



## Estudio de la Coordinación de las Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados al Centro Comercial Policentro

Geovanny Cando<sup>(1)</sup>, Gonzalo Toasa<sup>(2)</sup>, Henry Cruz<sup>(3)</sup>, Juan Saavedra<sup>(4)</sup>

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

geosantiago22@hotmail.com<sup>(1)</sup>, gonzalo\_toasa@hotmail.com<sup>(2)</sup>, hgcg1322@hotmail.com<sup>(3)</sup>,

JSAAVEDRA@hidronacion.org<sup>(4)</sup>

### Resumen

*El presente estudio aborda un campo muy importante en el diseño de un sistema eléctrico ya sea comercial o industrial, este es la coordinación de las protecciones eléctricas. De la coordinación de las protecciones depende el buen o mal funcionamiento del sistema eléctrico.*

*Este estudio consiste en la coordinación de las protecciones desde la Subestación Principal (69/13.2 KV) hasta las barras de carga a 440 y 220V. A nivel de 69KV y hasta la barra principal a 13.2 KV la protección se la realiza mediante reles electrónicos Westinghouse tipo digitrip. Las líneas de 13.2KV se las protege con reles electrónicos y fusibles INEPAR en su mayoría, como se vera mas adelante. Las barras a 440V y 220V se las protegen con Breakers Geneal.Electric Regulables.*

**Palabras claves:** *coordinación, protecciones eléctricas.*

### Abstract

*This study addresses an important field in the design of an electrical system either commercial or industrial, this is the coordination of electrical protection. The coordination of the protection depends on the good or electrical system mal function.*

*This study involves coordination of the protections from Main Substation (69/13.2 KV ) to the load bars 440V and 220V. A level of 69kV and up to the main bar to 13.2 KV the protection is done via the electronic relays digitrip Westinghouse type. The lines of 13.2KV are protected with electronic relays and fuses INEPAR in most cases, as will be seen later. The bars at 440V and 220V are protected by the Geneal.Electric Adjustable Breakers.*

**Keywords:** *coordination, electrical protection*



## 1. Introducción

El presente documento corresponde al proyecto final de graduación, que tiene por nombre “Estudio de la Coordinación de las Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados al Centro Comercial Policentro”.

El primer capítulo describe en forma general las instalaciones eléctricas existentes en el Centro Comercial. En el capítulo dos se muestra el estudio de flujo de carga en el caso actual (que se denominó caso base) y del caso optimizado, el caso actual trata al sistema eléctrico como se lo encontró antes del estudio mientras que el caso optimizado trata el caso con los cambios hechos para un correcto funcionamiento operativo técnico-económico de sistema eléctrico del Centro Comercial.

En el capítulo 3, se utiliza los datos del capítulo 1 y capítulo 2 (casos base y optimizado) para realizar el estudio de cortocircuito del Centro Comercial, este estudio es de importancia para la futura coordinación de las protecciones eléctricas para las corrientes de falla máxima y mínima. En el capítulo 4 muestra ya la coordinación de los equipos de protección para corrientes de falla en cada barra ya con sus ajustes y correctivos a tomar.

## 2. Marco teórico

### 2.1 En que consiste el estudio de Coordinación de Protecciones

El Estudio de Coordinación de Protecciones consiste en realizar el esquema de protecciones contra sobrecorrientes del Sistema Eléctrico. En éste se representa gráficamente el comportamiento de la corriente de operación de las protecciones en función del tiempo. Cada dispositivo tiene una gráfica de tiempo corriente que en algunos casos puede ser fija y en otras ajustable, con esto se busca lograr la máxima protección sin que se traslapen las curvas de operación de las protecciones, en otras palabras, que las fallas de sobrecorrientes sean aisladas por la protección inmediata y no se pierda continuidad en todo el sistema.

### 2.2 Justificación

El Estudio de Coordinación de Protecciones tiene un impacto directo sobre la Seguridad Eléctrica y la Producción continua en la planta. En caso de presentarse una falla por sobrecorrientes, la protección deberá operar inmediatamente antes de que los cables

o los equipos se dañen y se provoque un conato de incendio. El dispositivo que protege al circuito fallado deberá aislar la falla sin que las otras protecciones tengan que dispararse. De acuerdo a la Ley sobre Instalaciones, Suministro y Uso de la Energía Eléctrica (NOM-001-SEDE-1999) en el art. 110-10. “... Deben coordinarse de tal manera que permita a los dispositivos de protección del circuito, eliminar una falla sin que ocurran daños que se extiendan a los componentes eléctricos del mismo...”. Además es requisito indispensable tener este Estudio actualizado en las auditorías de la certificación ISO 14000.

### 2.2 Requerimientos

Para elaborar el Estudio de Coordinación de protecciones será necesario tener actualizado el diagrama unifilar del Sistema Eléctrico con los modelos y capacidades de todos los dispositivos de protección contra sobrecorrientes.

### 2.3 Plataforma

El Estudio de Coordinación de Protecciones debe ser realizado con Software Especializado de Ingeniería Eléctrica.

## 3. Herramientas utilizadas.

En esta sección se detallan los equipos y simuladores utilizados para coordinación de las protecciones.

### 3.1 Equipo de medición digital

El equipo utilizado para medición fue un Fluke 115 que posee elementos de medición de voltaje corriente, continuidad y demás como cualquier amperímetro normal de gancho pero cuenta con la facilidad de adaptar un equipo adicional que tiene un cargador y una sonda con lo que podemos medir corrientes de mayor magnitud de hasta 2000A, dicha sonda es flexible y lo suficientemente grande para abrazar varios cables de gran diámetro, la sonda se la instala con facilidad y mediante la conversión que se indica en el cargador se procede a interpretar las mediciones obtenidas, para nuestro caso se tomó la escala de 1mV equivalente a 1A es decir que por cada milivoltio que midamos tendremos un amperio. De esta forma el Fluke nos ayudó a conocer la potencia que consume cada carga.



### 3.2 Power World

Power World versión 14 es un simulador de flujos de carga y de corrientes de falla, de gran precisión que arroja resultados en forma visual. Para realizar las simulaciones con éxito los datos de impedancia de línea y transformadores deben ser ingresados en por unidad referidas a una determinada base, para nuestro estudio se eligió una base de 10MVA. In dependientemente de la base utilizada el resultado que arroje el programa será el mismo.

El simulador que utilizamos puede ser utilizado en un sistema de máximo hasta 14 barras, si se tiene un sistema que cuenta con mas barras de las antes mencionada se puede utilizar Power World versión 12 el cual simula un sistema de hasta 42 barras.

### 3.3 ECSA

Los equipos de protección que se utilicen en un sistema eléctrico deben tener sus curvas de operación definida, las cuales deben coordinar entres si para poder operar de forma correcta. Para dicha coordinación se puede usar una herramienta computacional llamada “ECSA”, la cual nos permite realizar la coordinación en forma grafica. Sin embargo dicha herramienta puede ser reemplazado por EXCEL sin que el estudio de coordinación de las protecciones se vea afectado. Para nuestro estudio preferimos utilizar EXCEL.

## 4. Descripción del Proyecto

El proyecto tiene 3 objetivos: Primero, por medio de la simulación de flujo de carga verificar la realidad eléctrica actual del C.C.Policentro, a esto se denominara Caso Base; Segundo, hacer las correcciones necesarias para que el sistema cumpla con los criterios adoptados para este estudio, a esto se denominara Caso Optimizado; Tercero, con la ayuda del segundo objetivo realizar un análisis de falla para luego poder realizar la coordinación de las protecciones.

### 4.1 Criterios adoptados para el estudio

#### 4.1.1 Flexibilidad Operacional

El sistema podrá funcionar alimentado por la Empresa Eléctrica o por medio de los Generadores de Emergencia sin ninguna restricción. El sistema cumple este criterio gracias a los dos generadores de 1.6 MW.

#### 4.1.2 Niveles de Confiabilidad

El sistema debe proveer la continuidad del servicio y la alimentación a las instalaciones del Centro Comercial en forma prioritaria, ante la existencia de falla de un elemento un del Sistema. Este requisito es cumplido por medio de las 2 alimentadoras radiales que pueden interconectarse a nivel de 13,2Kv, barras “E” y Tosi.

#### 4.1.3 Niveles de sobrecarga

No se aceptan sobrecarga en los cables del Sistema mayores a la cargabilidad establecida en las especificaciones técnicas. Para el caso de los Transformadores Convencionales de Fuerza, la carga no debe exceder su capacidad OA. En este sentido la mayoría de los transformadores son OA. En el Caso Base se encontrara si hay o no sobrecarga

#### 4.1.4 Regulación de Voltaje

Los voltajes a nivel de barras del Sistema no deben exceder del 2.5% hacia arriba y 2.5% hacia abajo, ante cualquier contingencia operativa. En la simulación con el programa Power World se verificara que esto se cumpla, sino será corregido en el caso optimizado.

## 4.2 Datos del Sistema

Con la ayuda del diagrama unifilar que se obtuvo luego de realizar el recorrido de las instalaciones del C.C.Policentro se pudo ubicar las cargas para determinar las potencias de consumo de cada una de ellas.

Barra	KV	MW	MVAR	Iny. React.
S/E 69 KV	69	0	0	0
S/E 13,2 KV	13,2	0	0	0
BARRA “D” 13,2 KV	13,2	0	0	0
LOAD “D” 220 V	0,22	0,40	0,17	0
LOAD “D” 440 V	0,46	0,22	0,20	0,16



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



BARRA "E" 13,2 KV	13,2	0	0	0
LOAD "E1" 220 V	0,220	0,30	0,09	0
LOAD "E2" 220 V	0,220	0,12	0,03	0
BARRA TOSI 13.2 KV	13,2	0	0	0
TOSSI 440 V	0,46	0,40	0,22	0,16
BARRA "G" 13,2 KV	13,2	0	0	0
LOAD "G" 440 V	0,48	0,69	0,39	0,25
LOAD "G" 220 V	0,208	0,31	0,13	0

**Tabla 1. Datos de barras**

Por simplicidad de aquí en adelante desde la barra S/E 69KV hasta LOAD G 220V se las indicara con número del 1 al 13 respectivamente.

### 4.3 Caso Base

Con los datos de líneas, conductores, transformadores de fuerza y datos de barra (tabla 1) se dibujo el sistema en el simulador. Los resultados mostraron que las barras "LOAD D 220V" y "LOAD E1 220V" no estaban cumpliendo con el criterio de regulación de voltaje.

### 4.4 Caso Optimizado

En el caso optimizado se cambio el tap de los transformadores que se conectan a las barras mencionadas en el caso base, con la finalidad de corregir el problema del nivel de voltaje. Acotar que en el análisis de flujo de carga del C.C.P se noto que el sistema eléctrico no tiene problema de bajo factor de potencia (0.95 actualmente) y además cuentan con banco de capacitores de reserva para ingresar en caso de que el factor de potencia baje del valor establecido por la empresa eléctrica, por tal motivo no es necesario la inclusión de nuevos bancos de capacitores.

### 4.5 Análisis de falla

Para la realización del análisis de falla se pidió información a la Eléctrica de Guayaquil sobre los MVA de Corto Circuito y las Impedancias de Thévenin en la barra de interconexión del centro comercial con la empresa eléctrica. Por simplicidad solo mostraremos en la tabla 3 las Impedancias de Thévenin las cuales se encuentran en bases de 10 MVA.

Secuencia	R (pu)	X (pu)
Positiva	0,0029388	0,0104907
Negativa	0,0029388	0,0104907
Cero	0,0063730	0,0474520

**Tabla 2. Impedancias Equivalentes**

Estas Impedancias se aplicaran para los cálculos de la Corriente Momentánea y la corriente a interrumpir debido a que la Empresa Eléctrica es considerada siempre como una barra infinita que se caracteriza por no tener decremento de la corriente alterna. Con la ayuda de las tablas 3, 4 y la ayuda del simulador Power World se calculo las corrientes de falla máxima y mínima en cada barra. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla

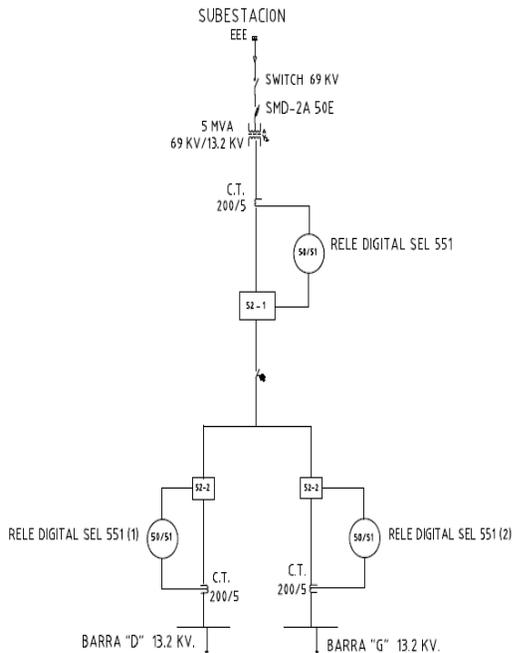
BARRA	I Max de Falla [A]		I Min de Falla [A]	
	Tipo de Falla		Tipo de Falla	
1	7692,860 (LLL)		2356,360 (LL-T)	
2	8719,510 (LL-T)		2517,450 (L-L)	
3	8349,440 (LL-T)		2499,960 (L-L)	
4	30802,100 (LL-T)		23988,700 (L-L)	
5	18168,000 (LL-T)		13596,200 (L-L)	
6	8166,350 (LL-T)		2491,060 (L-L)	
7	32186,800 (LL-T)		24923,500 (L-L)	
8	26448,400 (LL-T)		20720,400 (L-L)	
9	8095,110 (LL-T)		2487,670 (L-L)	
10	18117,100 (LL-T)		13588,100 (L-L)	
11	8349,840 (LL-T)		2500,100 (L-L)	
12	34250,300 (LL-T)		22796,900 (L-L)	
13	35359,500 (LL-T)		27445,300 (L-L)	

### 4.6 Coordinación de las Protecciones

La información básica para el ajuste y coordinación de las protecciones provienen de los estudios de flujo de carga, cortocircuito realizados en las secciones anteriores. Los estudios se los realiza con los siguientes objetivos:

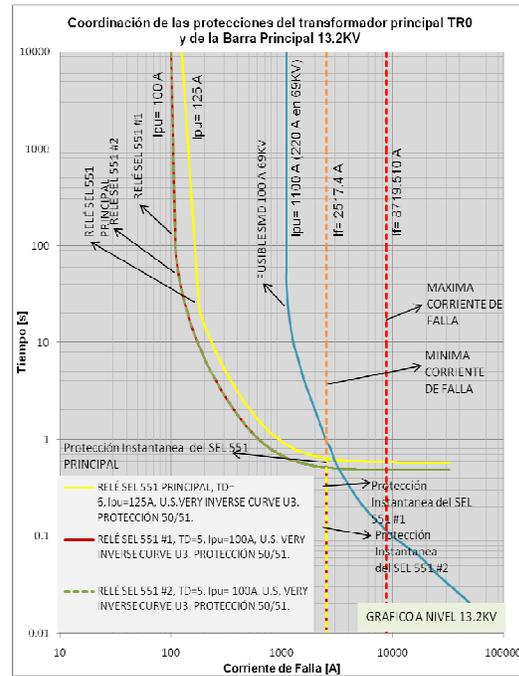
- ✓ Determinar los ajustes de los equipos de protección, los cuales son establecidos considerando el sistema bajo condiciones de falla.
- ✓ Determinar la coordinación de las protecciones del sistema propiamente con la protecciones del sistema de la Eléctrica de Guayaquil
- ✓ La aplicación del estudio permitirá ajustar los equipos para un despeje oportuno y selectivo en caso de falla.

Se debe indicar que los 3 relés electrónicos marca Westinghouse con que cuenta el centro comercial serán reemplazados por relés marca SEL 551, tipo digital. Este cambio se lo hace porque dichos relés tienen casi 20 años de uso y además no están operando de forma correcta. El fusible tipo E de 50 A que se encuentra instalado actualmente (lado de alta de transformador principal) será reemplazado por un fusible del mismo tipo pero de mayor capacidad 100 A, esto se lo hizo para poder realizar la coordinación correctamente.



**Grafico 1. Esquema de Protección de la subestación**

Luego de presentar el esquema de protección mostramos como es la forma de la curva y los ajustes de los equipos de la subestación principal y la barra de 13.2KV



**Figura 2. Coordinación transformador principal y barra de 13.2KV**

Se debe indicar que las curvas mostradas están referidas a nivel de 13.2KV. Además de mostrar la forma de las curvas, el gráfico 2 muestra los equipos utilizados y el ajuste de dichos equipos. El esquema de protección mostrado es el más importante de todo el sistema, las demás curvas de protección son de forma similar.

### 2. Aplicaciones

Este análisis es utilizado en sistemas eléctricos tipo industrial o como en nuestro caso a un centro comercial, la mayor parte de las industrias no cuentan con programas de simulación que permitan verificar en todo momento la realidad actual del sistema, produciendo que cuando se instalen nuevas cargas no se conozca si el voltaje que reciba dichas cargas sea la correcta o peor si la protección a utilizar coordina con las protecciones ya existentes. Nuestro trabajo propone que el centro Comercial o cualquier industria tengan una herramienta de análisis del sistema



# ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

## CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



eléctrico que le permite simular en forma planificada la instalación de nuevas cargas o mejorar la distribución de cargas existentes.

### Conclusiones y Recomendaciones

- ✓ Se puede concluir que los ajustes permiten condiciones transitorias normales de operación como las corrientes de magnetización de cada uno de los 8 transformadores.
- ✓ Los tiempos de coordinación para la protección de respaldo en cada una de las barras están dentro del rango 0.15 y 0.4 segundos, estos tiempos de coordinación se los obtuvieron de las curvas de los dispositivos de protección para máxima corriente de falla.

- ✓ Cambiar los fusibles existentes por nuevos y modernos fusibles; debido a que los fusibles que se encuentran actualmente son muy antiguos y no existen manuales o catálogos sobre la información de dichos fusibles.
- ✓ Cambiar los relés existentes en el centro comercial por relés modernos tipo digital.

### Referencias

- [1] Enriquez Harper, fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Revelados, Editorial LIMUSA, México 1984.
- [2] Stevenson Willian, Análisis de Sistemas de Potencia, Editorial Mc GRAW-HILL, México 2004.
- [3] Sel Manual Técnico del relé SEL 587  
<http://www.selinc.com/SEL-587> Septiembre 2009