

# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



## COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN EN EL SISTEMA DURÁN

Misael Patricio Tinoco Tinoco <sup>(1)</sup>, Darwin Horacio Sánchez Yela <sup>(2)</sup>,  
Juan Saavedra <sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación-FIEC,  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

<sup>(1)</sup> [misael-tinoco-t@hotmail.com](mailto:misael-tinoco-t@hotmail.com), <sup>(2)</sup> [dhsyela@hotmail.com](mailto:dhsyela@hotmail.com), <sup>(3)</sup> [juan.saavedra@celec.gob.ec](mailto:juan.saavedra@celec.gob.ec)

### Resumen

*El presente trabajo desarrolla el estudio de la coordinación de protecciones aplicados a la subestación de distribución "DURÁN NORTE", ubicada en el cantón Durán en la parte norte de la ciudad del mismo nombre. Partiendo primero desde la descripción de las instalaciones, para conocer los elementos que la componen; posteriormente, se realiza un estudio de flujo de carga en condiciones de máxima y mínima carga y un estudio de cortocircuito de la subestación aplicados a la barra de 69kV y 13.8kV, esto nos servirá como datos preliminares para proceder a realizar el ajuste adecuado de las protecciones de la subestación y la coordinación de las mismas con las protecciones del sistema de distribución, mediante el uso de herramientas informáticas modernas conseguiremos la mejor opción en cuanto a coordinación de protecciones se refiere permitiéndonos aumentar la confiabilidad y funcionamiento del sistema ante eventuales condiciones de falla.*

**Palabras Claves:** *Coordinación, Ajuste, Protección*

### Abstract

*This paper develops the study of the coordination of protections applied to the distribution substation "DURÁN NORTE", located on canton Durán on the north of the city with the same name. Starting first from the description of the facilities, for the elements that compose it, then a load flow study is performed at maximum and minimum load and a short study applied to substation 69kV and 13.8 bar kV, this will serve as preliminary data to proceed with appropriate adjustment of substation protection and coordination thereof with protection of the distribution system, by using modern tools get the best option in terms of coordination refers protections allowing increase reliability and system performance to any fault conditions.*

**Key Words:** *Coordination, Setting, Protection*

# 1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

## 1.1 Introducción

En este capítulo detallaremos cada uno de los elementos y características de la subestación de Durán Norte así como su ubicación exacta en la ciudad de Salinas.

## 1.2 Descripción Física Generalizada de las Instalaciones.



Figura 1. Ubicación de la S/E Durán Norte (fuente: Google Maps).

El estudio de coordinación de las protecciones se realizará en la Subestación de distribución Durán Norte. Ésta subestación se encuentra ubicada en la ciudad de Durán en la avenida Jaime Nebot Velasco, ciudadela Combatientes del 41, Manzana E, frente al comercial de materiales de construcción “Don Beto.

La subestación Durán Norte tiene una capacidad de abastecimiento comparables a las de la ciudad de Guayaquil aunque por el acelerado crecimiento que está sufriendo Durán es posible que llegue a su máxima capacidad en unos cuantos años.

En la tabla 1 se muestran los elementos principales de la subestación Durán Norte

**Tabla 1. Elementos de la S/E Salinas**

item	Equipo	cantidad
1	Cadena de aisladores de porcelana (6 aisladores) nivel de 69kv	5
2	Aisladores tipo poste	9
3	Interruptor en gas sf6 abb	1
4	Transformador de potencia chint 16/20 mva	1
5	Armarios mitsubishi (9 celdas)	1
6	Baterías estacionarias	1
7	Transformador auxiliar de servicio	1
8	Transformador de corriente	15
9	Transformador de potencial	5
10	Disyuntores a 13.8kv 1200a	1
11	Disyuntores a 13.8kv 600a	5
12	Relé de protección diferencial	1

## 1.3 Descripción General del Sistema Eléctrico

En general, la subestación Durán Norte se alimenta desde la subestación Dos Cerritos 230/69KV después de pasar por algunos puntos de derivación que son a nivel de 69KV. La configuración eléctrica de la subestación Durán Norte es Barra Simple y su esquema se muestra a continuación en la Figura 2.

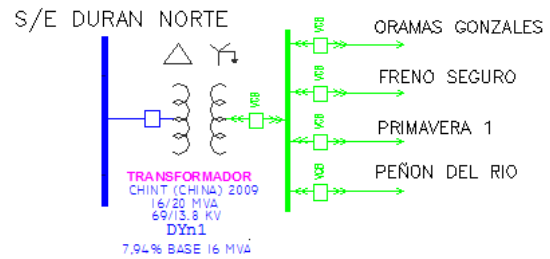


Figura 2 Diagrama Unifilar de la S/E Durán Norte.

## 1.4 Descripción Particular de la Subestación

### 1.4.1 Patio de 69KV

En las siguientes tablas se detallan las características de los elementos que componen el patio de 69KV.

Tabla 2. Materiales presentes en la estructura H de 69KV.

Descripción	Cantidad
<b>Cadena de aisladores de retención (6 aisladores)</b>	5
<b>Aislador tipo poste</b>	9
<b>Barra metálica de 4.5 metros</b>	2
<b>Grapa terminal tipo pistola</b>	8

Tabla 3. Datos técnicos del interruptor ABB

Interruptor en gas sf6	
<b>Marca</b>	abb
<b>Tipo</b>	edf sk 1-1
<b>Tensión</b>	72.5 kv
<b>Corriente nominal</b>	1250 a
<b>Nivel aislamiento al impulso tipo Rayo</b>	325 kv
<b>Poder de corte</b>	25 ka
<b>Masa de gas</b>	25 kg
<b>Masa total</b>	873 kg
<b>Frecuencia</b>	60 hz
<b>Presión del gas máx. de operación abs (+20°)</b>	0.9 mpa

### 1.4.2 Transformador de Potencia

El transformador de potencia de la subestación Durán Norte es de procedencia China y presenta las siguientes características técnicas.

**Tabla 4.** Datos técnicos del Transformador de Potencia CHINT.

Transformador de potencia	
Marca	Chint
Número de modelo	1zdb300000p-161
Tipo de nvtc	wsgiiδ250/110-6x5lb(113)
Tipo	s9-16000/69
Fases	3
Frecuencia nominal	60 hz
Enfriamiento	onan(16mva)/onaf(20mva)
Capacidad nominal	16/20mva
Voltaje nominal	69±2x2.5% / 13.8kv
Máxima corriente de Cortocircuito soportable(hv)	1.64 ka
Máxima corriente de Cortocircuito soportable (lv)	8.20 ka
Peso total	34245 kg
Pérdidas sin carga	14.02 kw
Corriente sin carga	0.17 %
Impedancia de cortocircuito (16mva)	8.0%
Grupo vectorial	dyn1
Número de serie	200812023
Fecha de despacho	2009 (año) – 03 (mes)
Norma (standard)	IEC60076-1:2000 IEC60076-2:1993 IEC60076-3:2000 IEC60076-5:2000



**Figura 3** Transformador de Potencia de la S/E Durán Norte

### 1.4.3 Patio de 13.8KV

Todos los elementos correspondientes al nivel de 13.8 KV se encuentran dentro de los Armarios marca MITSUBISHI, como lo son los relés de sobre-corriente cuyas características se muestran en la tabla 5 y la fotografía correspondiente en la figura 4.

**TABLA 5.** Modelos y marcas de los relés usados en las alimentadoras.

SISTEMA DURÁN				
Subestación	Bahía	Protección	Relé Sobre-corriente	
			Fabricante	Modelo
02 DURÁN NORTE	Principal	Fase	Mitsubishi	CO-8
		Neutro	Mitsubishi	CO-8
	Peñón del Río	Fase	Mitsubishi	CO-9
		Neutro	Mitsubishi	CO-9
	Primavera 1	Fase	Mitsubishi	CO-9
		Neutro	Mitsubishi	CO-9
	Freno Seguro	Fase	Mitsubishi	CO-9
		Neutro	Mitsubishi	CO-9
	Oramas	Fase	Mitsubishi	CO-9
		Neutro	Mitsubishi	CO-9
González				



**Figura 4.** Armarios de la Subestación Durán Norte.

## 2. ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

El Estudio de Flujo de Carga nos proporciona información sobre:

- ❖ Corriente del Sistema (I)
- ❖ Voltaje en las barras (V)
- ❖ Potencia Activa (P)
- ❖ Potencia Reactiva (Q)
- ❖ Factor de potencia (Fp)

Estos parámetros necesitan estar dentro de los rangos establecidos en los estándares y normas del sistema de distribución.

## 2.1 Introducción.

Para la realización del estudio de flujo de carga haremos uso del software PowerWorld Simulator Versión 18 Licencia Educacional, el cual nos permite realizar la simulación del comportamiento del sistema de distribución de la Subestación Durán Norte a valores de máxima y mínima carga.

## 2.2 Criterios adoptados para el estudio

- ❖ **Flexibilidad Operacional.** La subestación Durán Norte se alimenta desde la subestación Dos Cerritos 230/69KV después de pasar por algunos puntos de derivación que son a nivel de 69KV, pero existe la posibilidad de alimentar la subestación desde otro circuito de la misma subestación Dos Cerritos mediante una interconexión en la subestación Puntilla.
- ❖ **Niveles de Confiabilidad.** Durán Norte alimenta cargas muy importantes de la urbe incluida una gran parte de la zona industrial, es por esta razón que existen la posibilidad de interconexiones con otros alimentadores provenientes de la subestación Durán Sur.
- ❖ **Niveles de sobrecarga.** No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas de los mismos. Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA (Sumergido en aceite con enfriamiento natural).
- ❖ **Regulación de Voltaje.** Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 5% hacia arriba y 5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa.

## 2.3 Flujo de Carga - Demanda máxima

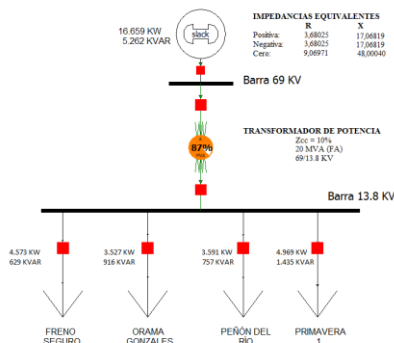


Figura 5. Flujo de Carga – Máxima Demanda.

## 2.3.1 Voltajes y Carga en las barras (D. Max.)

Tabla 6. Voltaje en barras para demanda máxima.

No	Nombre	Nominal (kV)	Volt. (pu)	Volt. (kV)	Ángulo °C
1	Barra 69 kV	69	1	69	0
2	Barra 13,8 kV	13,8	0,9772	13,490	-4,89°

## 2.3.2 Consumo de Potencia total (D. Max.)

Tabla 7. Consumo para carga máxima.

Consumo - Carga Máxima		
Barra de Carga	MW	MVAR
13,8 kV	16,659	5,262

Los parámetros tanto de caída de voltaje como cargabilidad de los conductores están dentro de los rangos permitidos en las normas técnicas de distribución.

## 2.4 Flujo de Carga - Demanda mínima

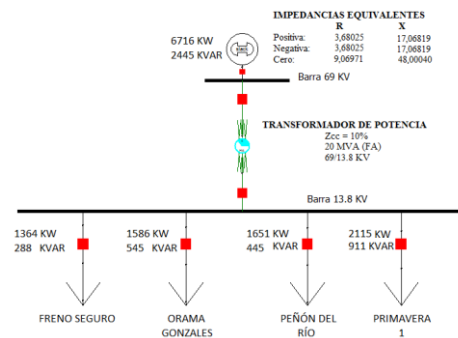


Figura 6. Flujo de Carga – Mínima Demanda.

## 2.4.1 Voltajes y Carga en las barras (D. Mín.)

Tabla 8. Voltaje en barras para demanda mínima.

No	Nombre	Nominal (kV)	Volt. (pu)	Volt. (kV)	Ángulo °C
1	Barra 69 kV	69	1	69	0
2	Barra 13,8 kV	13,8	0,988	13,64	-1,947°

## 2.4.2 Consumo de Potencia total (D. Min.)

**Tabla 9.** Consumo para carga mínima.

Consumo - Carga Mínima		
Barra de Carga	MW	MVAR
13,8 kV	2,796	0,943

Como se puede apreciar para el caso de demanda mínima la caída de voltaje en los conductores es mínima y la cargabilidad de los conductores también está dentro de los rangos establecidos en las normas técnicas de distribución.

## 3. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

### 3.1 Introducción.

En el análisis de corto circuito, las fallas del sistema se manifiestan como condiciones anormales de operación que nos podrían conducir a uno de los siguientes fenómenos:

- ❖ Indeseables flujos de Corrientes.
- ❖ Presencia de Corrientes de magnitudes exageradas que podrían dañar los equipos.
- ❖ Caída de Voltaje en la vecindad de la falla que puede afectar adversamente la operación de las maquinas rotatorias.
- ❖ Creación de condiciones peligrosas para la seguridad del personal.

### 3.2 Datos del Sistema

#### 3.2.1 Impedancia Equivalente-Punto de Entrega de la Empresa Eléctrica

**Tabla 10.** Impedancia Equivalente.

Base 100MVA	R1 p.u.	X1 p.u.	X/R	R0 p.u.	X0 p.u.
Máx. Barra Gen. 69KV	0.0753	0.3382	0.2227	0.1905	1.0082
Mín. Barra Gen. 69KV	0.0773	0.3585	0.2157	0.1905	1.0082

#### 3.2.2 Datos de conductores.

Los conductores son elementos pasivos en el análisis de cortocircuito, por lo que sus características técnicas son similares a las aplicadas en los estudios de flujo de carga.

#### 3.2.3 Datos del transformador.

Igual que en el caso de los conductores los transformadores son elementos pasivos en el análisis de cortocircuito, sus características técnicas son

análogas a las utilizadas en los estudios de flujo de carga.

## 3.3 Resultados del Estudio de Corto Circuito.

### 3.3.1 Corrientes de falla en cada una de las barras.

Se muestra en la tabla siguiente los resultados obtenidos en la simulación de las diferentes fallas en el sistema eléctrico, tanto para el lado de 69KV como en el lado de 13.8KV.

**Tabla 11.** Resumen de las corrientes de falla

Tipo Falla	69 kV		13,8 kV	
	Icc (A)	Icc (p.u.)	Icc (A)	Icc (p.u.)
Fase Tierra	1479,8	1,769	5883,7	1,406
Línea - Línea	2157,6	2,579	4441,5	1,062
Dos Fases tierra	2256,9	2,697	5944,9	1,421
Trifásica	2491,5	2,978	5128,7	1,226

### 3.3.2 Corrientes de Corto circuito máxima en la Subestación Durán Norte

En la tabla a continuación mostramos la tabla donde observamos los valores de máxima falla obtenidos en el estudio de corto circuito.

**Tabla 12.** Corriente de cortocircuito máximas en la subestación Salinas

	69 KV	13,8 kv
	I <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>
Amperios	2491,5	5944,9
p.u.	2,978	1,421
Falla	3Ø	LLG

## 4. PROTECCIÓN DE LA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Las subestaciones forman parte indispensable de los sistemas eléctricos de potencia pues son centros de transformación de energía que enlazan las líneas eléctricas de alta tensión con las líneas de media tensión o viceversa, dependiendo del tipo de subestación que se esté analizando, ya que una subestación es un conjunto de aparatos de maniobra y circuitos instalados en un lugar determinado que tienen la función de modificar los parámetros de tensión y corriente.

#### 4.1 Esquema de Protección

La protección de la S/E Durán Norte está comprendida por el relé SPAD 346 C que consta del módulo de relé diferencial SPCD 3D53 que sirve para proteger el transformador ante una falla eventual y el relé SPAJ 140 C el cual consta de un módulo de relé combinado de sobre-corriente y falla a tierra SPCJ 4D29 que sirve para la protección de las alimentadoras.

Dentro de las características del módulo de relé diferencial SPCD 3D53 abarca los siguientes tipos de protecciones:

- Protección diferencial entre fases.
- Los ajustes son los mismos en cada fase.
- Mide las corrientes de fase en el lado de AT y BT del transformador que debe proteger.

#### 4.2 Ajuste de la Protección del Transformador de Potencia

El transformador de la Subestación Durán Norte es de procedencia china marca CHINT el cual se lo ubica como de categoría III ya que es un transformador trifásico y capacidad entre 5 y 30 MVA. A continuación se muestra un resumen del ajuste de la protección 87.

**Tabla 13.** Resumen de Ajuste de la Protección 87

Ajuste del 87	
Transformador 16/20 MVA	
Lado de Alta	
Conexión	Delta
Corriente nominal	133.87
Relación CT	250:5
Corriente de puesta en trabajo	
Lado de Baja	
Conexión	Estrella
Corriente nominal	669.37
Relación CT	1000:5
Corriente de puesta en trabajo	
Errores	
%Error por TAP	10
%Error por CT	5
%Error Mismatch	0.85
%Error por Corriente de magnetización (Inrush)	10
Ajuste	
Puesta en trabajo mínimo	0.4
Pendiente 87	30%

### 5. COORDINACIÓN DE LAS PROTECCIONES

Para el estudio de la coordinación de las protecciones nos basaremos en el software CYMTCC 4.5 Rev. 13

que nos permite realizar estudios de protecciones contra sobrecorrientes en redes industriales, comerciales y de distribución eléctrica. El software cuenta con una extensa base de datos que contiene muchos dispositivos de protección de diferentes fabricantes.

#### 5.1 Protección del Sistema de Distribución

Para los diferentes ajustes que se realizaron en este capítulo es de vital importancia los valores obtenidos en el estudio de flujo de carga y corto circuito como son las corrientes de fallas tanto máximas y mínimas así como también conocer los valores nominales de corriente de cada alimentadora.

#### 5.2 Coordinación de las Protecciones del Sistema de Distribución

##### 5.2.1 Coordinación de los Relés SPAD 346C y SPAJ 140C

La coordinación de la Protección en las alimentadoras incluye el relé 51 presente a la salida de cada alimentadora, el relé 51 en el lado de baja del transformador y el relé 51 en el lado de alta del transformador, los dos primeros corresponden al SPAD 346C y para la alimentadora tenemos el SPAJ 140C.

##### 5.2.2 Alimentador Freno Seguro

A continuación se muestra la coordinación de las protecciones para la alimentadora Freno Seguro.

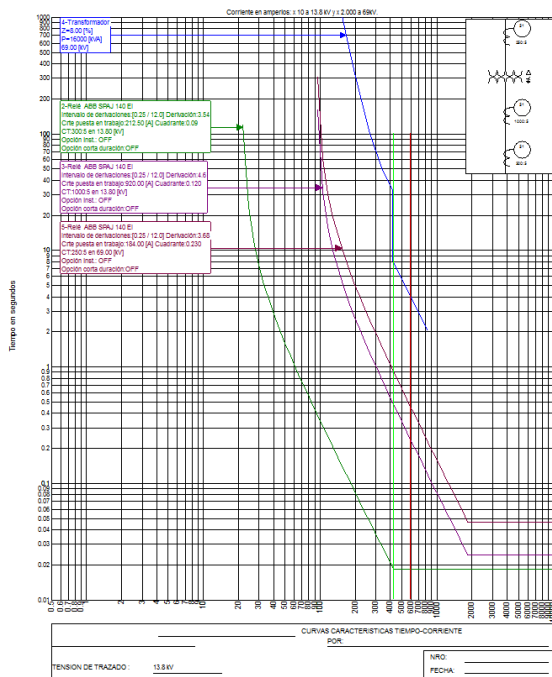


Figura 7 Coordinación Alimentador Freno Seguro

En la gráfica obtenida en el software CYMTCC podemos observar que para cualquier falla en una de los ramales o transformadores, primero opera el SPAJ 140C del alimentador, luego el SPAD 346C del lado de baja del transformador y por último el relé SPAD 346C del lado de alta.

La línea de color rojo indica la máxima corriente de falla obtenida en el estudio de corto circuito en el lado de 13.8Kv y 69Kv respectivamente, mientras que la verde indica la mínima.

La curva de color verde oscuro corresponde a la del Relé SPAJ 140C la cual está ajustada de acuerdo a la carga total instalada en cada una de las alimentadoras.

Se observa que la función 51 del relé tanto en el lado del primario y secundario del transformador, que se muestran en color morado, están por debajo de la curva de daño del transformador, mostrada en color azul, lo cual indica correcta coordinación de las protecciones en pro del transformador.

### 5.3 Resultados de la Coordinación

#### 5.3.1 Resumen de Ajuste 87,50-51

Tabla 14. Resumen de ajustes de la protección del Transformador.

Tipo	KV LL	Inom (A)	Relac. CT	I aj. Sec.	Tipo Cur v.	TD
87	AT	167.3	250:5	3.35	inst.	-
	BT	836.7	1000:5	7.44	-	-
51P1	AT	167.3	250:5	3.68	e. i.	0.12
51P2	BT	836.7	1000:5	4.48	e. i.	0.23
50P1	AT	167.3	250:5	54.8	inst.	-
				1		
50P2	BT	836.7	1000:5	32.7	inst.	-
				0		
51G2	BT	836.7	600:5	1.39	e. i.	-

### 5.3.2 Resumen de Ajustes SPAJ 140C

Tabla 15. Resumen de los ajustes para los SPAJ 140

Alimentador	Freno Seguro	Primavera 1	Orama Gonzales	Peñón del Río
I carga máxima	193,12	216,38	152,45	153,54
I sobre carga del 10%	212,43	238,02	167,70	168,90
I pick up en el TC	3,54	3,967	2,795	2,815
TD	0,09	0,09	0,09	0,09

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La potencia que consume la subestación Durán Norte desde la línea de subtransmisión Dos Cerritos es de 16.66 MW y 5.26 MVAR para carga máxima, y 6.72 MW y 2.44 MVAR para carga mínima sin exceder el 87.35% de la capacidad en FA (20 MVA) manteniendo su regulación de voltaje dentro del 5%.
- Del estudio de cortocircuito se obtuvo que para la barra de 13,8 [KV], la mayor corriente de cortocircuito presente en las fases se tiene para la falla trifásica, lo que corresponde a 5944,93 [A] en las fases "a", "b" y "c"; mientras que la menor se tiene para la falla de línea a línea, lo que corresponde a 4262,92 [A] en la fase "a". Para la barra de 69 [KV], la mayor corriente de cortocircuito presente en las fases se tiene para la falla de dos líneas a tierra, lo que corresponde a 2491,46 [A] en las fases "a" y "b"; mientras que la menor se tiene para la falla de línea a tierra, lo que corresponde a 1479,80 [A] en la fase "a".
- Con los resultados antes mencionados, obtenidos del estudio de cortocircuito, se ajustó la protección de sobrecorriente

instantánea (50P), cuyo valor de puesta en trabajo fue determinado con las máximas corrientes de cortocircuito en el lado de alta y baja tensión. Debido a que solo existen circuit breakers tanto en el lado de baja como en el lado de alta del transformador principal, la curva del relé de sobrecorriente (51P-1) en el lado de alta tiene diferente ajuste que la del relé de sobrecorriente (51P-2) en el lado de baja.

- Para realizar las coordinaciones de las protecciones de respaldo en este trabajo se utilizó un tiempo de coordinación de 0.20 segundos de manera que se está respetando el rango establecido por la norma IEC, el cual recomienda un rango de coordinación de 0.15 a 0.25 segundos.
- El ajuste y coordinación desarrollada en este trabajo asegura una correcta protección al transformador de potencia, equipo de mayor importancia e inversión económica.

[4] Schweitzer Engineering Laboratories Inc, SEL-751A Feeder Protection Relay, Schweitzer Engineering Laboratories, Version 2013.

[5] John J. Grainger, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño, Tercera Edición.

[6] IEEE, Guide for Protecting Power Transformer, IEEE, 2008.

[7] McGraw-Edison Company, Manual Overcurrent Protection for Distribution System, Power System Division.

[8] IEEE STD. C37.91-2008, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers.

## Recomendaciones

1. Recomendamos y proponemos cambiar los relés electromecánicos por los relés digitales mencionados a lo largo del Capítulo 4 y con los cuales realizamos la coordinación de protecciones en el Capítulo 5.
2. La subestación Durán Norte tiene, en el arranque de sus alimentadoras, pararrayos dañados; por esto, recomendamos instalar pararrayos en buen estado.

## 1. BIBLIOGRAFÍA

[1] ABB Inc, Manual del usuario y descripción técnica SPAD 346 C Relé Diferencial estabilizado, ABB, Versión A Septiembre 2001.

[2] ABB Inc, Manual del usuario y descripción técnica SPAJ140 C Relé combinado de sobrecorriente y falla a tierra, ABB, Versión C Abril 2004.

[3] ABB Inc, Product Guide SPAA 341 C Feeder protection relay, ABB, Version D Julio 2006.