

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
NUEVO LEON**

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**COORDINACION DE PROTECCIONES EN SISTEMAS
ELECTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S. A. DE C. V**

POR:

ING. ERNESTO SANMIGUEL GARZA

TESIS:

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA ELECTRICA**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE DEL 2001

TM
TK3211
.S36
2001
c.1



1080113421

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



COORDINACION DE PROTECCIONES EN SISTEMAS
ELECTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S. A. DE C. V.

POR:

ING. ERNESTO SANMIGUEL GARZA

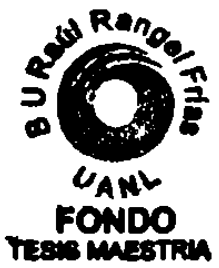
TESIS:

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA ELECTRICA CON ESPECIALIDAD
EN POTENCIA ELECTRICA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE DEL 2001



TESIS MAESTRIA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN SISTEMAS
ELÉCTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S.A. DE C.V.**

POR

ING. ERNESTO SANMIGUEL GARZA

TESIS

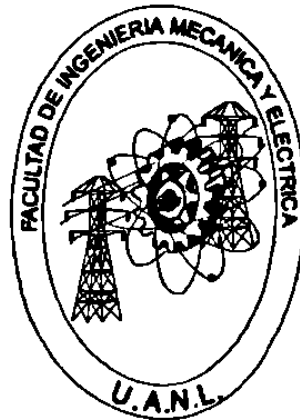
**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA ELECTRICA**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. DICIEMBRE DEL 2001

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



**COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN SISTEMAS
ELÉCTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S.A. DE C.V.**

POR

ING. ERNESTO SANMIGUEL GARZA

TESIS

**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ELÉCTRICA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA ELECTRICA**

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N.L. DICIEMBRE DEL 2001

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S.A.DE.C.V.", realizada por el alumno Ing. Ernesto Sanmiguel Garza, matrícula 1033035 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Potencia.

El Comité de Tesis



ASESOR

M.C. Evelio P. González Flores.



M.C. Paz Vicente Cantú Gutiérrez
COASESOR



DR. Fernando M. Betancourt R.
COASESOR



Vó. Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-grado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León a 30 de Noviembre de 2001

DEDICATORIA

A DIOS.....por darme la oportunidad de vivir y mantenerme en salud.

A mis padres Sr. Jorge Sanmiguel Donovan y Josefina Garza Garza. ¡GRACIAS! Por enseñarme todo lo que he aprendido de ustedes por su apoyo que me brindaron; el cual me han ayudado a trazar un camino en mi vida. Y porque se que les doy una satisfacción desde antes esperada.

A mis hermanos que los quiero y se que les dará gusto ver terminados mis estudios.

A mis maestros por compartirme sus experiencias y conocimientos.

A mis compañeros y amigos por darme un tesoro.....su amistad.

A mi esposa Gloria Resendez Torres por tener su comprensión y amor por haberla sacrificado para sacar adelante ala familia. Que espero pagarle dándole amor y felicidad.

A mis hijas Marlene y Judith porque ellas son la base de mi superación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en una forma muy sincera al M.C. Evelio P. González Flores. Asesor de esta tesis al M.C. Marco Antonio Méndez Cavazos por su valiosa atención; que le dedico a la elaboración de esta tesis; al DR. Fernando Betancourd Ramírez, al M.C. Enrique Betancourd Ramírez ; al DR. Cesar Elizondo al M.C. Félix González Estrada, los cuales me compartieron sus conocimientos y experiencias.

A Industria del Alkali S.A. de C.V. por la oportunidad y apoyo económico y del tiempo para llevar a cabo dicha maestría.

A mi familia por su paciencia y soporte que siempre me han brindado.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, le doy gracias por la oportunidad que me ofreció al concederme un lugar en esta institución, facilitándome la realización de mis estudios.

PROLOGO

La oficina de registro de profesionales de la ingeniería de los Estados Unidos define la ingeniería como:

"Ingeniería es la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas y de las ciencias adquirido a través del estudio, la experiencia y la practica, se aplica con buen juicio en el desarrollo de modos de utilizar, económicamente, los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio del genero humano".

Estas soluciones, por el hecho de ser necesarias o deseadas por la sociedad, están sujetas a restricciones de tipo legal, ambiental y económicas. Es por ello que la practica de la ingeniería es altamente interactiva y tiene muchas restricciones, lo que también significa un alto reto. Así la ingeniería esta tan entretejida en la sociedad moderna, que se encuentran ingenieros en una muy amplia gama de aspectos y actividades. El corazón de estas actividades es el proceso de diseño.

Un aspecto de vital importancia pero con frecuencia desatendido en el proceso de diseño, es el aspecto del riesgo, sobretodo en su relación con la sociedad. El riesgo es el potencial de producir alguna consecuencia no deseada o negativa de un evento. El riesgo es parte de nuestra existencia como individuos y de la sociedad como un todo. Como parte de la sociedad, nos damos cuenta de los riesgos sociales diariamente a través de los medios de comunicación. La lista de riesgos en una sociedad tan avanzada desde el punto de vista tecnológico es interminable.

Los riesgos sociales se clasifican como sigue:

<u>Categoría de riesgo</u>	<u>Ejemplo</u>
1. - Enfermedades infecciosas y degenerativas	gripes, problemas cardiacos, sida.
2. - Desastres Naturales	Terremotos
3. - Fallas de grandes sistemas tecnológicos	Rotura de presas, plantas generadoras, aviones, barcos.
4. - Accidentes pequeños	Accidentes automovilísticos, fallas de herramienta y artículos deportivos.
5. - Problemas Sociales	Terrorismo, proliferación nuclear.

Puede notarse que las categorías 3 y 4 están directamente relacionadas con actividades propias de la ingeniería y en las categorías 2 y 5 pueden ser en ocasiones ser consecuencias de restricciones durante los procesos de diseño de ingeniería.

El riesgo en ingeniería puede considerarse como el enlace del crecimiento tecnológico y los valores sociales en la manera como se reflejan en la política.

Las evaluaciones de los riesgos son cada vez más importantes en el diseño de sistemas en función de su creciente complejidad. Los riesgos relacionados con los sistemas no necesariamente ocurren porque estos han sido ignorados durante el diseño. Se pueden presentar aspectos como diseños que en su

tiempo se desarrollan con la mejor información disponible, pero que con el tiempo se encontraron riesgos incluso altos, como por ejemplo, el tiempo que paso para determinar que el asbesto es cancerigeno. Otro aspecto son condiciones anormales de operación que no fueron parte del diseño.

Cuando se analizan específicamente sistemas de ingeniería, el riesgo se evalúa como confiabilidad y disponibilidad de un sistema. Ambos aspectos se relacionan con el mantenimiento y la reparación de los sistemas. Si un componente que falla puede repararse mientras otro componente redundante lo supe, la confiabilidad del sistema se aumenta. De la misma manera si se remplazan partes sujetas a desgaste antes que se presente una falla, la necesidad de reparar un componente o parte del sistema cuando este se encuentra "en serie" con el sistema, disminuye su confiabilidad, ya que el sistema no opera mientras se repara la parte que ha fallado.

Este trabajo desarrollado por el ing. Ernesto Sanmiguel Garza como parte de los requisitos para la obtención del grado de Maestría en ciencias, especialidad Potencia Eléctrica será particularmente útil para el lector que requiera seleccionar el equipo adecuado para un sistema eléctrico en el que se requiera confiabilidad y disponibilidad.

Este trabajo es el fruto de los años de experiencia del ing. Sanmiguel en el desarrollo de proyectos exitosos y muy particularmente en el mantenimiento de sistemas eléctricos de potencia, reforzado por los cursos y trabajos del programa de estudios para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de esta especialidad.

Estamos seguros que los éxitos profesionales el ing. Sanmiguel continuara en el futuro. Ha alcanzado una meta que se había propuesto. Su dedicación y entusiasmo por el crecimiento profesional seguirá siendo la constante que lo caracteriza

Ing. Antonio Reens Hertz.

Monterrey N.L. Septiembre del 2001

INDICE

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS EN INDUSTRIA DEL ALCALI S.A. DE C.V.

TEMA	pagina
SÍNTESIS.....	1
CAPITULO 1. - INTRODUCCION.	
1.1. – Descripción del problema a resolver.	3
1.2. - Objetivo de la tesis.....	3
1.3. – Hipótesis.....	4
1.4. – Justificación.....	4
1.5. – Limites de estudio.....	4
1.6. – Metodología.....	4
1.7. – Revisión Bibliografica.....	5
CAPITULO 2. - TIPOS DE CABLES ELECTRICOS Y DESCRIPCION DE USOS.....	6
2.1. – Diseño y funcionamiento de cables de energía con Aislamiento Sólido.....	18
2.2. – Selección de tablas para conductores.	31
Ejemplo 2.1.....	37
Ejemplo 2.2.....	38
CAPITULO 3.- ESTUDIO DE PROTECCIONES POR MEDIO DE FUSIBLES.....	39
3.1. – Porque proteger contra sobrecorrientes.....	39
3.2. - Que es una protección con calidad.....	40
3.3. - Tipos de sobrecorrientes y efectos.....	40
3.3.1. - Sobrecargas.....	40
3.3.2. - Sobrecargas sostenidas.....	41
3.3.3. - Sobrecargas temporales.....	41
3.3.4. - Corto circuito y sus causas.....	42
3.3.5. - Ejemplo.....	42
3.3.6. - Efectos de corriente de corto circuito.....	42
3.3.7. - Calentamiento	42
3.3.8. - Estrés magnético.....	43
3.3.9. - Arco eléctrico.....	43
3.4. - Características de los fusibles (600 volts y menores).....	44
3.4.1. - Niveles de voltaje.....	44
3.4.2. - Nivel máximo de interrupción de corriente.....	45
3.4.3. - fusibles con capacidad interruptiva de 300,000 amp.(ACI)..	45

3.5. - Características tiempo corriente.....	46
3.5.1. - Sobrecargas.....	46
3.5.2. - Fusibles con acción rápida.....	46
3.5.3. - Fusibles con retardo de tiempo.....	47
3.5.4. - Fusibles con acción muy rápida.....	48
3.5.5. - Fusibles con limite de corriente.....	48
3.5.6. - Fusible de doble elemento.....	49
3.5.7. - Fusibles de rápida acción.....	49
3.6. - Gráficas de pico máximo de corriente.....	52
3.7. - Coordinación de protecciones.....	56
3.7.1. - Selección de fusibles.	57
3.7.2. - Clases de fusibles y sus aplicaciones.....	58
3.7.3. - Fusibles clase G (O - 60 A).....	59
3.7.4. - Fusibles clase H (O - 600 A).....	59
3.7.5. - Fusibles clase J (O - 600 A).....	60
3.7.6. - Fusibles clase K (O - 600 A).....	60
3.7.7. - Fusibles clase L (O - 600 A).....	61
3.7.8. - Fusibles misceláneos.....	62
3.7.9. - Limitadores para cable.....	62
3.8. - Fusibles aplicados a semiconductores.....	62
3.9. - Fusibles para banco de capacitores.....	63
3.9.1. - Protección contra sobrecorriente.....	64
3.10. - Aplicación de los fusibles.....	64
3.10.1. - Circuitos de protección para el interruptor.....	65
3.10.2. - Protección de cables y alambres.....	66
3.10.3. - Protección contra corto circuito para arranque de Motores.....	66
3.10.4. - protección de motores contra sobre corrientes.....	67
3.11. - Protección de transformadores.....	68
3.12. - Fusibles de alta tensión.....	69
3.12.1. - Definiciones de la curva.....	69
3.12.2. - Tipos de pruebas a fusibles de alta tensión.....	70
3.12.3. - Tipos de fusible de alta tensión.....	71
3.13. - Hilos fusibles de media y alta tensión.....	74
3.14. - Fusibles driescher y wittjohan driwisa.....	76
3.15. - Protección primaria con fusibles a transformadores.....	84
Ejemplo.....	89

CAPITULO 4. – INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS.....90

4.1. - Descripción general.....	90
4.2. - Selección de fusible e interruptor de seguridad.....	94
4.3. - Interruptores termomagneticos QO y QOB.....	95

4.4. - Interruptores termomagnéticos	97
4.4.1. - Características.....	97
4.4.2. - Ventajas de los interruptores termomagnéticos.....	98
4.5. - Interruptor de disparo ajustable magnético instantáneo.....	100
4.6. - Interruptores automáticos y no automáticos.....	102
4.6.1. - Características de interruptores no automáticos.....	103
4.6.2. - características generales de los interruptor Automáticos y no Automáticos.	104
4.7. - Interruptores termomagnéticos con protección de falla a tierra..	106
4.7.1. - requerimientos de disparo para la protección de falla a Tierra.....	107
4.8. - Tablas de selección de Interruptores termomagnéticos.....	111
4.9. - Interruptores electromagnéticos.....	125
4.9.1 - Tipo de protección para los Interruptores (centros de carga).....	126
4.9.2. - auxiliares eléctricos masterpact.....	127
4.9.3. - Dispositivos de bloqueo.....	128
CAPITULO 5. - PROTECCION PARA MOTORES.....	129
5.1. - tipos de contactores y arrancadores.....	132
5.2. - protecciones por sobrecargas sostenidas.....	140
Ejemplo 5.1.....	147
CAPITULO 6. - PROTECCIÓN A TRANSFORMADORES DE POTENCIA POR MEDIO DE RELEVADORES.....	148
6.1. - Características.....	148
6.2. - Causas que originan fallas en el sistema eléctrico.....	150
6.2.1. - Sobrecarga.....	150
6.2.2. - Corto Circuito.....	151
6.2.3. - Caída de tensión.....	152
6.2.4. - Elevación de tensión.....	152
6.2.5. - Inversión de flujo de potencia.....	152
6.2.6. - Aviación de frecuencia.....	152
6.3. - Elementos que intervienen en un sistema de protección.....	153
6.4. - Transformadores de instrumentos.....	155
6.5. - Transformadores de corriente.....	156
6.6. - La evaluación del uso de protecciones por relevadores.....	157
6.6.1. - Conceptos básicos y consideraciones fundamentales en la protección por relevadores.....	158
6.7. - Definición, principios, características, y fundamentos de la operación de los diferentes tipos de relevadores de potencia ...	168

6.7.1. –Definiciones.....	168
6.7.2. – Clasificación de los relees.....	168
6.7.3. – Principios en que se basan los relevadores.....	170
6.7.4. – Características de los relevadores.....	176
6.7.5. – Reposición (reset).....	178
6.8. – Descripción general de la protección de sobrecorriente.....	179
6.8.1. – Protección de sobrecorriente.....	179
6.8.2. – Ejemplo de un ajuste.....	183
6.9. – Diagrama de conexión de una protección de sobrecorriente y tierra.....	184

CAPITULO 7 ANALISIS DE COORDINACIÓN DE UN SISTEMA

ELECTRICO.....	192
7.1.- Introducción.....	192
7.2.- Cálculos de Protecciones y Corto Circuito	196
7.3.- Falla de corto circuito en línea de 13.8 k.v.....	219
7.4.- Normas Aplicadas al Estudio protección a equipos por falla a Tierra.....	230

CAPITULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....241

8.1.- Introducción.....	241
8.2.- Recomendaciones	242
8.3.- Conclusiones.....	243

Bibliografía.....	245
Lista de tablas.....	246
Lista de figuras.....	249
Listado de fotografías.....	252
Glosario.....	254
Resumen Autobiográfico.....	257