

Análisis y Rediseño del Sistema de Distribución de la Subestación Centro Industrial CNEL LOS RÍOS, basado en La Calidad Del Servicio

José G. Gómez Morales
Tatiana L. Nagua Duran
Johnny E. Quiroga Pico
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
ggomez@fiec.espol.edu.ec, talisma293@hotmail.com, johnen69@hotmail.com

Resumen

Actualmente los Sistemas de Distribución Eléctrica presentan constantes problemas de interrupción en el servicio de energía, que van desde breves segundos hasta horas de interrupción, causando pérdidas económicas tanto en los usuarios como las empresas distribuidoras. Con el objeto de garantizar un sistema confiable, seguro, acorde con las exigencias de las Normas y Reglamentos vigentes de Calidad de Servicio, es necesario realizar un estudio que identifique los factores que desmejoran la calidad proveyendo las herramientas necesarias para escoger la alternativa correcta y económicamente más viable.

Palabra claves: confiabilidad, calidad, seguridad, alternativa económica

Abstract

Nowadays the Electric Distribution Systems presents constant interruption problems in the energy service that go from brief seconds until hours of interruption, causing economic losses so much in the users as those Distributor companies. In order to obtain a reliable and secure system, according to the standards and Regulations of power Quality, it is necessary to carry out a study that identify the factors that deteriorate the quality providing the necessary tools to choose the correct and economically acceptable alternative.

Key words: reliability, quality, security, inexpensive alternative

1. Introducción

El problema de Protección de los Sistemas Eléctricos de Distribución ha venido adquiriendo cada vez mayor importancia ante el crecimiento acelerado de las redes eléctricas y la exigencia de un suministro de energía a los consumidores con una calidad de servicio cada vez mayor.

En los sistemas de distribución aérea, entre el 80 y el 95 % de las fallas son de tipo temporal; es decir, duran desde unos pocos ciclos hasta unos segundos. Las causas típicas de fallas temporales son: Contacto de líneas empujadas por el viento, ramas de árboles que tocan líneas energizadas, descargas de rayos sobre aisladores, pájaros y en general pequeños animales que ocasionan un cortocircuito en una línea con una superficie conectada a tierra, etc.

Desde que la demanda de energía eléctrica comenzó a ser mayor, las industrias productoras de energía eléctrica se vieron en la necesidad de diseñar equipos y sistemas que permitieran que el suministro de energía fuera constante y seguro. La seguridad debía ser no solo para garantizar el suministro de energía

sino también para proteger los equipos de los usuarios de eventuales descargas eléctricas o sobre corrientes.

El presente trabajo, tiene como objetivo principal mejorar el diseño de distribución eléctrico de la Subestación Centro Industrial basado en la Calidad de Servicio. Por esa razón es necesario establecer índices que permitan medir mediante comparación con otras empresas, relativamente mejores, la calidad de Servicio ofertada a los clientes.

La solución planteada deberá ser la mejor técnicamente hablando pero a su vez que sea económicamente viable para así llegar a un equilibrio entre costos de inversión y costos de interrupción.

2. Descripción del Sistema Actual

El Sistema Eléctrico de Distribución los Ríos, está ubicado en la Provincia de los Ríos, en la zona centro oeste del territorio Ecuatoriano.

El área de concesión de la Empresa Eléctrica CNEL, está constituida por 8 cantones de la Provincia de los Ríos, Babahoyo, Ventanas, Vinces,

Puebloviejo, Urdaneta, Montalvo, Baba y Palenque; y 1 de la Provincia del Guayas, Alfredo Baquerizo Moreno (Juján); siendo su área de concesión de 4500 Km², abarcando aproximadamente el 70 % de toda la extensión Provincial.

El Sistema Eléctrico de Distribución de la Empresa Eléctrica CNEL Región Los Ríos en OPERACIÓN, es un sistema radial que se encuentra alimentada por una línea de 138 Kv de 46.4 Km de longitud que parte de la S/E Milagro hacia Babahoyo, entregando la energía a 69 Kv en la S/E Nelson Mera Silva, siendo la S/E matriz, partiendo a los diferentes puntos del área de concesión del sistema CNEL.

Es necesario resaltar que en el sistema eléctrico los Ríos, una parte de sus líneas y equipos cuenta con más de veinte años ininterrumpidos de trabajo, considerándose obsoletos por el tiempo de vida útil que especifican los manuales, pero por la falta de inversión todavía se encuentran en plena operación.

2.1. Subestación Centro Industrial

La Subestación Centro Industrial está ubicada en la vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo - Juján, la cual entro en operación en el año de 1990. Para la distribución de la energía, su área de influencia está integrada por cuatro alimentadoras, estas alimentadoras se muestran a continuación.

Tabla 1. Área de Influencia de Alimentadoras

Reforma	Jujan
Sectores	Sectores
Cementerio General de Babahoyo	Ecuavegetal
Instituto Babahoyo	Recinto San Luis
SRI	Recinto Loma de Nauza
Hospital Martin Icaza	Recinto Mata de Caña
Ciudadela Otto Arosemena	Recinto Tres Postes
Camal Municipal	Recinto Mamanica
Coca Cola y Duragas	Gasolinera Gabela
Pueblonuevo	Libre
Sectores	Sectores
Recinto La Macarena	
Recinto La Teresa	
Recinto Matecito	
Escuela 24 de Julio	
Hcda Lorenita María Touma	

2.2. Alimentadoras

La Subestación Centro Industrial tiene tres Alimentadoras conectados a la barra de 13.8kV y que están protegidas por reconectores VWE marca Cooper. Las alimentadoras abarcan zonas residenciales, comerciales e industriales.

En la tabla 2 se presenta longitudes, carga en MVA, tipo de carga de todas las alimentadoras de la subestación Centro Industrial.

Tabla 2. Información de las Alimentadoras

Aliment.	Distancia (km)			Carga máx [MW]	Tipo de Carga
	(3Φ)	(2Φ)	(1Φ)		
Reforma	15.26	0.24	1.35	4.65	Residencial Comercial e Industrial
Jujan	35.34	0	32.04	4.18	Residencial Comercial e Industrial
Pueblo nuevo	27.07	0	16.43	0.80	Residencial Comercial e Industrial
Libre					

3. Análisis del Sistema Eléctrico Actual

Este capítulo se basa en el análisis del sistema actual de la subestación Centro Industrial; para esto se tomará en cuenta la caída de voltaje, nivel de desbalance, sistemas de protecciones y estadísticas de interrupciones

3.1 Cálculo del 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 que el voltaje para máxima carga se encuentra dentro de los rangos permitidos para todas las alimentadoras. Para mínima carga existe un inconveniente y es que el voltaje de alimentación en la subestación supera el 108%, como solución se recomienda instalar un regulador de voltaje.

3.2. Balance en las Alimentadoras.

El problema de desbalance es una variable muy importante en el diseño de las alimentadoras, ya que este acarrea pérdidas adicionales al sistema.

Para el año 2006 se determinó un nivel de desbalance preocupante, especialmente en la alimentadora Jujan por lo que se recomienda que se realice una campaña agresiva en el balanceo de cargas para las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial.

3.2.1 Armónicos. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores (envejecimiento prematuro), errores de medición en medidores electromecánicos, sobrecalentamiento en transformadores, motores y conductores, falla de equipos electrónicos, operación errada de equipos de protección, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

El sistema actual no presenta problemas de armónicos.

3.3. Sistemas de Protecciones.

Una obligación primordial que tiene toda empresa de distribución es mantener la continuidad de servicio al usuario. Por tal motivo es necesario contar con un sistema de protecciones eficaz que sea confiable y selectivo.

A continuación se presentará el esquema de protecciones de la subestación Centro Industrial con sus cuatro alimentadoras.

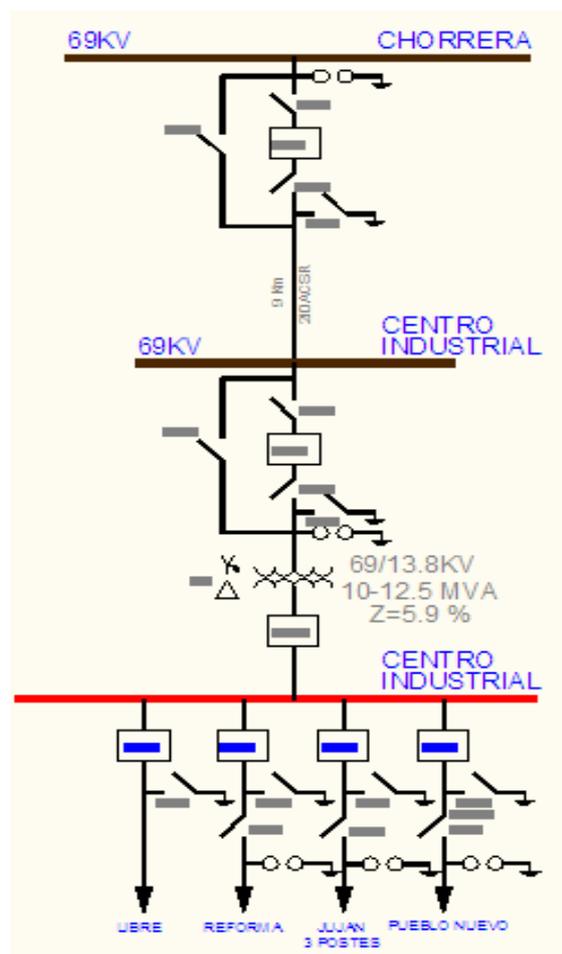


Figura 1. Diagrama Unifilar de Protecciones S/E Centro Industrial

Cada alimentadora además de contar con un reconectador, posee cajas fusibles en distintos ramales, pero estos no son suficientes.

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.

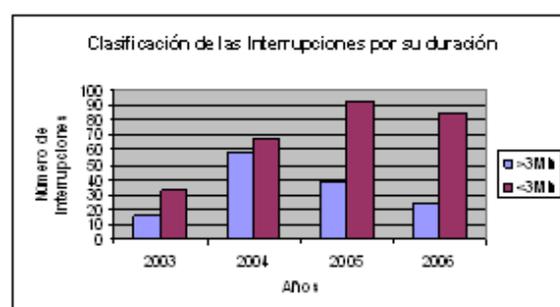


Figura 2. Número de Interrupciones por Alimentadora

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 Centro Industrial 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.
0.0019 fallas/año
- Tasas de falla relacionada con la longitud.
0.2 fallas/Km-año
- Probabilidad de falla de los equipos de protección.
0.009
- 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 3. Índices de Calidad de Servicio Técnico de las Alimentadoras de la Subestación Centro Industrial

	FMIK	TTIK
Reforma	3.92	5.77
Jujan	2.92	5.47
Pueblonuevo	4.20	10.30

El CONELEC tiene como límite un valor de FMIK de 6 y un TTIK de 18, por lo tanto aparentemente el sistema no tiene ningún problema. Pero este índice no indica la realidad puesto que la mayoría de los transformadores de distribución están sobredimensionados y esto afecta el valor mostrado en tablas. 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

“La misión del ingeniero es encontrar la mejor solución técnica pero que sea económicamente viable”. En este capítulo se tiene por objeto precisamente lo citado en la frase anterior, determinar la mejor alternativa de diseño desde el punto de vista de calidad de servicio y a la vez que el costo justifique la inversión.

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)

$$AENS = \frac{\text{Energía total no suplida}}{\text{Número total de clientes servidos}} = \frac{\sum Lai * Ui}{\sum Ni}$$

4.1.1 Parámetros Económicos en la toma de decisiones. Los costos de interrupción sufridos tanto por el consumidor como la empresa distribuidora son parámetros muy difíciles de cuantificar, razón por la cual a continuación se presenta detalladamente una serie de situaciones que se deben tener en consideración.

Costo visto por la empresa.

- Pérdida de ingreso por la no-venta de energía.
- Pérdida de confianza de los consumidores.
- Pérdida de futuras ventas potenciales debido a reacción adversa.
- Incremento de gastos debido a reparación y mantenimiento.

Costo visto por el consumidor.

- Costos sufridos por la industria debido a la pérdida de manufactura, productos dañados, equipos dañados, mantenimiento extra, etc.
- Costo impuesto a los consumidores residenciales debido a alimentos dañados, gasto en métodos alternativos de calentamiento y alumbrado, etc.
- Costos que son difíciles de cuantificar y que van desde los inconvenientes e imposibilidad de disfrutar los pasatiempos favoritos, hasta situaciones severas que pueden ocurrir durante las interrupciones; como: robos, asaltos, asesinatos, fallas en los servicios de hospitales, etc.

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.

Mejora 1: Mejora de tiempos de restauración y de reparación del servicio.

En este caso se ha considerado seriamente realizar una reingeniería de procesos para mejorar el tiempo de respuesta del personal cuando existe una falla del sistema: esto es mejorar la comunicación entre los ingenieros a cargo del sistema y los trabajadores encargados de hacer las reparaciones, el arreglo y mantenimiento correctivo de los vehículos y el buen uso de los radios entre otros. Todo esto encaminado a

mejorar los tiempos de restauración y Switcheo de una falla.

Mejora 2: 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 Benjamín Carrión además se colocará un seccionizador para un ramal grande.

Mejora 3: Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales

La mayor parte de las alimentadoras de la subestación Centro Industrial están distribuidas a lo largo de las carreteras por lo cual no se puede realizar una transferencia de carga ya que cada una se distribuye en un sentido diferente, por esta razón se ha realizado la implementación de un seccionador calculando el punto medio de la distribución de la carga alimentadora para ubicar allí el seccionador respectivo. Además como existen muchos ramales monofásicos se ha procedido a ubicar fusibles también en cada uno de estos ramales.

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.

4.3.1 Análisis de los índices de Confiabilidad. A continuación, analizaremos los índices obtenidos de las distintas mejoras al sistema de protección primario de las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial: se presentaran las graficas de los índices de confiabilidad y luego las graficas de los índices de costos, realizando un comparativo entre los tres casos por cada una de las alimentadoras con los valores hallados. Para nuestro análisis comparativo usaremos los índices BC Hydro y los de la CEARE para el SAIFI y el SAIDI y los índices modelos de la Power Cooper para los demás índices.

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

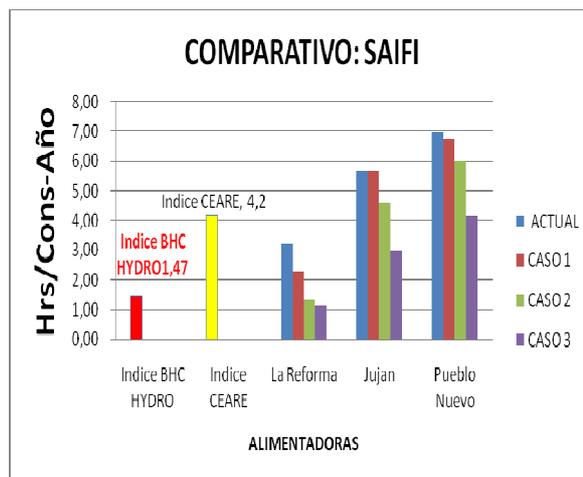


Figura 3. SAIFI por alimentadora

De la Figura 3 se deduce que la mejor alternativa es la del caso 3 para cada una de las alimentadoras. Con referencia a la norma CEARE solo la alimentadora Pueblo Nuevo está muy cerca de límite con un valor de 4.178 mientras que las demás alimentadoras están por debajo del valor establecido. Con respecto al índice de la Hydro solo la alimentadora La Reforma cumple con esta norma con un valor de 1,119.

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

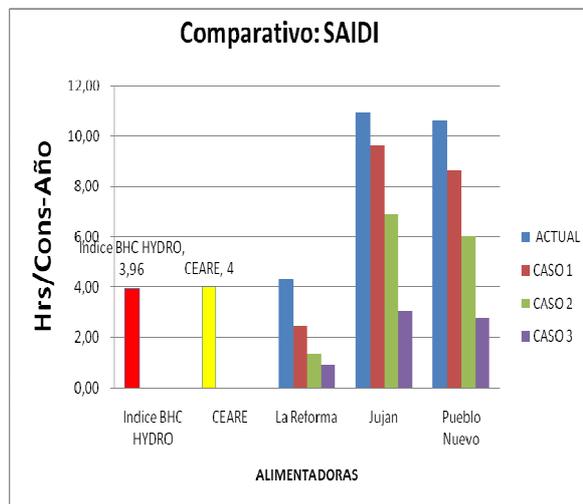


Figura 4. SAIDI por alimentadora

En la Figura 4 se muestra las variaciones que tiene el índice de la duración de la interrupción promedio del sistema SAIDI, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de las 3 alimentadoras en estudio. De aquí se puede establecer que la alimentadora La Reforma es la que presenta el índice más bajo de las tres alimentadoras y que todas tres

cumplen con los parámetros establecidos tanto por la CERAE y por la Hydro tomando como modelo el caso 3.

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

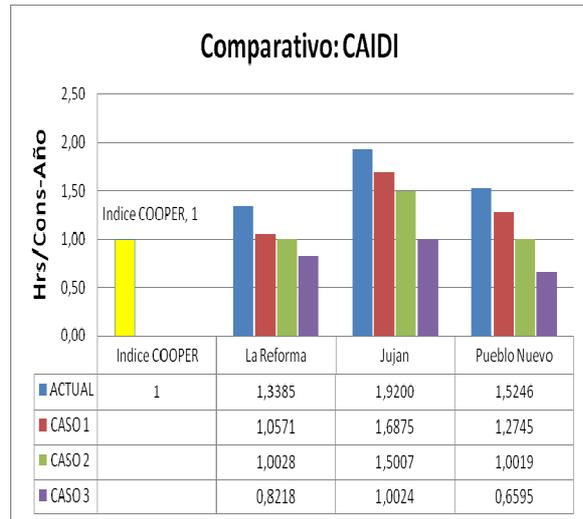


Figura 5. CAIDI por alimentadora

En la Figura 5 se muestran las variaciones que tiene el índice de la duración de la interrupción promedio de consumidores, dando como resultado que solo la alimentadora Juján está en los límites de la norma establecida por la Power Cooper mientras que en las demás alimentadoras si están por debajo del límite admisible, siempre considerando el caso 3 como la mejor alternativa.

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

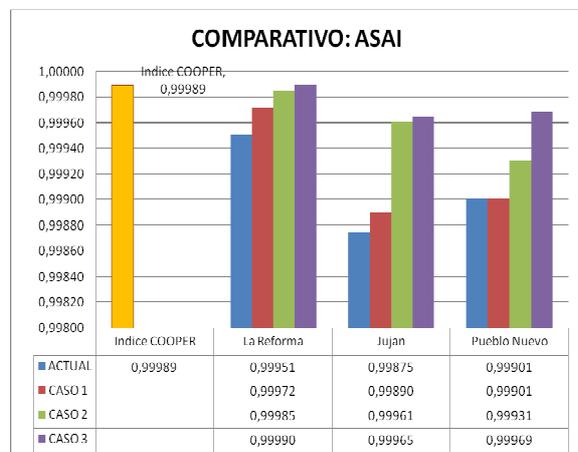


Figura 6. ASAI por alimentadora

A diferencia de los anteriores índices se cumple la meta si el valor de ASAI está por encima del valor dado por la norma de referencia.

En la Figura 6 se puede apreciar las variaciones que tiene el índice de la disponibilidad promedio de servicio, a pesar de que están bajo la norma establecida por la Power Cooper sin embargo si se han realizado mejoras para cada una de las alimentadoras resultando el caso 3 como la mejor opción.

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

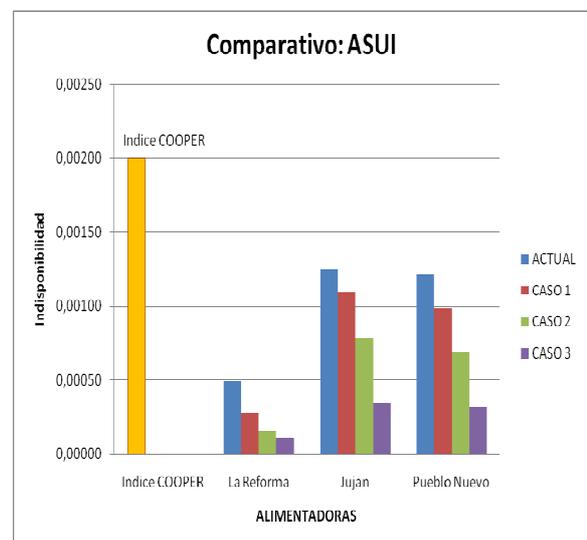


Figura 7. ASUI por alimentadora

El ASUI cumple la meta si el valor de este está por debajo del valor dado por la referencia al igual que el SAIFI y SAIDI.

Este índice resulta de la diferencia de la unidad menos el ASAI, por lo tanto no cabe hacer un análisis del ASUI ya que ya se lo hizo para el anterior índice.

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

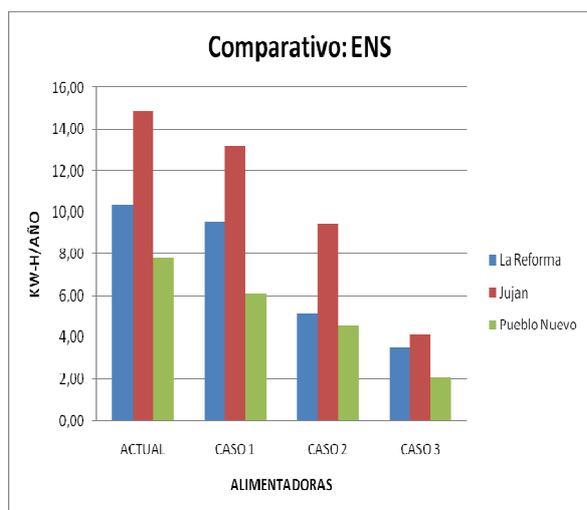


Figura 8. ENS por alimentadora

En la Figura 8 se muestra las variaciones que tiene el índice de energía no suplida, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de cada una de las alimentadoras.

Se puede ver un decrecimiento progresivo de este índice a medida que se realizan las mejoras, y es que este índice representa la energía total del sistema que no pudo ser suministrada, resultado el caso tres como la mejor alternativa de las planteadas en este estudio y la alimentadora Pueblo Nuevo como la que obtuvo el mejor índice de todas.

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

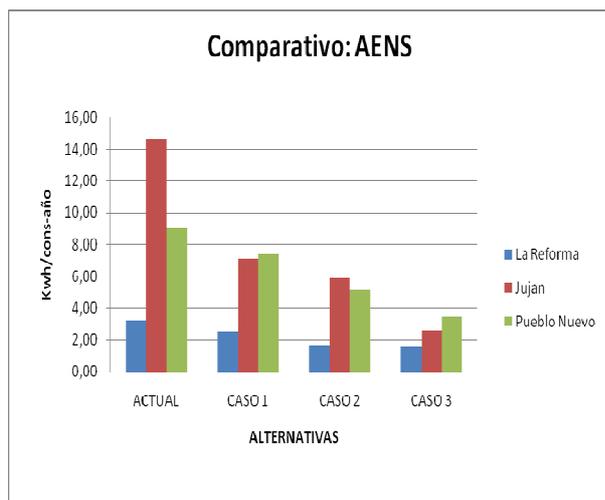


Figura 9. AENS por alimentadora

De la Figura 9 se puede apreciar que la alimentadora La Reforma es la que tiene el mejor

índice de energía promedio no suplida o índice de corte de carga promedio del sistema, debido a las mejoras hechas sobre el sistema de protecciones de las 3 alimentadoras en estudio. Sin embargo la más favorecida es la alimentadora Jujan en cuanto al porcentaje de mejora se refiere ya que ha disminuido notablemente el valor de este índice.

Este índice representa la energía total del sistema que no pudo ser suministrada por consumidor.

4.3.1 Análisis Técnico Económico. La variable económica para este análisis será el costo total que es más que la suma de los costos de interrupción que experimentan los usuarios, más el costo de inversión que realiza la empresa para mejorar la confiabilidad, también este costo puede expresarse como costo total por consumidor que resulta de dividir el costo total para el número de usuarios que posee la alimentadora. Estos costos se presentan de manera anual y resultan de la suma de dos términos:

- El costo de Interrupción que perjudica a los abonados
- El costo de inversión que sirve para que las interrupciones disminuyan y todo funcione correctamente.

Al final debería dar como resultado que ese obtenga el mayor beneficio posible con el menor costo.

Para determinar qué porcentaje le disminuirán los costos a un abonado o cuanto le aumentaran se debe obtener costo total por consumidor. El costo total por consumidor es el resultado de la relación entre el Costo Total y el número de abonados que tiene la alimentadora

El objetivo final es determinar que el costo de interrupción sea el menor de tal manera que a la misma vez se pueda dar un servicio continuo y confiable al consumidor, lo cual repercutirá en el hecho de que potenciales clientes se sientan seguros y confiados de invertir en el país sin riesgos de interrupciones innecesarias.

En la Figura10. se muestra el análisis de costos global del sistema

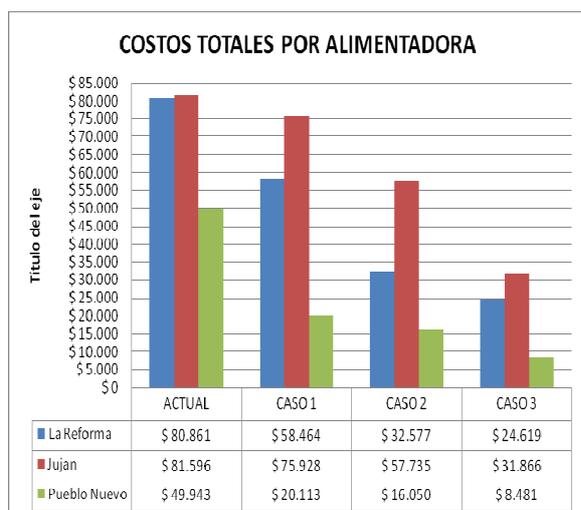


Figura 10. Costos Totales por Alimentadora

De la Figura10 se puede observar que a pesar de que a medida que se implementan equipos de protección y seccionamiento en cada uno de los casos analizados, el costo total se reduce progresivamente

Además podemos ver que para el caso 3 la alimentadora La Reforma es la que presenta los menores costos totales seguida por la alimentadora Juján no así la alimentadora La Reforma la cual presenta sus mejores costos para el caso 2.

En la Figura11 se muestra el análisis el análisis de costos global por consumidor por alimentadora.

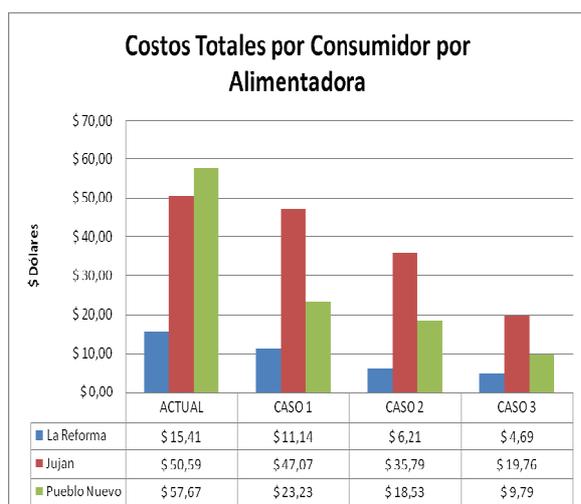


Figura 11. Costos Totales por consumidor

En la Figura11 se muestra las variaciones del costo total por consumidor, las que se producen debido a cada mejoramiento que se realiza en el sistema por

el rediseño en la topología o en el sistema de protecciones.

A medida que se buscan mas soluciones factibles que involucran costos de inversión llegara un punto que los costos de inversión superaran los costos de interrupción y por lo tanto nos va a resultar más costoso de los que antes iniciamos que era no hacer nada, es decir mantener el sistema actual.

Una vez culminados los análisis se puede decir que para efectos de nuestro estudio la mejor opción es la del caso 3 donde se ubicaron fusibles en todos los ramales que se derivan de la trocal y se ubico un seccionador considerando en el punto donde se tiene la mitad de la carga conectada a la alimentadora, obteniendo los mejores índices de confiabilidad del sistema a los costos más económicos posibles para cada una de las tres alimentadoras.

En la tabla 4 se puede con mayor claridad lo explicado en los párrafos anteriores y los valores hallados de los índices de confiabilidad y los costos por alimentadora y por consumidor de cada una de las alimentadoras de la Subestación Centro Industrial, lo que nos da la razón por la cual fue escogida como la mejor alternativa de nuestro trabajo.

CASO 3	La Reforma	Juján	Pueblo Nuevo
Saifi	1.1185692	3.022619	4.178158
Saidi	0.9192787	3.029850	2.755482
Caidi	0.8218344	1.002392	0.659497
Asai	0.999895	0.999654	0.999685
Asui	0.000104	0.000345	0.000314
Ens	3.5731887	4.154827	2.079980
Aens	0.6807370	2.581946	3.462306
COSTOS TOTALES POR ALIMENTADORA	\$ 24,619	\$ 31,866	\$ 8,481
COSTOS TOTALES POR CONSUMIDOR POR ALIMENTADORA	\$ 5	\$ 20	\$ 10

Tabla4. Mejor Alternativa: Caso 3

5. Conclusiones y Recomendaciones

- Del sistema actual con respecto al nivel de voltaje tenemos que la máxima caída de voltaje para cada alimentadora es el siguiente:

	Caída de Voltaje Máxima
La Reforma	5.71%
Pueblonuevo	3.25%
Jujan	5.69%

Por lo tanto, según la norma 004/01 del CONELEC que las 3 alimentadoras de la subestación Centro Industrial no tienen problemas en la regulación de voltaje.

- Las alimentadoras de la Subestación Centro Industrial tienen un desbalance de más o menos el 20% esto se debe a que no existe un control adecuado al momento de instalar las cargas muchos usuarios lo hacen con contratistas sin consultar previamente con la empresa sobre en que se debería instalar dicha carga.

Se recomienda hacer una campaña constante de concientización para la solución de este problema, tomando como base los valores analizados.

Para el caso de la Alimentadora Juján y Pueblo Nuevo, se puede transferir de un ramal a otro las cargas monofásicas para lograr el equilibrio deseado, ya que existen ramales que son innecesariamente largos cuando se pueden tomar de otro punto más adelante de la troncal sin tanto recorrido de línea lo cual minimizaría el valor de la impedancia. Para el caso de las alimentadoras La Reforma se debe hacer un cambio individual de transformadores a la fase menos cargada, debido a que esta posee pocos ramales monofásicos.

- 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, para las tres alimentadoras de la Subestación Centro Industrial indican que el sistema se mantiene dentro de los rangos aceptables. En comparación con otros países los índices o tolerancia depende de la regulación de cada país, como en el caso de Chile según el art. 246 del D.S. N° 327 del Reglamento de la Ley de Servicios Eléctricos de la Comisión Nacional de Energía dice que los valores máximos de los índices de calidad de suministro como el FMIK es 5 veces al año mientras los TTIK es de 14 horas al año por lo que los índices de las alimentadoras de la S/E Centro Industrial están dentro de los límites establecidos para dicha normativa.
- La veracidad y exactitud de los valores encontrados tanto para los índices de Confiabilidad como para los índices de Costos dependen sustancialmente de la veracidad de la información que la empresa posee sobre la bitácora de fallas y los datos históricos sobre las salidas de servicio del sistema, con las especificaciones de tiempos y causas de las fallas. Estos índices permiten evaluar el desempeño del sistema eléctrico de la subestación Centro Industrial y establecer las

mejoras a implementar para disminuir las interrupciones y, en consecuencia, las pérdidas por este concepto y los costos por las sanciones contempladas en la legislación.

- De acuerdo a nuestro estudio se puede concluir que si bien los Índices de Confiabilidad del sistema buscan la mejor opción técnica para el mejoramiento del sistema, estos tienen que ir necesariamente de la mano con los Índices de Costos para llegar a la mejor alternativa, tanto para el consumidor como para la empresa de distribución de la energía. De ahí la razón de aplicar un criterio económico donde arroje la mejor solución técnica posible pero que sea económicamente viable.
- En concordancia con los índices de confiabilidad y de costos encontrados para cada alimentadora se tiene que el Caso 3: Adicionar Seccionadores y colocar fusibles en todos los ramales, es la mejor alternativa para cada una de las alimentadoras ya que si justifica la inversión tanto en los costos para el consumidor como en los que se generan para la empresa, con la mejora sustancial de las interrupciones del servicio.
- Los índices de confiabilidad recomendados en las normas consideran aspectos como: la duración y frecuencia de las interrupciones temporales, número de interrupciones momentáneas, la cantidad de potencia interrumpida y de la energía no suministrada y el número de clientes afectados, por esta razón nuestra recomendación es que la empresa debería implementar un método más efectivo para llevar las estadísticas de interrupciones a través de la bitácora de las subestaciones y con base los reclamos de los clientes, como por ejemplo la implementación de un sistema Scada como lo tiene en la Subestación de Durán la empresa eléctrica EMELGUR, según lo que hemos investigado, y la implementación de una o dos líneas telefónicas exclusivas para atender las quejas de los abonados por la falta del suministro de la energía eléctrica cuando ocurre alguna falla en el algún elemento del sistema.
- Tanto la alimentadora Juján como la de Pueblo Nuevo tienen un recorrido de sus líneas en su mayor parte por el sector rural, razón por la cual la mayoría de las fallas se deben a factores externos como el hecho de que muchas plantaciones llegan a la altura de las líneas y causan las fallas al topar con estas, así también se encontró algunos tensores arrancados lo cual hace que los vanos se arqueen y las líneas tiendan a toparse entre sí ya sea por el viento o por movimientos que producen el paso de transporte pesado, por lo cual se recomienda que la

empresa establezca un cronograma de trabajos de mantenimientos preventivos como la limpieza y el desbroce de los terrenos adyacentes al recorrido de las líneas y la verificación del buen estado de los tensores.

- En el caso de la alimentadora La Reforma, esta tiene aproximadamente la mitad de su recorrido por zonas urbano marginales del cantón Babahoyo al igual que una parte de la líneas de la alimentadora Juján que pasa por el pueblo del mismo nombre y termina en el sector de Tres Postes, allí existe un fenómeno muy curioso con la cultura de la gente que tienen por costumbre jugar en las calles y arrojar los zapatos que ya no les sirven hacia arriba enredándolos de manera intencional en las líneas, lo que produce que por el peso acumulado las líneas tienda a tocarse entre sí ocasionando las fallas eléctricas. La empresa debería iniciar una campaña de concientización de la gente sobre los problemas que esto acarrea y el buen uso de la energía y el costo social y económico que produce este hecho tanto para los consumidores como para la empresa.

7. Referencias

- [1] Standard ANSI/IEEE 519-1992: IEEE Guía para control armónico y compensación de reactivos en convertidores de potencia estáticos.
- [2] “Cooper Power System, Electrical Distribution System Protection”, Cooper, 2005.
- [3] WESTINGHOUSE Electric Corporation, “Applied Protective Relaying”, Copyright 1979, Pág. 15
- [4] Empresa Centrosur, “Actualización del Estudio de Confiabilidad en el Sistema de Distribución de La Empresa Centrosur, Años 2002 - 2003 - 2004”
- [5] Regulación CONELEC - 004-01, “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”, 2001
- [6] IEEE Working Group on System Design, Trial “Use Guide for Power Distribution Reliability Indices”, Report P1366, IEEE, 1998.
- [7] Arriaga Mass Aldo, “Evaluación de la Confiabilidad de Sistemas Eléctricos en Sistemas de Distribución”, Tesis para obtener el Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Católica de Chile, 1994, Pág. 26.
- [8] Piñeros Luis_ Castaño Diego, “Estudio de Confiabilidad del Sistema de Distribución de Pereira usando el Método de Montecarlo”, Proyecto de Grado para optar el Título de Ingeniero Electricista, Universidad Tecnológica de Pereira, 2003, Pág. 15.
- [9] Venegas, Jaime, “Metodologías de Evaluación de Costo de Falla en Sistemas Eléctricos”,

Pontificia Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 1994. Pág. 62-63

- [10] Muguerza daniel, Kerszberg Ernesto, Fernández Rodrigo, “Valor de la Confiabilidad en el Sistema Eléctrico -La Discusión Metodológica para su Determinación”, CEARE, 2003. Pág. 32
- [11] Gyuk Imre, Baldwin Sam, “Understanding the Cost of Power Interruptions to U.S. Electricity Consumers, U.S. Department of Energy”, 2004, Pág 47-50.
- [12] Cooper Power Systems, “Analysis of Distribution System Reliability and Outage Rates”, R280-90-7, Cooper Power, 2004.