



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

MODERNIZACION DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS  
EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CUPATITZIO

REPORTE DE ACTIVIDAD Y DESEMPEÑO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA  
ROGELIO ABAD ELIAS

ASESOR DE REPORTE PROFESIONAL  
Dr. ANTONIO RAMOS PAZ

MORELIA, MICHOACÁN, MAYO DE 2011

# Agradecimientos

Agradezco a mis padres que con su apoyo moral y esfuerzo económico hicieron posible que cursara la carrera de Ingeniero Electricista, en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UMSNH.

A mi esposa y mi hija que han compartido conmigo los vaivenes en las labores desempeñadas durante mi desarrollo profesional.

A Comisión Federal de Electricidad que me permitió poner en práctica los conocimientos adquiridos en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, logrando dentro del trabajo mantenerme actualizado con las nuevas tecnologías aplicadas en esta gran empresa.

A todos los que con su ayuda me han apoyado para lograr cerrar este ciclo profesional.

¡Muchas gracias!...

## **Dedicatoria**

Esta dedicatoria es para mi hija Nancy Mariel, deseando sea una motivación que le ayude dentro de su desarrollo escolar, que le permita trazarse una meta y mantener la intención de realizar una carrera universitaria donde pueda demostrar sus capacidades.

# Resumen

El desarrollo industrial constante y el crecimiento de la población ha producido un aumento en la demanda de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad ha tenido que enfrentar este crecimiento instalando nuevas subestaciones y centrales eléctricas, tal es el caso de de la Subestación Uruapan Potencia. Esta instalación modificó totalmente la red de Transmisión y Distribución en la Zona Michoacán.

En esta nueva subestación Uruapan Potencia, con una línea de 230 kV y dos bancos de transformación de 100 MVA, fue necesario conectar dos líneas desde la Central Hidroeléctrica (C.H.) Cupatitzio (161 kV) a la subestación Uruapan Potencia (antes a subestación Carapan).

Debido a las modificaciones en la topología de la red eléctrica, las características de las dos líneas de Cupatitzio, se modificaron en su longitud reduciéndose a menos de 10 km, por lo que las protecciones electromecánicas no cubrían los requisitos para la protección de estas líneas, por consiguiente fue necesaria su modernización. Una opción era instalar una protección compatible en el lado de Cupatitzio, otra la sustitución del tablero en cada línea.

Se decidió en el Departamento de protecciones a la sustitución de los tableros completamente alambrados y relevadores de tecnología basada en microprocesadores, esto implico para el Departamento de Protección y Medición de la Zona de Trasmisión Michoacán, la puesta en servicio tanto de la subestación Uruapan Potencia como de los Tableros en la C. H. Cupatitzio.

En el caso de los generadores por razones presupuestales la superintendencia de la C.H. Cupatitzio, decidió para su modernización, adicionar protecciones con tecnología basada en microprocesadores, dejando para el futuro la sustitución completa de los tableros. Dándole el apoyo por parte del Departamento de Protecciones para su puesta en operación.

En este reporte se presenta la descripción del proyecto de modernización realizado en los tableros de protección en la C.H Cupatitzio, La primera etapa realizada en las líneas de transmisión por la entrada en servicio de la subestación Uruapan Potencia, se instalaron nuevos tableros totalmente alambrados y con protecciones digitales. En la segunda etapa se realizaron modificaciones en los tableros de los generadores de la central, y solo se agregaron relevadores digitales de protección redundantes de nueva tecnología con microprocesadores.

# Contenido

Agradecimientos .....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen.....	iv
Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tablas .....	ix
Lista de Símbolos y Abreviaciones .....	x
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Justificación .....	3
1.4 Metodología .....	4
1.5 Descripción de los capítulos .....	4
Capítulo 2. Comisión Federal de Electricidad	
2.1 Descripción de la empresa .....	5
2.2 Misión y Objetivos.....	6
2.2.1 Misión .....	6
2.2.2 Objetivos.....	7
2.3 Organigrama .....	8
2.4 Departamento de Protecciones.....	8
Capítulo 3. Modernización de las Protecciones de línea en la C.H. Cupatitzio	
3.1 Esquema Convencional de Protecciones de Líneas .....	14
3.1.1 Protección de Distancia (Impedancia) de Líneas.....	19
3.1.2 Protección de Sobre corriente Direccional de Líneas.....	19
3.1.3 Protección de Sobre corriente de Líneas.....	21
3.2 Nuevo Esquema de Protecciones para las Líneas .....	22
3.2.1 Protección Diferencial de Líneas .....	23
3.2.2 Protección de Sobre corriente Direccional de Líneas.....	24
3.2.3 Protección de Falla de Interruptor .....	25
Capitulo 4. Modernización de Protecciones de Generador en la C.H Cupatitzio.	

4.1 Protecciones Electromecánicas de Generador .....	28
4.1.1 Protección Diferencial de Grupo Generador Transformador .....	29
4.1.2 Protecciones de Sobre corriente Generador Transformador con restricción de voltaje .....	30
4.1.3 Protección Diferencial de Generador.....	30
4.1.4 Protección contra Sobre voltaje en el Generador.....	31
4.1.5 Protección contra Pérdida de Campo en el Generador .....	32
4.1.6 Protección de Falla a Tierra en el Estator del Generador .....	32
4.1.7 Protección de Falla a Tierra en el Campo del Generador .....	33
4.2 Nuevo Esquema de Protecciones de Generador .....	34
4.2.1 Protección de Grupo Generador Transformador (SEL 387A).....	34
4.2.2 Protección de Generador (SEL 300G) .....	35
4.2.3 Protección de Falla de Interruptor (SEL 352).....	38
Capitulo 5.	
Conclusiones .....	39
Bibliografía .....	40

# Lista de Figuras

Figura 2.1.	
Organigrama de CFE Zona de Transmisión Michoacán.....	8
Figura 3.1.	
Red eléctrica antes de construirse la S.E. Uruapan Potencia. ....	12
Figura 3.2.	
Red eléctrica después de construirse la S.E. Uruapan Potencia.....	13
Figura 3.3.	
Característica de la Protección G.E. GCX C.H. Cupatitzio.....	15
Figura 3.4.	
Diagrama unifilar de protecciones C.H. Cupatitzio.....	17
Figura 3.5.	
Curvas Características de la Protección Direccional C.H. Cupatitzio .....	20
Figura 3.6.	
Tablero de Líneas Cortas CPT.....	22
Figura 3.7.	
Tableros de Línea Convencional CPT .....	22
Figura 3.8.	
Registro de Protección de Línea 7SA5115. ....	26
Figura 4.1.	
Tableros de Protección Electromecánicas de Generador C.H. Cupatitzio.....	28
Figura 4.2.	
Tableros Adicionales de Protección de Generador .....	34
Figura 4.3.	
Protección de Grupo Generador Transformador SEL 387A.....	35
Figura 4.4.	
Protección de Generador SEL 300G.....	36
Figura 4.5.	
Protección de Falla de Interruptor SEL 452.....	38

# Lista de Tablas

Tabla 3.1.

Nomenclatura de protecciones de línea más usadas ..... 18

Tabla 4.1.

Nomenclatura de protecciones de generador más usadas ..... 29

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

CFE	Comisión Federal de Electricidad
SRGHBS	Subgerencia Regional de Generación Hidroeléctrica Balsas Santiago
C.H.	Central Hidroeléctrica
S.E.	Sub Estación
PYM	Departamento de Protección y Medición
MW	Megawatt
kV	kilovolt
A	Ampere
MVA	mega volt ampere
Hz	Hertz
VCD	Voltaje de Corriente Directa
VCA	Voltaje de Corriente Alterna
kW	kilowatt
km	kilometro
G.E.	<i>General Electric</i>
SEL	<i>Schweitzer Engineering Laboratories Inc.</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute.</i>
SGI	Sistema de Gestión Integral.
PM	Programa de Mantenimiento.
UMSNH	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Antecedentes

La demanda de energía en el estado de Michoacán ha crecido como en la mayor parte del país, por esta razón Comisión Federal de Electricidad (CFE) instaló dos nuevas subestaciones eléctricas, una en la ciudad de Zamora llamada Zamora Potencia (ZRP) y otra para la ciudad de Uruapan, llamada Uruapan Potencia (UPP).

En ambas instalaciones el personal del Departamento de Protección y Medición (PYM) fue el responsable de las pruebas y puesta en operación. Son funciones del PYM realizar como actividades; el mantenimiento a los tableros de protección y medición de la Zona de Transmisión Michoacán (ZTM) antes “Subarea de Transmisión y Transformación Michoacán”, atender las fallas con operación de protecciones o en los esquemas de control eléctrico, reparación o sustitución de los equipos dañados u obsoletos (Modernización), realizar mejoras a los esquemas de control. Como especialidad en protecciones y medición se da el apoyo a la Subgerencia Regional de Generación Hidroeléctrica Balsas Santiago (SRGHBS) para el mantenimiento y mejoras de sus tableros.

La Central Hidroeléctrica (C.H.) Cupatitzio (CPT) pertenece para su operación a la SRGHBS, compartiendo con el PYM la responsabilidad de los tableros de protecciones de las líneas de transmisión y de los generadores. Cuenta en sus instalaciones con dos generadores de 35 MVA turbinas Pelton de eje vertical con cuatro chiflones gasto medio de 10 m<sup>3</sup>/seg transformador de grupo Generador-Transformador elevando de 13.2/161kV, y tres líneas en 161 kV dos hacia la subestación (S.E.) UPP y una hacia la C.H. Cobano

Es la S.E. Carapan la fuente principal de energía eléctrica para el estado de Michoacán con dos líneas de 230 kV hacia la Ciudad de Morelia una a la Ciudad de Zamora y una más a la ciudad de Uruapan entre otras.

Antes de la entrada de la S.E. UPP existía un transformador de 100 MVA de 230/161 kV en la S.E. Carapan, que con dos líneas se enlazaba una directamente a la C.H. Cupatitzio y otra a través de la S.E. Uruapan Tres (que alimentaba la ciudad de Uruapan) a la C.H. Cupatitzio. Para completar la red de 161 kV se tenía una línea de enlace con la C.H. Cobano y de ahí saliendo otra para alimentar de energía a la ciudad de Apatzingan.

Con la nueva subestación UPP se recortaron las líneas de 161 kv de Carapan ahora a UPP, construyéndose una línea más, aislada en 230 kV para la Ciudad de Apatzingan. Esto ocasionó que las protecciones existentes de líneas a UPP en Cupatitzio no fueran compatibles en su operación, por lo que era necesario complementarlas. Con gestiones del PYM se consiguieron dos tableros con protecciones y esquemas adecuados para la nueva longitud de las líneas. Un tablero más fue necesario para instalarse en la línea a Cobano.

Uno de los aspectos importantes para la modernización, es contar con los recursos suficientes para una completa modernización, esto no siempre es posible sobre todo en una empresa paraestatal que depende de la asignación de recursos.

La Superintendencia de Cupatitzio por falta de recursos económicos decide comprar en especie dos relevadores de protección para los generadores y en calidad de préstamo con otras centrales, dos adicionales para complementar cada esquema de unidad, teniendo de esta manera equipo suficiente para una modernización.

## **1.2 Objetivos**

Objetivo general:

- Mostrar las actividades profesionales realizadas, para la modernización de las protecciones en la C.H. Cupatitzio, tanto en las líneas de transmisión como en los generadores eléctricos de la central.

Objetivos particulares:

- Hacer una descripción sobre la forma y criterios para realizar los ajustes en las protecciones de las líneas de transmisión en la C.H. Cupatitzio.

- Hacer una descripción sobre la forma y criterios para realizar los ajustes en las protecciones de los generadores en la C.H. Cupatitzio.
- Mostrar el desarrollo profesional de un egresado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica con aplicaciones reales de Análisis de Circuitos Eléctricos, Componentes Simétricas, Cálculos de Corto Circuito y otras Materias aplicadas en los Sistemas de Potencia de la Comisión Federal de Electricidad.

### **1.3 Justificación**

La realización de actividades de Mantenimiento, permite a los equipos funcionar en forma correcta durante su operación, el uso cotidiano de los equipos como en todos los casos ocasiona un desgaste que puede ser mínimo, pero con el paso del tiempo los efectos se multiplican llegando al grado que el funcionamiento no sea el deseado volviéndose obsoletos.

Los esquemas de protección no son la excepción, en el ámbito de la electricidad el desarrollo tecnológico ha sido muy avanzado, las protecciones han pasado por el estado “electromecánico” piezas mecánicas operadas por electricidad, por el “estático” el uso de electrónica discreta (transistores, diodos, etc.) con tarjetas removibles que se pretendía solo su reposición, llegando actualmente a la aplicación de protecciones con el uso de microprocesadores, lo que está permitiendo el desarrollo de tableros Integrales.

Es la modernización, el punto donde se deben realizar mejoras a las protecciones, ya sea por falta de refaccionamiento, costos de mantenimiento altos, operaciones incorrectas, la falta de operación cuando se les requiere, limitaciones en su operación por las nuevas características de la red o los nuevos equipos, las nuevas exigencias de mayor rapidez en su operación o finalmente su periodo de vida caducado volviéndolas obsoletas.

Al no tenerse los recursos para construir una nueva instalación sustituyendo la existente, es la modernización la que nos permite un alcance de mejora con los recursos disponibles logrando mantener una buena calidad en los servicios.

En la Central Hidroeléctrica Cupatitzio, se logro una modernización en las protecciones, suficiente para mantener los equipos primarios eléctricamente protegidos en forma confiable, con los recursos disponibles en el momento y evitando interrupciones significativas en la operación de la central.

## **1.4 Metodología**

Este reporte de actividades y desempeño profesional, fue realizado como una breve descripción de las actividades que se deben ejecutar bajo el concepto de Modernización de Protecciones Eléctricas, donde la finalidad es mejorar y actualizar los equipos.

Entre otras la Modernización, es una actividad que he venido realizando durante los últimos 15 años en el Departamento de protecciones de la ZTM. La decisión de instalar nuevos Tableros para las líneas de la C.H. Cupatitzio, me implico la responsabilidad de ponerlos en servicio. En el caso de las protecciones de los generadores fue a solicitud de la C.H. Cupatitzio, que se instalaron proporcionando los recursos y compartiendo mi responsabilidad en la puesta en operación.

## **1.5 Descripción de los Capítulos**

En el Capítulo 2 de este reporte se describe la organización de la CFE.

El Capítulo 3 se menciona las actividades relevantes realizadas durante la Modernización de las Protecciones de Líneas en la C.H. Cupatitzio, se comenta la función que realiza cada protección en el esquema y se describen las nuevas protecciones.

En el Capítulo 4 se describen las actividades realizadas para la Modernización de las protecciones de los Generadores, la función que realizan las protecciones electromecánicas instaladas por diseño y se señalan las funciones que realizan las nuevas protecciones.

El Capítulo 5 muestra las Conclusiones obtenidas en la realización de este trabajo de experiencia laboral.

## Capítulo 2

# Comisión Federal de Electricidad

### 2.1 Descripción de la Empresa

La Comisión Federal de Electricidad es una empresa del gobierno mexicano que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 34.0 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos. [¿Qué es CFE? 2011].

La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 178 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 51,571 Mega watts (MW).

El 23.09% de la capacidad instalada corresponde a 22 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE).

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario. Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoelectrica.

Para conducir la electricidad desde las centrales de generación hasta el domicilio de cada uno de sus clientes, la CFE tiene cerca de 744 mil kilómetros de líneas de transmisión y de distribución.

El suministro de energía eléctrica llega a cerca de 137 mil localidades (133,390 rurales y 3,356 urbanas) y el 96.85% de la población utiliza la electricidad.

En los últimos diez años se han instalado 42 mil módulos solares en pequeñas comunidades muy alejadas de los grandes centros de población. Esta será la tecnología de mayor aplicación en el futuro para aquellas comunidades que aún no cuentan con electricidad.

En cuanto al volumen de ventas totales, 99% lo constituyen las ventas directas al público y el 1.0% restante se exporta.

Si bien el sector doméstico agrupa 88.29% de los clientes, sus ventas representan 25.32% del total de ventas al público. Una situación inversa ocurre en el sector industrial, donde menos de 1% de los clientes representa más de la mitad de las ventas.

La CFE es también la entidad del gobierno federal encargada de la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, la cual es plasmada en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), que describe la evolución del mercado eléctrico, así como la expansión de la capacidad de generación y transmisión para satisfacer la demanda en los próximos diez años, y se actualiza anualmente.

El compromiso de la empresa es ofrecer servicios de excelencia, garantizando altos índices de calidad en todos sus procesos, al nivel de las mejores empresas eléctricas del mundo.

CFE es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

## **2.2 Misión y Objetivos**

### **2.2.1 Misión**

Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente.

Visión: Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

### **2.2.2 Objetivos**

- Generar y obtener mayor volumen de energía eléctrica, mediante el mantenimiento adecuado de sus plantas generadoras y el mejor aprovechamiento de los combustibles.
- Operar los sistemas de transmisión, transformación y control asegurando la entrega del fluido eléctrico.
- Operar y mantener los sistemas de distribución, ampliando la calidad en el servicio público de la energía eléctrica.
- Ampliar la infraestructura de generación, transformación y transmisión de energía eléctrica.

### **2.3 Organigrama**

En la Figura 2.1 se presenta el organigrama de la Comisión federal de Electricidad donde se muestra que la ZTM depende de la Dirección General, Dirección de Operación, Subdirección de Transmisión y de la Gerencia Regional de Transmisión Occidente. [Conoce CFE 2011].



**Figura 2.1** Organigrama de CFE Zona de Transmisión Michoacán (Antes Subarea).

## 2.4 Departamento de Protecciones

La Gerencia Regional de Transmisión y la Zona de Transmisión Michoacán dependientes de la Dirección de Operación tienen como Misión y Objetivos los siguientes:

Misión: Asegurar la disponibilidad de la Red Eléctrica de Potencia y proporcionar servicios de telecomunicaciones mediante una eficiente planeación y ejecución del mantenimiento y modernización, satisfaciendo las expectativas de nuestros clientes, respetando el medio ambiente y fomentando una mejor calidad de vida a nuestros trabajadores.

Objetivos:

1. Satisfacer los requisitos y expectativas de los clientes.
2. Operar sobre las bases de indicadores en materia de productividad y competitividad.
3. Promover la alta calificación y el desarrollo profesional de los trabajadores.

4. Garantizar la seguridad, salud y bienestar del personal.
5. Optimizar la administración de los recursos materiales y financieros.
6. Implementar acciones que contribuyan al desarrollo sustentable.
7. Mejorar continuamente la eficacia del Sistema de Gestión Integral.

La Gerencia Regional de Transmisión Occidente se compone de siete Zonas de Transmisión, Jalisco, Colima, Nayarit, Bajío, San Luis, Lázaro Cárdenas y Michoacán.

La ZTM es la encargada de dar el mantenimiento de la red de Transmisión en gran parte del estado de Michoacán, para hacerlo está formada por departamentos, que son de: Líneas, Subestaciones, Comunicaciones y Fibra Óptica, Control y el departamento de Protección y Medición. Adicionalmente se tiene el área Administrativa e Informática, así como el apoyo de Ingeniería Civil.

Personal de estos departamentos, se encuentran instalados en las ciudades de Morelia, Zamora y Apatzingan llamados Sectores, para realizar la atención inmediata a las instalaciones en caso de fallas o emergencias.

El PYM para atender las instalaciones solo cuenta con personal en tres Sectores, Morelia, Zamora y Uruapan, de Uruapan se da el servicio a la S.E. Apatzingan, C.H. Cobano, C.H. Cupatitzio, C.H. Zumpimito y S.E. Uruapan Potencia, en caso de ser necesario se brinda el apoyo a los otros Sectores.

El departamento de Protección y Medición como su nombre lo indica es el encargado de dar el mantenimiento a las protecciones eléctricas y a los medidores de energía, esto incluye todos los accesorios necesarios para su operación, en pocas palabras los tableros de protecciones.

El mantenimiento rutinario que se realiza, consiste en la verificación correcta de las protecciones y dispositivos, realizando pruebas de operación conforme a procedimientos establecidos y manuales de los relevadores y equipos.

Se tiene un programa sistematizado llamado “PM” Programa de Mantenimiento, donde están registrados todos los dispositivos y relevadores instalados, este programa genera en la fecha correspondiente la orden de mantenimiento que se debe realizar a los equipos, anualmente se revisa la programación y se hacen los ajustes necesarios al programa.

Otra de las actividades, es la actualización de la base de datos para el simulador de fallas y los cálculos de corto circuito en la red de transmisión de la ZTM, estos cálculos se utilizan para realizar la coordinación de protecciones y es necesario tener contacto con las otras Zonas de Transmisión y con personal de las Divisiones de Distribución para conciliar los datos y ajustes que serán aplicados.

La atención de fallas es otra función del PYM, consiste en obtener en una falla la información de las protecciones, registros electrónicos de las mismas o registros en los equipos “registradores de fallas”. Los relevadores de protección proporcionan información inmediata ya sea por medios de banderas (relevadores electromecánicos), *leds* indicadores, o una pequeña pantalla que puede mostrar con nemónicos las funciones que se operaron durante la falla, con esta información se puede definir el tipo de falla y el lugar donde se presentó y tomar acciones.

En caso de falla en una línea se envía personal al punto de localización de la falla que indicó el relevador, en el caso de los transformadores de potencia, el personal de Departamento de Subestaciones realiza la revisión y pruebas para definir su reinstalación o sustitución, dando PYM el apoyo necesario en el cambio de cableado y pruebas de control.

En caso dado que alguna protección opere en forma incorrecta debemos definir el ¿Por qué? Si fue por errores de ajustes (mala coordinación de protecciones), falla o daño del relevador, dispositivos o cableado dañado etc. Invariablemente se realiza un reporte en un formato preestablecido, indicando las condiciones en las que se presentó la falla, antecedentes, la secuencia de eventos, análisis de la falla, medidas preventivas, medidas correctivas y conclusiones.

Otra importante actividad que se realiza en PYM, es lo que llamamos Modernización. Cuando en una instalación alguno de los equipos que se prueban durante el Mantenimiento no responde de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Sistema de Gestión Integral (SGI), o no cumplen con los parámetros que requieren las instalaciones, ya sea por deterioro natural o por modificaciones en la Red Eléctrica, se necesita poner una solución a corto plazo, para evitar se presente una falla con la pérdida en el servicio a los usuarios.

La Modernización que se realiza, puede ser desde sustituir el equipo existente, relevador, registrador de fallas, cuadro de alarmas, relevador auxiliar, sustitución de cableado, modificaciones a los esquemas de control, hasta la sustitución parcial del tablero de protecciones, sustitución total del tablero de protecciones o en caso dado ampliaciones de tableros con nuevas bahías de líneas o transformadores.

Una actividad más, consiste en mantener actualizado el SGI, inicia con la generación de las órdenes de trabajo para el personal, por medio del Programa de Mantenimiento (PM), debemos dar seguimiento a las órdenes para el cumplimiento del 100% al mantenimiento anual programado, notificar y cerrar en el sistema las ordenes de trabajo, Cuando se genera una orden de trabajo, normalmente es necesario crear un reporte o registro, en los formatos establecidos por el SGI, se revisan estos registros que cumplan con los requisitos de la prueba y se mantiene archivados para cualquier revisión o auditoria.

El Balance de Energía es una actividad mensual, se realiza obteniendo la información de los medidores de todas instalaciones, el principio se basa en que la energía que entra a un *Bus* debe ser la misma que sale, los datos del medidor son registrados en una hoja de *Excel*, balanceando los buses por nivel de Tensión, la diferencia debería ser cero, pero se presentan las perdidas, estas pérdidas no deben rebasar un índice establecido con anterioridad, en caso de perdidas mayores se investigan las causas, puede ser aumento en la demanda de energía, puntos calientes en los conductores errores en los transformadores de instrumentos etc. Y se deben corregir siempre tendiendo a la mejora continua.

## Capítulo 3

# Modernización de Protecciones de Líneas de Transmisión C.H. Cupatitzio

La C.H. Cupatitzio es un punto muy importante en la red eléctrica de Michoacán, con la construcción de la S.E. Uruapan Potencia dos de las líneas de 161 kV fueron modificadas en su trayectoria para enlazar esta instalación. La Figura 3.1 nos muestra el diagrama unifilar con los enlaces de la C.H. Cupatitzio antes de la construcción de la S.E. Uruapan Potencia.

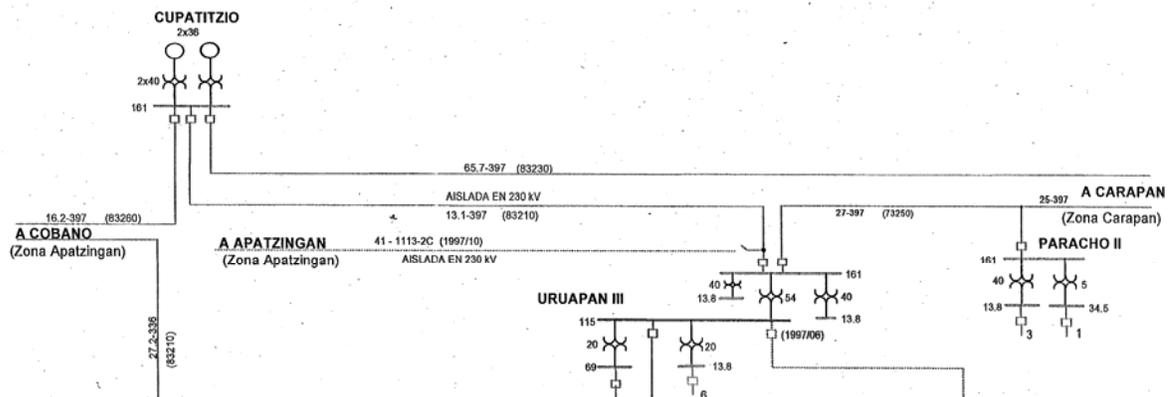
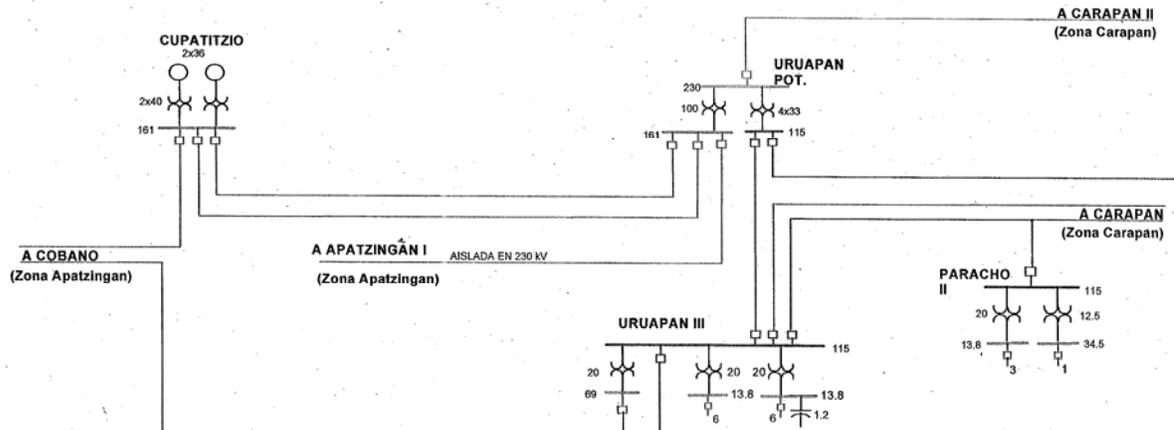


Figura 3.1 Red eléctrica antes de construirse la S.E. Uruapan Potencia.

Al reducirse la distancia en estas líneas, el esquema convencional consistente en relevadores electromecánicos de Distancia, no era capaz de protegerlas. Por ser dos líneas paralelas en la misma estructura los esquemas de protección requerían de nuevas protecciones con características de línea corta.

En la Figura 3.2 se muestra las modificaciones en la Red Eléctrica con la construcción de la S.E. Uruapan Potencia.



**Figura 3.2** Red eléctrica después de construirse la S.E. Uruapan Potencia.

Al instalar la S.E. Uruapan Potencia y como parte del proyecto el área de Construcción, debe entregar una protección complementaria para el extremo remoto. Realizando diversas reuniones el PYM logro conseguir la entrega de dos tableros de protecciones uno con doble sección para líneas cortas y el otro con el esquema convencional de relevador de distancia, ambos tableros con nuevos relevadores y tecnología digital.

Para la modernización se hizo necesario el desmantelamiento y retiro de dos secciones de tablero para dejar los espacio a los nuevos tableros, se realizó el montaje de los nuevos tableros iniciándose los trabajos para la puesta en operación, desde el tendido de cables de control, conexiones de cables, modificaciones y adaptación de esquemas adecuando los nivel de tensión de los controles, por ser los antiguos en 250 volts de corriente directa (VCD) y los nuevos en 125 VCD, cálculos de ajustes, programación y pruebas de operación de las nuevas protecciones.

Los esquemas en los tableros para las líneas cortas de la C.H. Cupatitzio, consiste de una protección diferencial de línea con canal comunicación dedicado de fibra óptica, por este canal se recibe y envía al extremo remoto la información de los vectores de corriente, comparándolos con los vectores medidos en forma local, contiene además funciones de

sobre corriente como respaldo en el propio relevador, las cuales se deben coordinar en el tiempo de operación con el resto de la red eléctrica.

Como protección de respaldo propia del tablero de protección se tiene un relevador Direccional de sobre corriente, este relevador se coordina para operar como respaldo protegiendo la línea y cubriendo la siguiente línea más larga, cuidando evitar una operación por sobre alcance.

Adicionalmente contiene un relevador para verificación de sincronismo de la línea, permitiendo el cierre en forma local o remota por medio de un Control Supervisorio.

La otra sección de tablero, contiene un esquema convencional para línea formado por un relevador de Protección de Distancia marca Siemens modelo 7SA5115, con elementos para proteger la línea de fallas entre fases y de fase a tierra en el mismo relevador. Como Protección de Respaldo un relevador de Sobre corriente Direccional de la misma marca modelo 7SJ525, el cual contiene una gran variedad de curvas de respuesta las cuales permiten flexibilidad en la coordinación, adicionalmente incluye una función importante que es la Protección de Falla de Interruptor. [Gerhard 1999]

### **3.1 Esquema convencional de Protección de Líneas**

El elemento más susceptible a las fallas en una red eléctrica, es la línea de transmisión la cual se encuentra expuesta a los condiciones climatológicas y ambientales en su trayectoria, de acuerdo a las estadísticas se considera que el 95% de las fallas en las líneas ocurren de una fase a tierra, ya sea por descargas atmosféricas o problemas de aislamiento, que puede ser por contaminación, hilos de guarda rotos sobre la línea etc. [Werner *et al.*1981]

El esquema convencional de protecciones electromecánicas para las líneas de la C.H. Cupatitzio, estaba compuesto por un grupo de relevadores G.E. modelo GCX con características de Reactancia (una variedad de los relevadores de Impedancia). Una pieza para proteger las fases A-B, otra para las fases B-C, y una más para las fases C-A, este esquema solo servía para protección de las fallas entre fases, como el porcentaje de fallas a

tierra es mayor que el de las fallas entre fases, se emplearon tres relevadores mas, marca G.E. modelo GCXG, los cuales se usaron para proteger de las fallas de fase a tierra. En la Figura 3.3 se muestra la característica de operación de un relevador electromecánico GCX.

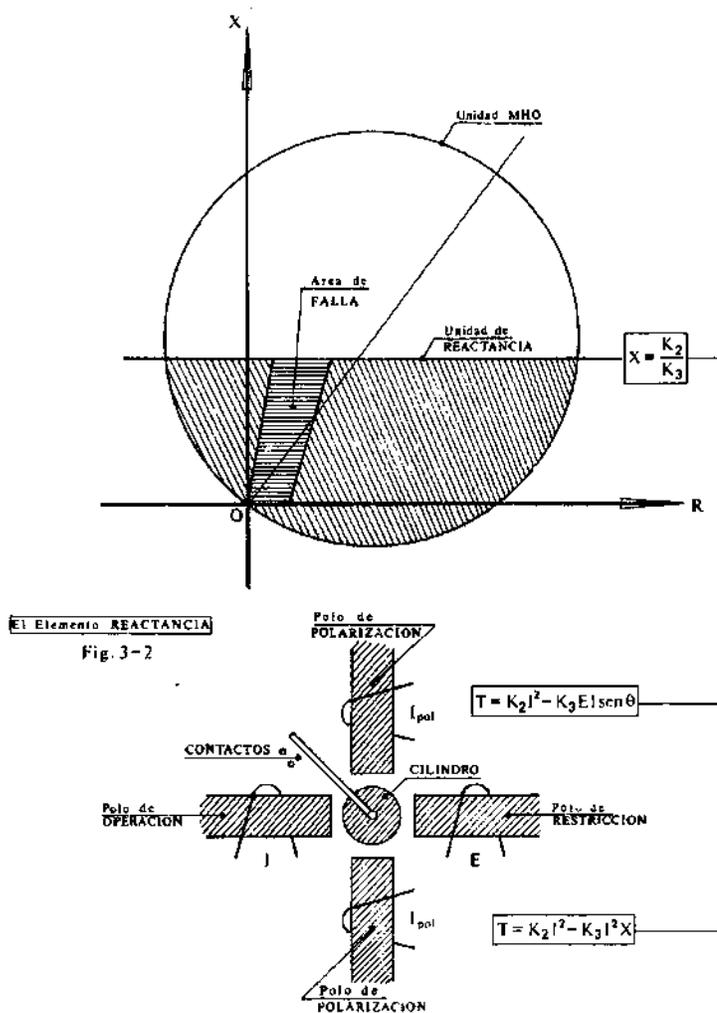


Figura 3.3 Característica de la Protección G.E. GCX C.H. Cupatitzio.

Es importante mencionar que es un problema los numerosos disparos de línea, este problema consiste en los incendios debajo de las líneas, debido a las quemas de caña, quema de monte o al quemarse el campo cultivado, la flama y gases se acercan al conductor ocasionando una descarga a tierra.

Los requerimientos básicos de una protección de línea son los siguientes; Deben ser *selectivos* lo que implica que solo libreran el tramo de línea fallado, Deben tener *rapidez* de operación y deben tener *flexibilidad* en su operación para que puedan seguir operando debidamente con los cambios de configuración en la red eléctrica.

Para poder interpretar las señales eléctricas y su comportamiento dentro de las protecciones, es necesario utilizar diagramas esquemáticos, para entender su funcionamiento. Los diagramas utilizados pueden ser: unifilar, trifilar, esquemático de control, esquemático de protecciones, de alarmas, de alambrado, etc. El diagrama unifilar de Protecciones se utiliza para conocer la disposición eléctrica del equipo primario y las conexiones básicas con las protecciones, la Figura 3.4 nos muestra el diagrama unifilar de Protecciones de la C.H. Cupatitzio.



Dentro del diagrama trifilar se plasma toda la información sobre las conexiones primarias y secundarias que se tienen de las tres fases con los cableados dentro y fuera de los tableros de protección, en él se debe plasmar todo el equipo que recibe señales de voltajes y corrientes.

Como ya se menciono, en protecciones se requiere el uso de diagramas esquemáticos, los cuales deben cumplir con determinadas características, y para ello se crearon simbologías, fue necesario crear para su identificación nomenclaturas de acuerdo a normas establecidas.

Una de las usadas es la norma ANSI C37-2, la cual usa un sistema de numeración para las distintas funciones de los relevadores y en donde algunas de ellas son identificadas por letras cuando es necesario resaltarlas.

En la Tabla 3.1 se relacionan algunas de las nomenclaturas comúnmente usada en las protecciones de línea.

**Tabla 3.1** Nomenclatura de protecciones de línea más usadas.

<b>ANSI</b>	<b>FUNCION</b>
21	Protección de Distancia (Impedancia).
50	Protección de Sobre corriente Instantáneo.
51	Protección de Sobre corriente de Tiempo.
67	Protección de Sobre corriente Direccional.
85	Protección de Onda Portadora o Hilo Piloto.
87	Protección Diferencial de Línea

### **3.1.1 Protección de Distancia (Impedancia) de Línea (21L).**

Las protecciones de distancia se utilizan como regla general en líneas de transmisión de 110 kV y voltajes superiores, realizando la función de protección contra corto circuitos entre fases y en ocasiones, también la de protección contra corto circuitos a tierra.

Una protección de distancia es aquella que tiene direccionalidad y que se logra con relevadores de distancia los cuales tienen como unidades de medición dos señales de entrada que corresponden al cociente del voltaje y la corriente aplicados a ellos.

Puede demostrarse que en general es posible que la impedancia sea proporcional a la longitud de la sección de línea comprendida desde el punto de ubicación del relevador hasta el punto del cortocircuito, o sea proporcional a la distancia eléctrica hasta la falla; de ello se deriva el nombre de este tipo de relevador. Al ocurrir el corto circuito la corriente aumenta y el voltaje disminuye por lo que la impedancia tiende a disminuir, por eso los relevadores de distancia son por lo general unidades de mínima impedancia.

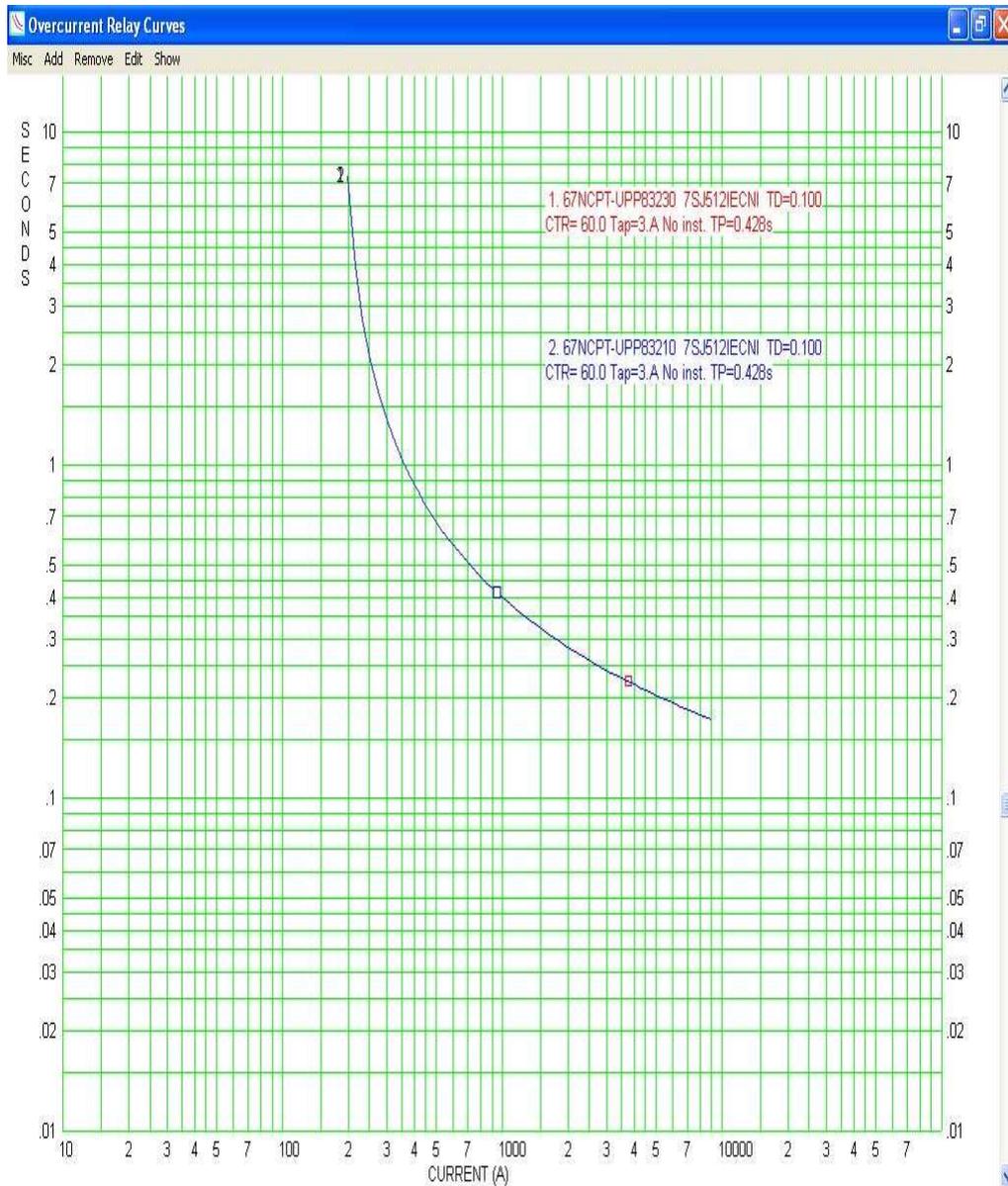
### **3.1.2 Protección de Sobre Corriente Direccional de Línea (67L).**

Se denomina protección direccional de sobre corriente a aquella que responde al valor de la corriente y a la dirección de la potencia de corto circuito en el punto de su ubicación.

La protección opera si la corriente sobrepasa el valor de arranque y la dirección de la potencia coincide con la correspondiente a un corto circuito en la zona protegida.

Está compuesta de una protección con selectividad relativa, complementada con una unidad de medición que determina la dirección de la potencia de corto circuito, que es el elemento denominado relevador direccional.

La Figura 3.3 nos muestra la forma en que presenta en el simulador de fallas, las curvas de coordinación de la Protección Direccional de sobre corriente.



**Figura 3.5** Curvas Características de la Protección Direccional C.H. Cupatitzio.

La protección direccional de sobre corriente es aplicable en redes con alimentación bilateral, tanto para corto circuitos entre fases como a tierra. La necesidad de la direccionalidad puede demostrarse a partir de una red con una alimentación bilateral, para lograr la selectividad por tiempo entre las unidades de sobre corrientes de esta red, lo cual es necesario tanto en la protección con curvas de tiempo inverso como en los escalones en la de tiempo constante.

### **3.1.3 Protección de Sobre Corriente de Línea (51L).**

Las líneas de transmisión pueden tener protecciones de sobre corriente, direccionales de sobre corriente, de distancia o tipo piloto. De todas estas variantes la protección de sobre corriente es la más sencilla y económica, la más difícil de aplicar, y la que con mayor frecuencia requiere reajustes al cambiar la configuración del sistema. [Altuve 2000]

La protección de sobre corriente se utiliza en los circuitos radiales de distribución de industrias y de los sistemas eléctricos de potencia. También se utiliza en redes de 110 y hasta 220 kv, realizando en ocasiones funciones de protección primaria contra fallas a tierra o de respaldo. En los generadores y transformadores se utilizan en algunos casos protecciones de sobre corriente como respaldo contra fallas externas, sobre todo cuando las protecciones primarias de las líneas de salida son de este tipo.

Se denominan protecciones de sobre corriente a aquellas que responden a la corriente del circuito protegido y que operan cuando esa corriente es mayor que cierto valor preestablecido. Esta protección dispone por lo general de que cada protección es primaria para la línea propia y respaldo para las líneas adyacentes.

La selectividad de las protecciones de sobre corriente puede lograrse por dos métodos posibles: por tiempo o por corriente. En el primer método las protecciones primaria y de respaldo son sensibles al corto circuito, pero tienen tiempos de operación diferentes, los tiempos de operación de las protecciones de respaldo de cada línea son mayores que los de su protección primaria. En el segundo método el alcance de la protección se determina sobre la base de corriente este método se fundamenta en el hecho de que en sistemas radiales el valor de la corriente de corto circuito disminuyen a medida que la falla se aleja de la fuente de generación.

Existen variantes para conectar los transformadores de corriente y los relevadores de sobre corriente, la más utilizada es la conexión en estrella y se disponen tres relevadores de sobre corriente en las fases y uno en el neutro de la estrella. Por cada relevador de fase circula la corriente de la fase correspondiente de la línea referida al secundario, por el

relevador de neutro circula una corriente correspondiente al triple de la corriente de secuencia cero de la línea referida al secundario.

De lo anterior expuesto se deduce que los relevadores de fase constituyen a la protección contra todos los cortocircuitos que no involucran tierra, es decir los trifásicos y bifásicos. El relevador de neutro es la protección contra fallas a tierra en la línea.

### 3.2 Nuevo Esquema de protecciones para las líneas.

Un requerimiento fundamental que deben cumplir las protecciones de las líneas de enlace en un sistema eléctrico de potencia es lograr el disparo simultáneo con alta velocidad de los interruptores de todos los terminales de la línea para todos los cortos circuitos internos.

Al garantizarse el disparo simultaneo con alta velocidad de todos los interruptores de la línea, se obtienen las siguientes ventajas: mejoramiento de la estabilidad transitoria del sistema eléctrico de potencia, la posibilidad de aplicar re cierre automático de alta velocidad, que, si es exitoso, mejora estabilidad transitoria, reduce los tiempos de interrupción, mejora las condiciones de voltaje en parte de la carga y la reducción de la posibilidad de daño de conductores y equipos debido a la corriente de falla. La figura 3.6 y 3.7 nos muestran los nuevos tableros para las líneas de Transmisión.



**Figura 3.6** Tablero de Líneas Cortas CPT.



**Figura 3.7** Tableros de Línea Convencional CPT.

Para lograr la modernización de estos tableros, fue necesario realizar el cableado de estos, tendiendo cables de control desde los equipos existentes, como interruptor, transformadores de corriente y potenciales, alimentaciones de corriente directa para los controles, etc.

Se realizó la revisión de todo el alambrado interno del tablero, confirmando que corresponde a los diagramas de construcción, en caso de errores se realizaron las correcciones y modificaciones necesarias para su buena operación.

Se energizaron los tableros realizando las pruebas de control para confirmar la operación de los controles y relevadores auxiliares conforme los requerimientos de la instalación.

Otra actividad importante fue realizar los cálculos para los ajustes de protecciones para lo cual se utilizó un simulador de la red de transmisión para calcular las corrientes de falla en los diferentes puntos y diferentes tipos de falla.

Finalmente se realizó el desmantelamiento de las secciones de los relevadores electromecánicos fuera de servicio, es importante resaltar que estos trabajos se realizaron con la C.H. Cupatitzio en operación interrumpiendo al mínimo los servicios de Generación y Transmisión de energía.

### **3.2.1 Protección Diferencial de Línea (87L).**

La protección diferencial de línea se aplica para líneas cortas generalmente, donde no es factible el uso de protecciones de Impedancia o sobre corrientes, ya que la magnitud de la impedancia de línea es pequeña (no es fácil de medir) y los valores de sobre corriente de falla son muy cercanos en ambos extremos perdiéndose la coordinación en los tiempos de operación de las protecciones.

Las dos líneas de la subestación Cupatitzio a Uruapan Potencia, se recortaron en su distancia a menos de 10 km, quedando como líneas cortas, por lo que fue necesario la sustitución de sus protecciones.

Se utilizo en el tablero una protección marca Siemens, modelo 7SD5115 similar en ambos lados de la línea, es un relevador Diferencial de Línea, que tiene como medio de comunicación un canal de fibra óptica dedicado, por el cual se envían los datos de la corriente en la línea en forma vectorial al otro extremo.

La forma de operar es, diferenciando la corriente que entra en la línea debe ser igual en un extremo que en el otro, de existir diferencia mayor a un valor ajustado, se tendría una operación. Para verificar esta diferencia el relevador al recibirse estos datos de los vectores por fase del extremo remoto, compara la magnitud y dirección de la corriente verificando que corresponda con los datos locales que se están midiendo, un ajuste adicional con un margen de tres milisegundos permite corregir los retardos propios de la transmisión de datos de un extremo al otro.

### **3.2.2 Protección de Sobre corriente Direccional de Línea (67L).**

Las líneas de transmisión requieren una protección que llamamos de respaldo, su función es operar en forma secundaria cuando la protección que llamamos primaria no opera por estar dañado el relevador, mal ajuste o defectos en el esquema.

Por lo general como respaldo se utilizan los relevadores de Protección Direccional de sobre corriente, los relevadores direcciones pueden diferenciar cuando la corriente de falla es en la dirección en la que deben operar y no hacia atrás cuando no deben operar, es decir el relevador tiene una unidad de medición que indica la dirección de la sobre corriente lo que permite decidir su funcionamiento correcto.

La coordinación de la operación de estos relevadores se realiza por magnitud y tiempo, los relevadores utilizados para los tableros en la C.H. Cupatitzio son marca *SIEMENS* modelo 7SJ5125, para su operación responden a curvas de operación las cuales

se deben seleccionar con un ajuste y tipo de curva, por ser relevadores digitales, los ajustes permitidos son de cuatro características de curvas diferentes, características Inversa, Muy inversa, Extremadamente inversa y Tiempo inverso largo, esto permite realizar una mejor selección y coordinar con otros relevadores de sobre corriente con característica diferentes.

### **3.2.3 Protección de Falla de Interruptor (50FI).**

Una protección muy importante dentro de los esquemas de líneas es la Protección de Falla de Interruptor, es necesario que al presentarse una falla, esta sea liberada rápidamente separando los equipos involucrados al punto de falla, en el caso en el que se tiene una falla en la línea de transmisión y el interruptor al que se le da la orden de abrir no lo hiciera, se tiene como protección de respaldo local la Protección de Falla de interruptor.

Esta protección, es una protección sobre corriente de respaldo local, que identifica cuando un interruptor no ha operado después de recibir una orden de apertura, al hacerlo envía una orden de abrir al resto de los interruptores que se encuentren conectados a la barra donde se conecta el interruptor fallado.

Como se puede observar desconectar varios circuitos puede ocasionar pérdida de carga o servicios importantes, que de no hacerlo se puede perder la estabilidad del Sistema Eléctrico, pero si esto se realiza con la rapidez necesaria se logra que en la red eléctrica no se separen otros circuitos relevantes para manteniendo la estabilidad en el sistema eléctrico reduciendo la pérdida a pocos circuitos.

En la C.H. Cupatitzio el modelo de relevador digital de respaldo instalado (*SIEMES 7SJ5125*), contiene esta función como opcional, se aprovecho esta función poniéndose en servicio.

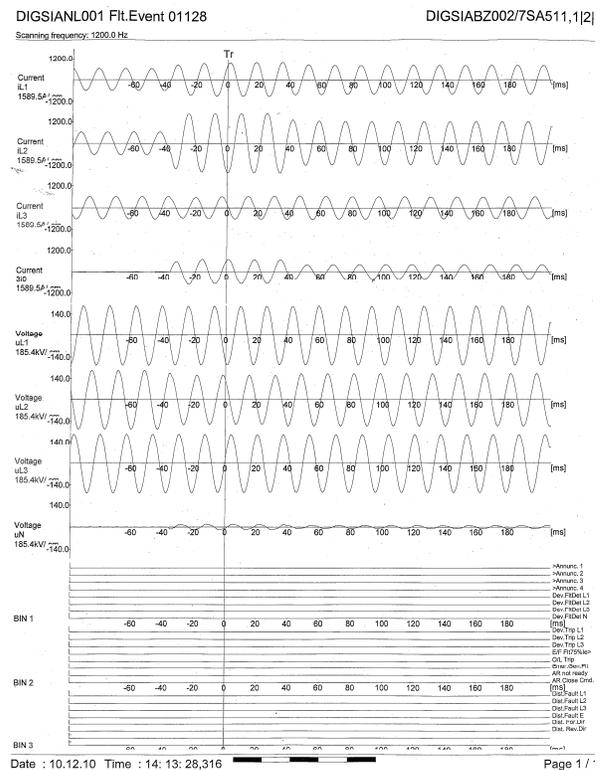
Uno de los mayores problemas que se tenía en los tableros de protecciones de la C.H. Cupatitzio era, la constante aparición de contaminación a tierra del cableado, de los circuitos de control en 250 VCD, en algunas ocasiones en los dispositivos eléctricos otras

en los cables de control hacia el tablero, y otras más en el propio alambreado del tablero que tenía aislamiento con un material llamado asbetanel.

Con la modernización se terminaron estos problemas que en la temporada de lluvias nos aumentaba el trabajo. La existencia de una tierra en el circuito de directa no es dañina por sí sola, pero al existir dos de ellas representa una carga para el banco de baterías y si son firmes, es un corto circuito que puede provocar que se quemara el cableado.

Los diagramas esquemáticos era otra desventaja, estaban limitados en la información contenida, a pesar de ser completa, el manejo de los mismos se hacía difícil por su tamaño de más de un metro cuadrado y estar clasificado por secciones que se relacionan. Con los nuevos tableros y esquemas modernos se facilitó su revisión, la corrección de fallas o eventos.

Una ventaja que no tienen los relevadores electromecánicos es la de registro de fallas, con los nuevos tableros y protecciones digitales de línea, nos permiten recuperar un registro de falla en el cual se grafican las señales de voltaje y corriente reflejando la forma en que se presentó la falla permitiendo hacer un análisis de falla más completo, adicionalmente nos indican la distancia aproximada donde se localiza la falla. En la Figura 3.8 se presenta el registro de falla que captura el relevador.



**Figura 3.8** Registro de Protección de Línea 7SA5115.

Estas actividades se realizaron con la participación de tres Profesionistas egresados de la Escuela de Ingeniería Eléctrica (EIE) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

## **Capítulo 4**

# **Modernización de las Protecciones de Generadores en la C.H. Cupatitzio**

Para la modernización de las protecciones de los Generadores en la C.H. Cupatitzio, no fue posible la adquisición de tableros de protección nuevos, los esquemas existentes se han desempeñado con eficiencia pero en algunas ocasiones han dejado duda en algunos eventos, para realizar su Modernización, fue necesario conseguir los relevadores en forma individual y para completar los esquemas se solicitaron en calidad de préstamo mientras se realiza la compra, relevadores que se encontraban disponibles en otras centrales.

Las actividades en esta ocasión fueron diferentes a las realizadas en las líneas, se efectuó el montaje de los relevadores en dos secciones de tablero que se encontraban con mínimo equipo reubicándolo, una vez realizado el montaje, se diseñaron los esquemas de protección los cuales se adicionaron a las protecciones existentes, se realizó el alambrado de los tableros instalando tablillas de conexión y relevadores auxiliares necesarios.

Realizado esto, se interconectaron las protecciones existentes teniendo especial cuidado en no mezclar los voltajes de control de las nuevas protecciones en 125 VCD y los esquemas existentes de 250 VCD.

Como los cables de control del tablero hacia los dispositivos con el paso del tiempo se fue deteriorando se realizó la sustitución de los mismos cambiando la trayectoria a la sección de las nuevas protecciones.

Para la puesta en operación fue necesario realizar todas las pruebas de operación como si el equipo fuera nuevo confirmando que funcionaba correctamente.

#### 4.1 Protecciones Electromecánicas del Generador.

La función de las protecciones eléctricas es reducir los daños al presentarse una falla en el generador, las fallas en el generador normalmente son de carácter permanente, se deben librar en el menor tiempo posible, abriendo los equipos correspondientes involucrados en la falla, con esto se reducirá el tiempo de reparación y sus costos.

No existe un criterio único para definir las protecciones que deben instalarse en un generador, depende varios factores, su capacidad, tipo de generador, la ubicación o importancia relativa que tenga dentro del sistema [Altuve 2000]. A continuación serán analizadas las protecciones que comúnmente se usaron en la C.H. Cupatitzio. La Figura 4.1 nos muestra el tablero de protecciones electromecánicas instaladas para los generadores de la C.H. Cupatitzio.



**Figura 4.1** Tableros de Protección Electromecánicas de Generador C.H. Cupatitzio.

Para esta modernización se decide complementar los esquemas electromecánicos existentes, instalando las nuevas protecciones en dos secciones disponibles.

En el control hidráulico de los Generadores, es donde se usa la mayor cantidad de números de la nomenclatura empleados en los esquemas, en este control hidráulico se

encontraban diversos mecanismos para dar seguimiento a la secuencia de rodado de los Generadores, aperturas de válvulas, presiones etc. En la Tabla 4.1 se muestran la nomenclatura de las Protecciones Eléctricas más usadas en los Generadores.

**Tabla 4.1** Nomenclatura de protecciones de Generador más usadas.

<b>ANSI</b>	<b>FUNCION</b>
24	Protección de Volts Hertz.
27	Protección de Bajo Voltaje.
32	Protección de Potencia Inversa.
40	Protección de Perdida de Campo.
46	Protección de Corrientes de Secuencia Negativa.
59	Protección de Sobre voltaje.
64	Protección de Falla a Tierra estator.
81	Protección de Baja Frecuencia.
87	Protección Diferencial de Generador.

#### **4.1.1 Protección Diferencial de grupo Generador Transformador (87GT).**

La C.H. Cupatitzio, se construyo siendo un punto de generación donde no se tienen cargas cercanas, por lo que, en su momento la energía eléctrica producida se debía enviar a la Red, para lo cual los generadores se diseñaron en un esquema conocido de Grupo Generador Transformador, estando conectado directamente el generador a un transformador elevador para este caso de 13.8 a 161.0 kV.

Como lo hemos comentado el principio diferencial es muy usado en las protecciones eléctricas, en las unidades de la C.H. Cupatitzio se usa para proteger tanto el Generador como el transformador de Potencia aplicando para esto un relevador electromecánico marca G.E. modelo 12IJD53C11A por fase, con tres entradas para corriente lado alta del Transformador, Lado neutro del generador y salida de Servicios propios de la planta (punto intermedio).

#### **4.1.2 Protecciones de Sobre corriente Generador Transformador con Restricción de voltaje (51V).**

Como protección adicional tanto del Generador como para el Transformador, se tiene la Protección de Sobre corriente con Restricción de voltaje, marca G.E. modelo 12IJC51A1A.

Esta protección opera para una falla que tenga un valor de sobre corriente superior al ajuste fijado, pero como existen fallas remotas con estas magnitudes que no ameriten el disparo del generador, se tiene una unidad de medición de voltaje ajustable que detecta si una falla es remota.

El nivel de voltaje del Generador durante una falla remota se mantiene dentro de un margen alto, pero si la falla es cercana a la salida del generador, el nivel de voltaje puede llegar a tener valores menores lo cual indica una falla con riesgo para el generador permitiendo su apertura. En el tablero se instalaron tres relevadores uno para proteger la fase A con su correspondiente señal de voltaje, lo mismo se tiene para las fases B y C, los ajustes deben estar coordinados con otros relevadores de sobre corriente cercanos en la Red Eléctrica.

#### **4.1.3 Protección Diferencial de Generador (87G).**

Esta protección, protege al generador principalmente contra cortos circuitos entre fases del embobinado del generador, se puede hacer con relevadores diferenciales o de sobre corriente, los generadores de más de 1000 kW se protegen con relevadores de porcentaje diferencial, los generadores más pequeños utilizan relevadores de sobre corriente.

La protección diferencial se basa en hacer una comparación directa de las señales eléctricas provenientes del elemento protegido, en este caso el generador de acuerdo al esquema de conexión del mismo en el neutro y a la salida, es decir la protección hace una comparación de la medición de las señales de dos o más circuitos que llegan a un mismo nodo, para nuestro caso se compara la señal de corriente que entra al bobinado del generador con la que sale por el otro extremo.

En la C.H. Cupatitzio, de diseño se aplico un relevador electromecánico marca: General Electric, modelo: 12CFD12A1A.

#### **4.1.4 Protecciones contra sobre voltaje en el Generador (59G).**

Los generadores no deben estar sometidos a sobre voltajes prolongados, ya que por su diseño es tal, que operan en un punto cercano a la rodilla de saturación de la curva de magnetización y los sobre voltajes provocan valores altos de densidad de flujo y considerable distorsión con el consiguiente calentamiento.

En condiciones normales el regulador de voltaje del generador controla la corriente de excitación y mantiene el voltaje dentro de los límites establecidos. Sin embargo una falla en el regulador o la variación o pérdida de su señal de voltaje de entrada (por perdida de fusibles de TP) por ejemplo pueden tener como consecuencia voltajes elevados.

Otra causa frecuente de sobre voltaje es la perdida súbita (total o parcial) de carga en el generador, la desconexión por cortos circuitos enlaces cercanos al generador, también provocan sobre voltajes, pero de valores más pequeños.

En todos los casos hay una reducción brusca de carga del generador, que implica la necesidad de reducir la excitación, si el regulador de voltaje no responde con la velocidad necesaria el voltaje puede elevarse por encima de los valores nominales.

El caso más crítico es cuando se dispara el interruptor principal del generador, el problema se agrava por la sobre velocidad resultado de la lenta respuesta del regulador de velocidad (sobre todo en generadores hidroeléctricos) incrementando el voltaje.

En la central Cupatitzio se instalo para esta función un relevador marca G.E. modelo 12IAV51A1A por ser una protección con característica trifásicas solo se requiere una pieza conectada entre dos fases. El relevador permite ajustes desde 55 hasta 140 Volts

secundarios, teniendo un temporizador ajustable que permite un margen de tiempo para su operación de acuerdo a las condiciones calculadas del generador.

#### **4.1.5 Protecciones contra pérdida de campo en el Generador (40G).**

Los generadores síncronos operan normalmente sobreexcitados, entregando potencia reactiva al sistema además de la potencia activa. Cuando la excitación se reduce hasta el punto en que el generador rebasa la condición de factor de potencia unitario, se considera que se encuentra en estado de sub excitación, en esta condición está consumiendo potencia reactiva. Si la excitación se pierde completamente la maquina se convierte en un generador de inducción, entregando potencia activa y consumiendo potencia reactiva que puede ser del 200 al 400% de la potencia nominal del generador.

La condición de pérdida de excitación que evidentemente es la más crítica, puede ser perjudicial para el generador y el sistema, en el sistema provocando la perdida de la potencia generada y debe suministrar la potencia reactiva demandada, en el generador se provocan corrientes inducidas en el rotor y sobre calentamiento, el estator también puede sobrecalentarse debido a la sobre corriente producida por los reactivos.

La protección contra perdida de campo, tiene la función de detectar la excitación anormalmente baja, dar alarma o disparo antes de que la operación del generador se vuelva inestable.

Las causas de una baja excitación pueden ser por; Apertura del interruptor de campo, un corto circuito en el campo, regulador de voltaje desconectado, falta de alimentación del equipo de excitación o falla en las escobillas.

Las unidades de Cupatitzio cuentan con un relevador marca G.E. del tipo: 12CEH11A3A para realizar esta función de pérdida de excitación.

#### **4.1.6 Protecciones de Falla a Tierra en el Estator del Generador (64G).**

Se tienen dos formas de conexión a tierra del generador, el método utilizado determina el comportamiento del generador durante fallas a tierra. Si el generador está sólidamente aterrizado, aportara una muy alta corriente a la falla, Si el generador no está directamente aterrizado, aportara una corriente despreciable y un desplazamiento de la tensión de neutro.

En los casos en que la corriente de falla tiene un valor alto, la protección diferencial es suficiente para proteger el generador, en ocasiones es necesario usar un relevador de sobre corriente en el neutro.

Los generadores en la C.H. Cupatitzio cuentan con un aterrizamiento de alta impedancia a través de un transformador de distribución de 13.8kV con una resistencia de carga, para esta función con un relevador marca: G.E. modelo: 12IAV51K1A determinando una falla a tierra con una cobertura aproximada del 90% del devanado.

#### **4.1.7 Protecciones de Falla a Tierra en el Campo del Generador (64FG).**

El circuito de campo de un generador es un sistema de corriente directa que no está puesto a tierra, una falla a tierra generalmente no afecta la operación del generador ni produce daños de efecto inmediato. Sin embargo la posibilidad que se presente una segunda falla a tierra es mayor.

Cuando se tiene la segunda falla a tierra una parte del devanado de campo estará cortocircuitado, produciendo por lo tanto flujos des balanceados en el entrehierro de la maquina. Los flujos des balanceados producen fuerzas magnéticas des balanceadas las cuales dan como resultado vibraciones y daño al generador. Una tierra en el campo también produce calentamiento en el hierro del rotor debido a las corrientes des balanceadas con las consecuentes vibraciones y daño.

Esta protección se emplea para dar alarma, con el objeto de que la unidad sea retirada de servicio para su revisión tan pronto como las condiciones de carga del sistema lo permitan.

En la central se instaló para esta función un relevador marca G.E. modelo 12PGJ11E2A, considerando que se encuentra en el neutro del generador solo se requiere una pieza para proteger el generador.

## 4.2 Nuevo Esquema de Protecciones del Generador.

El nuevo esquema de protecciones está compuesto por tres relevadores Multifunción es decir realizan varias funciones que anteriormente se realizaban con un solo relevador específico.

En la Figura 4.2 se muestran las Protecciones Adicionales de Generador, consistente en tres relevadores de la marca SEL.



**Figura 4.2** Tableros Adicionales de Protección de Generador.

### 4.2.1 Protección de Grupo Generador Transformador (SEL 387A).

Para mejorar la confiabilidad de la C.H. Cupatitzio, fue necesaria la sustitución de la Protección Diferencial de Generador Transformador existente, por no existir devanados adicionales en los transformadores de corriente para utilizarse con la nueva protección.





**Figura 4.4** Protección de Generador SEL 300G

El principio de operación en este relevador, es similar a los aplicados en las protecciones electromecánicas, las cuales ya fueron explicadas, por lo tanto se hará una breve descripción de las funciones que no existían en las protecciones electromecánicas.

### **Protección de sobre corrientes de secuencia Negativa (46G).**

Existen numerosas condiciones del sistema que pueden causar corrientes trifásicas desbalanceadas en un generador, estas condiciones producen componentes de corrientes de secuencia negativa, las cuales inducen una corriente de doble frecuencia en la superficie de rotor. Estas corrientes en el rotor pueden causar altas y dañinas temperaturas en muy corto tiempo.

El desbalance de corriente puede deberse a aperturas de fase en el sistema, por rotura de conductores, o por acción de equipos de conmutación recierres monoplares. Un caso crítico son las fallas asimétricas de líneas cercanas a la planta generadora que no son liberadas por las protecciones de línea.

El calentamiento por secuencia negativa que excede los límites térmicos del rotor, resulta en fallas. Algunos fabricantes consideran admisible la operación prolongada del generador con corrientes de fase que no difieran entre sí más del 10% para turbogeneradores y de un 20% para hidrogeneradores siempre que ninguna de las corrientes sea mayor que la nominal.

Es común proporcionar al generador protección para condiciones de des balance externo que podrían dañar a la maquina. Esta protección consiste en un relevador de sobre corriente con retardo de tiempo el cual responde a la corriente de secuencia negativa.

### **Protección de Volts/Hertz (24G).**

Esta función del relevador se utiliza para detectar sobreexcitación en el generador que ocurre cuando el voltaje en terminales se incrementa o bien la frecuencia de operación disminuye.

### **Protección de Bajo voltaje (27G).**

Este elemento de protección se utiliza para detectar bajos voltajes cuando se presenta una falla cercana al generador, se ajusta entre el 80 y 90% del voltaje nominal del generador, para asegurar que el bajo voltaje es en el generador se le asigna un retardo de tiempo.

### **Protección de Potencia Inversa del Generador (32G).**

La protección de Potencia inversa detecta que el generador está recibiendo potencia del Sistema y envía la apertura después de un periodo de tiempo. El generador recibe potencia del Sistema cuando su motor o turbina ya no entrega potencia, y empieza a absorber la necesaria para mantener el generador en sincronismo, venciendo las pérdidas de generador y motor.

La motorización del generador es un fenómeno tolerable por un tiempo corto, si no es consecuencia de falla mecánica de motor o turbina. Si se mantiene por un tiempo excesivo causa calentamiento en partes de la turbina.

### **Protección de Respaldo de Fase (Distancia) (21G).**

Esta función se realiza midiendo la corriente y el voltaje del generador para medir la impedancia del generador y la falla que es proporcional a la “distancia eléctrica” hasta el punto del corto circuito.

La protección de respaldo de fase de generadores principalmente detecta fallas entre fases y trifásicas exteriores a la unidad y dispara con demora de tiempo en caso de que esas fallas no hayan sido libradas correctamente.

Adicionalmente esta protección puede detectar fallas dentro de la unidad respaldando por lo tanto a la protección Diferencial de generador y transformador.

La protección de respaldo con relevadores de distancia, generalmente se emplea en unidades de tamaño mayor y que están conectadas en esquema unitario que es el caso de la C.H. Cupatitzio.

### **Protección de Frecuencia (81G).**

De acuerdo al manual de operación, el grupo turbina generador puede operar continuamente en un rango de 95 a 105% de la frecuencia nominal, esto se define como un margen de operación de 57 a 63 Hertz, para la central se selecciono un esquema de protección de dos pasos de frecuencia, uno para alarma 59 Hertz y otro para disparo 57 Hertz.

Este relevador permite ajuste de sobre frecuencia, se utiliza un solo nivel de frecuencia para apertura, ajustándose a 63 Hertz y un retardo de tiempo de cinco segundos.

### **4.2.3 Protección de Falla de Interruptor.**

Como mencionamos en la sustitución de los tableros para las líneas se tiene una protección adicional dentro de los Relevadores Direccionales de Sobre corriente, llamada Protección de Falla de interruptor, como los relevadores SEL387A y el SEL300G no incluyen esta función, fue necesario la instalación del relevador SEL352 para realizar esta función. Se muestra su presentación en la Figura 4.5.



**Figura 4.5** Protección de Falla de Interruptor.

La función del relevador también llamado 50FI, es operar cuando en una falla en el generador el interruptor propio no abra, esta protección deberá abrir los interruptores conectados en la misma barra para librar esta falla.

Para la puesta en servicio de estos relevadores, es necesario el análisis de los instructivos correspondientes, para entender la manera que los fabricantes aplican en su diseño el funcionamiento de las protecciones, es en este punto donde un profesionalista de Ingeniería Eléctrica debe aplicar los conocimientos adquiridos en la Universidad, tomando las decisiones necesarias al definir los ajustes de las protecciones, en base a los cálculos realizados y los criterios de ajustes más convenientes, esto evita que los daños por fallas provoquen daños mayores.

## Capítulo 5

### Conclusiones

Con los cambios realizados a las protecciones de línea, se logro mantener una mayor confiabilidad de estos esquemas, no se han presentado fallas por contaminación el cableado de control como son fallas a tierra en el banco de 125 VCD, falla de fisibles en el esquema por cortos, etc.

En los análisis de fallas en la red, los relevadores digitales nos han permitido obtener un archivo para graficar las condiciones en que se presento una falla ya sea en la propia línea o en la red de 161 kV. Ayudando en la toma de decisiones al enviar personal para reparación de los daños o a eliminar la causa de la falla, arboles cercanos a las líneas, quema de maleza o de monte, descargas eléctricas con falla de aislamiento, etc.

En los generadores ya se han tenido operación de protecciones, una de ellas por la presencia de un animal en los cables de potencia a la salida del generador con operación del relevador 64G, si no existiera la protección digital el tiempo mayor de operación de las protecciones habría causado mayores daños.

Otra operación correcta se presento al subir unas “viborillas” a las boquillas del lado baja del Transformador de potencia operando la Protección Diferencial de grupo, en este caso el fue necesario sustituir las boquillas, es posible que de no tener relevadores digitales se pudo haber incendiado el transformador.

Por lo anterior como profesionista egresado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UMSNH, tengo la satisfacción de haber participado en la realización de estos trabajos, que han servido para mantener las instalaciones en servicio, reducir los daños en los equipo y mantener la continuidad en el servicio de energía a los usuarios.

# Bibliografía

## Libro:

[Mason 1984]

C. Russell Mason, *El Arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores*, México: C.E.C.S.A., 1984.

[Ziegler 1999]

Gerhard Ziegler, *Numerical Distance Protection Principles and Application*, Berlin and Munich. SIEMENS AG, 1999

## Internet:

[CFE 2011]

Comisión Federal de Electricidad. *Que es CFE*. 14 de Abril de 2011. [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

[CFE 2011]

Comisión Federal de Electricidad. *Conoce CFE*. 14 de Abril de 2011. [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

## Institución:

[CFE 1981]

CFE *Esquemas de Protección Eléctrica*. México, 1981.

[UANL 2000]

UANL *Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia*. México, 2000.