAR MAXIMO MTA				85.00	
COMPENSACIÓN				SI	

**Figura 5.8 valores insertados en la hoja de Excel para el cálculo**

## 6. Resultados

Durante el curso se realizaron las simulaciones de algunas protecciones para el generador 8 de la segunda etapa de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres segunda etapa. Algunas de las simulaciones se realizaron de manera muy rápida y exitosamente y en otras protecciones tuvimos problemas pero al final se realizaron tal como lo esperado. A continuación se presentaran algunas graficas de las protecciones.

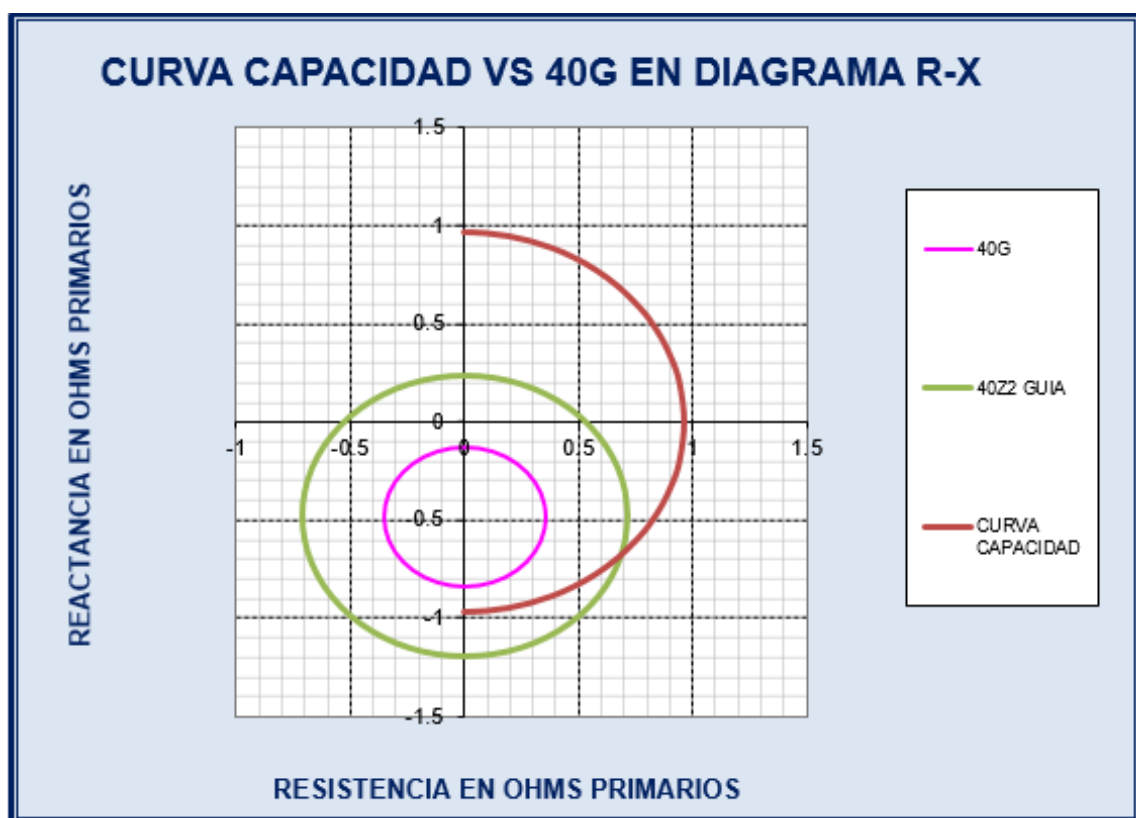


Figura 5.5 protección 40G

En esta protección se puede apreciar los límites por el cual puede operar la protección.

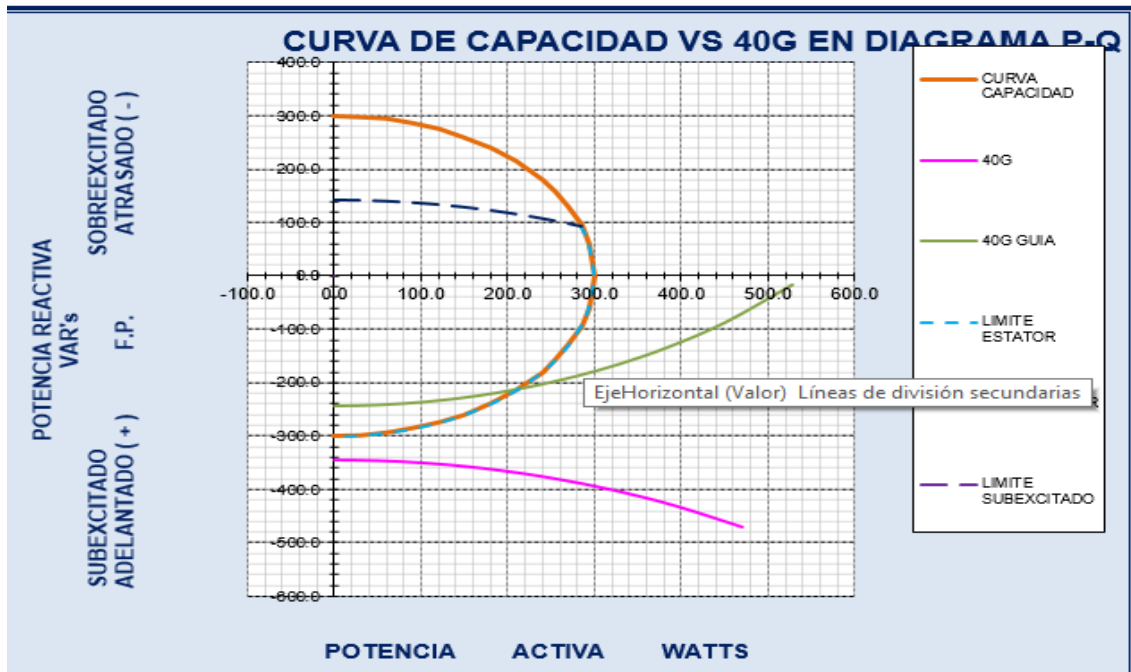


Figura 5.5.1 curva de capacidad de la proteccion 40G

Para la proteccion 40 se realizaron dos curvas de capacidad donde una gráfica estaba en diagrama R-X y el otro se encontraba en diagrama P-Q.

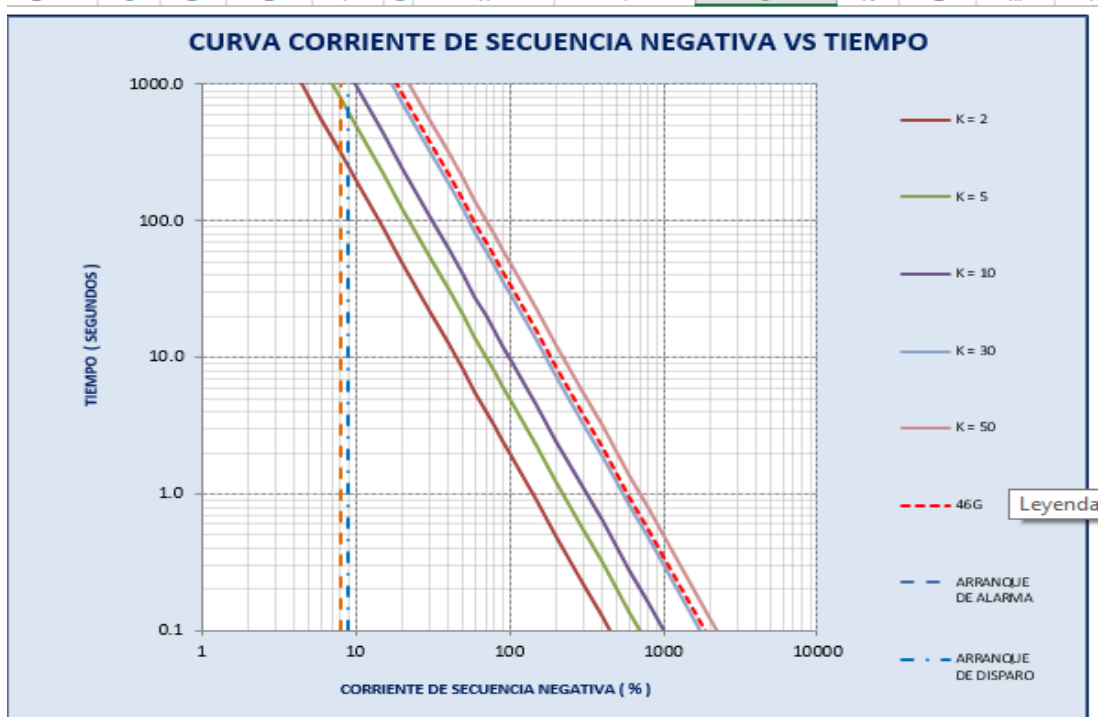


Figura 5.6 ajuste de la proteccion 46

En esta grafica podemos observar el comportamiento de la proteccion 46G y la gráfica se encuentra relacionado el tiempo con la corriente y también podemos observar los límites en la cual puede operar la proteccion.

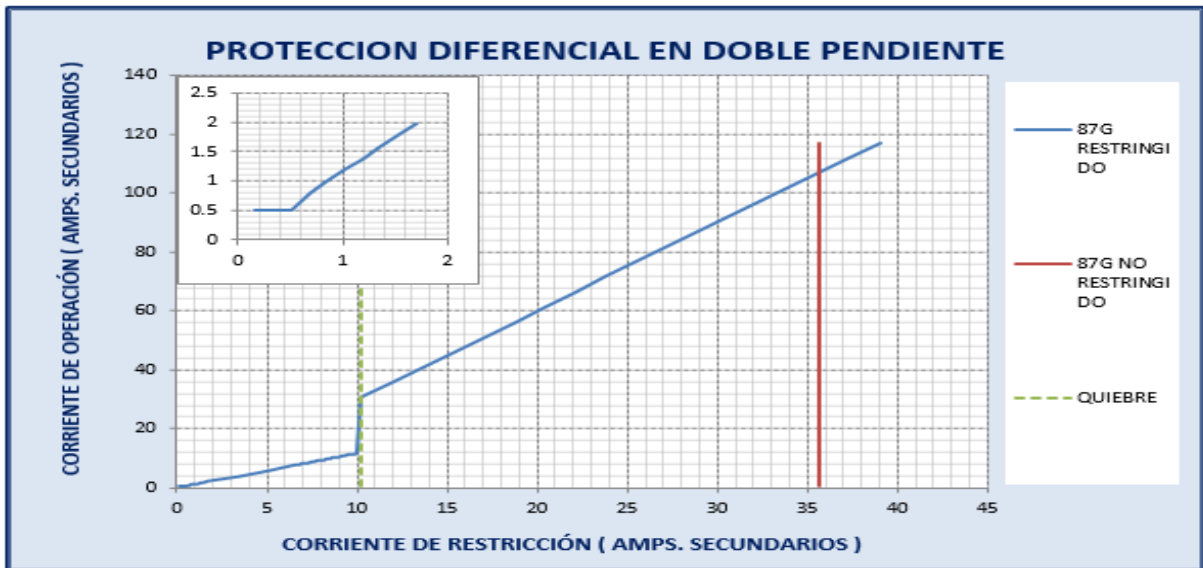


Figura 5.7 grafica de la proteccion 87G

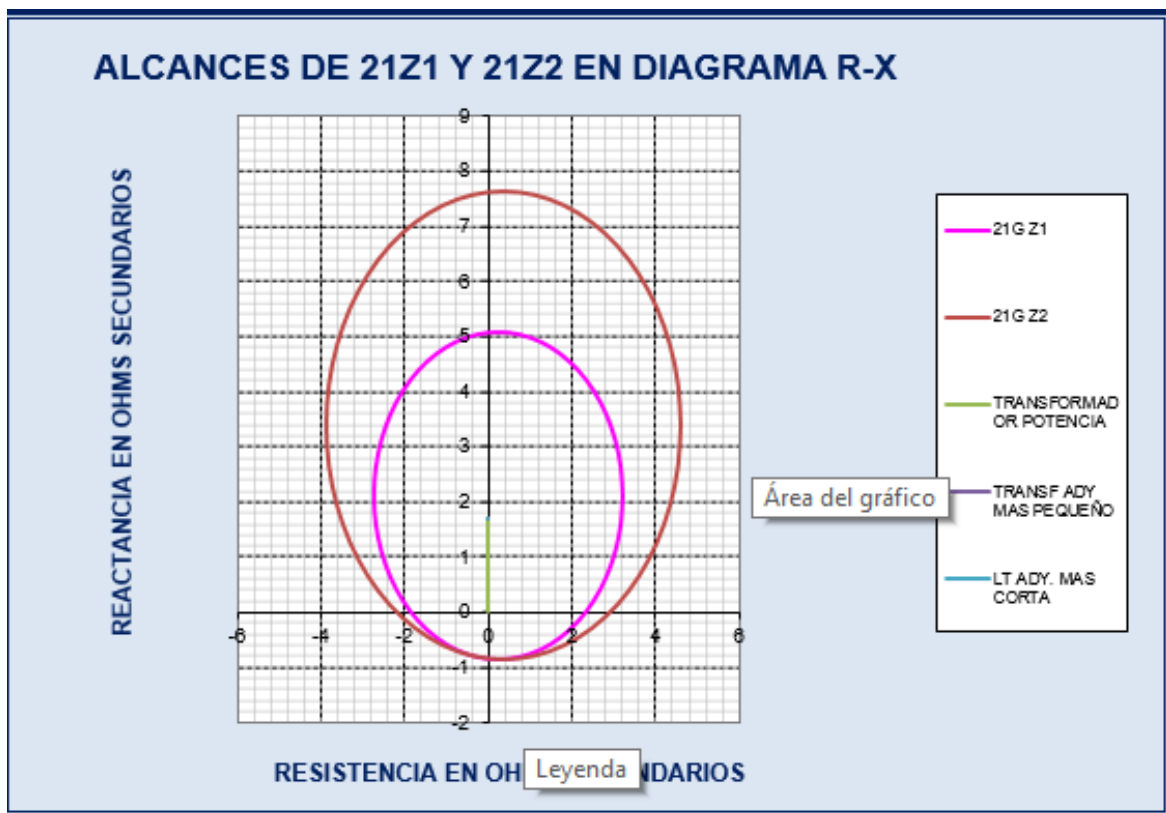


Figura 5.8 de la protección 21G

Esta grafica representa los límites que puede alcanzar la protección antes de que se active la primera alarma. Y la gráfica se realizó gracias a la hoja electrónica de Excel.



## 7. CONCLUSION

La técnica que el ser humano utiliza para generar energía eléctrica a un no ha cambiado en nuestra actualidad, ya que aún seguimos utilizando el agua como un medio para hacer girar una pieza (rotor) que se encuentra dentro de otra pieza llamada estator.

Por lo tanto las piezas sufren de desgastes principalmente por el constante uso que tiene en el transcurso del tiempo, y es por ello que es indispensable utilizar los equipos de protecciones eléctricas para evitar daños catastróficos tanto para el rotor, el estator y todas las demás piezas que lo conectan, como los equipos auxiliares, tales como transformadores, equipos de instrumentación, uno de los trabajo principales que tiene las protecciones es avisar o alarmar las posibles fallas que pueden ocurrir a futuro en muy corto plazo, y es por ello que siempre se necesita estar actualizando los equipos de protecciones así como darle el mantenimiento adecuado para cada protección y muchos de ellos es necesario hacerle los ajustes para obtener mejores rendimiento de las funciones que estos realizan en la central.

## **6 Referencias**

- **GUIA C.F.E-G0100-07**
- **LIBRO VERDE DE PROTECCIONES ELECTRICAS DE C.F.E.**
- **HOJA DE CALCULO EXCEL**