

Diseño del sistema de distribución Primario de la Subestación Kennedy Norte I y II de la actual Empresa Eléctrica Guayaquil Basado en La Calidad Del Servicio

Heriberto J. Medina Abarca
María G. Morán Colunga
Julio C. Ortega López
Cristóbal Mera Gencón

PhD. (Electrical Engineering), Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Estudiantes, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral. Apartado 09-01-5863. Guayaquil - Ecuador
hjmedina@espol.edu.ec, gmoran@espol.edu.ec, jcortega@espol.edu.ec

Resumen

Debido a las exigencias y sensibilidad de las cargas que existen en la actualidad, este trabajo presenta propuestas que la empresa eléctrica podría implementar para mejorar la calidad del servicio e infundir la confianza a los abonados. La metodología utilizada ha sido a primera instancia obtener todos los datos y parámetros técnicos del funcionamiento de la subestación, los cuales fueron recolectados gracias a la colaboración de la Unidad de Generación, Distribución y Comercialización de Guayaquil, con lo que se realizaron análisis que han concluido en la elaboración de hipótesis para mejorar el funcionamiento de la misma, y por último se han planteado mejoras y se han determinado si son técnica y económicamente viables.

Palabra claves: *propuestas, metodología, análisis, hipótesis, mejora técnica y económicamente viable*

Abstract

Owed one the requirements and sensibility of the loads that exist at present, this work presents offers that the electrical company might implement paragraph improve the quality of the service and unfuse the confidence one the subscribers. The methodology used one the first instance to obtain all the information and technical parameters of the functioning of the substation, which were gathered thanks for the collaboration of the Electrical Unit of Generation, Distribution and Commerce of Guayaquil, that were realized analyses and that have concluded in the production of hypothesis to improve the function of the same one, and finally to decide if the improvements are technical and economically viable..

Key words: Offers, methodology, analysis, hypothesis, technical and economically viable improvement

Introducción

Debido a las exigencias y a la sensibilidad de las cargas modernas que existen en la actualidad, este trabajo presenta algunas propuestas que la empresa eléctrica podría implementar para mejorar la calidad del servicio e infundir la confianza a los abonados.

La metodología utilizada ha sido a primera instancia obtener todos los datos y parámetros técnicos del funcionamiento de la subestación, los cuales fueron recolectados gracias a la colaboración del personal de la Unidad de Generación, Distribución y Comercialización de Guayaquil, con lo que se realizaron análisis que han concluido en la elaboración de hipótesis para mejorar el funcionamiento de la misma, y por último se han planteado mejoras, y se han determinado si son técnica y económicamente viables. Además se agradece la facilidad que nos otorgaron para el uso

del software Psaf, que fue utilizado en para realizar los cálculos de flujo de potencia y de cortocircuito a nivel de 69 Kv.

1. Precedentes y reglamentos a cumplir

La CATEG, cuenta con 74 subestaciones que suministran energía eléctrica a distintos puntos de la ciudad de Guayaquil. La subestación Kennedy con 8 alimentadoras es una de ellas.

2. Levantamiento del Sistema Eléctrico actual de la subestación Kennedy norte I y II

Contiene los detalles de las características de la subestación, tanto de sus equipos de protección, cargas, alimentadores, transformadores y capacitores.

2.1 Área de Demanda

Para la distribución de la energía de la subestación Kennedy Norte 1 en su área de influencia está integrada de cuatro alimentadoras, de las cuales solo tres están en funcionamiento actualmente y la cuarta esta de reserva para expansiones futuras. En la Tabla II se muestran los nombres de las alimentadoras y los sectores a los que abastecen de energía.

Las salidas de todas las alimentadoras son subterráneas hasta llegar a un poste desde el cual se convierten en aéreas.

AREA DE INFLUENCIA DE LA SUBESTACION KENNEDY NORTE I

Tabla II

PLAZA DEL SOL	Cooperativa de Vivienda Guayaquil
	Ciudadela Adace
	Avenida Juan Tanca Marengo
	Avenida de las Américas
URDENOR	Urdenor 1
	Urdenor 2
JOSE CASTILLO	Urbanización Principado de las Lomas

AREA DE INFLUENCIA DE LA SUBESTACION KENNEDY NORTE I

Tabla II

PLAZA DEL SOL	Cooperativa de Vivienda Guayaquil
	Ciudadela Adace
	Avenida Juan Tanca Marengo
	Avenida de las Américas
URDENOR	Urdenor 1
	Urdenor 2
JOSE CASTILLO	Urbanización Principado de las Lomas

2.2. Bloques de Carga

Tabla 1. Información de las Alimentadoras

Aliment.	Distancia (km)			Carga máx [MW]	Tipo de Carga
	(3Φ)	(2Φ)	(1Φ)		
Las Cámaras	1.37	0.3	1.1	2.77	Residencial Comercial
WTC	0.57	0.11	0.46	1.14	Comercial
Centrum	1.55	0.00	0.00	1.55	Comercial
San Marino	1.47	0.13	0.52	2.12	Comercial
Plaza del Sol	4.72	0.94	3.77	9.43	Residencial Comercial
Urdenor	10.84	2.1	8.4	21.34	Residencial
Jose Castillo	3.48	0.7	3.2	7.38	Residencial

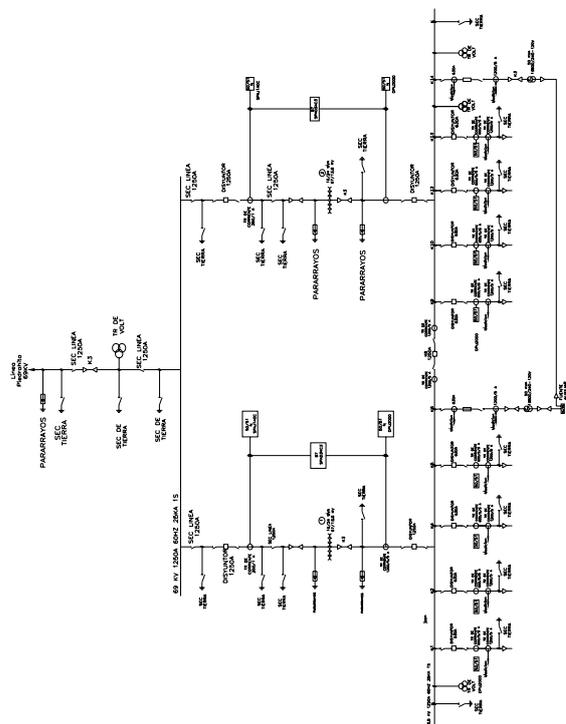
2.3. Balance de Carga

En los sistemas de distribución es común encontrar cargas monofásicas a lo largo de alimentadores trifásicos lo cual ocasiona un aumento de las pérdidas técnicas del sistema. Las elevadas corrientes en el neutro, ocasionadas por el desbalance de las cargas, pueden generar disparos indeseados de las protecciones así como una limitación adicional en la capacidad de las líneas dada por el límite térmico del conductor de neutro.

La única alimentadora que presenta problemas con balance es plaza del sol, y de recomienda realizar un balance de la misma.

2.5. Subestación

La Subestación tiene una capacidad total de 48MVA y cuenta con ocho alimentadoras de 13800 voltios que distribuyen de energía a toda la zona. La Subestación Kennedy Norte 1 y 2 están ubicadas en el norte de Guayaquil en la Ciudadela Kennedy Norte Mz VC108 S#1 Av. Luis Orrantía y V.H. Sicouret.



3. Operación del Sistema Eléctrico de la Subestación Kennedy norte I y II

En este capítulo se abarca todos los estudios y análisis realizados, a fin de entender el comportamiento del sistema, incluye la coordinación de las protecciones, el estudio de cortocircuito y todos los cálculos necesarios para obtener los índices de confiabilidad del sistema.

3.1 Flujos de Carga y Caída de Voltaje en CYME.

En esta sección mostraremos por medio de un simulador Eléctrico para estudios de Ingeniería (PSAF), los flujos de potencia y caídas de voltaje en el lado de 69Kv y 13.8Kv de la S/E Kennedy Norte desde su alimentación de la Subestación Policentro de Transelectric 138/69Kv y a su vez esta desde la Subestación de Pascuales de Transelectric de 230/138Kv, presentando en los siguientes informes la caída de voltaje en la S/E Kennedy Norte.

3.1.1 Cálculo de voltaje

Es muy importante conocer el valor de caída de voltaje de las alimentadoras para hacer las correcciones respectivas.

El CONELEC en su regulación 004/01 indica que el voltaje a nivel de media tensión puede variar de su valor nominal ($13.2KV_{L-L}$) un valor de $\pm 8\%$.

El análisis arrojó la subestación no presenta problemas de variación de voltaje.

3.4. Información Estadísticas de las Interrupciones

La regulación 004/01 del CONELEC establece que todas las empresas de distribución deberán llevar un control estadístico de interrupciones.

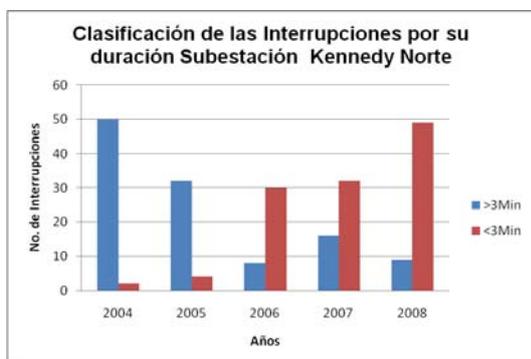


Figura 2. Número de Interrupciones por Alimentadora

En la Figura 2 se muestra la clasificación por su duración de las interrupciones por año de cada

alimentadora. Cabe indicar que para obtener los índices de calidad de servicio técnico y de confiabilidad, se debe tomar en cuenta sólo las interrupciones mayores a 3 minutos

3.5. Evaluación de la Confiabilidad

El adecuado funcionamiento de la red de distribución de la Subestación Alborada dependerá del tiempo de duración y la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones. Para saber las condiciones de operación del sistema es necesario evaluar la confiabilidad del mismo en base al registro histórico de interrupciones. De esta forma se da paso a una serie de estimadores probabilísticos que están relacionados con los componentes del sistema y el tiempo de reposición del servicio.

Estos estimadores permitirán consecuentemente calcular los índices de confiabilidad del sistema, con lo cual se pretende estimar el funcionamiento de sus elementos y el tiempo de reparación de los mismos expuestos ante un posible disturbio.

Tales estimadores son los siguientes:

- Tasas de fallas de los Transformadores.
0.0031 fallas/año
- Tasas de falla relacionada con la longitud alimentadoras aéreas.
0.617 fallas/Km-año
- Tasas de falla relacionada con la longitud alimentadoras subterráneas.
0.4619 fallas/Km-año
- Duración de la salida de servicio.
Varía de acuerdo a la distancia y al componente a reparar
- Tiempo de switcheo.
Varía de acuerdo a la ubicación de la falla

3.5. Índices de Calidad de Servicio Técnico

La regulación 004/01 del CONELEC exige que para el cálculo de los índices de calidad de servicio técnico, sólo se debe tomar en cuenta las interrupciones del sistema con duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo las de origen externo, debidas a fallas en transmisión.

3.5.1 Índices. Los índices de calidad se calcularán para toda la red de distribución y para cada alimentador primario de medio voltaje, de acuerdo a las siguientes expresiones:

a) Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal Instalado (FMIK)

La siguiente fórmula representa la cantidad de veces que el KVA promedio sufrió una interrupción de servicio en un periodo determinado.

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst}}$$

b) Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK)

La siguiente fórmula representa el tiempo medio en que el KVA promedio no tuvo servicio en un periodo determinado

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}}$$

Donde:

kVAfsi: Cantidad de kVA nominales fuera de servicio en cada una de las interrupciones "i".

KVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.

Tfsi: Tiempo de fuera de servicio, para la interrupción "i"

Estos índices se realizan mensualmente. Para el año 2006 los valores máximos se los presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2. Índices de Calidad de Servicio Técnico de las Alimentadoras de la Subestación Kennedy

	FMIK	TTIK
Las Cámaras	0.515	0.215
Word Trade Center	0.405	0.115
Centrum	0.480	0.170
San Marino	0.340	0.160
Plaza del Sol	0.770	0.505
Urdenor	0.695	0.265
Jose Castillo	0.560	0.290

El CONELEC tiene como límite un valor de FMIK de 5 y un TTIK de 10, por lo tanto el sistema no muestra ningún problema. Más adelante se mencionarán otros índices orientados al consumidor que son en los que se basan el desarrollo de este trabajo.

4. Rediseño del Sistema Eléctrico

En este capítulo se encuentran todas las alternativas estudiadas con el objetivo de mejorar la calidad de energía que es entregada diariamente a los usuarios, junto con los cálculos de los índices de confiabilidad que indican si las mejoras son o no recomendables tanto económica como funcionalmente.

Para ello se hará la determinación de los parámetros de diseño, que mediante la comparación de índices estandarizados se podrá saber el estado actual del sistema. Conscientes del estado del mismo, se procederá al rediseño de la red, que consiste en el

rediseño de la topología y el mejoramiento del sistema de protecciones basados siempre en la calidad del servicio. En la etapa de rediseño se analizarán todas las alternativas posibles para mejorar el sistema; y la elección de una de ellas se hará por medio de un análisis costo/beneficio.

4.1. Determinación de Parámetros de Diseño.

Como ya se mencionó anteriormente se tomarán en cuenta dos parámetros

Los cuales son:

- Parámetros Técnicos: Índices de Confiabilidad
- Parámetros Económicos: Costos de Interrupción e Inversión

4.1.1 Parámetros Técnicos (Índices de Confiabilidad) La determinación de los parámetros de diseño se la hará por medio del cálculo de los índices de confiabilidad orientados al consumidor y orientados a la carga. Estos índices tienen por objeto determinar el impacto de las interrupciones, por número, duración y severidad.

Los índices de confiabilidad a usar se toman de la norma "IEEE 1366-1998, Guía para Índices de Confiabilidad en Sistemas de Distribución". A continuación se procede a listar los índices de confiabilidad.

Índices de confiabilidad orientados al consumidor

- Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema (SAIFI)

$$SAIFI = \frac{\text{Número Total de Consumidores Interrumpidos}}{\text{Número Total de Consumidores Servidos}}$$

- Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio de Consumidor (CAIFI)

$$CAIFI = \frac{\text{Número Total de Consumidores Interrumpidos}}{\text{Número Total de Consumidores Servidos}}$$

- Índice de la Disponibilidad Promedio de Servicio (ASAI)

$$ASAI = \frac{\text{Consumidores} - \text{horas de servicio disponible}}{\text{Consumidores} - \text{horas demandados}}$$

- Índice de Indisponibilidad Promedio del Servicio (ASUI)

$$ASUI = 1 - ASAI$$

Índices de Confiabilidad Orientados a la Carga

- Índice de Energía total no suplida (ENS).

$$ENS = \sum Lai * Ui$$

Donde:

Lai = Carga promedio conectada al punto de carga i.

Ui = Indisponibilidad del sistema en el punto i.

- Índice de corte de carga promedio del sistema o energía promedio no suplida (AENS)

$$AENS = \frac{\text{Energía total no suplida}}{\text{Número total de clientes servidos}} = \frac{\sum L_{ai} * U_i}{\sum N_i}$$

4.2. Rediseño del Sistema de Media Tensión basado en la Calidad del Servicio.

La confiabilidad del sistema actual puede ser mejorada colocando más equipos de protección y seccionamiento en la línea o simplemente haciendo un ajuste a los equipos que existen actualmente. A continuación se mostrarán las mejoras a los sistemas de protección, seccionamiento y transferencia que se le realizarán a cada una de las cuatro alimentadoras con la finalidad de mejorar los índices de calidad.

Alternativa 1: Colocar fusibles en ramales que no los tienen.

En este diseño se pretende mejorar la confiabilidad del sistema colocando fusibles en las derivaciones o ramales que no los tienen. En la Alimentadora José Castillo además se colocará un seccionador en la mitad de la alimentadora con el objeto de hacer transferencias parciales de carga.

Alternativa 2: Realizar Transferencias automáticas de Carga.

En este diseño se pretende disminuir la duración de la salida de servicio, con el uso de equipos de transferencia automática. En la alimentadora San Marino no se aplicó esta filosofía debido a que los índices cumplen con los límites planteados.

4.3. Resultados

A continuación se analizarán los parámetros técnicos (Índices de Confiabilidad) y los parámetros económicos para la toma de decisiones de la mejora adecuada.

4.4 Análisis de los índices de confiabilidad por alimentadora.

A continuación se analizarán los índices de confiabilidad comparándolos con otros obtenidos de la regulación argentina que se encontraron en el documento “Calidad del Servicio Público de Electricidad/ Edenor-Argentina”, además el artículo R280-90-7 “Analysis of Distribution System Reliability and Outage Rates” de la Cooper Power, publica valores meta.

En la siguiente figura se muestran los valores obtenidos del SAIFI para cada una de las mejoras en las distintas alimentadoras.

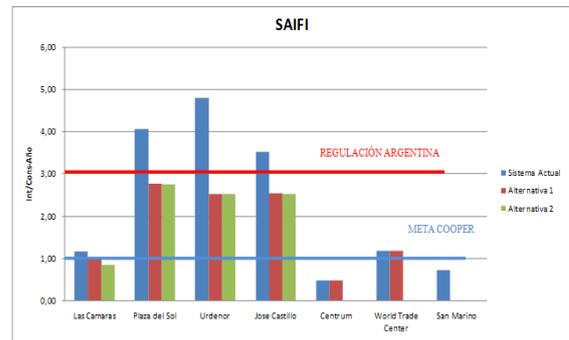


Figura 3. SAIFI por alimentadora

De la figura 3 se puede observar que los índices obtenidos de la alternativa 1 para cada alimentadora, están por encima del índice de la regulación argentina y solo la alimentadora las cámaras cumple con los de la Cooper Power junto con las alimentadoras subterráneas. También se puede observar que la alimentadora Urdenor es la que tiene el mayor SAIFI de todas para la situación Actual.

En la siguiente figura se muestran los valores obtenidos del SAIDI para cada una de las mejoras en las distintas alimentadoras.

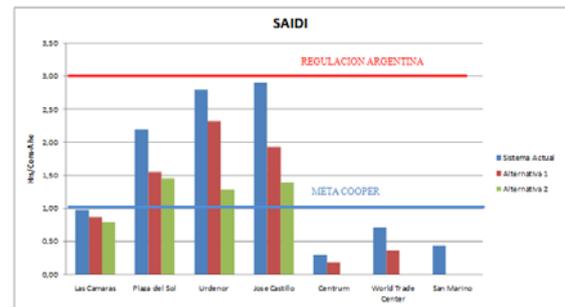


Figura 4. SAIDI por alimentadora

De la figura 4 se puede observar que todas las alimentadoras cumplen con las regulaciones argentinas y nuevamente solo la alimentadora las cámaras y las subterráneas cumplen con las metas Cooper.

La alimentadora José castillo es la que presenta mayor SAIDI actual y en la alternativas mejora pero no llega a cumplir las metas Cooper con los índices de la empresa modelo y la Cooper.

En la siguiente figura 4 se muestran los valores obtenidos del SAIDI para cada una de las mejoras en las distintas alimentadoras.

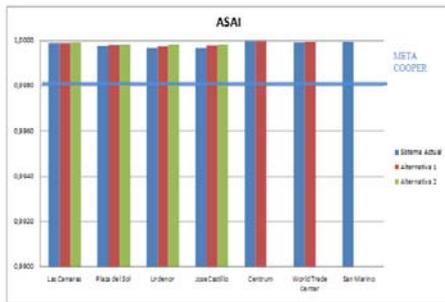


Figura 5. ASAI por alimentadora

En la figura 5 a diferencia de los anteriores índices se cumple la meta si el valor de ASAI está por encima del valor dado por la referencia ya que este índice da una probabilidad de tener servicio y esta debe incrementarse conforme se presentan las alternativas.

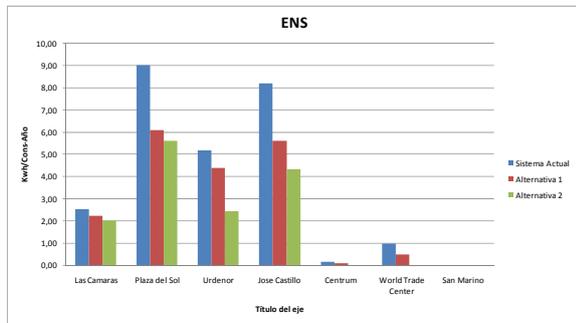


Figura 6. ENS por alimentadora

En la figura 6 se puede observar que la energía no suplida se reduce a medida que se realizan mejoras en el sistema de protecciones de las alimentadoras.

4.5 Análisis Técnico Económico. La ingeniería no es más que determinar la mejor solución técnica y que esta sea económicamente viable, en otras palabras se puede llegar a tener una solución ideal pero esta no puede justificarse el costo de inversión y por esta razón se deberá elegir la opción que cumpla con los requisitos internacionales pero que a su vez no sea costosa.

Del análisis técnico se desprende que a partir de la quinta mejora todas las alimentadoras cumplen con los índices internacionales. Cabe decir que para algunas puede ser a partir de la tercera o cuarta mejora.

A continuación se presentarán los costos por consumidor de las mejoras para las alimentadoras de la subestación Kennedy norte I y II. La solución que se escoja será la que presente el menor costo.

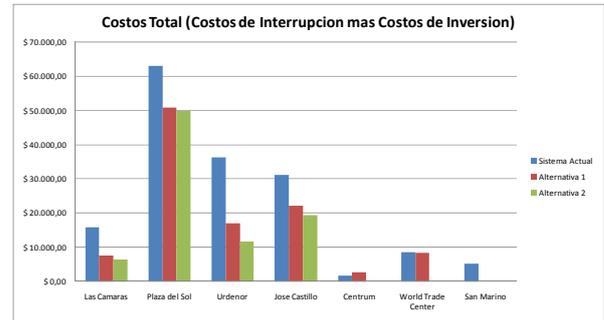


Figura 7. Costos Total

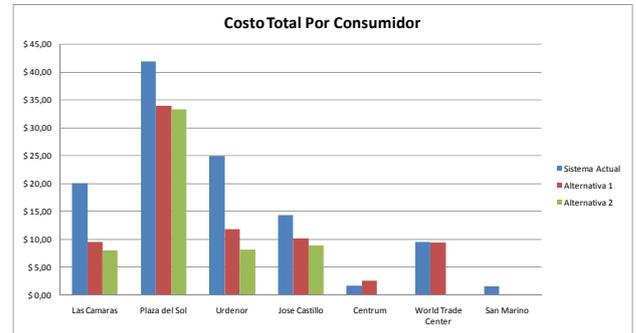


Figura 8. Costos por Consumidor

La mejor solución al problema de confiabilidad y que es económicamente viable es la siguiente:

- Alimentadora Las Cámaras: Alternativa 2
- Alimentadora Plaza del sol: Alternativa 2
- Alimentadora Urdenor: Alternativa 2
- Alimentadora José Castillo: Alternativa 2

Conclusiones

- Las alimentadoras de la Subestación Kennedy Norte se encuentran con grado de desbalances aceptables, exceptuando a la alimentadora “plaza del sol” que tiene un grado elevado de desbalance, a continuación se presenta una tabla con dichos porcentajes.

DESBALANCE MAXIMO DE LAS ALIMENTADORAS	
LAS CAMARAS	4.91%
CENTRUM	5.83%
JOSE CASTILLO	8.84%
PLAZA DEL SOL	11.31%
SAN MARINO	9.72%
URDENOR	6.71%
WORD TRADE CENTER	5.92%

- 1.- Todas las alimentadoras están cumpliendo los índices TTIK y FMIK, que sirven para evaluar la calidad del servicio técnico y que están expresados en la regulación 004/01 del CONELEC.

- 2.- Cada cambio realizado en una carga o un transformador incurre en un costo directo dado por la contratación de personal, e indirecto por los costos asociados al corte del servicio necesario para realizar el cambio.
- 3.- Es un hecho que la confiabilidad que presenta cada alimentadora de la Subestación Kennedy Norte, depende mucho de la configuración en su sistema de protecciones y de la cantidad de elementos de seccionamiento que posea; por esa razón al colocar más equipos de este tipo, los índices de confiabilidad mejoran; pero todo esto tiene un límite, y ese límite lo da la parte económica es decir el costo de la inversión. De ahí la razón de aplicar un criterio económico donde arroje la mejor solución técnica posible pero que sea económicamente viable, según esto los resultados son los siguientes:

Alimentadora Las Cámaras:

La alternativa 2 “Fusibles adicionales en ramales”

Alimentadora Plaza del Sol:

Mejora 2 “Fusibles adicionales en ramales y transferencia automática parcial de carga”

Alimentadora Urdenor:

Mejora 2 “Fusibles adicionales en ramales y transferencia automática parcial de carga.”

Alimentadora José castillo:

Mejora 1 “Fusibles adicionales en ramales más seccionador de transferencia automática en la troncal”

Recomendaciones

1. Debido al desbalance elevado en la alimentadora “Plaza del Sol” se puede transferir de una carga a otra los ramales monofásicos para el equilibrio deseado, o hacer un cambio individual de transformadores a las fases menos cargadas.
2. Con el objeto de que la Empresa Eléctrica de Guayaquil entre en la subetapa dos en lo que respecta a los cálculos de los “Índices de calidad del servicio” se recomienda llevar de una mejor manera los reportes de falla, con el objetivo de que se indique el lugar exacto de la falla o en su defecto el ramal o sector afectado.
3. Realizar mantenimiento preventivo debido a que en la zona hay bastantes aéreas verdes y esto conlleva a que se produzcan problemas en la red.

7. Referencias

- [1] CATEG, Normas de Acometidas, cuartos de transformadores, y sistemas de medición para el suministro de electricidad.
- [2] Regulación CONELEC - 004-01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, 2001.
- [3] STEVENSON WILLIAM, Análisis de Sistemas de Potencia, Segunda Edición, Mc Graw Hill, México, 2000.
- [4] Cooper Power Systems, “Analysis of Distribution System Reliability and Outage Rates”, R280-90-7, Cooper Power, 2004.
- [5] Venegas, Jaime, “Metodologías de Evaluación de Costo de Falla en Sistemas Eléctricos”, Pontificia Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 1994. Pág. 62-63
- [6] NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO EN LA REPUBLICA DE PANAMA – IX Reunión anual iberoamericana de reguladores de la energía Madrid-España, 18 de junio del 2007. http://www.ariae.org/pdf/xi_reunion_espana/Sesi on2_Mesa1/Rafael_Gracia_NormasCalidad.pdf
- [7] CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CONFIABILIDAD DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN DE 13,8 Y 24 kV EN VENEZUELA / Congreso Latinoamericano de Distribución eléctrica CLADE 2008. <http://www.labplan.ufsc.br/congressos/Clade%20%202008/Trabajos/173.pdf>
- [8] NORMA DE CALIDAD DEL SERVICIO DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN EN EL SALVADOR IX Reunión Iberoamericana de Reguladores de Energía, 2005 http://www.ariae.org/pdf/IX_Reunion_Uruguay/documentos/Sector_electrico/Nieto.pdf
- [9] Calidad del Servicio Público De Electricidad / Edenor-Argentina. <http://www.ingeborda.com/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Calidad%20de%20Energia%20y%20Armonicos/Calidad%20de%20Energia/Calidad%20de%20Servicio%20Publico%20de%20electricidad.pdf>.