

# Estudio del Aumento de Capacidad y Creación de Nuevas Alimentadoras para la Subestación de Distribución

Alberto Fernando Riera Carbo<sup>1</sup>, Juan Gallo Galarza<sup>2</sup>.  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
[ariera@categ.com.ec](mailto:ariera@categ.com.ec); [jgallo@espol.edu.ec](mailto:jgallo@espol.edu.ec)

<sup>1</sup>Egresado en Ingeniería en Electricidad, Especialización Potencia 2007.

<sup>2</sup>Director de Tesis de Grado, Ingeniero en Electricidad, especialización Potencia, ESPOL.

## Resumen

*El estudio que se presenta a continuación proporcionará las bases técnicas que justifican la creación de una nueva subestación de distribución en el sector suroeste de la ciudad, así como de dos nuevas alimentadoras en media tensión, incluyéndose todos los costos que implican realizar estas mejoras en el sistema.*

*Se procederá a realizar los cálculos y análisis correspondientes para efectuar los estudios de perfil de voltaje y de pérdidas que tendrán inicialmente las nuevas alimentadoras diseñadas, así como para los parámetros de construcción de la malla de puesta a tierra de la subestación Padre Canals 2.*

*Para el diseño de la malla de puesta a tierra propuesta, se consideraron todos los aspectos, tanto físicos como técnicos, necesarios para que cualquier corriente de falla que se presente, se disperse de una manera rápida y efectiva*

## Abstract

*The study that is presented next will provide the technical bases that justify the creation of a new distribution substation in the Southwest sector of the city, as well as of two new feeders in half tension, being included all the costs that imply to carry out these improvements in the system.*

*You will proceed to carry out the calculations and corresponding analysis to make the studies of voltage profile and of losses that will have the new designed feeders initially, as well as for the construction parameters of the earth mesh of the substation Padre Canals 2.*

*For the design of the earth mesh, they were considered all the aspects, so much physical as technicians, necessary so that any flaw current that it is presented, be dispersed in a quick and effective way*

## 1. Introducción

Cada año el departamento de Planificación y Control de la CATEG (Corporación para la Administración Temporal Eléctrica de Guayaquil) elabora el Plan de Expansión del sistema, basándose en las necesidades actuales y proyecciones futuras necesarias para que en el año entrante se siga manteniendo la confiabilidad del sistema.

El estudio que se presenta comprende todos los fundamentos técnicos y económicos que sustentan la creación de ciertas obras para conservar la continuidad del fluido eléctrico, entre las cuales están la creación de la subestación Padre Canals 2 y la construcción de dos nuevas alimentadoras, que servirán para la descarga de aquellas que se encuentran en el límite técnico de operación.

Los programas desarrollados en esta tesis, pueden ser de gran ayuda a nivel profesional, debido a que nos pueden dar una idea concreta del comportamiento que vaya a tener el sistema que se va a analizar.

## 2. Análisis actual del sistema

### 2.1. Análisis técnico considerado para la creación de la subestación Padre Canals 2.

El presente numeral se expone debido a que el proyecto de construcción de la subestación en mención nació en respuesta a las condiciones de carga que existían en el año 2005, por tal motivo se presentan los objetivos, estudios y la descripción del Plan de Expansión de hace dos años, con las obras que el Operador designado para la Administración de la Corporación Eléctrica de Guayaquil (CATEG-SD), llevó a cabo según su gestión para no afectar la continuidad y calidad del servicio, ni la condición de los activos del sistema de Distribución [1].

La demanda máxima registrada en diciembre del 2005 (máxima del año 2005) se produjo el día miércoles 22 de Diciembre de 2005 a las 19H15, con un valor de 645.82 Mw. incluidos los grandes consumidores de mercado eléctrico ecuatoriano que se encuentran en nuestra área de servicio.

Considerando que en el comportamiento de la carga, existen ciertas alimentadoras de 13,8 Kv. que no registran su demanda máxima en la hora pico (19H00) sino en las horas de demanda media (11H00), se determinó los valores registrados en la hora 11H00 del día en que se produjo la máxima del sistema (22 de diciembre 2005) [2].

Las líneas de distribución con carga mayor a 7 MVA. son las siguientes:

**Tabla 2-1 Líneas a 13,8 Kv. que superan los 7 Mva.**

Línea de 13,8 KV.	CARGA (MVA.)
SAMANES	7.68
COMEGUA	7.78
EL FORTÍN	7.82
TENIENTE HUGO	7.45
DEL MAESTRO	7.59
LOS ESTEROS	8.52
ABDON	7.52
CUBA	7.01
UNION DE	7.46
FERTISA	7.74
MAPASINGUE 3	7.02
MAPASINGUE 4	7.17
SUBURBIO 2	7.65
SUBURBIO 3	7.55

## 3. Subestaciones de subtransmisión eléctricas

Se define a la subestación eléctrica como el conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia: sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia

### 3.1. Elementos constituyentes de una subestación de subtransmisión

La configuración y disposición de los elementos o equipos primarios en una subestación eléctrica a 69 KV. está gobernada fundamentalmente por el tipo de esquema de barras que se utiliza. Se trata de mantener diseños normalizados de disposición para cada módulo característico (entrada del tap a la subestación, GCB, transformador, acoplamiento o transferencia), en cada uno de los niveles de voltaje [3].

El diseño de la disposición o ubicación se desarrolló bajo los siguientes criterios:

- Mantener las distancias mínimas entre fases y de fase a tierra.
- Mantener las distancias libres necesarias entre partes conductoras y el suelo
- Disponer las distancias suficientes entre elementos, tales que faciliten

- las labores de construcción, operación y mantenimiento.
- Ubicar las posiciones (BAYS) de cada nivel de voltaje, de tal manera que se consiga una distribución uniforme de corriente en barras.
  - Proveer suficiente espacio para desmontar y remover cualquier elemento, sin necesidad de remover otros.
  - Contar con adecuadas vías internas para movilización de equipos y personal
  - Prever espacios para futuras expansiones
  - Ubicar las casas de control lo más cercanas al centro geométrico de las Subestaciones, a fin de evitar longitudes exageradas de los circuitos de control.

#### 4. Diseño de la alimentación a 69 Kv. para la subestación P. Canals 2

Considerando el aumento de carga que va a tener la subestación P. Canals en el sector que este provee, el sistema eléctrico de la ciudad de Guayaquil requiere tener una mayor flexibilidad y versatilidad en su sistema de subtransmisión, por tal motivo el tap proveniente de la L/T Chambers que alimenta a la S/E P. Canals, cuyo calibre es 4/0 ASCR, no tiene la capacidad suficiente (32 Mva.) para alimentar a los dos transformadores de poder (36 Mva.); por lo que es necesario realizar el cambio de conductor (477 ASCR) de la alimentación a 69 KV. a la subestación en mención.

##### 4.1. Costo de la construcción del tap a la subestación

Debido al aumento de carga que va a tener el tap existente a la subestación a construir, se requiere una inversión significativa, razón por la cual este plan que corresponde al Cambio de Tap para la subestación P. Canals 2 deberá ejecutarse de manera impostergradable. En la siguiente tabla se muestra un resumen del presupuesto a ser utilizado

**Tabla 4.1. Costos tap**

<b>Construcción del tap para S/E. P. Canals 2</b>	
Línea 69 Kv.	\$ 35.191,69
Mano de Obra	\$ 4.233,60
<b>SUBTOTAL 69 Kv.</b>	<b>\$ 39.425,29</b>
Recargo	\$ 788,51
<b>SUBTOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 40.213,80</b>
Retiro Materiales	\$ -5.864,14
Mano de Obra Retiro	\$ 1.411,20
<b>SUBTOTAL RETIRO</b>	<b>\$ -4.452,94</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 35.760,86</b>

#### 5. Diseño de las dos nuevas alimentadoras desde la subestación P. Canals 2

Una vez realizado el cambio de tap y la construcción del nuevo patio de maniobras a 13,8 Kv. se procede a realizar el diseño del recorrido de las nuevas alimentadoras que van a dar el servicio eléctrico al sector. Cabe indicar considerando el aumento de carga que va a tener la subestación P. Canals, el Sistema Eléctrico a 13,8 Kv. de la ciudad de Guayaquil requiere tener una mayor flexibilidad y versatilidad en su sistema, por tal motivo se consideran la creación de dos nuevas alimentadoras, las cuales tendrán su respectiva interconexión con las alimentadoras existentes de esta subestación y a la vez permitirá el alivio de carga del transformador de poder existente y de las alimentadoras Suburbio 2 y Suburbio 3.

##### 5.1. Costo de la construcción de las nuevas alimentadoras.

La cantidad de cable 336.4 MCM aproximadamente necesaria para la construcción de las dos nuevas alimentadoras es de 1824.47 m., requiriéndose de una inversión significativa, razón por la cual este plan deberá ejecutarse de manera impostergradable.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los presupuestos a ser utilizados

**Tabla 5.1. Costos suburbio 5**

<b>Construcción de la Alimentadora Suburbio 5</b>	
Secundario	\$ 140,31
Primario Aéreo	\$ 13.408,71
Switch y Transformador	\$ 10.703,71
Alumbrado	\$ 3,65
Mano de Obra	\$ 6.245,23
<b>SUBTOTAL 69 Kv.</b>	<b>\$ 30.501,61</b>
Recargo	\$ 610,03
<b>SUBTOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 31.111,64</b>
Retiro Materiales	-\$ 214,32
Mano de Obra Retiro	\$ 157,25
<b>SUBTOTAL RETIRO</b>	<b>-\$ 57,07</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 31.054,57</b>

**Tabla 5.2. Costos suburbio 6**

<b>Construcción de la Alimentadora Suburbio 6</b>	
Ductos	\$ 7.214,82
Primario Subterráneo	17.388,68
Secundario	\$ 331,60
Primario Aéreo	\$ 29.127,79
Switch y Transformador	\$ 11.593,04
Alumbrado	\$ 4,55
Mano de Obra	\$ 22.929,15
<b>SUBTOTAL 69 Kv.</b>	<b>\$ 88.589,63</b>
Recargo	\$ 1.771,79
<b>SUBTOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>\$ 90.361,42</b>
Retiro Materiales	-\$ 2.408,56
Mano de Obra Retiro	\$ 1.911,17
<b>SUBTOTAL RETIRO</b>	<b>-\$ 497,39</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 89.864,03</b>

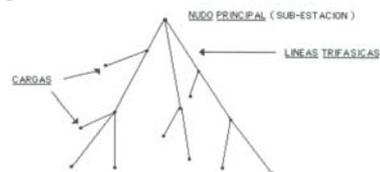
- múltiples conexiones (monofásicas, bifásicas, etc.)
- cargas de distinta naturaleza
- líneas de resistencia comparables a la reactancia
- líneas sin transposiciones.

Los sistemas de distribución son típicamente radiales, esto es, el flujo de potencia nace sólo de un nudo. Este nudo principal se reconoce como la subestación que alimenta al resto de la red (Ilustración 6.1).

En la subestación se reduce el voltaje del nivel de alta tensión (A.T.), al de media tensión (M.T.). Comúnmente se utiliza para el control de tensión en el lado de M.T. un transformador con cambiador de derivaciones o en su defecto un banco de condensadores. El cambiador automático de derivaciones en transformadores de poder AT/MT de sistemas de distribución permite efectuar el cambio de derivaciones con carga conectada (Load Tap Changer, LTC, o Cambiador de Derivaciones Bajo Carga, CDBC).

Dependiendo del fabricante, el CDBC se encuentra en el lado de A.T. o en el lado de M.T. del transformador. La tensión en barras de M.T. de la subestación oscila normalmente entre 1 y 1.5 en p.u, por efecto del compensador por caída de línea que posee el sistema de control de CDBC. En las horas pico fluye mayor corriente por las líneas lo que provoca una mayor caída de tensión en las mismas. Este problema se atenúa en parte con el compensador de caída de línea que eleva la tensión en barras de la subestación de poder en las horas de punta.

La distribución se hace luego en el nivel de media tensión (M.T.) o en baja tensión (B.T.). Los clientes residenciales o comerciales se alimentan en B.T. Los clientes industriales se alimentan en M.T. o en B.T, según los requerimientos particulares de cada uno de ellos [4].



**Ilustración 6-1 Red de distribución típica<sup>1</sup>**

En estos sistemas se pueden encontrar muchos tipos de conexiones: trifásicas, bifásicas o monofásicas. Si bien es cierto en M.T. predominan las redes trifásicas es frecuente encontrar cargas bifásicas, especialmente en

## 6. Características de los sistemas de distribución.

Las redes de distribución presentan características muy particulares y que las diferencian de las de transmisión. Entre éstas se distinguen:

- topologías radiales

<sup>1</sup> Fuente:

[www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/munoz.pdf](http://www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/munoz.pdf)

zonas rurales. Sin embargo, es en B.T. en donde se encuentran las más variadas conexiones, consecuencia de una mayoría de cargas residenciales de naturaleza monofásicas. Los desequilibrios que se generan en B.T. tratan de amortiguarse repartiendo equitativamente las cargas en las tres fases.

Otro aspecto que llama la atención en distribución es la presencia de cargas de distinta naturaleza. En efecto, los tipos de carga que comúnmente se encuentran son: residenciales, comerciales, industriales y agro-industriales (estas últimas muy típicas en zonas rurales). Cada una de estos tipos se caracteriza por poseer un factor de potencia típico y un determinado comportamiento frente a las variaciones de tensión, y temperatura.

Contrariamente a lo que sucede en sistemas de transmisión, en distribución la resistencia de las líneas es comparable a su reactancia. Generalmente la razón X/R tiene un amplio rango de variación, pudiendo llegar a ser bastante menor que uno.

Finalmente, en distribución no existen transposiciones. La causa es que aquí las líneas son cortas (menos de 50 Km.). Esto motiva que las caídas de tensión debido a los acoplamientos entre las fases sean desequilibradas. Por otra parte, la naturaleza desbalanceada de impedancias y cargas de estos sistemas no hace atractiva la transformación a componentes simétricas. En efecto, la imposibilidad de desacoplar y modelar el sistema como una red de una secuencia, hace más complejo el análisis de flujo de potencia.

El algoritmo que se propone en este trabajo incluye en su modelación todas las características antes mencionadas de sistemas de distribución.

## **7. Diseño de la malla de puesta a tierra de la subestación padre Canals 2**

Un sistema adecuado de puesta a tierra debe tener una resistencia de tierra tan baja como sea posible. En realidad es virtualmente imposible mantener los potenciales de tierra dentro de las tolerancias de seguridad cuando las corrientes de falla son muy intensas.

Generalmente el sistema de tierra consiste de una malla conformada por retículas o mallas pequeñas rectangulares o cuadradas, y conductores de tierra instalados en forma horizontal, lo mismo que electrodos de tierra ubicados a cierta distancia entre sí. Los electrodos tipo varilla pueden usarse o no, lo que dependerá del diseño de la malla de tierra.

Lo más importante es que por razones de seguridad todas las estructuras metálicas y cubiertas del equipo, incluyendo las rejillas metálicas ubicadas en áreas de trabajo, se deben conectar a la malla de tierra [5].

Las normas indican que el diseño de una red o malla de tierra debe tener presente los potenciales de paso y de contacto para brindar protección a las personas. Todos los cálculos a realizar están de acuerdo con la norma IEEE 80.

Antes de emprender el diseño es necesario efectuar un análisis general del área y del cubrimiento de la malla. Un diseño preliminar incluirá la longitud y el calibre del conductor que se extiende alrededor de la periferia del área, más los conductores en paralelo para brindar acceso a la conexión de los equipos [6]. La norma IEEE 80 supone que todo diseño corresponde a una malla horizontal en forma de retícula conformada por conductores enterrados y complementada por cierto número de varillas verticales.

## **8. Conclusiones y recomendaciones**

Los programas desarrollados que se presentan en este trabajo, tiene poco requerimientos de memoria, consideran aspectos técnicos importantes y son razonablemente rápidos. Estas características permiten que sean una poderosa herramienta de análisis para diversos estudios que se puedan realizar sobre sistemas de distribución.

Este trabajo no deja de ser un prototipo, por lo cual no tiene un límite en cuanto a mejoras, dejando a mejor criterio la mejora del mismo.

Las posibles mejoras sugeridas a realizar son:

- Se debe incluir la representación de transformadores, cambiadores de derivación bajo carga de los transformadores, compensación capacitiva; si el caso lo ameritara; etc.; especialmente por el efecto que tienen sobre el algoritmo de cálculo, ya que introducen una tensión regulada en el sistema y esta tensión depende de la carga conectada; lo que significa que debe de considerarse un efecto de realimentación.
- Convendría el introducir un algoritmo que optimice el tamaño y ubicación de bancos de capacitores, si el caso lo ameritara.
- Siendo las cargas de las alimentadoras estudiadas trifásicas, nuestro programa fue elaborado bajo esta premisa, por lo que correspondería incluir el ingreso de cargas tanto bifásicas como

monofásicas al sistema, para tener una aplicación más real y acorde con las características de otras alimentadoras.

## 9. Bibliografía

- [1] Plan de Expansión 2007, Vicepresidencia de Planificación y Dirección Técnica de la Categ, pp. 1-4.
- [2] Análisis del sistema eléctrico de Guayaquil 2007, Dpto de Ingeniería de la Categ.
- [3] Procedimiento de mantenimiento, pruebas eléctricas y pruebas funcionales aplicadas a equipos primarios de subestaciones eléctricas convencionales y encapsuladas localizadas en nuestro país, Roosswelt Saraguro, 2001, pp. 39-40. Disponible en [www.cib.espol.edu.ec/d-27001.pdf](http://www.cib.espol.edu.ec/d-27001.pdf).
- [4] Flujo de potencia trifásico para sistemas de distribución, Christian Muñoz, 1989, pp. 13-14. Disponible en: [www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/munoz.pdf](http://www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/munoz.pdf).
- [5] Diseño de subestaciones eléctricas, José Martin, 1987
- [6] Sistema de tierra – Generalidades, Orlando Camacaro, abril 2007. Disponible en [www.monografias.com/sistemasdetierra.doc](http://www.monografias.com/sistemasdetierra.doc).