



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS
DE POTENCIA**

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA
REGULACIÓN 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE
MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL
AMBATO PARA DETERMINAR LOS ÍNDICES TTIK Y FMIK
PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.**

Autores:

Freddy Hernán Lagla Guanotasig

Víctor Edwin Carasayo Sillo

Director:

Ing. Barrera Flores Jaime Marcelo

Asesor Metodológico:

Dr. Galo Patricio Terán Ortiz

LATACUNGA - ECUADOR

Enero 2016



FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes:

- Lagla Guanotasig Freddy Hernán
- Carasayo Sillo Víctor Edwin

Con la tesis, cuyo título es:

“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACION 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS INDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al **Acto de Defensa de Tesis** en la fecha y hora señalada.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, diciembre de 2015

Para constancia firman:


Ing. Xavier Proaño
PRESIDENTE


Dr. Marcelo Bautista
MIEMBRO


Ing. Ángel Hernández
OPOSITOR


Ing. Jaime Marcelo Barrera Flores
TUTOR (DIRECTOR)



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Trabajo de
Grado
CIYA

COORDINACIÓN
TRABAJO DE GRADO

AUTORÍA

Nosotros: **Freddy Hernán Lagla Guanotasig** portador de la cedula de identidad 050326196-8 y **Carasayo Sillo Víctor Edwin** portador de la cedula de identidad 050338840-7, declaramos bajo juramento que esta tesis con el tema: **“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACIÓN 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS ÍNDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”** los criterios, ideas, opiniones y comentarios emitidos en este documento son exclusiva y responsabilidad de los autores que firman a continuación.

Lagla Guanotasig Freddy Hernán

C.I.: 050326196-8

Carasayo Sillo Víctor Edwin

C.I.: 050338840-7



AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema:

“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACION 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS INDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”

De los señores estudiantes; Freddy Hernán Lagla Guanotasig con C.I.: 050326196-8 y Carasayo Sillo Víctor Edwin con C.I.: 050338840-7 postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia.

CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación del Tribunal de Validación de Tesis** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, diciembre de 2015

Atentamente,

Ing. Barrera Flores Jaime Marcelo.

C.I. 180184877-9

DIRECTOR DE TESIS



AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO

En calidad de Asesor Metodológico del trabajo de investigación sobre el tema:

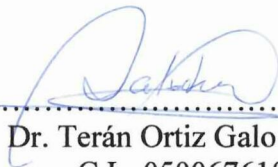
“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACION 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS INDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”

De los señores estudiantes; Freddy Hernán Lagla Guanotasig con C.I.: 050326196-8 y Carasayo Sillo Víctor Edwin con C.I.: 050338840-7, postulantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia,

CERTIFICO QUE:

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos - técnicos necesarios para ser sometidos a la **Evaluación del Tribunal de Validación de Tesis** que el Honorable Consejo Académico de la Unidad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, diciembre de 2015


.....
Dr. Terán Ortiz Galo Patricio

C.I.: 050067610-1

ASESOR METODOLOGICO

V



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

Trabajando con energía..!

CERTIFICACIÓN

En calidad de Jefe de Área de Reparaciones y Alumbrado Público de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., a petición verbal de los interesados, certifico que:

Los señores Carasayo Sillo Víctor Edwin, portador de la cedula de ciudadanía No. 050338840-7 y Lagla Guanotasig Freddy Hernán, portador de la cedula de ciudadanía No: 050326196-8., realizaron la Tesis de Grado con el tema:

“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACIÓN 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS ÍNDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”, bajo la supervisión de esta área, siguiendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos por la Empresa.

Es todo cuanto certificar en honor a la verdad, facultad a los interesados, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Ambato, 4 de Enero de 2016

Atentamente:

ING. Franklin Melo
C.I:100237977-2

Jefe de Área de Reparaciones y Alumbrado Público

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional en mis años de estudio. A los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi en especial al Ing. Marcelo Barrera y al Dr. Galo Terán por compartir sus conocimientos para llegar a la meta propuesta.

A todos mis compañeros por el apoyo, consejos y ánimo en el transcurso de nuestros estudios.

Freddy

AGRADECIMIENTOS

Mi eterno agradecimiento a mis maestros por compartir sus conocimientos día tras día para el logro del objetivo propuesto.

De manera especial a mi amigo Armando Lashuisa, a la Universidad Técnica de Cotopaxi, al Personal Técnico de la Empresa Eléctrica Ambato S.A y a mi director del proyecto de investigación Ing. Marcelo Barrera.

Víctor

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mis padres: Segundo Lagla y María Guanotasig, por los consejos, confianza y el apoyo que me han brindado y a toda mi familia, que siempre ha estado apoyándome.

A mi adorada hija Heidi y mi esposa que son mi inspiración para cumplir mis metas.

Freddy

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme a seguir el camino del bien durante el periodo académico.

A mis padres y hermanos de manera especial a María Dolores y José Ignacio, quienes con su consejo y apoyo hicieron que llegue a concluir con éxito el objetivo planteado.

Victor

ÍNDICE

PRELIMINARES.....	i
PORTADA	i
FORMULARIO DE LA APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	ii
AUTORÍA	iii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS.....	iv
AVAL DEL ASESOR DE TESIS.....	v
CERTIFICADO EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	ix
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xx

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 <i>Sistemas eléctricos de distribución</i>	1
1.2 <i>Regulación No. ARCONEL – 004/01 Calidad del servicio eléctrico de distribución</i>	2
<i>Aspectos de calidad</i>	2
1.2.1 <i>Calidad del servicio técnico</i>	2
1.2.2 <i>Índices</i>	5
<i>Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado (FMIK)</i>	5
<i>Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK)</i>	5
<i>Registro</i>	6
1.3 <i>Teoría de confiabilidad</i>	7
<i>Costo de la confiabilidad</i>	7
<i>Tasa de fallas durante la vida de un componente o sistema</i>	8
<i>Teoría de confiabilidad aplicada a sistemas de distribución</i>	9
1.4 <i>Metodología de las cadenas de Markov</i>	9
<i>Procesos estocásticos</i>	10
<i>Técnica de frecuencia y duración</i>	11
1.4.1 <i>Metodología para evaluación de confiabilidad</i>	12
1.4.2 <i>Modelo de la red</i>	14
<i>Tiempo de interrupción</i>	16

1.5	<i>Reconfiguración de los sistemas de distribución.....</i>	21
	<i>Finalidad de la reconfiguración.....</i>	22
	<i>Efecto de la reconfiguración en la confiabilidad.....</i>	22
1.6	<i>Software CYMDIST.....</i>	22

CAPITULO II

PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....

2.1	<i>Aspectos generales de la Empresa Eléctrica Ambato Regional</i>	
	<i>Centro Norte S.A.</i>	24
	<i>Antecedentes históricos.....</i>	24
	<i>Área de concesión.....</i>	24
	<i>Misión.....</i>	25
	<i>Visión.....</i>	25
2.1.1	<i>Subestación Samanga.....</i>	25
	<i>Topología del alimentador parque industrial Ambato.....</i>	30
	<i>Características técnicas del alimentador en estudio.....</i>	31
2.2	<i>Diseño metodológico.....</i>	31
2.2.1	<i>Métodos de investigación.....</i>	31
	<i>Recopilación de datos.....</i>	32
2.3	<i>Efectos de las interrupciones de servicio a los consumidores.....</i>	35
2.4	<i>Desarrollo territorial de parques industriales en el Ecuador.....</i>	37
2.5	<i>Modelamiento del alimentador Parque Industrial Ambato.....</i>	38
2.5.1	<i>Tasa de fallas estimada de los componentes del sistema.....</i>	38
	<i>Tiempo estimado de interrupción de los componentes del sistema.....</i>	39
	<i>Clasificación de estados.....</i>	40
2.6	<i>Calculo de los índices de confiabilidad en el estado actual.....</i>	40
2.7	<i>Análisis de flujo de carga del alimentador en el estado actual.....</i>	42
2.8	<i>Verificación de la hipótesis.....</i>	43

CAPITULO III

DISEÑO DE LA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO

	TÉCNICO.....	45
3.1	<i>Presentación.....</i>	45
3.2	<i>Justificación.....</i>	45
3.3	<i>Objetivos.....</i>	46
3.4	<i>Desarrollo de la propuesta.....</i>	47
	<i>Consideraciones técnicas.....</i>	47
3.4.1	<i>Reconfiguración de la topología de la red primaria para mejorar la calidad de servicio técnico.....</i>	48
3.5	<i>Presupuesto estimado de las propuestas.....</i>	58
	<i>Propuesta 1.....</i>	58
	<i>Propuesta 2.....</i>	59

3.6	<i>Factibilidad operacional</i>	60
	<i>Conclusiones</i>	62
	<i>Recomendaciones</i>	63
	<i>Términos y siglas</i>	64
	<i>Bibliografía</i>	66
	<i>Anexos</i>	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aspectos de la calidad de servicio	2
Tabla 2 Clasificación de las interrupciones.....	4
Tabla 3 Límite admisibles para los índices de calidad	6
Tabla 4 Costos de interrupción del servicio	7
Tabla 5 Periodos de la curva de la bañera.....	9
Tabla 6 Interrupciones aportadas, según tipo de elemento	20
Tabla 7 Tiempos de interrupción.....	20
Tabla 8 Potencia (kW) consumida por los alimentadores de la subestación Sanamga	29
Tabla 9 Parametros del alimentador P.I.A del día 21 de marzo 2014.	30
Tabla 10 Características técnicas del alimentador P.I.A.....	31
Tabla 11 Índices de calidad de servicio técnico en el año 2014 del alimentador en estudio	34
Tabla 12 Índices de calidad de servicio técnico del alimentador en estudio de la base SISDAT	35
Tabla 13 Proyección de las empresas del sector industriales.....	38
Tabla 14 Tiempos de interrupción del alimentador primario en estudio	40
Tabla 15 Clasificación de los estados de los componentes del sistema.....	40
Tabla 16 Diagnóstico del alimentador en estudio	41
Tabla 17 Resultados del flujo de carga de los alimentadores en el estado actual .	43
Tabla 18 Comparación de los índices del modelo de Markov y los índices reales	44
Tabla 19 Comparación de los índices de confiabilidad de las dos propuestas.....	44
Tabla 20 Resultados del flujo carga de los dos fragmentos del Alimentador Parque Industrial Ambato.....	49
Tabla 21 Diagnóstico del alimentador en estudio con la reconfiguración de la topología de la red propuesta 1.....	50
Tabla 22 Resultados del flujo de carga al realizar transferencia de carga a los alimentadores Cunchibamba y Paso Lateral, propuesta 2.....	53
Tabla 23 Resultados del flujo de carga de los tramos del alimentador Paso Lateral al realizar la transferencia de carga del alimentador P.I.A., propuesta 2.....	54
Tabla 24 Resultados del flujo de carga de los tramos del alimentador Cunchibamba al realizar transferencia de carga del alimentador P.I.A., propuesta 2	55
Tabla 25 Diagnóstico del alimentador en estudio con la reconfiguración de la topología de la red.....	57
Tabla 26 Presupuesto estimado propuesta 1	59
Tabla 27 Presupuesto estimado propuesta 2	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Tasa de fallas de un componente o sistema	8
Gráfico 2 Diagrama del espacio de estados operación- falla-reparación-operación....	11
Gráfico 3 Disposición de elementos serie	13
Gráfico 4 Tiempo total de interrupción del servicio eléctrico.....	16
Gráfico 5 Flujo grama de análisis de estados	19
Gráfico 6 Software CYMDIST utilizado para la modelación de la red de medio voltaje.....	23
Gráfico 7 Esquema de conexión líneas de la Subestación Samanga	25
Gráfico 8 Diagrama eléctrico unifilar, Subestación Samanga	26
Gráfico 9 Potencia Instalada de los alimentadores de los la S/E Samanga.....	27
Gráfico 10 Potencia en el periodo base del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga.....	27
Gráfico 11 Potencia en el periodo media del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga.....	28
Gráfico 12 Potencia en el periodo punta del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga.....	28
Gráfico 13 Topología del alimentador Parque Industrial Ambato software ArcGIS	30
Gráfico 14 Registro de las interrupciones de servicio en la base SISDAT	33
Gráfico 15 Registro de las interrupciones en la base de datos SISDAT.....	34
Gráfico 16 Consumo de energía en GWh/Mes promedio de los alimentadores de la S/E Samanga	35
Gráfico 17 Secuencia de producción de las industrias.....	37
Gráfico 18 Reconfiguración de la topología de la red propuesta 1	49
Gráfico 19 Reconfiguración de la topología de la red propuesta 2	53
Gráfico 20 Análisis de los beneficios de las propuestas	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diagrama eléctrico unifilar del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Anexo 2 Diagrama eléctrico unifilar de los alimentadores de la S/E Samanga.

Anexo 3 Esquema de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador parque industrial Ambato.

Anexo 4 Matriz de estado de los tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio.

Anexo 5 Matriz de tasa de fallas de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio.

Anexo 6 Matriz de tiempo de interrupción de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio.

Anexo 7 Matriz de tiempo de indisponibilidad de servicio de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio.

Anexo 8 Datos del flujo de carga de los tramos del alimentador en estudio

Anexo 9 Esquema de la reconfiguración de la topología de la red del alimentador parque industrial Ambato propuesta 1.

Anexo 10 Matriz de estado de los tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 1.

Anexo 11 Matriz de tasa de fallas de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 1.

Anexo 12 Matriz de tiempo de interrupción de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 1.

Anexo 13 Matriz de tiempo de indisponibilidad de servicio de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 1.

Anexo 14 Datos del flujo de carga de los tramos del alimentador en estudio de la propuesta 1

Anexo 15 Esquema de la reconfiguración de la topología de la red del alimentador parque industrial Ambato propuesta 2.

Anexo 16 Matriz de estado de los tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 2.

Anexo 17 Matriz de tasa de fallas de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 2.

Anexo 18 Matriz de tiempo de interrupción de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 2.

Anexo 19 Matriz de tiempo de indisponibilidad de servicio de tramos y dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio propuesta 2.

TEMA: “ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACIÓN 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS ÍNDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”

RESUMEN

En el presente estudio se determina los índices de calidad de servicio técnico que brinda la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., a los consumidores del Alimentador Primario Parque Industrial Ambato perteneciente a la Subestación Samanga, aplicando la metodología de las cadenas de Markov y la técnica de frecuencia y duración, se obtiene índices de confiabilidad Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado (TTIK) y Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado (FMIK) similares a los proporcionados por el Departamento de Operación y Mantenimiento (DOM) del año 2014, mismos que están dentro de los límites establecidos por la Agencia de Regulación y Control (ARCONEL) en la Regulación N° 004/01, Calidad de servicio eléctrico de distribución, del análisis se plantea dos propuestas mediante la reconfiguración de la topología de la red primaria que permitirán mejorar la disponibilidad de servicio eléctrico, disminuyendo los tiempos y frecuencia de interrupción, reduciendo de esta manera principalmente pérdidas de producción de las industrias y posibles sanciones que establece el ente regulador por Energía No Suministrada (ENS) a la empresa. Para simular el comportamiento del sistema se utilizó el software CYMDIST con el que mediante el análisis de flujo de carga de la red se analizó las condiciones de operación del sistema ante transferencia de carga a alimentadores aledaños, permitiendo verificar la cargabilidad de los conductores de la red de medio voltaje, como un análisis secundario del estudio.

Palabras Claves: Confiabilidad, metodología de Markov, alimentador, ARCONEL, TTIK, FMIK, CYMDIST, ENS, distribución, cargabilidad.

TOPIC: “ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACIÓN 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS ÍNDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”

ABSTRACT

In this study is determined the rates of technical service quality that provides the Electric company Ambato Regional Centro Norte S.A. to the consumers of feeder Industrial Park Ambato belonging to the Substation Samanga, applying the methodology of the Markov chains and the technique of frequency and duration, is obtained indices of reliability Time Total of Interrupt for nominal kVA installed (TTIK) and Frequency Average of Interruption for nominal kVA installed (FMIK) similar to those provided by the Department of Operation and Maintenance (DOM) in the year 2014, same that are within of the limits established by the Agency of Regulation and Control (ARCONEL) in the Regulation No. 004/01, Quality of service electrical of distribution, of analysis are raises two proposals through the reconfiguring the topology of the primary grid that will allow improve the availability of electricity service, decreasing the time and frequency of interruption, reducing thereby mainly losses of production of the industries and possible penalties established by the regulator entity for Energy Not Supplied (ENS) to the company. For simulate the behavior of the system is used the CYMDIST software through of analyzing of flow of load of the grid are analyzed the conditions operating of the system in the case of transfer load to neighboring grid, allowing verify the chargeability of the grid of medium voltage, as a secondary analysis of study.

Keywords: Reliability, Markov methodology, network, ARCONEL, TTIK, FMIK, CYMDIST, ENS, distribution, chargeability.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica De Cotopaxi en forma legal certifico que: la traducción del resumen de tesis al idioma ingles cuyos autores son: Freddy Hernán Lagla Guanotasig con C.I.: 050326196-8 y Carasayo Sillo Víctor Edwin con C.I. 050338840-7: autores del tema: **“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE ACUERDO A LA REGULACION 004/01 UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR PARQUE INDUSTRIAL AMBATO PARA DETERMINAR LOS INDICES TTIK Y FMIK PERTENECIENTE A LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.”** cumple con una correcta estructura gramática del idioma.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad.

Latacunga, diciembre de 2015

Atentamente,

.....
Lic. Ximena del Rocío López Meneses

C.I.: 050222925-5

DOCENTE DEL CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el ente encargado de establecer las Normas Leyes y Reglamentos para el sector eléctrico es la Agencia de Regulación y Control (ARCONEL) para que los consumidores tengan energía eléctrica de calidad establece los siguientes parámetros: calidad de producto (perturbaciones, nivel de voltaje y factor de potencia), calidad de servicio técnico (frecuencia de interrupción y duración de interrupción) y calidad de servicio comercial (errores de medición y facturación, atención de solicitudes y reclamos), fijando límites a los índices en los cuales deben estar las empresas distribuidoras en el área de concesión.

El objetivo general de la presente investigación es:

Analizar la calidad de servicio técnico (Índices Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado y Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado) de acuerdo a la Regulación N° ARCONEL 004/01 utilizando la metodología de las cadenas Markov para disminuir la frecuencia y duración de las interrupciones del alimentador parque industrial Ambato perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Los objetivos específicos son:

Recopilar datos históricos de las interrupciones de los alimentadores urbanos del área de concesión de la EEASA y los índices TTIK y FMIK del alimentador Parque Industrial Ambato del año 2014.

Calcular los índices de confiabilidad aplicando la metodología de las cadenas de Markov y la técnica de frecuencia y duración de las interrupciones.

Comparar los índices calculados con la metodología de Markov con los que posee la EEASA según la Regulación N° ARCONEL 004/01.

Proponer reconfiguración de la topología de la red primaria que permita disminuir los índices TTIK y FMIK.

El estudio consta de tres capítulos:

En el Primer Capítulo se realiza la recopilación del **MARCO TEÓRICO** de diferentes textos relacionados con el tema que servirá como base teórica para desarrollar la investigación, mediante normas que permiten citar el texto extraído de diferentes bibliografías.

El Segundo Capítulo se refiere a la **PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS** que se obtiene mediante la recopilación de datos y entrevistas que servirán para analizar el tema a investigar.

En el Tercer Capítulo se presenta las **PROPUESTAS** para mejorar la continuidad de suministro de energía eléctrica en el alimentador Parque Industrial Ambato, el análisis de la cargabilidad de las líneas, el costo que tendrán las propuestas, además las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron al realizar el presente estudio.

Además, en los **ANEXOS** se presenta las matrices de: estado, tasa de fallas, tiempo de interrupción y tiempo de indisponibilidad de los componentes del sistema de distribución en el año 2014 y las matrices propuestas.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Sistemas eléctricos de distribución

ARANCIBIA Rodrigo, (2008) menciona que las redes de distribución primarias se las diseña principalmente para que funcionen con una topología radial esta tiene varios componentes en serie desde la subestación a un punto de carga, la falla de un componente en el sistema radial afecta a uno o varios consumidores, sin embargo se construye redes de distribución parcialmente malladas para transferencia de carga a alimentadores adyacentes en caso de falla de un componente.

Componentes de la red primaria:

- **Líneas.-** Los tramos pueden ser aéreos o subterráneos, los tramos aéreos están expuestos a fallas por efectos externos y climatológicos además de representar riesgo en zonas densamente pobladas y afectar a la estética urbana.
- **Centros de Transformación.-** Estos transforman el nivel de voltaje de la red primaria de medio voltaje a bajo voltaje, mediante la red secundaria que suministra energía eléctrica a los consumidores.
- **Equipos de protección y seccionamiento.-** Su función es la apertura y cierre de una parte del tramo de la red de distribución primaria en caso de falla, transferencia de carga, protección entre otras. Existe una diversidad de equipos, como: seccionadores-fusibles, seccionadores de maniobra, seccionalizadores, reconectadores, interruptores, etc. Los accionamientos se los puede realizar de forma manual, automática o telecomandados (sistemas SCADA).

Regulación No. ARCONEL – 004/01 Calidad del servicio eléctrico de distribución

Aspectos de calidad

La Calidad de servicio se medirá considerando los aspectos siguientes:

Tabla 1 Aspectos de la calidad de servicio

Calidad del producto:	Calidad del servicio técnico:	Calidad de servicio comercial:
Nivel de voltaje	Frecuencia de interrupciones	Atención de solicitudes
Perturbaciones de voltaje	Duración de interrupciones	Atención de reclamos
Factor de potencia		Errores en medición y facturación.

Fuente: Regulación No. ARCONEL – 004/01

La calidad de servicio de las empresas eléctricas se evalúa de acuerdo a la forma de onda de voltaje medida en los usuarios, la confiabilidad de las redes de distribución y la atención de los requerimientos de los usuarios de las redes de distribución, en el área de concesión.

1.1.1 Calidad del servicio técnico

Según la “Regulación N°. ARCONEL – 004/01” menciona que “La calidad del servicio técnico prestado se evalúa sobre la base de la frecuencia y la duración total de interrupción.” Pág. 10

La evaluación de la calidad de servicio técnico que brindan las Empresas Eléctricas se realiza de acuerdo al número y duración de las interrupciones de suministro eléctrico de las redes de distribución, índices que deben ser presentados cada año al ARCONEL.

Identificación de las interrupciones

La información relacionada con cada una de las interrupciones que ocurran en la red eléctrica se identificará de la siguiente manera:

- Fecha y hora de inicio de cada interrupción.
- Identificación del origen de las interrupciones: internas o externas
- Ubicación e identificación de la parte del sistema eléctrico afectado por cada interrupción: circuito de bajo voltaje, centro de transformación de medio voltaje a bajo voltaje, circuito de medio voltaje, subestación de distribución, red de alto voltaje.
- Identificación de la causa de cada interrupción.
- Relación de equipos que han quedado fuera de servicio por cada interrupción, señalando su respectiva potencia nominal.
- Número de Consumidores afectados por cada interrupción.
- Número total de Consumidores de la parte del sistema en análisis.
- Energía no suministrada.
- Fecha y hora de finalización de cada interrupción.

Esta información debe tener interrelación con las bases de datos, de tal manera que se permitirá identificar claramente a todos los consumidores afectados por cada interrupción que ocurra en el sistema eléctrico.

Registro y clasificación de las interrupciones

En el registro, las interrupciones se pueden clasificar de acuerdo a los parámetros que se indican a continuación, los que deberán tener un código para efectos de agrupamiento y de cálculos:

Tabla 2 Clasificación de las interrupciones

Duración	Origen	Causa	Voltaje nominal
Breves, las de duración igual o menor a tres minutos.	Externas al sistema de distribución. <ul style="list-style-type: none"> • Otro distribuidor • Transmisor • Generador • Restricción de carga • Baja frecuencia 	Programadas. <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento • Ampliaciones • Maniobras 	Bajo voltaje
		Internas al sistema de distribución. <ul style="list-style-type: none"> • Programadas • No programadas 	No programadas (intempestivas, aleatorias o forzadas). <ul style="list-style-type: none"> • Climáticas • Ambientales • Terceros • Red de alto voltaje • Red de medio voltaje • Red de bajo voltaje
Alto Voltaje			

Fuente: Regulación No. ARCONEL – 004/01

Las interrupciones de suministro eléctrico se las clasifican de acuerdo al origen y la causa, además se debe registrar si fueron programadas por la empresa o no programadas debido a factores externos

Interrupciones a ser consideradas

Según la “Regulación N°. ARCONEL – 004/01” menciona que: Para el cálculo de los índices de calidad que se indican en detalle más adelante, se considerarán todas las interrupciones del sistema con duración mayor a tres (3) minutos, incluyendo las de origen externo, debidas a fallas en transmisión. No serán consideradas las interrupciones con duración igual o menor a tres (3) minutos.”

Pág. 12

Para calcular los índices de confiabilidad solo se consideran las interrupciones sostenidas (mayores a tres minutos) mismas que deben ser registradas de acuerdo al origen y la causa, no se evaluarán las interrupciones que sean causadas por terceros para el cálculo de los índices.

1.1.2 Índices

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

Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado (FMIK)

En un período determinado, representa la cantidad de veces que el kVA promedio sufrió una interrupción de servicio expresado en fallas por kVA.

$$FMIK = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

\sum_i : Sumatoria de todas las interrupciones del servicio "i" con duración mayor a tres minutos

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

kVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.

Los índices FMIK permiten determinar la cantidad de veces que la potencia instalada fue interrumpida a causa de una falla permanente debido a mantenimientos, ampliaciones de la red de distribución, entre otras

Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK)

En un período determinado, representa el tiempo medio en que el kVA promedio no tuvo servicio expresado en horas por kVA.

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}} \quad \text{Ecuación 2}$$



Donde:

\sum_i : Sumatoria de todas las interrupciones de servicio en el alimentador.

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

KVAinst: Cantidad de kVA nominales instalados.

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

Mediante los índices TTIK se determina el tiempo que la potencia promedio fue interrumpida a los consumidores de un alimentador, el registro se realiza desde el momento en que se produjo la falla hasta el momento que se restablece el servicio de energía eléctrica a los consumidores.

Registro

Según la "Regulación N°. ARCONEL – 004/01" menciona que "El Distribuidor entregará informes anuales al ARCONEL con los resultados de su gestión en el año inmediato anterior, especificando las interrupciones y los indicadores de control resultantes por toda la empresa y por alimentador de MV, y el monto de las Compensaciones en caso de corresponder. El ARCONEL podrá auditar cualquier etapa del proceso de determinación de índices, así como exigir informes de los registros de interrupciones, con una periodicidad menor a la anual." Pág. 14

Las empresas eléctricas presentan informes al ARCONEL con los resultados del desempeño de los sistemas de distribución, en índices que cuantifican el servicio que brinda cada año a los consumidores del área de concesión, el ente regulador puede auditar la información presentada con el fin de verificar si se está cumpliendo con el registro de las interrupciones ocurridas.

Tabla 3 Límite admisibles para los índices de calidad

Indices	Lim FMIK	Lim TTIK
Alimentador Urbano	5.0	10.0
Alimentador Rural	6.0	18.0

Fuente: Regulación No. ARCONEL – 004/01

Los límites de los índices de confiabilidad en los cuales debe estar las redes de distribución primarias se pueden observar en la Tabla 3 mismas que deben ser calculadas para cada alimentador y para todas las redes del área de concesión de la empresa distribuidora.

Teoría de confiabilidad

ZARUMA Jorge y BLACIO Diego (2012) mencionan que “La confiabilidad $R(t)$ se define como la probabilidad de que un equipo del sistema de distribución desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que ha sido diseñado durante un periodo de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación ambientales y de entorno adecuadas” Pág. 13.

La continuidad de suministro de energía depende de la confiabilidad de los componentes conectados en el sistema de distribución, los mismos que están conectados de forma radial (serie) estos deben ser diseñados para el entorno en el cual van a operar por un lapso de tiempo, cumpliendo su vida útil sin presentar fallas.

Costo de la confiabilidad

ZAPATA, Carlos (2011) menciona que “El nivel aceptable de confiabilidad depende de lo que los usuarios y la sociedad en su conjunto estén dispuestos a pagar por esta. Este nivel aceptable de confiabilidad puede ser diferente del óptimo matemático.” Pág. 6.

Tabla 4 Costos de interrupción del servicio

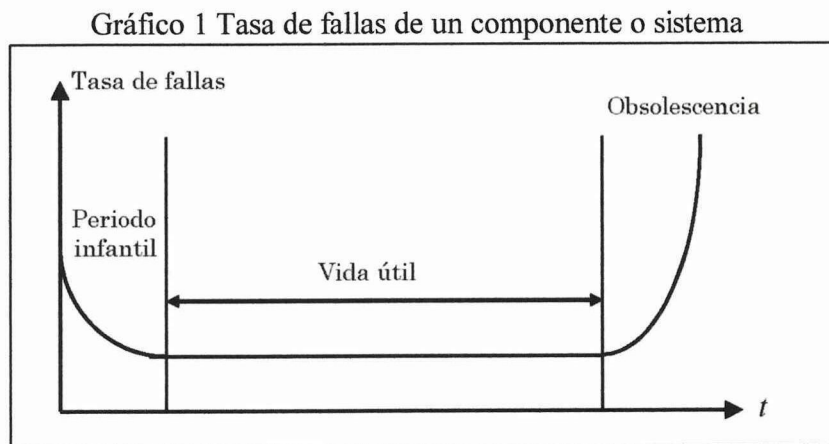
Empresa distribuidora	Usuarios
<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de utilidades por energía no vendida • Pago de personal cesante • Pago de multas y sanciones • Pago de compensación a los usuarios • Imagen corporativa 	Dependen de: <ul style="list-style-type: none"> • Criticidad de la carga • Duración de la interrupción • Tiempo desde la última interrupción • Hora del día y época del año • Oportuno aviso de la interrupción • Experiencia en el manejo de este tipo de situación

Fuente: Zapata Grisales, 2011

(Zapata Grisales, 2011) El mejorar el nivel de confiabilidad de un sistema de distribución requiere de inversiones tales como: construir redes, automatización del sistema utilizando tecnologías adecuadas, mantenimientos preventivos a los componentes del sistema entre otros. Los cuales tienen un costo de inversión, misma que deben ser justificados en relación a los costos asociados a las fallas o interrupciones de servicio, sin embargo en ciertas ocasiones las inversiones se las realiza de acuerdo a la sensibilidad de la carga como en el caso de hospitales, el ente regulador con el objetivo de controlar la calidad de servicio que brindan las empresas distribuidoras establece sanciones por costos de Energía No Suministrada (ENS).

Tasa de fallas durante la vida de un componente o sistema

En confiabilidad es común asumir que la tasa de fallas durante la vida operativa de un componente reparable o no reparable sigue la curva de la bañera presentada en el Gráfico 1. Esta curva tiene tres periodos descritos en la Tabla 5.



Fuente: Zapata Grisales, 2011

La curva de la bañera permite determinar el comportamiento de un componente o sistema de acuerdo a la tasa de fallas, la cual al comienzo de la operación del componente o sistema puede fallar por errores de diseño fabricación o instalación posterior a este periodo la tasa de fallas es constante debido a que está operando en las condiciones para las cuales fue diseñado, la tasa de fallas crece cuando el componente cumplió con su vida útil.

Tabla 5 Periodos de la curva de la bañera

Infantil	Vida útil	Obsolescencia
<ul style="list-style-type: none"> • La tasa de fallas decrece con el tiempo. • Las fallas ocurren debido a errores de diseño o fabricación. • Una vez se revisa el diseño o se ajusta el componente empieza su vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> • La tasa de fallas es constante y tiene el valor más bajo. • Las fallas ocurren en forma completamente aleatoria. • Entonces, el asumir que un componente tiene tasa de fallas constante implica asumir que está en su vida útil y viceversa. 	<ul style="list-style-type: none"> • La tasa de fallas crece con el tiempo.

Fuente: Zapata Grisales, 2011

Teoría de confiabilidad aplicada a sistemas de distribución

En el estudio de confiabilidad se puede evaluar el desempeño de un sistema o componente mediante índices que permitan reflejar la calidad de servicio dado a los consumidores, para evaluar la confiabilidad de las redes de distribución existen varios métodos como son:

- Cadenas de Markov
- Método de cortes mínimos
- Modo de falla y análisis de efectos
- Método de Monte Carlo

De igual manera existen una gran cantidad de metodologías para evaluar la confiabilidad de los sistemas de distribución.

Metodología de las cadenas de Markov

GONZALES, Alfonso (2007) menciona que “Una cadena de Markov, que recibe su nombre del matemático Ruso Andrei Markov, es una serie de eventos, en los cuales la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior. Por lo tanto, las cadenas de este tipo tienen memoria.

Recuerdan el último evento y esto condiciona las posibilidades de los eventos futuros.” Pág. 10

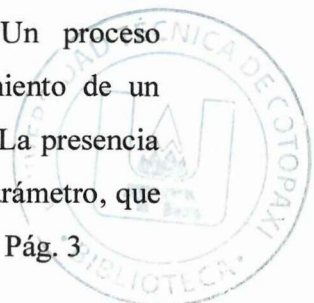
La metodología de las cadenas de Markov son procesos estocásticos que permiten determinar de manera cuantitativa los índices de confiabilidad de frecuencia y duración de fallas de un sistema y posteriormente mejorar la disponibilidad del servicio eléctrico. Mediante los estados de un sistema y la matriz de probabilidad de transiciones de cada componente se pueden evaluar la probabilidad de que un componente del sistema falle en un instante de tiempo determinado esto se realiza con datos históricos del comportamiento del sistema.

ARANCIBIA Órdenes, (2008) menciona que “...en una red eléctrica, ya sea del sistema de Distribución o Transmisión, cada uno de sus componentes es reemplazable o reparable al momento de fallar, dependiendo de la naturaleza del componente. De esta manera se establece una condición de operación normal del sistema o parte de la red afectada...”Pág. 25

Un sistema de distribución está constituido por varios componentes o subsistemas los cuales por la topología de la red al momento de la falla en uno de ellos afectan a parte de la red, dejando sin suministro de energía eléctrica a los consumidores, el componente (tramo, seccionador, dispositivo de protección entre otros) se puede reemplazar o reparar restableciendo la operación normal del sistema.

Procesos estocásticos

ROJO Horacio, MIRANDA Miguel, (2009) menciona que “Un proceso estocástico es un modelo matemático que describe el comportamiento de un sistema dinámico, sometido a un fenómeno de naturaleza aleatoria. La presencia de un fenómeno aleatorio hace que el sistema evolucione según un parámetro, que normalmente es el tiempo cambiando probabilísticamente de estado”. Pág. 3



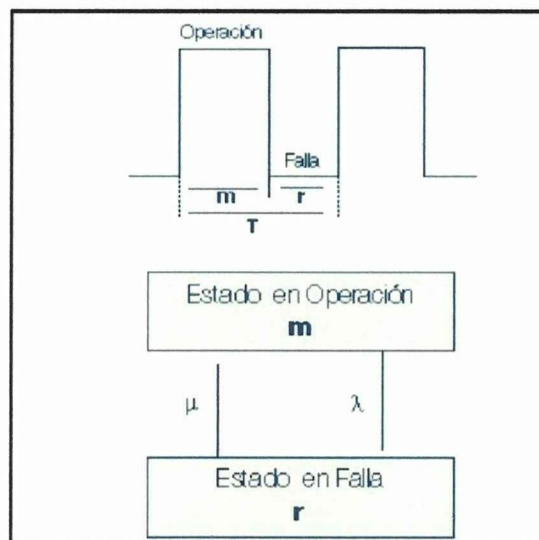
El proceso estocástico permite determinar el comportamiento de un sistema a través de variables aleatorias el cual mediante una matriz de probabilidad de transición pasa de un estado a otro dependiendo del tiempo.

Técnica de frecuencia y duración

ARANCIBIA Rodrigo, (2008) menciona que “Para un consumidor final, más que una simple probabilidad, es mucho más importante conocer la calidad de Servicio Técnico a recibir, en términos de las veces (frecuencia de ocurrencia) de encontrarse sin suministro de energía eléctrica y el tiempo de duración de tales eventos. La base de esta técnica se sustenta en el método de Markov.” Pág. 25.

Los consumidores de las empresas distribuidoras en la actualidad requieren del suministro de energía confiable para lo cual es indispensable que las frecuencia y el tiempo de las interrupciones se reduzcan, aplicando metodologías y técnicas adecuadas para mejorar la continuidad de suministro eléctrico.

Gráfico 2 Diagrama del espacio de estados operación- falla-reparación-operación



Fuente: Arancibia Rodrigo, 2008

De acuerdo al Gráfico 2 donde se describe el periodo de operación de un sistema reparable se obtiene las siguientes ecuaciones:

Tiempo promedio entre fallas (MTTF)

$$m = \frac{1}{\lambda} \text{ (horas)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Tiempo promedio de reparación (MTTR)

$$r = \frac{1}{\mu} \text{ (horas)} \quad \text{Ecuación 4}$$

Tiempo transcurrido entre dos fallas (MTBF)

$$T = m + r \text{ (horas)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Para obtener la probabilidad de operación de un sistema se utiliza la ecuación 6 la que a través de las ecuaciones anteriores permiten obtener la disponibilidad que tiene el sistema en un periodo de tiempo.

$$P_0 = \frac{m}{(m+r)} = \frac{m}{T} \quad \text{Ecuación 6}$$

Nótese que la frecuencia (f) de este ciclo es $1/T$ y la probabilidad P_0 de que un componente esté en operación (disponibilidad), está dada por la relación:

$$P_0 = \frac{m}{T} = \frac{1}{\lambda * T} = \frac{f}{\lambda} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$f = P_0 * \lambda \quad \text{Ecuación 8}$$

De donde se deduce:

Matemáticamente, la frecuencia de encuentro en un estado determinado es igual al producto de la probabilidad por la tasa de transición en dicho estado.

1.1.3 Metodología para evaluación de confiabilidad

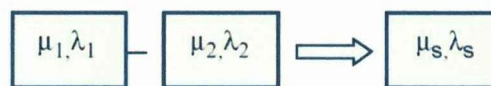
Sistema serie

MANZANEDA Juvenal (2006) menciona que “un sistema se dice que está en serie, desde el punto de vista de la confiabilidad, si todos los estados de los componentes están en estado disponible para que el sistema también lo esté, donde los componentes son independientes y no puede haber modos de falla

común o que dos componentes fallen al mismo tiempo. Se puede representar el conjunto de los componentes que componen el sistema por un único sistema con sus dos estados y sus tasas de transición de un estado a otro.” Pág. 31

Un sistema de distribución se encuentra en serie, si todos los componentes deben estar en operación para que el sistema funcione normalmente y casi nunca ocurre una falla en dos componentes al mismo tiempo, como se observa en el Gráfico 3 cada subsistema tiene su tasa de fallas y tasa de reparación de acuerdo a su operación en un periodo de tiempo.

Gráfico 3 Disposición de elementos serie



Fuente: Juvenal Manzaneda, 2006

El cálculo de la tasa de fallas de un sistema es la sumatoria de las tasas de fallas de cada componente

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{fallas / tiempo}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Siendo:

λ_i : Tasa de fallos del componente “i” (fallas/tiempo)

n :Cantidad de componentes considerados en el modelo de la red

El tiempo de reparación de un sistema es la sumatoria del producto entre el tiempo de reparación y la tasa de fallas de todos los componentes, dividido para la tasa de fallas del sistema.

$$r_s = \frac{\sum_{i=1}^n r_i \lambda_i}{\lambda_s} \quad (\text{horas}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Siendo:

λ_i : Tasa de fallos del componente "i" (fallas/tiempo)

r_i : Tiempo de reparación del componente "i" (horas)

n :Cantidad de componentes considerados en el modelo de la red

Por otro lado, la indisponibilidad (U) de un sistema es igual al producto de la frecuencia de fallo por el tiempo de reparación, es decir:

$$U_s = \sum_{i=1}^n r_i * \lambda_i \text{ (horas / año)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Siendo:

λ_i : Tasa de fallos del componente "i" (fallas/tiempo)

r_i : Tiempo de reparación del componente "i" (horas)

n :Cantidad de componentes considerados en el modelo de la red

1.1.4 Modelo de la red

Caracterización de los componentes

Cada componente de un sistema de distribución experimenta en su periodo de operación fallas por diferentes causas los mismos que tienen un tiempo de interrupción a continuación se describe cada uno de ellos:

Tasa de falla (λ):

ARRIAGADA, Aldo (1994) menciona que "Para un tramo o equipo de protección, la tasa de falla indica las veces que, en promedio, dicho elemento se ve sometido a alguna condición que implica la operación de algún dispositivo de protección. Incluye fallas por cortocircuitos, sobrecargas, descargas atmosféricas, falla de aislación, accidentes, etc." Pág. 46

La tasa de fallas de un sistema representa la cantidad de interrupciones durante un periodo de tiempo, se expresa en fallas/año, el inverso es el tiempo promedio en el que el sistema experimenta una falla durante el periodo de análisis.

Para tramos de alimentadores, la tasa de falla es un parámetro que puede determinarse de la siguiente forma:

- a través del historial de fallas, para el tramo individual,
- mediante datos estadísticos, considerando el sistema completo:

$$\lambda = b * l \text{ (fallas / año)} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$b = \frac{m}{(L * T)} \text{ (fallas / km año)} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

m: cantidad de fallas,

L: longitud total de las líneas expuestas a falla, en km,

T: periodo de estudio, años,

b: número de fallas, por kilómetro por año,

l: longitud de la línea de interés.

Para determinar la tasa de fallas de los elementos individuales, tales como transformadores, switches, interruptores, entre otros se plantea la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{m}{(N * T)} \text{ (fallas / año)} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

m: cantidad de fallas observadas para cierto tipo de elemento,

N: cantidad de elementos expuestos a falla,

T: periodo de observación en años

Utilizando las ecuaciones 12 y 14 se obtiene la tasa de falla aproximada de los componentes de un sistema de distribución, debido a que se encuentran en la misma área de concesión por lo tanto los alimentadores tienen tasa de fallas similares.

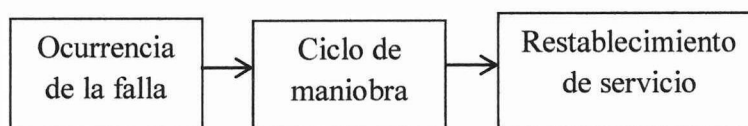


Tiempo de interrupción

ARRIAGADA, Aldo (1994) menciona que “El tiempo total de interrupción de un tramo depende de la clase de protección asociada y del tipo de trabajo que se debe realizar para restablecer el servicio eléctrico (maniobras de transferencia, reparaciones, recambios, limpieza, etc.)” Pág. 48

El tiempo de interrupción del servicio eléctrico es el tiempo desde que ocurre la falla en un componente hasta que esta sea reparada y el sistema regrese a condiciones normales de operación.

Gráfico 4 Tiempo total de interrupción del servicio eléctrico



Fuente: Arriagada Aldo, 1994

Con la finalidad de asignar los tiempos en que el personal de la Empresa Eléctrica tarda en reparar un elemento, se clasifican en los siguientes tiempos:

Tiempo para el conocimiento de la falla (T_c): es el intervalo entre el instante en que ocurre la falla y el momento en que los operadores del sistema eléctrico toman conocimiento de ella.

Tiempo de preparación (T_p): corresponde al tiempo requerido para la obtención de los recursos materiales necesarios para dar inicio a los trabajos de localización de la falla.

Tiempo de localización (T_l): es el tiempo que se gasta en el traslado hasta las proximidades de la falla y la ejecución de pruebas con la finalidad de localizar en forma precisa el punto de falla.

Tiempo de maniobra para la transferencia (T_t): es el tiempo que toma realizar las maniobras de transferencia para restablecer el servicio a los tramos en donde ello sea posible.

Tiempo de reparación (T_r): es el intervalo que demora la ejecución de las labores de reparación y/o recambio de los equipos fallados.

Tiempo de maniobra para restablecer la configuración normal de

operación (T_v): es el intervalo que tarda en recuperar la configuración normal de operación, una vez ejecutadas las tareas de reparación.

Clasificación de estados

ARRIAGADA, Aldo (1994) menciona que “En función de la protección asociada, así como de sus alternativas de alimentación, cada tramo del sistema tendrá un comportamiento que puede definirse de la siguiente manera, ante la existencia de una falla en otro tramo de alimentador.” Pág. 50

De acuerdo al efecto que tiene cada componente del sistema ante una falla se los puede definir de la siguiente manera:

Normal: el estado del tramo de alimentador **i** se define como normal, cuando su operación no se ve afectada por falla en el elemento **j**.

Restablecible: el estado del tramo de alimentador **i** se define como restablecible, cuando su servicio puede volver a la normalidad, antes de reparar el elemento **j** fallado, aislando **j** mediante algún elemento de maniobra.

Transferible: el tramo de alimentador **i** será transferible, cuando exista alguna maniobra para re-energizarlo, antes de reparar el bloque **j** en falla.

Irrestablecible: son tramos irrestablecibles aquellos que sufren la falla y todos los que no pueden ser transferidos a otra fuente de alimentación mediante maniobras.

Irrestablecible con espera: el tramo **j**, en falla, se define como irrestablecible con espera, cuando previo a su reparación debe realizarse alguna maniobra.

1.1.4.1 Determinación de estados de los elementos

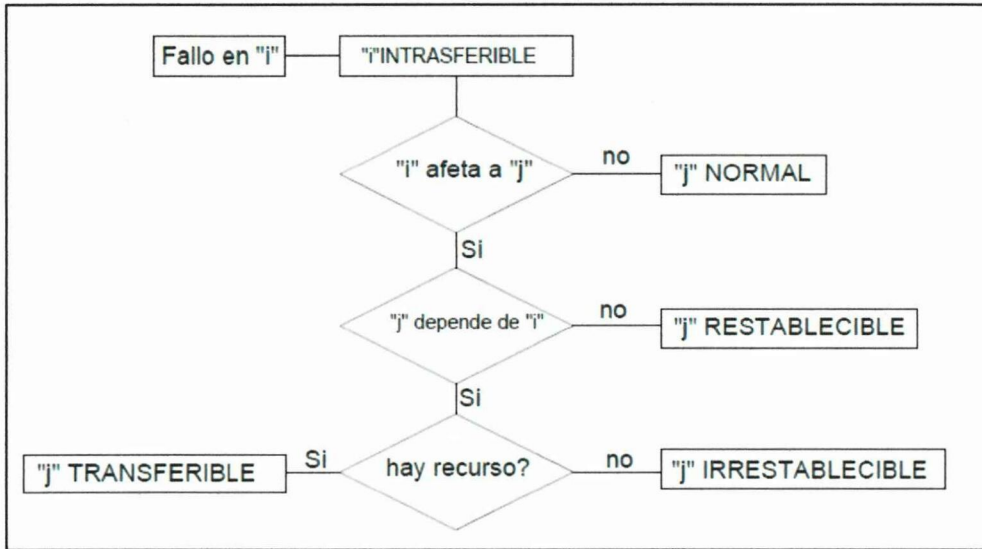
ARRIAGADA, Aldo (1994) menciona que “Para determinar la frecuencia y duración de fallas en los distintos tramos, así como otros índices de confiabilidad, es necesario analizar el comportamiento de la red ante las diversas contingencias a que puede verse sometido cada uno de sus componentes.” Pág. 51

Para observar el estado de los componentes ante una falla se realiza una matriz en la que se describe el comportamiento que tienen los elementos aguas abajo de la falla asignando la frecuencia y duración de las fallas.

Para calcular el efecto que tiene una falla ante cada componente se puede representar de acuerdo al estado en que se encuentra mediante los siguientes pasos:

- a. Describir la estructura topológica de la red, separando los diferentes tramos de alimentador mediante los dispositivos de protección y/o maniobra. Cada elemento presente en el modelo debe ser caracterizado por sus parámetros frecuencia y duración de fallas.
- b. Preparar una matriz de orden $n \times n$, donde n es el número de elementos del modelo.
- c. Tomando un elemento a la vez, simular una falla (elemento i).
- d. Para el resto de elementos (j), analizar los efectos de la protección asociada al elemento fallado (i).
 - d.1 Si la actuación de la protección no afecta al elemento j , éste se define como **normal**.
 - d.2 Si el elemento j se ve afectado por la operación de la protección y existe una vía alternativa de alimentación, cerrando un switch normalmente abierto, entonces este elemento es **transferible**.
 - d.3 El elemento que sufre la falla ($i=j$), se define inmediatamente como **irrestablecible**, o bien como **irrestablecible con tiempo de espera**, si previo a su reparación se debe realizar alguna maniobra de transferencia.
 - d.4 El elemento j debe definirse como **restablecible**, si antes de iniciar la reparación del elemento fallado y posterior a su separación de la red, es posible reponer el suministro de electricidad al resto del sistema.
- e. Calcular los índices frecuencia y duración de fallas para cada uno de los elementos del sistema.
- f. Calcular los índices asociados a clientes, al sistema en general, etc.

Gráfico 5 Flujo grama de análisis de estados



Fuente: Juvenal Manzaneda,2006

En el flujo grama del Gráfico 5 se puede observar de forma resumida como se le asigna el estado a cada componente ante una falla.

Evaluación de estados

ARRIAGADA, Aldo (1994) menciona que “Cada elemento genera independientemente una cierta cantidad de fallas, pero la cantidad de veces que se ve afectado por cortes de suministro de energía eléctrica es mayor, considerando los efectos de las fallas de otros elementos.”

El número de interrupciones que se presentan según el estado del componente depende de la maniobra a realizar para restablecer el servicio de energía eléctrica, es así que un elemento que se encuentre como restablecible presenta doble tasa de fallas, al momento de una maniobra para restablecer el servicio y otra para regresar a condiciones normales de operación con un tiempo de transferencia (T_v) como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6 Interrupciones aportadas, según tipo de elemento

Estado	Interrupciones
Normal	0
Restablecible	λ
Transferible	$2.\lambda$
Irrestablecible	λ
Irrestablecible c/espera	λ

Fuente: Arriagada Aldo, 1994

El tiempo total de interrupción de un componente depende del estado en el que se encuentre en el momento de una avería, los tiempos que se generan ante una falla se presenta en la Tabla 7 de acuerdo al estado del elemento.

Tabla 7 Tiempos de interrupción

Estado	Tiempo interrupción
Normal	0
Restablecible	$T_c+T_p+T_l$
Transferible	$T_c+T_p+T_l+T_t+T_v$
Irrestablecible	$T_c+T_p+T_l+T_r$
Irrestablecible c/espera	$T_c+T_p+T_l+T_t+T_r$

Fuente: Arriagada Aldo, 1994

Para calcular la indisponibilidad de un componente en un periodo de tiempo a causa de fallas en otro elemento, se utiliza la ecuación 15 y la indisponibilidad total de un sistema se obtiene mediante la ecuación 16

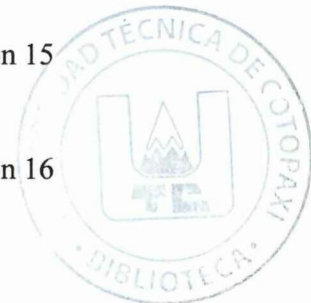
$$U_i^j = \lambda_i^j * r_j \text{ (horas / año)} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$U_{Ei} = \sum_{j=1}^n U_i^j \text{ (horas / año)} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

λ_i^j : Cantidad de interrupciones del elemento i, debido a falla en el elemento j, (fallas/año)

r_j : Tiempo de interrupción o de reparación del elemento j, (horas)



U_i^j : Indisponibilidad anual del elemento i, debido a falla en el elemento j,
(horas/año)

U_{Ei} : Indisponibilidad anual total del elemento i, (horas/año)

n : cantidad de elementos del modelo.

Reconfiguración de los sistemas de distribución.

GONZALES, Alfonso (2007) menciona que “la reconfiguración de un sistema de distribución consiste en encontrar nuevas topologías y adaptarlas al sistema para observar su comportamiento, para esto existen varias metodologías que van desde técnicas manuales hasta los más sofisticados algoritmos que utilizan métodos estocásticos y heurísticos.” Pág. 16

Reconfigurar un sistema de distribución es encontrar una topología en la que se reflejen mejoras que permitan suministrar un mejor servicio desde el punto de vista de la seguridad, confiabilidad y rentabilidad tanto para la empresa distribuidora como para el consumidor final.

Pero la reconfiguración del sistema de distribución no es tan sencilla como el ejemplo anterior, debido a que en un sistema real son muchas las variables que se deben tener en cuenta, entre estas están:

- Niveles de tensión adecuados.
- Pérdidas mínimas.
- Capacidad de líneas y subestaciones.
- Radialidad del sistema.
- Abastecimiento de la demanda.
- Confiabilidad del suministro.

Todas estas variables hacen que la reconfiguración del sistema de distribución no sea un problema de fácil solución, por lo tanto se hace necesario recurrir a sofisticadas herramientas de cálculo que faciliten la búsqueda de la mejor topología que cumpla con todas las variables planteadas.

Finalidad de la reconfiguración

GONZALES, Alfonso (2007) menciona que "... la reconfiguración de circuitos, (...) buscan reducir las pérdidas en el sistema de distribución y minimiza los costos operativos. Otros campos en los que se ha utilizado la reconfiguración, aunque en menor medida que los anteriores han sido para mejorar la cargabilidad de las líneas y mejorar la confiabilidad" Pág. 21

La reconfiguración de la topología de las redes primarias permite mejorar la confiabilidad de un sistema de distribución radial tomando decisiones para optimizar los recursos reduciendo así la probabilidad de falla, brindando de esta manera un servicio de calidad a los consumidores finales.

Efecto de la reconfiguración en la confiabilidad

GONZALES, Alfonso (2007) menciona que "cuando se reconfigura una red de distribución esta puede cambiar drásticamente en cuanto a los valores de los índices de confiabilidad ya que la red varía su topología." Pág. 22.

La reconfiguración de la red tiene permite mejorar la confiabilidad de un sistema para brindar un servicio continuo a los consumidores además obtener un sistema flexible ante cualquier evento o condición de operación que se pueda presentar en el circuito. Sin embargo, se debe realizar análisis de la cargabilidad de los tramos y los dispositivos de protección y/o seccionamiento para optimizar recursos y realizar inversiones sustentables.

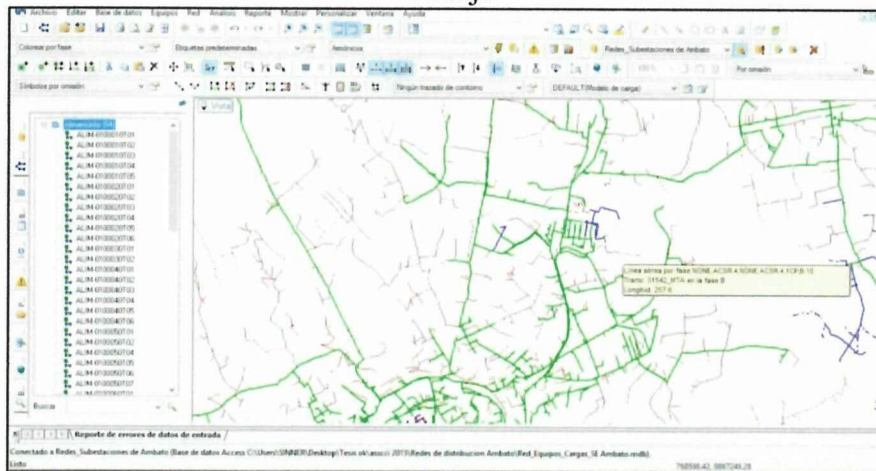
Software CYMDIST

En la Gráfico 6 se observa la ventana del software CYMDIST que permite realizar varios tipos de estudios en sistemas equilibrados o desequilibrados, monofásicos, bifásicos o trifásicos, con configuración radial, en anillo o mallada. El programa CYMDIST incluye un editor completo de redes y las funciones siguientes:

- Flujo de potencia desbalanceado
- Balance de cargas

- Distribución y evaluación de cargas
- Ubicación óptima de condensadores
- Entre otros.

Gráfico 6 Software CYMDIST utilizado para la modelación de la red de medio voltaje



Fuente: Software CYMDIST

CAPITULO II

PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Aspectos generales de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

Antecedentes históricos

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. se conforma el dos de julio del año 1959, como empresa privada con finalidad social o pública, luego de que se suscribiera la escritura de constitución el veintinueve de abril del mismo año, superando un no fácil proceso de negociación para transformar lo que entonces era la Empresa Municipal, el sector eléctrico ecuatoriano se desarrollaba fundamentalmente a través de pequeñas empresas. La Empresa Eléctrica Ambato, en este sentido vino a ser, el ente catalizador del desarrollo, en primera instancia de la Provincia de Tungurahua, encargándose de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

Área de concesión

A la presente fecha, el área de concesión de la EEASA, es una superficie de aproximadamente 41.000 Km² y 700.000 habitantes, que comprende las Provincias de Tungurahua y Pastaza, en su totalidad; los Cantones Palora, Huamboya y Pablo Sexto en la Provincia de Morona Santiago y la parte sur de la Provincia de Napo, que incluye su capital Tena y los Cantones Tena, Archidona y Carlos Julio Arosemena Tola, también desde el año 2012 administra el servicio eléctrico en la Provincia de Bolívar a 300.000 clientes aproximadamente.

En el año 2010 la EEASA obtuvo la certificación internacional bajo el standard ISO 9001:2008 del Sistema de Gestión de la Calidad, logro que ha permitido

simplificar los procesos, lograr eficiencia y eficacia, mejorar el servicio y satisfacer las expectativas del cliente.

Misión

“Suministrar Energía Eléctrica, con las mejores condiciones de calidad y continuidad, para satisfacer las necesidades de los clientes en su área de concesión, a precios razonables y contribuir al desarrollo económico y social”.

Visión

"Constituirse en empresa líder en el suministro de energía eléctrica en el país".

2.1.1 Subestación Samanga

La Subestación Samanga se encuentra ubicada en la parroquia Izamba al norte del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua, la cual está conectada con la Subestación Pillaro, Subestación Atocha, Subestación Ambato al nivel de voltaje de 69 kV.

Gráfico 7 Esquema de conexión líneas de la Subestación Samanga

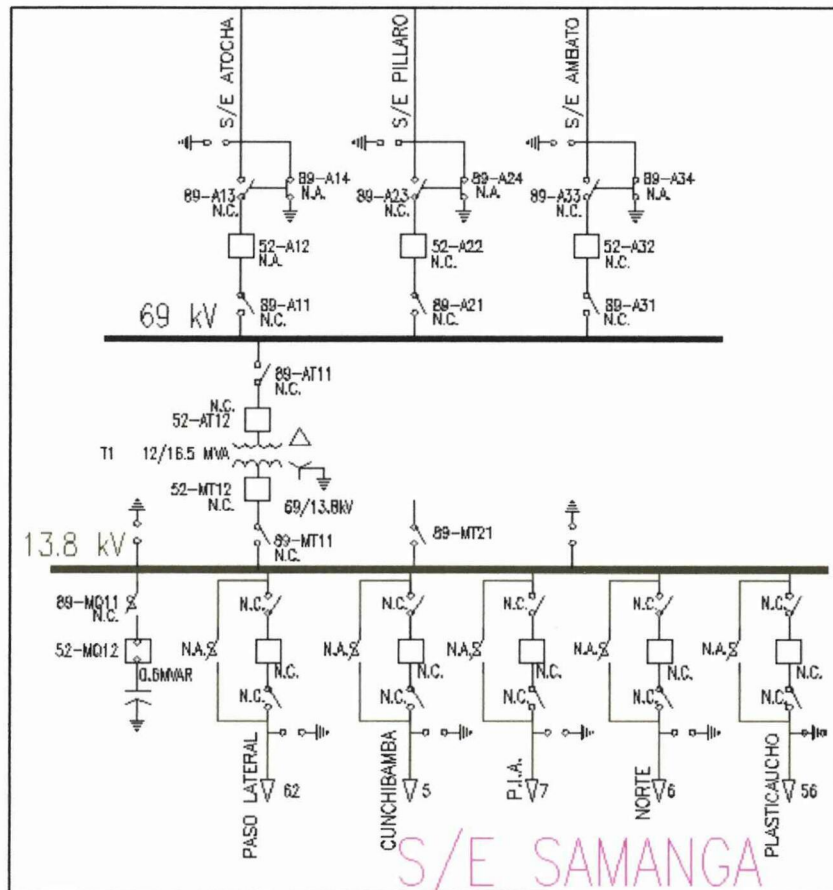


Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Esta subestación dispone de un transformador de potencia con una capacidad de 12/16.5 MVA el voltaje en el primario es de 69 kV reduciendo al secundario a

13.8 kV, dispone de un compensador de potencia reactiva de 0.6 MVA a un nivel de voltaje de 13.8 kV. La Subestación Samanga tiene cinco alimentadores primarios con un nivel de voltaje de 13.8 kV los cuales son: Paso Lateral, Cunchibamba, Parque Industrial Ambato, Norte y Plasticauchos.

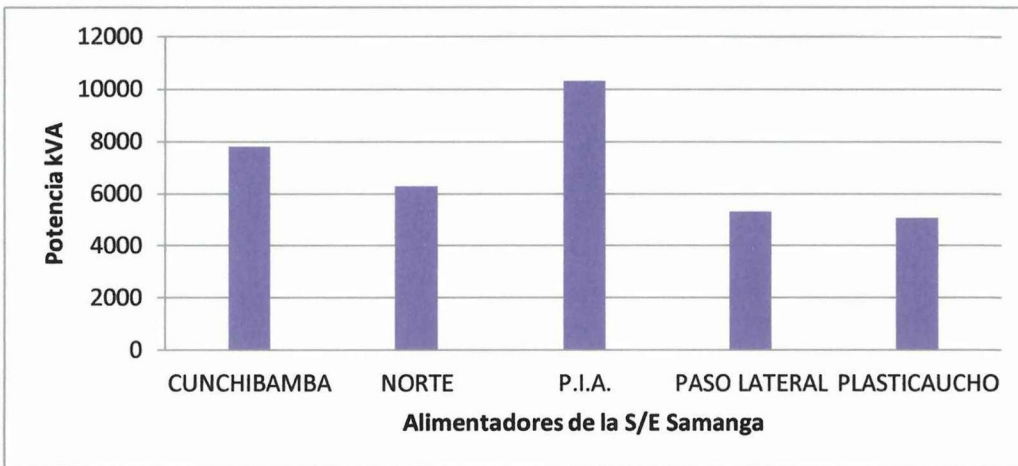
Gráfico 8 Diagrama eléctrico unifilar, Subestación Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

La potencia instalada de los cinco alimentadores de la subestación Samanga se detalla en el Gráfico 9. El alimentador P.I.A. tiene un total de 10307,5 kVA siendo este un alimentador que abastece energía eléctrica en su gran mayoría a las industrias ubicadas en el sector seguido por el alimentador Cunchibamba con 7800 kVA, luego los alimentadores Norte, Paso Lateral y Plasticaucho el cual suministra energía eléctrica a la empresa con el mismo nombre.

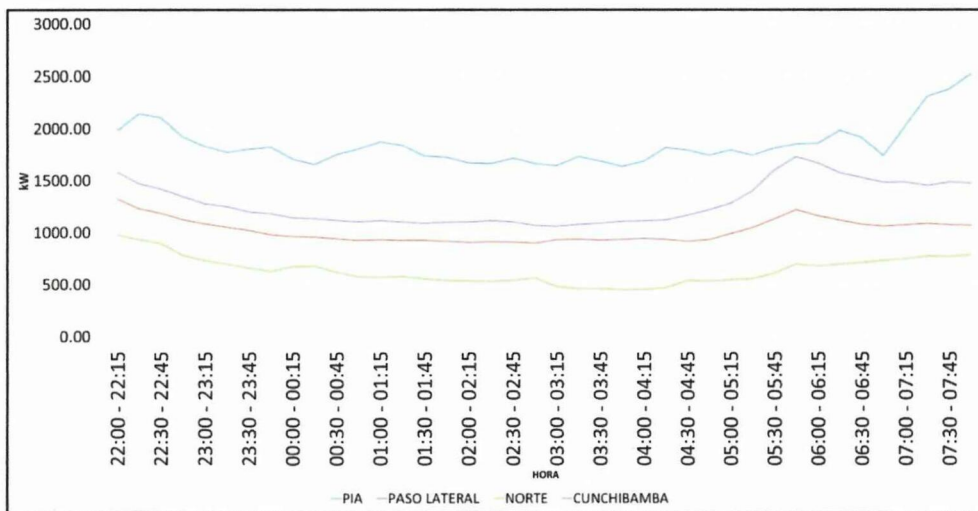
Gráfico 9 Potencia Instalada de los alimentadores de los la S/E Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

La curva de consumo del día 21 de marzo del 2014 de acuerdo al registro de la potencia en el periodo base que va de 22h00 a 08h00 se observa en el Gráfico 10 en el que se observa que el alimentador Parque Industrial Ambato registra mayor potencia de consumo.

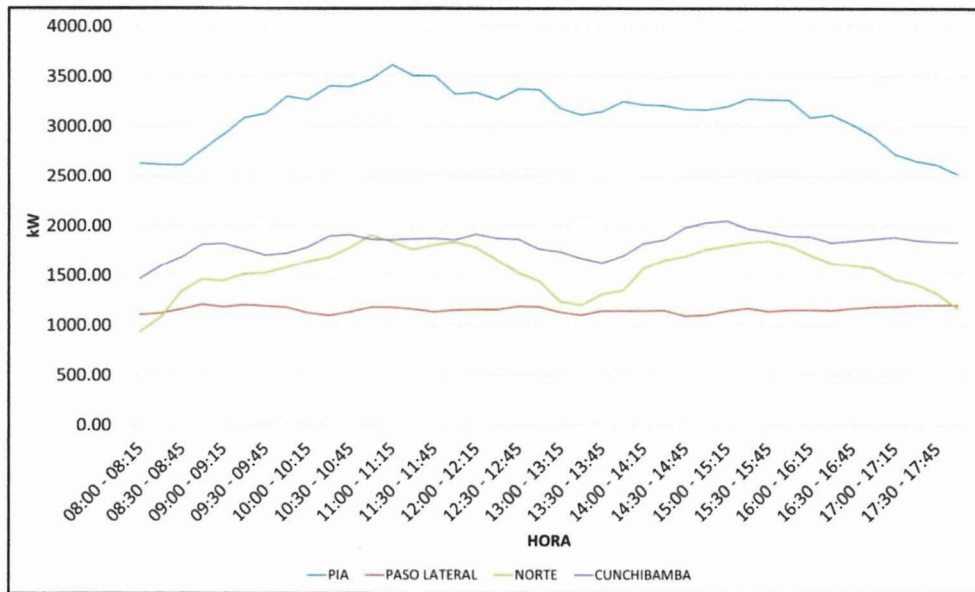
Gráfico 10 Potencia en el periodo base del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

En el periodo de consumo media que es de 08h00 a 18h00 se observa en el Gráfico 11 como el alimentador Parque Industrial Ambato consume mayor potencia que los otros alimentadores

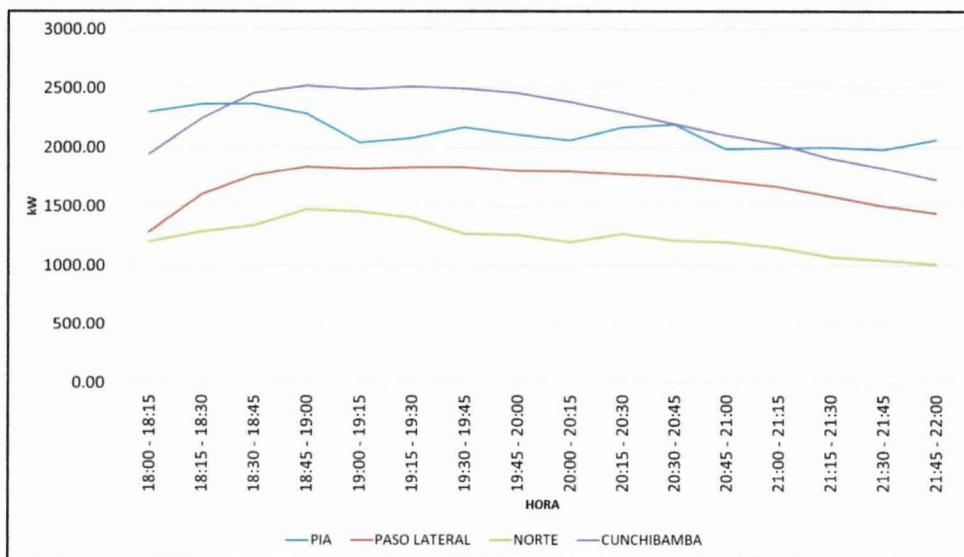
Gráfico 11 Potencia en el periodo media del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

En el periodo de registro punta que va desde 18h00 a 22h00 se observa como los alimentadores Cunchibamba, Norte, Paso Lateral y Parque Industrial Ambato tienen un consumo alto de potencia.

Gráfico 12 Potencia en el periodo punta del día 21 de marzo de 2014 de los alimentadores de la S/E Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

En la Tabla 8 se observa el registro de la potencia media de cada hora de los cuatro alimentadores de la subestación Samanga con los cuales se obtuvo la curva de los Gráficos 10, 11 y 12.

Tabla 8 Potencia (kW) consumida por los alimentadores de la subestación Samanga

TIEMPO	P.L.A.	PASO LATERAL	NORTE	CUNCHIBAMBA
01:00	1731.22	947.12	635.07	1126.20
02:00	1797.31	924.89	560.56	1103.07
03:00	1679.95	906.12	541.77	1098.62
04:00	1676.17	931.43	462.22	1085.18
05:00	1761.38	930.87	497.56	1154.79
06:00	1801.85	1096.63	601.90	1503.10
07:00	1876.67	1105.25	705.74	1563.75
08:00	2312.86	1075.52	769.20	1473.71
09:00	2657.32	1151.57	1206.43	1642.57
10:00	3111.72	1194.71	1519.02	1756.99
11:00	3386.67	1137.71	1755.95	1866.14
12:00	3490.60	1161.31	1813.11	1867.69
13:00	3339.56	1176.07	1603.04	1855.59
14:00	3176.18	1131.43	1277.97	1686.23
15:00	3192.85	1124.41	1672.01	1924.75
16:00	3253.94	1154.30	1820.55	1966.81
17:00	3033.77	1169.12	1629.73	1862.95
18:00	2630.85	1204.74	1344.11	1857.58
19:00	2330.18	1621.53	1324.22	2292.32
20:00	2098.98	1820.84	1345.58	2490.03
21:00	2101.33	1757.04	1218.72	2243.27
22:00	2011.42	1548.67	1070.20	1870.30
23:00	2042.69	1217.64	897.56	1456.32
00:00	1810.40	1036.14	678.79	1228.20

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

En la Tabla 9 se detalla la demanda máxima, mínima y promedio, factor de carga y consumo diario, resultados obtenidos de la Tabla 8. Estos datos servirán para

realizar una distribución de carga aproximada para cada transformador y los flujos de carga en el software CYMDIST.

Tabla 9 Parametros del alimentador P.I.A del día 21 de marzo 2014.

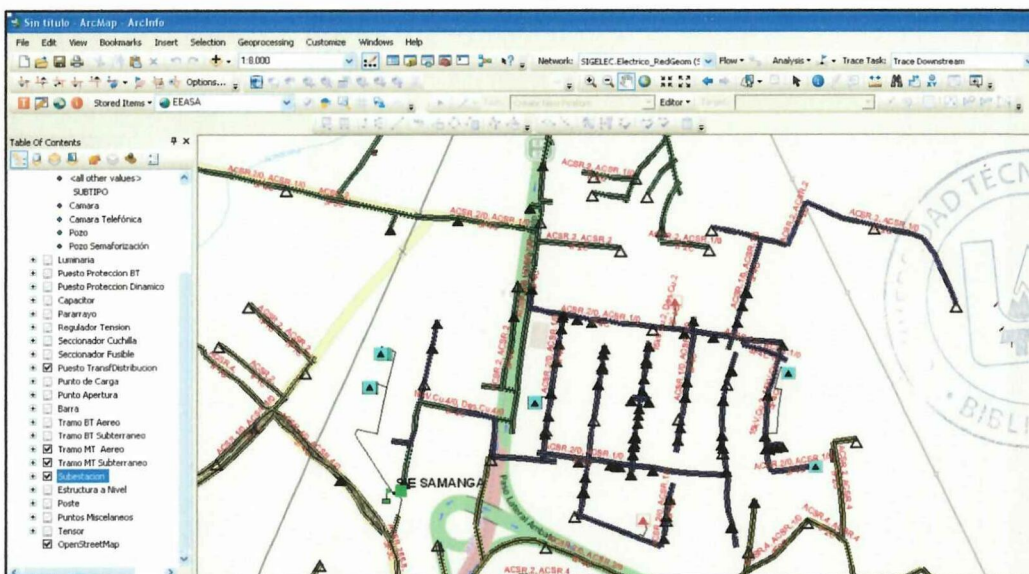
ALIMENTADOR P.I.A.	
DEMANDA MAXIMO (kW)	3079.42
DEMANDA MINIMO (kW)	1135.54
DEMANDA PROMED (kW)	2067.67
FACTOR DE CARGA (kW)	0.67
ENERGIA (kWh).	49624.06

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Topología del alimentador parque industrial Ambato

El Alimentador P.I.A. suministra energía eléctrica en su gran mayoría a consumidores industriales tales como: Ecuamatriz, Ambacalza, Textil Buenaño, Industria Oriental, Cavimar, Rubbercon, Aromas de Tungurahua, Austrodistribuidores, Tecniorizo, Fabysa, Esprom, Dismasa entre otros, los cuales requieren de potencia y energía para los procesos de producción que maneja cada uno, poseen transformadores tipo padmounted en cabina, en poste trifásicos y monofásico propios para cada uno de ellos a niveles de Medio voltaje 13.8 kVA.

Gráfico 13 Topología del alimentador Parque Industrial Ambato software ArcGIS



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Características técnicas del alimentador en estudio

Las características técnicas del alimentador tales como longitud de los tramos, número de transformadores y potencia de cada uno de ellos se describen en la Tabla 10.

Tabla 10 Características técnicas del alimentador P.I.A.

Nombre del Alimentador: Parque Industrial Ambato			
Nombre de la Subestación: Samanga			
Nivel de Voltaje: 69 kV/13.8 Kv			
	Longitud (Km) Red Medio Voltaje	Número de transformadores	Potencia (MVA) instalada de los transformadores
Monofásico	1.17	15	0.1925
Trifásico	6.1	87	9.815
Total:	7.27	102	10.3075

Fuente: Base de datos ASCII de CYMDIST de la EEASA

Diseño metodológico

Investigación bibliográfica

Mediante la recopilación de datos de fuentes bibliográficas con respecto a la confiabilidad en sistemas de distribución y la metodología de las Cadenas de Markov se pudo establecerse criterios para el desarrollo del presente trabajo.

Investigación de campo

A través de la investigación de campo se pudo recopilar información de la ubicación de los componentes del alimentador primario P.I.A. y los posibles lugares donde se puede realizar reconfiguraciones de la topología de la red.

2.1.2 Métodos de investigación

Método hipotético-deductivo

Este método permite verificar la hipótesis planteada sobre modelar el sistema de distribución en estudio utilizando la metodología de las Cadenas de Markov y estas sean similares a los índices de confiabilidad que tiene la EEASA para

posteriormente plantear la reconfiguración de la topología de la red para de mejorar la calidad de servicio técnico a los consumidores del sector industrial.

Método histórico

Mediante los datos estadísticos del año 2014 que posee la EEASA sobre las interrupciones de servicio y los tiempos medios para restablecer a condiciones normales de operación en caso de una falla en los componentes del alimentador P.I.A. se procede a modelar el sistema.

Método experimental

El presente tema se basa en datos estadísticos los cuales al aplicar la metodología planteada se obtiene índices de calidad de servicio técnico similares a los que posee la EEASA para su posterior análisis.

2.1.3 Recopilación de datos

El presente estudio se realiza mediante la metodología cuantitativa debido a que permite examinar datos estadísticos de forma numérica y de esta manera analizar el comportamiento del sistema modelando a través de la metodología de las cadenas de Markov para obtener datos similares a los reales y analizar la confiabilidad del sistema de distribución

La información necesaria para el presente estudio se obtuvo del Departamento de Operación y Mantenimiento (DOM), Departamento de planificación y el jefe de Reparaciones y Alumbrado Público, de donde se obtuvo lo siguiente:

- La base de datos ASCII de CYMDIST de los alimentadores de la EEASA, Anexo digital 1.

Los datos históricos de la base de datos SISDAT y de los índices TTIK y FMIK de todos los alimentadores de la EEASA desde el año 2010 hasta el año 2014, Anexo digital 2.

- Registro de las interrupciones que han tenido los componentes de los alimentadores de la EEASA descritos como establece el ARCONEL en la Tabla 2, Anexo digital 3.
- Datos de los transformadores, tramos, dispositivos de protección y/o seccionamiento y consumidores con su respectiva energía consumida del alimentador P.I.A. de la base de datos del software ArcGIS, Anexo digital 4.
- Datos voltajes, corrientes, factor de potencia, potencia activa reactiva y aparente, entre otros obtenidos con el medidor totalizador en la cabecera de los alimentadores de la Subestación Samanga cada 15 minutos, Anexo digital 5.
- Potencia instalada de los alimentadores de la EEASA con su respectiva Subestación a la que pertenecen y el tipo de alimentador urbano o rural, Anexo digital 6.
- Datos estadísticos del historial de reclamos registrados por interrupciones de servicio que se detallan en el Anexo digital 7 mismos que tienen registrados en la base de datos SISDAT.

Para obtener otros datos como los tiempos de conocimiento, preparación, localización, reparación y transferencia estimados y posteriormente asignar a cada tramo y dispositivo de protección y/o seccionamiento del alimentador en estudio se asigna de acuerdo a los tiempos registrados en la base de datos SISDAT como se observa en el Gráfico 14 y Gráfico 15.

Gráfico 14 Registro de las interrupciones de servicio en la base SISDAT

Numero	Tipo	Duración	Origen
Fecha Registro: 30/06/15 (3 Registros)			
2015-2574	DESCONOCIDAS	BREVES	INTERNAS
2015-2576	ARBOLES, VEGETACIÓN	LARGAS	INTERNAS
2015-2575	MANTENIMIENTO	LARGAS	INTERNAS
Fecha Registro: 29/06/15 (2 Registros)			
2015-2573	DESCONOCIDAS	BREVES	INTERNAS
2015-2572	DESCONOCIDAS	BREVES	INTERNAS
Fecha Registro: 27/06/15 (1 Registro)			

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

El registro de la base de datos SISDAT permite obtener la calidad de servicio técnico que brinda la empresa eléctrica Ambato en el área de concesión a los consumidores.

Gráfico 15 Registro de las interrupciones en la base de datos SISDAT

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

2.1.3.1 Índices de calidad de servicio técnico

Los índices de calidad de servicio eléctrico de distribución que se describen en la Tabla 11 se puede apreciar que se encuentran dentro de los límites que establece el ARCONEL. Sin embargo, la frecuencia y duración de las interrupciones afectan directamente a las industrias las cuales requieren de energía eléctrica continua por los procesos de manufactura que realizan.

Tabla 11 Índices de calidad de servicio técnico en el año 2014 del alimentador en estudio

ÍNDICE	SISDAT
FMIK	4.04
TTIK	2.48

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

En la Tabla 12 se puede observar los índices de confiabilidad de acuerdo a la causa, las interrupciones en su gran mayoría son por causas no programadas siendo vulnerable el sistema a condiciones climáticas, ambientales entre otros.

Tabla 12 Índices de calidad de servicio técnico del alimentador en estudio de la base SISDAT

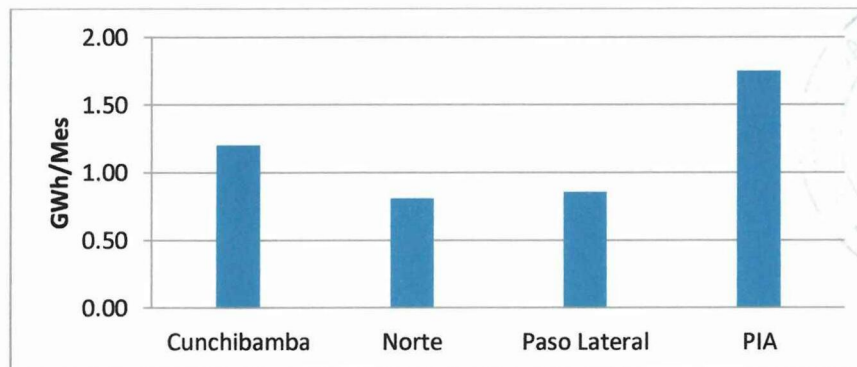
ÍNDICE ACUMULADO SISDAT	FMIK	4.04
	TTIK	2.48
ÍNDICES FMIK	Programadas	1.00
	No programadas	2.04
	Externas	1.00
ÍNDICES TTIK	Programadas	1.77
	No programadas	0.46
	Externas	0.25
NÚMERO DE INTERRUPCIONES SISDAT	Programadas	1.00
	No programadas	10.00
	Externas	0

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Efectos de las interrupciones de servicio a los consumidores

El consumo promedio de energía del alimentador Parque Industrial Ambato es aproximadamente de 1.75 GWh/mes el cual al realizar una comparación con los demás alimentadores de la S/E Samanga como se observa en el Gráfico 16 se puede observar que a pesar de ser un alimentador pequeño en longitud de líneas trifásicas y monofásicas tiene un gran consumo de energía a comparación de los demás alimentadores por tal motivo es indispensable realizar inversiones para mejorar la confiabilidad y de esta manera estar preparado en el caso de fallas o mantenimientos en algún componente de la red de distribución de Medio Voltaje.

Gráfico 16 Consumo de energía en GWh/Mes promedio de los alimentadores de la S/E Samanga



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Además, de realizar el análisis de la energía eléctrica que la empresa distribuidora deja de vender en las interrupciones de servicio eléctrico y la posible penalización del ente regulador por ENS en el caso de no estar dentro de los límites establecidos. Los consumidores industriales son perjudicados directamente en de la siguiente manera:

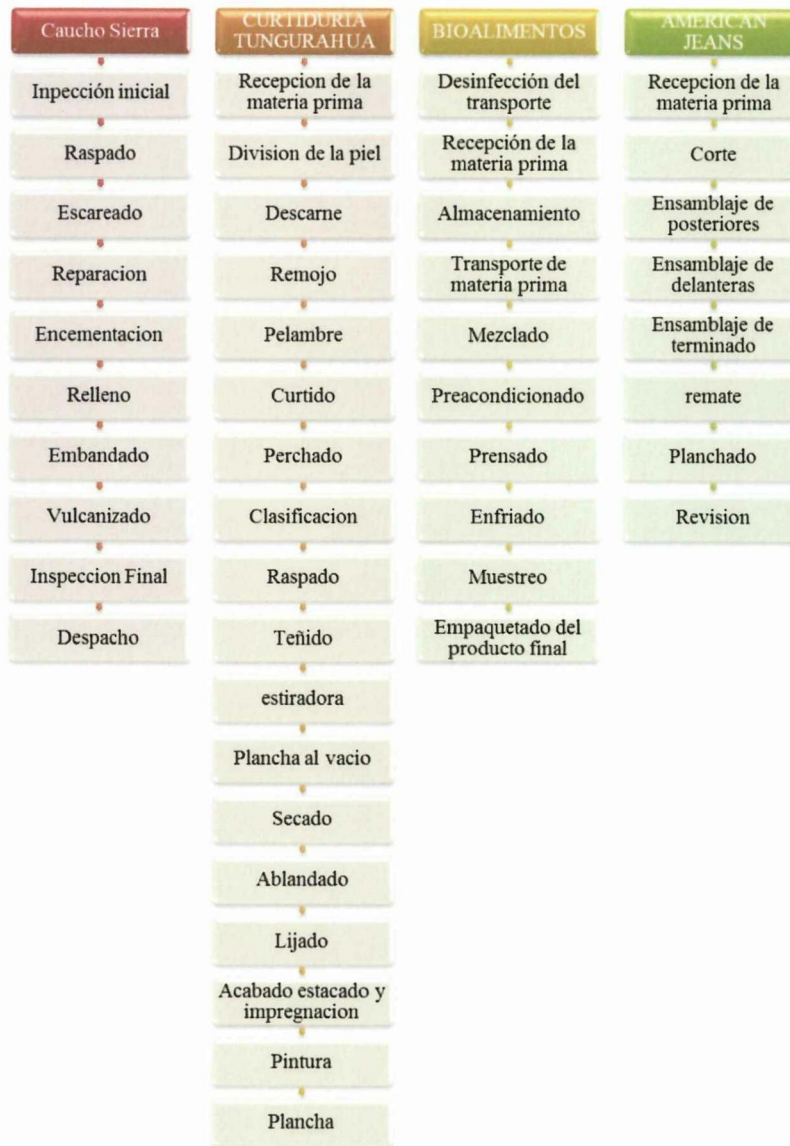
- Pérdida de datos
- Daños en equipos electrónicos
- Parada de los procesos de producción
- Costos por tiempo perdido de producción
- Disminución de la producción
- Productos dañados o defectuosos
- Costos de revisión y reparación a los equipos y maquinarias afectados

En el AI analizar los efectos de las interrupciones a los consumidores industriales estos pierden la producción de lotes enteros por un micro corte de voltaje, armónicos de voltaje y corriente, fluctuaciones entre otros, por tal motivo los alimentadores industriales deben estar preparados ante cualquier contingencia para brindar un servicio continuo seguro y confiable.

En el Gráfico 17 se observa los procesos de producción que realizan las industrias Caucho Sierra, Curtidura Tungurahua Bioalimentos y American Jeans los que ante un corte de energía tienen que parar la producción y además posibles defectos en los productos finales por el tiempo que tarda la interrupción de suministro eléctrico, es por este motivo que es indispensable que la EEASA suministre energía continua, siendo un alimentador sensible a cortes de energía.

Al analizar los efectos de las interrupciones a los consumidores industriales estos pierden la producción de lotes enteros por un micro corte de voltaje, armónicos de voltaje y corriente, fluctuaciones entre otros, por tal motivo los alimentadores industriales deben estar preparados ante cualquier contingencia.

Gráfico 17 Secuencia de producción de las industrias



Fuente: Merino Guadalupe, 2006

Desarrollo territorial de parques industriales en el Ecuador

Según el Ministerio de Industrias y Productividad Pág. 32.- realizaron el análisis en 24 provincia en el año 2012, con proyección al 2016 aplicando la tasa de crecimiento promedio anual, del sector empresarial que corresponde al 4,8% basado en la información de la superintendencia de compañías donde mencionan que para el año 2016 pretenden incrementar el número de empresas en los parques industriales existentes como se detalla en la Tabla 13

Tabla 13 Proyección de las empresas del sector industriales.

Número de empresas para completar la capacidad en los parques industriales actuales del Ecuador			
Nº	Nombre Del Parque Industrial	Nº Empresas Instaladas (Empresarios)	Empresas Por Instalarse (Empresarios)
1	Parque Industrial Ambato	85	15
2	Parque Industrial Autopista CIAUTO Ambato	1	99
3	Parque Industrial de Cuenca	130	0
4	Parque Industrial de Loja	50	50
5	Parque Industrial de Pifo (Itulcachi)	8	92
6	Parque Industrial vía Daule (Inmaconsa)	150	0
7	Parque Industrial California	76	24
8	Parque industrial de Tulcán	5	95
9	Parque Industrial Riobamba	57	43
10	Parque Industrial del sur Quito (Turubamba)	50	50
11	Parque Industrial Ibarra	4	96
12	Parque Industrial de Calacalí	2	98
13	Parque Industrial de Portoviejo	20	80
	TOTAL	638	742

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad

Modelamiento del alimentador Parque Industrial Ambato

En el presente estudio se modelará los tramos de la red primaria y los dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador Parque Industrial Ambato, con los datos estadísticos de la base de datos SISDAT (Sistematización de Datos del Sector Eléctrico) para obtener la tasa de fallas y el tiempo de reparación estimado utilizando la metodología de las cadenas de Markov de tiempo discreto y la técnica de la frecuencia y duración.

2.1.4 Tasa de fallas estimada de los componentes del sistema

Se procede al cálculo de la tasa de fallas de cada tramo y dispositivo de protección y/o seccionamiento del alimentador, mediante datos estadísticos del año 2014 considerando la cantidad de fallas de los alimentadores urbanos del área de concesión de la EEASA debido a que la empresa no dispone de información

detallada de la cantidad de fallas de cada componente del sistema se utiliza la ecuación 12 con la cual se obtiene la tasa de fallas estimada de los tramos por kilómetro, con la ecuación 13 se obtiene la tasa de fallos estimada de cada tramo de acuerdo a su longitud y con la ecuación 14 se calcula la tasa de fallas de los dispositivos de protección y/o seccionamiento del alimentador P.I.A.

Tasa de fallas estimada para los tramos

$$\lambda = \frac{230 \text{ fallas}}{(380 \text{ Km} * 1 \text{ año})} = 0.6053 (\text{fallas} / \text{km año})$$

Tasa de fallas estimada para los dispositivos de protección y/o seccionamiento

$$\lambda = \frac{600 \text{ fallas}}{(1905 \text{ dispositivos} * 1 \text{ año})} = 0.3150 (\text{fallas} / \text{dispositivo año})$$

2.1.5 Tiempo estimado de interrupción de los componentes del sistema

El tiempo total de interrupción corresponde a la suma de los tiempos desde que se produce la falla hasta que esta sea restablecida ha condiciones normales de operación, para recopilar esta información se procedió a la entrevista personal al Ingeniero Franklin Melo quien está a cargo de los indicadores de la calidad de servicio técnico de la EEASA, de acuerdo a la topología de la red en la base de datos ASCII del software CYMDIST y la verificación de los datos en el alimentador.

Los tiempos estimados para el restablecimiento de servicio en caso de una falla se detallan en la Tabla 14 los cuales servirán para posteriormente asignar a cada tramo y dispositivo de protección y/o seccionamiento los tiempos que el personal de la EEASA tarda en caso de falla de un componente del alimentador hasta restablecer el suministro de energía a los consumidores.

Tabla 14 Tiempos de interrupción del alimentador primario en estudio

Secuencia de tiempos en caso de una falla en el sistema	Tiempo de interrupción de los tramos (Horas)	Tiempo de interrupción dispositivos de protección (Horas)
Conocimiento de la falla (Tc)	0.01667	0.01667
Preparación (Tp)	0.05	0.05
Localización (Tl)	0.25	0.25
Maniobra para la transferencia (Tt)	0.1667	0.1667
Reparación (Tr)	0.5	0.25
Maniobra para restablecer la configuración normal de operación (Tv)	0.1667	0.1667

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

2.1.6 Clasificación de estados

La clasificación de estados se realiza de acuerdo a la topología de la red observando de que manera se comporta cada componente del sistema ante una falla, detallando los tiempos para restablecer el suministro de energía eléctrica al consumidor y/o consumidores finales utilizando la Tabla 14 se obtiene los tiempos en cada interrupción en horas de acuerdo al estado del componente, mismos que se pueden apreciar en la Tabla 15.

Tabla 15 Clasificación de los estados de los componentes del sistema

Estado	Tiempos de acuerdo al estado del tramo	Tiempo de interrupción de los tramos (Horas)	Tiempo de interrupción dispositivos de protección (Horas)
Normal	0	0	0
Restablecible	$T_c+T_p+T_l$	0.3167	0.3167
Transferible	$T_c+T_p+T_l+T_t+T_v$	0.6501	0.6501
Irrestablecible	$T_c+T_p+T_l+T_r$	0.8167	0.5667
Irrestablecible c/espera	$T_c+T_p+T_l+T_t+T_r$	0.9834	0.7334

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Calculo de los índices de confiabilidad en el estado actual

Para el cálculo de la tasa de fallas, el tiempo de reparación y la indisponibilidad de cada componente del sistema se proceden a realizar lo siguiente:

1. Diseñar un esquema en el cual se detalla la topología de la red del alimentador, asignando la respectiva nomenclatura a cada componente de acuerdo a la ubicación del mismo, se puede observar en el Anexo 3.
2. Modelar en una matriz de estados de orden 34 x 34 la estructura topológica del sistema de distribución primario del alimentador P.I.A. asignando el estado de cada componente ante una falla la que se presenta en el Anexo 5.
3. Tomando cada componente del alimentador se procede a calcular la tasa de fallas (λ), Anexo 6 y el tiempo de interrupción (r), anexo 7 y la indisponibilidad (U), anexo 8 de cada componente, un resumen de los resultados obtenidos se encuentra en la Tabla 16.

Tabla 16 Diagnóstico del alimentador en estudio

Nomenclatura	Componente	Longitud Tramo (km)	kVA ins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)	U (horas/año)
I. A	Seccionador		1760	1408	0.98	0.7363	0.7212
T. A	Tramo	1.098	1760	1408	0.98	0.7363	0.7212
S. A1	Seccionador		765	612	1.60	0.7180	1.1459
T. A1	Tramo	0.498	765	612	1.60	0.7180	1.1459
S. A11	Seccionador		350	280	1.94	0.6949	1.3476
T. A11	Tramo	0.047	350	280	1.94	0.6949	1.3476
S. A12	Seccionador		200	160	1.95	0.6952	1.3525
T. A12	Tramo	0.057	200	160	1.95	0.6952	1.3525
S. A13	Seccionador		685	548	2.29	0.7135	1.6328
T. A13	Tramo	0.624	685	548	2.29	0.7135	1.6328
S. A131	Seccionador		112.5	90	2.63	0.6967	1.8291
T. A131	Tramo	0.036	112.5	90	2.63	0.6967	1.8291
S. A132	Seccionador		260	208	2.76	0.7026	1.9398
T. A132	Tramo	0.260	260	208	2.76	0.7026	1.9398
S. A1321	Seccionador		120	96	3.60	0.7073	2.5453
T. A1321	Tramo	0.864	120	96	3.60	0.7073	2.5453
S. A133	Seccionador		487.5	390	2.90	0.7082	2.0559
T. A133	Tramo	0.495	487.5	390	2.90	0.7082	2.0559
S. A1331	Seccionador		500	400	3.36	0.6994	2.3481
T. A1331	Tramo	0.230	500	400	3.36	0.6994	2.3481
S. A1332	Seccionador		300	240	3.37	0.7000	2.3610
T. A1332	Tramo	0.256	300	240	3.37	0.7000	2.3610
S. A134	Seccionador		680	544	2.77	0.7031	1.9492
T. A134	Tramo	0.279	680	544	2.77	0.7031	1.9492
S. A2	Seccionador		1752.5	1402	2.24	0.7462	1.6688
T. A2	Tramo	1.556	1752.5	1402	2.24	0.7462	1.6688

Tabla 17 Continuación

S. A21	Seccionador		165	132	2.72	0.7299	1.9862
T. A21	Tramo	0.281	165	132	2.72	0.7299	1.9862
S. A22	Seccionador		1070	856	2.77	0.7313	2.0248
T. A22	Tramo	0.359	1070	856	2.77	0.7313	2.0248
S. A23	Seccionador		125	100	2.67	0.7280	1.9402
T. A23	Tramo	0.188	125	100	2.67	0.7280	1.9402
S. A24	Seccionador		15	12	2.64	0.7271	1.9180
T. A24	Tramo	0.143	15	12	2.64	0.7271	1.9180

Elaborado por: Los postulantes

Luego de obtener la tasa de fallas y el tiempo de reparación y la indisponibilidad de cada uno de los componentes que se describen en la tabla Tabla 16 se procede al cálculo de los índices de confiabilidad TTIK y FMIK del sistema de distribución en estudio.

$$FMIK = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst.A}} = 4.249 \text{ Salidas / año}$$

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}} = 2.772 \text{ Horas / año}$$

$$ENS = 28575.226 \text{ kWh}$$

En la Tabla N° 11 y 12 se describe los índices de confiabilidad del año 2014 de acuerdo a la causa, misma que fue facilitada por el Departamento de Operación y Mantenimiento de la base de datos SISDAT.

Análisis de flujo de carga del alimentador en el estado actual

El análisis de flujo de carga permite obtener la magnitud y los ángulos de voltaje, la potencia activa, reactiva y aparente de cada elemento del sistema de distribución además de las pérdidas en los tramos. En la Tabla 18 se detalla los datos obtenidos en la red al realizar un flujo de carga en el software CYMDIST en

la cual se describe la Potencia activa y reactiva de cada alimentador, el consumo total de los mismos y las pérdidas que se obtiene en el análisis.

Tabla 18 Resultados del flujo de carga de los alimentadores en el estado actual

Subestación: S/E_SAMANGA :						
Nombre de la red	Carga total		Carga total		Pérdidas totales	Pérdidas totales
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	kW
ALIM-P.I.A.	3766.31	97.9	3687.36	97.9	315.08	95.02
CUNCHIBAMBA	2495.66	97.88	2442.63	97.88	207.83	83.56
PASO-LATERAL	1821.38	97.92	1783.58	97.92	140.81	59.64
Total	8083.35	97.9	7913.58	97.9	662.57	238.23

Fuente: Simulación CYMDIST

En el Anexo 9 se puede visualizar los datos obtenidos al realizar el análisis de flujo de carga de los tramos del alimentador P.I.A., mismo que tienen una variación de voltaje de 0.9 % y un porcentaje de carga máximo de 46 % en los tramos.

Verificación de la hipótesis

La hipótesis para el presente tema de tesis es la siguiente:

“El análisis de Confiabilidad utilizando la metodología de las Cadenas de Markov y la reconfiguración del circuito primario en el Alimentador Parque Industrial Ambato, permitirá determinar alternativas para disminuir los índices TTIK y FMIK que establece la Regulación No. ARCONEL - 004/01 Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución.”

Al realizar la modelación del sistema de distribución que se presenta en el literal 2.5 del alimentador P.I.A. utilizando la metodología de las Cadenas de Markov y la técnica de la frecuencia y duración se obtiene índices similares a los que dispone la EEASA en la base SISDAT los cuales se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 19 Comparación de los índices del modelo de Markov y los índices reales

ÍNDICE	SISDAT	MODELO DE MARKOV	
		MARKOV	PORCENTAJE DE VARIACIÓN
FMIK	4.04	4.249	5%
TTIK	2.48	2.772	12%

Elaborado por: Los postulantes

En la Tabla 19 se compara los datos que posee la EEASA en la base de datos SISDAT con los índices que se obtiene al aplicar la metodología de Markov, el porcentaje de error que tiene el modelo es del 5% en índices FMIK y del 12% en índices TTIK siendo un porcentaje aceptable.

Tabla 20 Comparación de los índices de confiabilidad de las dos propuestas

ÍNDICE	MODELO DE MARKOV	RECONFIGURACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED			
		PROPUESTA 1		PROPUESTA 2	
		ÍNDICE	PORCENTAJE MEJORADO	ÍNDICE	PORCENTAJE MEJORADO
FMIK	4.249	2,51	40.93 %	1.837	56.78 %
TTIK	2.772	1,27	54.18 %	0.77	72.22 %

Elaborado por: Los postulantes

En la Tabla 20 se puede apreciar los porcentajes de mejora de las propuestas del capítulo tres, en la propuesta uno que se trata de construir el tramo principal subterráneo en paralelo al existente, se logró mejorar el índice FMIK en un porcentaje del 40.93 % y el índice TTIK en un porcentaje del 54.18 % y la propuesta dos que se plantea la instalación de interruptores automáticos se obtiene índice FMIK en un porcentaje del 56.78 % y el índice TTIK en un porcentaje del 72.22 %

Con los datos obtenidos después del analizar las dos propuestas planteadas, como se observa en la Tabla 20, con relación al menor tiempo de indisponibilidad y frecuencia de interrupciones de suministro eléctrico, la propuesta dos es la que tiene un menor tiempo de indisponibilidad siendo la más factible para la prestación de servicio eléctrico a los consumidores industriales.

CAPITULO III

DISEÑO DE LA PROPUESTA PARA MEJORAR LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO

Presentación

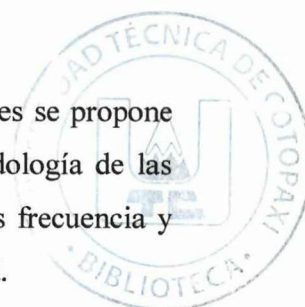
La continuidad de suministro de energía eléctrica en redes de distribución son responsabilidad directa de las empresas eléctricas encargadas en el área de concesión, para que las mismas cumplan con la calidad de servicio, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) establece la Regulación 004-01 Calidad de servicio eléctrico de distribución, en la cual se describe de que forma se debe realizar el cálculo de los índices que deben cumplir las empresas distribuidoras en el área de concesión, para brindar un servicio de calidad a los usuarios.

El presente trabajo se realizó en un alimentador con consumidores en su gran mayoría industriales los mismos que por tener procesos de producción son sensibles a variaciones de voltaje, perturbaciones de voltaje entre otras, las cuales son causadas por la carga y las interrupciones de servicio que dependen de la confiabilidad de la red de distribución.

Para mejorar la continuidad de servicio eléctrico a los consumidores se propone realizar el análisis de confiabilidad del sistema mediante la metodología de las cadenas de Markov para modelar el sistema y disminuir los índices frecuencia y duración buscando una nueva configuración de la topología de la red.

Justificación

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el sector industrial implica una flexibilidad limitada para la atención de contingencia y alimentación de



cargas futuras por lo que se realiza el estudio de confiabilidad y además mediante el software CYMDIST se verifico, que el sistema de distribución opere en condiciones normales ante transferencia de carga a otros alimentadores.

A través del estudio, se disminuirá los índices de confiabilidad en la red primaria del alimentador Parque Industrial Ambato obteniendo mayor disponibilidad de servicio eléctrico, acorde a los requerimientos de los consumidores industriales.

Aplicando la metodología de las cadenas de Markov de tiempo discreto y la técnica de frecuencia y duración de las interrupciones se disminuirá los índices Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado (TTIK) y Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado (FMIK) mediante nuevas configuración de la topología de la red de medio voltaje.

Objetivos

Objetivo general

- Analizar la calidad de servicio técnico (Índices Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado y Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado) de acuerdo a la Regulación N° ARCONEL 004/01 utilizando la metodología de las cadenas Markov para disminuir la frecuencia y duración de las interrupciones del alimentador parque industrial Ambato perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Objetivos específicos

- Recopilar datos históricos de las interrupciones de los alimentadores urbanos del área de concesión de la EEASA y los índices TTIK y FMIK del alimentador Parque Industrial Ambato del año 2014.
- Calcular los índices de confiabilidad aplicando la metodología de las cadenas de Markov y la técnica de frecuencia y duración de las interrupciones.

- Comparar los índices calculados con la metodología de Markov con los que posee la EEASA según la regulación N° ARCONEL 004/01.
- Proponer reconfiguración de la topología de la red primaria que permita disminuir los índices TTIK y FMIK.

Desarrollo de la propuesta

Las redes de distribución son construidas de forma radial debido a sus ventajas como: costo bajo, diseño simple, fácil de maniobrar, fácil localización de fallas, mejor perfil de voltaje, entre otras. Sin embargo, al estar expuestas al medio ambiente son propensas a fallas por diversos factores de acuerdo al entorno.

En las propuesta a desarrollar, se realiza el análisis de confiabilidad mediante la metodología de las Cadenas de Markov y la técnica de frecuencia y duración de interrupción de los componentes para evaluar la calidad de servicio técnico que brinda la Empresa Eléctrica Ambato S.A. en el Alimentador P.I.A. para posteriormente proponer alternativas para mejorar la continuidad de servicio eléctrico al usuario y evitar posibles penalizaciones que establece el ente regulador a las empresa eléctrica de distribución por costo de energía no suministrada (ENS).

Consideraciones técnicas

Para la modelación en el software CYMDIST se tomará las siguientes consideraciones:

- La topología de las redes de distribución es de forma radial misma que pueden ser alimentadas de alimentadores aledaños con seccionadores de cuchillas o seccionadores automáticos.
- Los dispositivos de protección y/o seccionamiento deben estar coordinados para evitar la apertura en el caso de sobrecarga y operen solamente en condiciones de falla permanente.
- Los conductores deben soportar la carga asignada en caso de transferencia a los alimentadores aledaños.

- La caída de voltaje en redes primarias no debe exceder el 3.5% en redes de Medio Voltaje, según lo establecido en las guías de diseño de la EEASA.

3.1.1 Reconfiguración de la topología de la red primaria para mejorar la calidad de servicio técnico

3.1.1.1 Propuesta 1

Con el objeto de alcanzar un alto grado de confiabilidad en el alimentador P.I.A. se propone dividir al alimentador primario en dos circuitos, con la construcción de otro alimentador subterráneo en paralelo en donde se instalará un seccionador de cuchilla tipo abierto para maniobras en caso de fallas permanentes en uno de los dos alimentadores del sector Industrial.

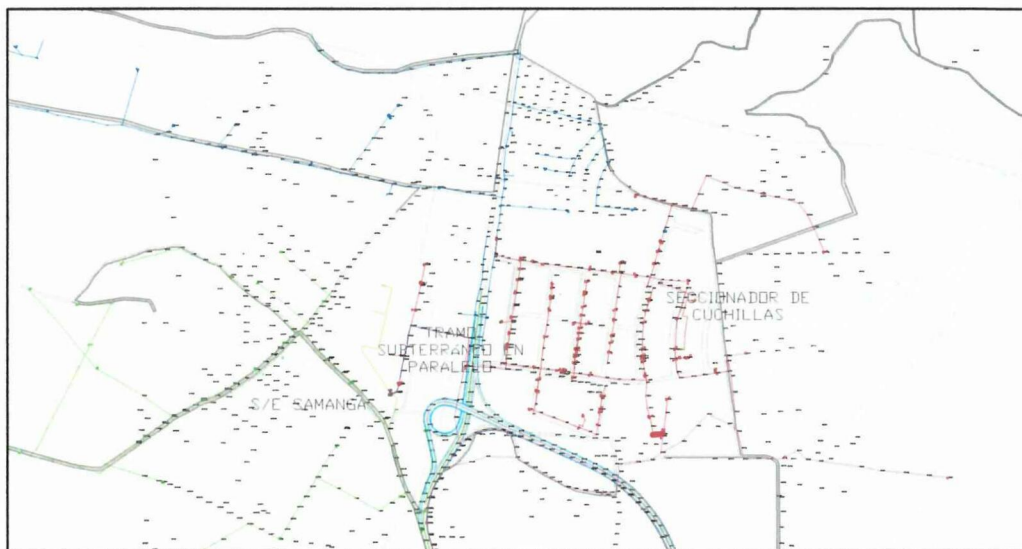
Análisis técnico de la propuesta 1

- Se propone dividir la red primaria en dos segmentos, para lo cual es necesario construir una red subterránea en paralelo desde la subestación hasta el poste N° 128653 (PHC11_400) en donde posteriormente se deberá abrir el circuito, quedando de esta forma a doble circuito el tramo principal del alimentador Parque Industrial Ambato.
- Con el objetivo de que se pueda realizar mantenimiento al tramo principal se propone la instalación de un seccionador de cuchilla normalmente abierto en el poste N° 128653 (PHC11_400).
- Con el propósito de mantener la continuidad del servicio eléctrico a los usuarios industriales se propone mantener el seccionador existe ubicado en el poste N° 128653 (PHC11_400) como respaldo en el caso que exista algún tipo de avería en el tramo a construir.
- El alimentador en paralelo subterráneo a construir tendrá una longitud de 750m aproximadamente el cual se conectara con el segmento de tramos con mayor carga instalada del sector industrial.

El esquema donde se pretende realizar la reconfiguración de la topología de la red primaria se puede observar en el anexo 10 y en el Gráfico 18 se observa la

topología de la red primaria con el lugar donde se propone la construcción del tramo subterráneo y el seccionador de cuchillas.

Gráfico 18 Reconfiguración de la topología de la red propuesta 1



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Elaborado por: Los postulantes

Al realizar el análisis de flujo de carga de los fragmentos donde se propone la división de la red primaria Parque Industrial Ambato se observa en el Anexo 21 los datos obtenidos de todos los tramos. La Tabla 21 es un resumen del flujo de carga realizado en el software CYMDIST en el que se puede apreciar la potencia que consumiría cada uno de los fragmentos.

Tabla 21 Resultados del flujo carga de los dos fragmentos del Alimentador Parque Industrial Ambato

Subestación: S/E SAMANGA :						
Nombre de la red	Carga total		Carga total		Pérdidas totales	Pérdidas totales
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	kW
ALIM-P.I.A. FRAGMENTO 1	2499.94	97.8	2444.97	97.8	220.87	63.13
ALIM-P.I.A. FRAGMENTO 2	2020.37	97.92	1978.34	97.92	165.18	46.52

Fuente: Simulación software CYMDIST

En el anexo 15 se puede apreciar la potencia, corriente, voltaje que circula por cada uno de los tramos de los dos fragmentos observando un porcentaje de carga de corriente de 32% y 23% en el fragmento uno y dos respectivamente.

Índices obtenidos al realizar la reconfiguración de la topología de la red primaria propuesta 1

Al construir la red subterránea en paralelo del tramo principal y dividir en dos fragmentos la red primaria, para obtener mayor disponibilidad de servicio y disminuir los índices de confiabilidad TTIK y FMIK se realiza lo siguiente:

Formular la matriz de estados de orden 37 x 37 de acuerdo a la estructura topológica del sistema de distribución del alimentador primario, asignar a cada componente el estado en que se encuentra ante una falla misma que se presenta en el anexo 11.

Tomando cada componente del alimentador se procede a calcular la tasa de fallas (λ), Anexo 12 y el tiempo de interrupción (r), anexo 13 y la indisponibilidad (U), anexo 14 de cada componente, un resumen de los resultados obtenidos se encuentra en la Tabla 22.

Tabla 22 Diagnóstico del alimentador en estudio con la reconfiguración de la topología de la red propuesta 1

Nomenclatura	Subsistema	Longitud Tramo (km)	kVA ins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)
I. A	SECCIONADOR		2805	2244	1	0,7398
T. A	TRAMO	1,819	2805	2244	1	0,7398
S. A1	SECCIONADOR		765	612	1,12	0,4664
T. A1	TRAMO	0,851	765	612	1,12	0,4313
S. A11	SECCIONADOR		350	280	1,29	0,4520
T. A11	TRAMO	0,047	350	280	1,29	0,4520
S. A12	SECCIONADOR		200	160	1,30	0,4529
T. A12	TRAMO	0,057	200	160	1,30	0,4529
S. A13	SECCIONADOR		685	548	1,36	0,3757
T. A13	TRAMO	0,271	685	548	1,36	0,6601
SP. A1	SECCIONADOR		0,000	0,000	0,000	0,000
TSP. A2	TRAMO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S. A131	SECCIONADOR		112,5	90	1,36	0,6601
T. A131	TRAMO	0,036	112,5	90	1,36	0,6601
S. A132	SECCIONADOR		260	208	1,53	0,3727
T. A132	TRAMO	0,260	260	208	1,53	0,3727
S. A1321	SECCIONADOR		120	96	1,77	0,4098
T. A1321	TRAMO	0,864	120	96	1,77	0,4098
S. A133	SECCIONADOR		487,5	390	1,78	0,4352

Tabla 23 Continuación

T. A133	TRAMO	0,495	487,5	390	1,78	0,4352
S. A1331	SECCIONADOR		500	400	2,09	0,4725
T. A1331	TRAMO	0,230	500	400	2,09	0,4725
S. A1332	SECCIONADOR		300	240	2,01	0,4913
T. A1332	TRAMO	0,256	300	240	2,01	0,4913
S. A134	SECCIONADOR		680	544	1,60	0,6178
T. A134	TRAMO	0,279	680	544	1,60	0,6178
STI	SECCIONADOR		2805	2244	1,60	0,6178
IAS	SECCIONADOR		707,5	566	1,60	0,6178
TAS	TRAMO	1,819	707,5	566	1,60	0,6178
S. A2	SECCIONADOR		707,5	566	0,83	1,1875
T. A2	TRAMO	0,835	707,5	566	0,83	1,1875
S. A21	SECCIONADOR		165	132	1,27	0,4583
T. A21	TRAMO	0,281	165	132	1,27	0,4583
S. A22	SECCIONADOR		1070	856	1,18	0,4503
T. A22	TRAMO	0,359	1070	856	1,18	0,4503
S. A23	SECCIONADOR		125	100	1,19	0,4515
T. A23	TRAMO	0,188	125	100	1,19	0,4515
SP. A.2	SECCIONADOR		1045	836	1,19	0,4515
TSP. A.2	TRAMO	0,721	1045	836	1,19	0,4515
S. A24	SECCIONADOR		15	12	1,16	0,4619
T. A24	TRAMO	0,143	15	12	1,16	0,4619

Elaborado por: Los postulantes

Luego de obtener la tasa de fallas, el tiempo de reparación y la indisponibilidad de cada uno de los componentes que se describen en la tabla Tabla 22 se procede al cálculo de los índices de confiabilidad TTIK y FMIK del sistema de distribución en estudio al implementar la propuesta uno.

$$FMIK = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst}} = 2.51 \text{ Salidas / año}$$

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}} = 1.27 \text{ Horas / año}$$

$$ENS = 13089.68 \text{ kWh}$$

3.1.1.2 Propuesta 2

Con el objetivo de transferir gran parte de la carga del alimentador P.I.A. a los alimentadores Cunchibamba y Paso Lateral se propone la instalación de dos

interruptores automáticos mismos que se podrán utilizar para transferir la carga del alimentador P.I.A. a los alimentadores antes mencionados.

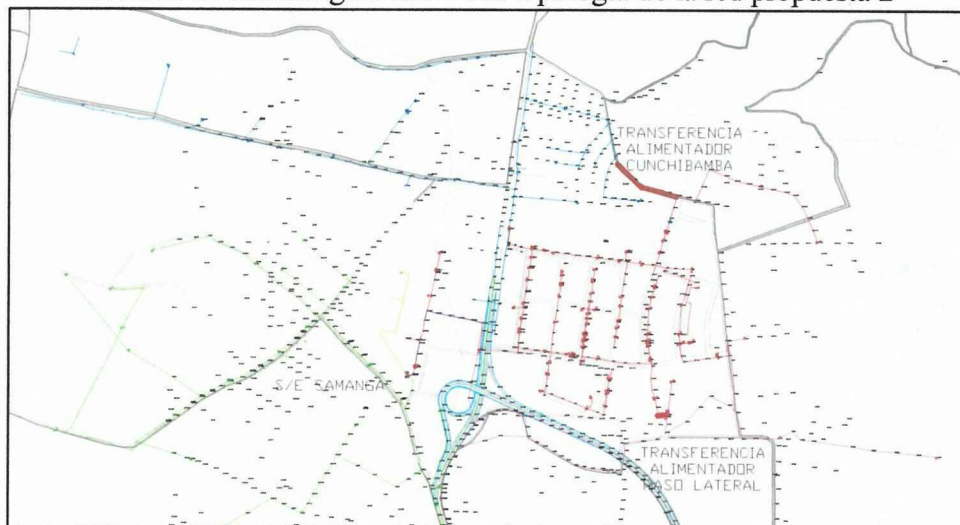
Para evitar bajos voltajes causados por la distancia y la demanda de energía eléctrica se distribuye la carga, en caso de una falla a los alimentadores aledaños y de esta manera no afectar la cargabilidad de los tramos.

Análisis técnico de la propuesta 2

- Se propone instalar interruptores automáticos en los postes N° 91109 (PHC11_400) y N° 91115 (PHC11_400) los que permitirán transferir la carga del alimentador P.I.A. al alimentador Cunchibamba y Paso Lateral respectivamente.
- Para tener conexión con el alimentador Cunchibamba se requiere construir un tramo de red trifásico de 250 metros, desde el poste N° 290 (PHC11_400) hasta el poste N° 91109 (PHC11_400).
- Al construir el tramo de red trifásico de 35 metros. desde el poste N° 91115 (PHC11_400) hasta el poste N° 10059 (PHC11_400) el que permitirá tener conexión con el alimentador Paso Lateral.
- Es necesario la instalación de dos seccionadores trifásicos tipo cuchillas normalmente cerrados en el poste N° 85 (PHC11_400) y poste N° 51 (PHC11_400) los cuales permitirán abrir una parte del circuito y transferir los tramos con mayor carga en el caso de una falla o mantenimientos preventivos o correctivos de la red.

Un esquema de los lugares donde se propone la instalación para reconfigurar la topología de la red se puede observar en los Anexos 16 y en el Gráfico 19 se observa los lugares donde se propone instalar interruptores automáticos para transferir carga a los alimentadores Paso Lateral y Cunchibamba.

Gráfico 19 Reconfiguración de la topología de la red propuesta 2



Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Elaborado por: Los postulantes

Al simular la apertura de los seccionadores ubicados en los postes N° 128356 y el poste N° 128650 se transfiere mediante los interruptores automáticos al alimentador Paso Lateral y el alimentador Cunchibamba los cuales son como propuesta en el presente estudio. La apertura de los seccionadores antes mencionados para realizar el análisis de flujo de carga, es observando el peor caso que puede suceder.

Se procede a realizar el análisis de flujo de carga en el software CYMDIST obteniendo la cargabilidad de los alimentadores, tramos de la red. Este análisis permite evitar que los mismos se sobrecarguen al realizar transferencia de carga a los alimentadores adyacentes. Los resultados obtenidos en la cabecera del alimentador se detallan en la Tabla 24

Tabla 24 Resultados del flujo de carga al realizar transferencia de carga a los alimentadores Cunchibamba y Paso Lateral, propuesta 2

Subestación: S/E SAMANGA :						
Nombre de la red	Carga total		Carga total		Pérdidas totales	Pérdidas totales
	kVA	FP (%)	kW	FP (%)	kVA	kW
ALIM-P.I.A.	762.57	97.48	743.32	97.48	81.47	20.88
CUNCHIBAMBA	4274.67	97.85	4182.84	97.85	397.51	157.21
PASO-LATERAL	3102.68	98.01	3041.02	98.01	248.62	102.39
Total	8139.71	97.88	7967.19	97.88	726.72	280.49

Fuente: Simulación software CYMDIST

De igual manera se procede al análisis de los tramos de la red de los alimentadores Paso Lateral y Cunchibamba para evitar que se sobrecarguen al realizar la transferencia de carga, los resultados se los puede observar en la Tabla 25 y Tabla 26 respectivamente.

Tabla 25 Resultados del flujo de carga de los tramos del alimentador Paso Lateral al realizar la transferencia de carga del alimentador P.I.A., propuesta 2

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Carga (%)	Corriente (Amps)	Voltaje (kV)	Voltaje por unidad (pu)
199_MTS	3041.025	615.439	3102.675	40.099	129.8	13.8	1.000
5137_MTS	3040.819	615.671	3102.521	40.1	129.8	13.799	1.000
22241_MTS	3040.794	615.7	3102.502	40.1	129.8	13.799	1.000
200_MTS	3036.942	620.053	3099.594	40.119	129.9	13.78	0.999
10756_MTA	3036.05	621.056	3098.921	50.155	129.9	13.776	0.998
10755_MTA	3034.729	619.535	3097.322	50.155	129.9	13.768	0.998
11043_MTA	3033.39	617.994	3095.702	50.155	129.9	13.761	0.997
244961_MTA	3031.957	616.345	3093.969	50.155	129.9	13.754	0.997
276238_MTA	3029.742	613.795	3091.291	50.156	129.9	13.742	0.996
104603_MTA	3010.74	610.596	3072.032	56.794	129.1	13.741	0.996
14723_MTA	3009.948	609.856	3071.109	49.798	129.1	13.737	0.995
11044_MTA	3009.07	608.846	3070.048	49.798	129.1	13.732	0.995
10408_MTA	3008.37	608.04	3069.202	49.798	129.1	13.729	0.995
10407_MTA	3007.774	607.355	3068.482	49.798	129.1	13.725	0.995
10406_MTA	3007.041	606.511	3067.597	49.798	129.1	13.722	0.994
10405_MTA	3001.305	605.013	3061.679	49.798	128.9	13.718	0.994
10395_MTA	3000.461	604.042	3060.659	49.798	128.9	13.714	0.994
10392_MTA	2999.617	603.07	3059.64	49.798	128.9	13.709	0.993
10329_MTA	2998.686	602	3058.517	49.799	128.9	13.704	0.993
10328_MTA	2997.864	601.054	3057.524	49.799	128.9	13.7	0.993
10327_MTA	2997.04	600.105	3056.53	49.799	128.9	13.695	0.992
10326_MTA	2996.199	599.138	3055.515	49.799	128.9	13.691	0.992
10325_MTA	2995.313	598.118	3054.447	49.799	128.9	13.686	0.992
10324_MTA	2994.302	596.955	3053.228	49.799	128.9	13.681	0.991
10323_MTA	2993.438	595.961	3052.187	49.799	128.9	13.676	0.991
264000_MTA	2992.531	594.916	3051.092	49.799	128.9	13.671	0.991
29536_MTA	1329.097	251.654	1352.711	31.737	57.1	13.668	0.990
29539_MTA	1326.31	250.948	1349.842	31.565	57	13.664	0.990
29540_MTA	1326.09	250.841	1349.606	31.737	57	13.662	0.990
28346_MTA	1325.547	250.554	1349.019	31.737	57	13.656	0.990
263991_MTA	1325.111	250.323	1348.548	31.737	57	13.651	0.989
265404_MTA	1311.617	247.65	1334.792	24.131	56.5	13.647	0.989

Fuente: Simulación software CYMDIST

Los resultados observados en la Tabla 25 permiten ver la potencia que circula por cada tramo y de igual manera la corriente desde la cabecera del alimentador hasta el poste N° 10059 donde se propone la instalación del interruptor automático obteniendo el porcentaje de carga máximo de hasta un 50.2% en los tramos del alimentador Paso Lateral.

Tabla 26 Resultados del flujo de carga de los tramos del alimentador Cunchibamba al realizar transferencia de carga del alimentador P.I.A., propuesta 2

Nro. equipo	Potencia total de paso (kW)	Potencia total de paso (kVAR)	Potencia total de paso (kVA)	Carga (%)	Corriente (Amps)	Voltaje (kV)	Voltaje por unidad (pu)
62241_MTS	4182.843	881.259	4274.669	54.274	178.8	13.8	0.986
44877_MTA	4182.475	881.347	4274.327	40.706	178.8	13.799	0.986
11834_MTA	4181.886	880.267	4273.528	67.844	178.8	13.796	0.986
44399_MTA	4179.859	877.915	4271.061	40.707	178.8	13.788	0.985
11892_MTA	4178.993	876.325	4269.887	67.844	178.8	13.784	0.985
11826_MTA	4178.559	875.821	4269.358	67.844	178.8	13.783	0.985
11841_MTA	4177.042	874.06	4267.512	67.845	178.8	13.777	0.985
45805_MTA	4175.327	872.071	4265.427	40.707	178.8	13.77	0.984
44401_MTA	4174.548	870.641	4264.372	40.707	178.8	13.767	0.984
44402_MTA	4173.784	869.239	4263.338	40.707	178.8	13.763	0.984
11821_MTA	4172.85	867.523	4262.074	67.845	178.8	13.759	0.984
45386_MTA	4171.22	865.632	4260.093	40.707	178.8	13.753	0.984
11820_MTA	4170.334	864.005	4258.895	67.845	178.8	13.749	0.983
36228_MTA	4168.62	862.015	4256.813	40.707	178.8	13.742	0.983
12116_MTA	4167.578	860.127	4255.411	67.846	178.8	13.738	0.983
12117_MTA	4145.627	852.918	4232.457	67.698	178.1	13.724	0.983
12118_MTA	4141.757	848.426	4227.763	67.698	178.1	13.709	0.982
12119_MTA	4138.124	844.21	4223.359	67.699	178.1	13.694	0.982
12120_MTA	4136.011	841.757	4220.799	67.699	178.1	13.686	0.982
12121_MTA	4132.558	837.749	4216.617	67.699	178.1	13.673	0.982
13683_MTA	4131.444	836.455	4215.268	67.699	178.1	13.668	0.982
13684_MTA	4130.172	834.979	4213.729	67.699	178.1	13.663	0.982
13685_MTA	4122.342	832.169	4205.498	67.699	177.8	13.658	0.982
98028_MTA	3584.822	742.243	3660.857	58.828	154.8	13.653	0.982
101077_MTA	3582.503	740.805	3658.295	58.828	154.8	13.649	0.982
258276_MTA	3572.566	737.948	3647.985	58.678	154.4	13.644	0.982
258277_MTA	3572.099	737.412	3647.419	58.679	154.4	13.642	0.982
162771_MTA	3571.606	736.841	3646.821	58.679	154.4	13.64	0.982
14038_MTA	3555.492	731.115	3629.883	58.455	153.8	13.627	0.982
14042_MTA	3553.485	728.803	3627.452	58.455	153.8	13.618	0.982

Tabla 27 Continuación

11762_MTA	3551.911	726.979	3625.544	58.455	153.8	13.611	0.982
246820_MTA	1788.99	357.985	1824.456	29.362	77.4	13.605	0.982
246819_MTA	1788.971	357.964	1824.432	29.362	77.4	13.605	0.981
14040_MTA	1779.424	355.879	1814.663	29.362	77	13.603	0.981
14039_MTA	1772.799	354.448	1807.885	29.059	76.7	13.601	0.981
13856_MTA	1772.402	354.015	1807.411	29.059	76.7	13.597	0.981
13782_MTA	1757.729	351.077	1792.447	29.059	76.1	13.595	0.981
13781_MTA	1757.366	350.681	1792.014	29.06	76.1	13.591	0.981
13780_MTA	1747.415	348.505	1781.83	28.605	75.7	13.589	0.981
13779_MTA	1747.149	348.215	1781.511	28.605	75.7	13.586	0.981
13777_MTA	1746.841	347.894	1781.147	28.605	75.7	13.583	0.981
13776_MTA	1721.828	342.904	1755.641	28.605	74.6	13.582	0.981
258281_MTA	1721.532	342.582	1755.288	28.605	74.6	13.579	0.981
258280_MTA	1712.039	340.576	1745.586	28.606	74.2	13.578	0.981
13691_MTA	1711.916	340.443	1745.44	28.606	74.2	13.577	0.981
258278_MTA	1711.617	340.119	1745.083	28.606	74.2	13.574	0.981
258279_MTA	1701.001	338.031	1734.264	28.606	73.8	13.573	0.981

Fuente: Simulación software CYMDIST

Los resultados obtenidos al realizar el análisis de flujo de carga se observa en la Tabla 26, en los que se puede ver la potencia que circula por cada tramo y de igual manera la corriente que circula desde la cabecera del alimentador hasta el poste N° 290 donde se propone la construcción del tramo para mallar el alimentador P.I.A. con el alimentador Cunchibamba.

3.1.1.3 Índices obtenidos al realizar la reconfiguración de la topología de la red primaria de la propuesta 2

Al instalar interruptores automáticos para transferencia de carga con el objetivo de mallar parcialmente la red y transferir parte de la red a los alimentadores vecinos en el caso de interrupciones despejando de esta forma el tramo con falla se procede a realizar lo siguiente:

1. Reconfigurar el esquema del alimentador del anexo 4 describiendo los lugares donde se puede realizar la transferencia de carga en el caso de la falla de uno de los componentes asignando la respectiva nomenclatura a cada componente de acuerdo a la ubicación del mismo.

2. Modelar en una matriz de estados de orden 38 x 38 la estructura topológica del sistema de distribución primario del alimentador P.I.A. asignando el estado de cada componente ante una falla la cual se presenta en el Anexo 17.
3. Tomando cada componente del alimentador se procede a calcular la tasa de fallas (λ), anexo 18 y el tiempo de interrupción (r), anexo 19 y la indisponibilidad (U), anexo 20 de cada componente, un resumen de los resultados obtenidos se encuentra en Tabla 28.

Tabla 28 Diagnóstico del alimentador en estudio con la reconfiguración de la topología de la red

Nomenclatura	Subsistema	Longitud Tramo (km)	kVA ins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)	U (horas/año)
I. A	SECCIONADOR		2805	2244	0.71	0.5667	0.40
T. A	TRAMO	1.819	2805	2244	0.71	0.5667	0.40
S. A1	SECCIONADOR		1165	932	1.12	0.5142	0.5774
T. A1	TRAMO	0.851	1165	932	1.12	0.5142	0.5774
S. A11	SECCIONADOR		350	280	1.29	0.5137	0.6651
T. A11	TRAMO	0.047	350	280	1.29	0.5137	0.6651
S. A12	SECCIONADOR		200	160	1.30	0.5144	0.6676
T. A12	TRAMO	0.057	200	160	1.30	0.5144	0.6676
S. A13	SECCIONADOR		285	228	1.36	0.5131	0.6990
T. A13	TRAMO	0.271	285	228	1.36	0.5131	0.6990
SP. A1	SECCIONADOR		400	320	1.36	0.4462	0.6079
TSP. A2	TRAMO	0.353	400	320	1.36	0.4462	0.6079
S. A131	SECCIONADOR		112.5	90	1.80	0.3714	0.6667
T. A131	TRAMO	0.036	112.5	90	1.80	0.3714	0.6667
S. A132	SECCIONADOR		260	208	1.86	0.3589	0.6687
T. A132	TRAMO	0.260	260	208	1.86	0.3589	0.6687
S. A1321	SECCIONADOR		120	96	2.28	0.4085	0.9321
T. A1321	TRAMO	0.864	120	96	2.28	0.4085	0.9321
S. A133	SECCIONADOR		487.5	390	1.93	0.4034	0.7801
T. A133	TRAMO	0.495	487.5	390	1.93	0.4034	0.7801
S. A1331	SECCIONADOR		500	400	2.16	0.4286	0.9262
T. A1331	TRAMO	0.230	500	400	2.16	0.4286	0.9262
S. A1332	SECCIONADOR		300	240	2.17	0.4300	0.9327
T. A1332	TRAMO	0.256	300	240	2.17	0.4300	0.9327
S. A134	SECCIONADOR		680	544	1.87	0.3889	0.7268
T. A134	TRAMO	0.279	680	544	1.87	0.3889	0.7268
S. A2	SECCIONADOR		707.5	566	0.41	0.7207	0.2956

Tabla 29 Continuación

T. A2	TRAMO	0.835	707.5	566	0.41	0.7207	0.2956
S. A21	SECCIONADOR		165	132	0.65	0.6759	0.4412
T. A21	TRAMO	0.281	165	132	0.65	0.6759	0.4412
S. A22	SECCIONADOR		1070	856	0.68	0.4552	0.3079
T. A22	TRAMO	0.359	1070	856	0.68	0.4552	0.3079
S. A23	SECCIONADOR		125	100	0.62	0.6276	0.3919
T. A23	TRAMO	0.188	125	100	0.62	0.6276	0.3919
SP. A.2	SECCIONADOR		1045	836	0.62	0.4074	0.2545
TSP. A.2	TRAMO	0.721	1045	836	0.62	0.4074	0.2545
S. A24	SECCIONADOR		15	12	1.76	0.4797	0.8423
T. A24	TRAMO	0.143	15	12	1.76	0.4797	0.8423

Elaborado por: Los postulantes

Los resultados de los índices TTIK y FMIK obtenidos con la reconfiguración propuesta son los siguientes:

$$FMIK = \frac{\sum_i kVAfs_i}{kVA_{inst}} = 1.837 \text{ Salidas / año}$$

$$TTIK = \frac{\sum_i kVAfs_i * Tfs_i}{kVA_{inst}} = 0.770 \text{ Horas / año}$$

$$ENS = 7937.716 \text{ kW / h}$$

Presupuesto estimado de las propuestas

En la Tabla 30 y la Tabla 31 se detallan el presupuesto estimado de inversión de las propuestas para lo cual se ha tomado como referencia los precios que establece la EEASA.

Propuesta 1

En la Tabla 30 se describe el material y el costo estimado de la construcción de la red trifásica subterránea de una longitud de 750 metros en paralelo del tramo principal.

Tabla 30 Presupuesto estimado propuesta 1

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
Cruceta acero galvanizado perfil "I" 25 x 25 x 3 mm	c/u	3	\$ 65.00	\$ 195.00
Kit para sujeción de los cables	c/u	1	\$ 45.00	\$ 45.00
Cable desnudo # 2 AWG	m	15	\$ 4.50	\$ 67.50
Seccionador de cuchilla tipo abierto 15kV – 200 ^a	c/u	1	\$ 130.00	\$ 130.00
Seccionadores tipo abierto 15 kV - 200 A.	m	3	\$ 130.00	\$ 390.00
Empalme recto para cables aislados para 15 kV	c/u	11	\$ 10.00	\$ 110.00
Conectores aluminio –cobre	c/u	3	\$ 7.00	\$ 21.00
Pararrayos o apartarrayos de 9-10kV	c/u	6	\$ 80.00	\$ 480.00
Terminal de medio voltaje para exteriores aislamiento 15 kV	c/u	3	\$ 150.00	\$ 450.00
Conector de cobre tipo espiga	c/u	3	\$ 7.00	\$ 21.00
Codo conector desconectable de 200 A clase 15 kV	c/u	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Tubo rígido de acero galvanizado 3"	c/u	1	\$ 65.00	\$ 65.00
Hebilla para fleje de acero inoxidable de 19,05 mm (3/4")	c/u	4	\$ 7.00	\$ 28.00
Conector aterrizamiento tubo cable	c/u	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Conductor de cobre XLPE para 15kV	m	2250	\$ 15.00	\$ 33,750.00
Codo metálico rígido con curva amplia de 90° mismo diámetro de la bajante	c/u	3	\$ 30.00	\$ 90.00
Varilla de acero cubierta de cobre de 1,8m x15,87mm(5/8") sin conector	c/u	2	\$ 8.00	\$ 16.00
Suelda exotérmica	c/u	2	\$ 6.00	\$ 12.00
Tubo PVC pared solida interior y exterior lisa pesada de 50 mm x 2000 mm	c/u	25	\$ 6.00	\$ 150.00
Mano de obra	c/u	1	\$ 13,500.00	\$ 13,500.00
TOTAL				\$ 49,627.50

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

Elaborado por: Los postulantes

Propuesta 2

Para instalar dos interruptores automáticos para transferencia de carga a los alimentadores Paso Lateral y Cunchibamba se observa en la Tabla 31 el presupuesto estimado de la propuesta dos con las estructuras necesarias para la construcción de un tramo de red trifásica de 250 metros para transferencia

mediante un interruptor automático con el alimentador Cunchibamba y un tramo de red trifásica de 35 metros para transferencia con el alimentador.

Tabla 31 Presupuesto estimado propuesta 2

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
3CPT	Suspensión trifásica con aislador porcelana tipo pin nema 55-4	c/u	4	\$ 173.89	\$ 695.56
3CAT	Angular trifásica con aislador porcelana tipo pin nema 55-4	c/u	1	\$ 301.18	\$ 301.18
3CRT	Terminal trifásica con aislador porcelana tipo suspensión nema 52-1	c/u	4	\$ 335.85	\$ 1,343.40
TTST	Tensor a tierra simple	c/u	2	\$ 73.60	\$ 147.20
ACSR.1/0	Tendido y regulado de conductor cable Al.tipo ACSR # 1/0 AWG.	Km	1.14	\$ 1,300.00	\$ 1,482.00
SPT-3C(1)	Seccionador de cuchilla o barra unipolar	c/u	2	\$ 546.60	\$ 1,093.20
	Reconocimiento replanteo e inventario por km de red (proyectada)	M	1.14	\$ 102.83	\$ 117.23
PHC12_500	Poste hormigón 12 metros 500 kgs.	c/u	5	\$ 421.67	\$ 2,108.35
	Interruptor automático 15 kVA	c/u	2	\$ 15,000	\$ 30,000.00
TOTAL					\$ 37,288.12

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA

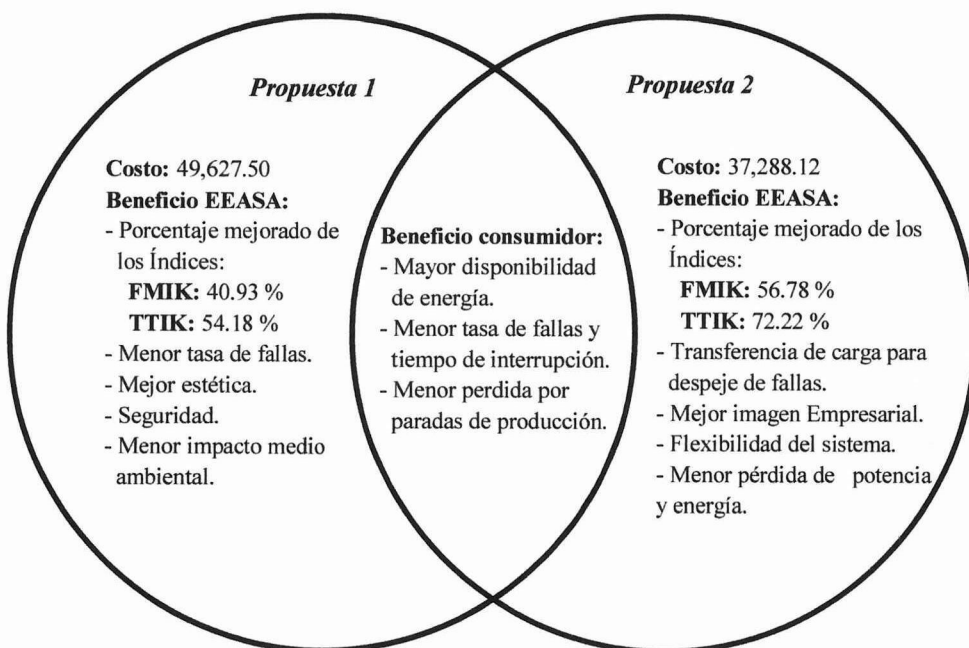
Elaborado por: Los postulantes

Factibilidad operacional

A través del análisis de las ventajas que tiene cada una de las dos propuestas la más factible con respecto a continuidad de suministro, parámetros de confiabilidad, cargabilidad de los conductores, voltaje dentro del rango aceptable por las guías de diseño de la EEASA +/- 3.5% en redes primarias, la propuesta dos es la que permite en el caso de una falla en un componente del sistema de distribución despejar el componente con falla y restablecer el suministro de energía eléctrica a los consumidores que no se encuentran conectados tramo con falla.

En el Gráfico 20 se describe los beneficios que presenta cada propuesta para la EEASA y para los consumidores del sector Industrial y el costo total de cada propuesta además de los porcentajes de mejora de cada una de las propuestas.

Gráfico 20 Análisis de los beneficios de las propuestas



Elaborado por: Los postulantes



Conclusiones

Al analizar los índices de confiabilidad Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado y Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal instalado utilizando la metodología de las cadenas Markov y la técnica de frecuencia y duración se obtiene las siguientes conclusiones.

- Los índices obtenidos utilizando la metodología de las cadenas de Markov y la técnica de frecuencia y duración varían en 5% en FMIK y 12% en TTIK, debido a que la empresa eléctrica no posee la tasa de fallas de cada componente, por lo que no se puede obtener índices iguales a los que tiene la EEASA.
- Los índices de confiabilidad de la propuesta uno se mejoraron en 41 % y 54 % en FMIK y TTIK respectivamente, mientras que en la propuesta dos se obtuvo 57 % en FMIK y 72 % TTIK en comparación con los índices obtenidos aplicando la metodología de Markov.
- La propuesta dos es la más factible desde el punto de vista técnico – económico debido a que el tiempo y la frecuencia de interrupciones es mucho menor a la propuesta uno, además permite transferir parte de la carga a los alimentadores aledaños.
- La caída de voltaje que se produce al realizar la transferencia de carga a los alimentadores Paso Lateral y Cunchibamba es 3.31% y 2.73% respectivamente, los mismos que se encuentran dentro del límite establecido por las guías de diseño de la EEASA

Recomendaciones

- El Departamento de Operación y Mantenimiento de la EEASA debería tener una base de datos de cada componente del alimentador P.I.A., con los registros históricos de fallas, probabilidad de vida útil de acuerdo al fabricante y la fecha de instalación, para realizar análisis de confiabilidad más cercanos a la realidad.
- La demanda de energía eléctrica en el sector industrial requiere de mayor continuidad seguridad y confiabilidad, por los procesos de producción que tiene cada uno, el diseñar un sistema más complejos que puedan despejar la falla y restablecer el servicio eléctrico en menor tiempo, es indispensable realizar estudios para mejorar la confiabilidad del sector con un menor costo y mayores beneficio.
- Es importante tener conexiones parciales que permitan transferir carga a los alimentadores Paso Lateral y Cunchibamba o líneas en paralelo mismas que en mantenimientos o fallas en los componentes no generen desconexión a todo el sistema.
- Es recomendable en el alimentador P.I.A. construir el tramo principal subterráneo que se presenta en la propuesta uno e instalar los interruptores automáticos que se presenta en la propuesta dos para poder transferir parte de la carga en caso de contingencias mejorando de esta manera la continuidad de servicio.
- La EEASA para satisfacer la demanda de energía eléctrica debería plantear el estudio para el montaje de una subestación, exclusivo para los consumidores industriales, debido al crecimiento de las industrias en el sector y además la división del alimentador Parque Industrial Ambato.

Términos y siglas

ARCONEL Agencia de Regulación y Control de Electricidad, organismo de derecho público encargada de la planificación, regulación y control del sector eléctrico

Amperios (A) Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica. Se define como la carga igual a 1 coulomb que pasar por un punto de un conductor en un segundo. ($1A = 1C / s$).

Armónicas Magnitudes sinusoidales de las cuales la frecuencia es un múltiplo de una frecuencia seleccionada como fundamental.

CENACE Centro Nacional de Control de Energía, Corporación civil de derecho privado, sin fines de lucro, a cargo de la administración de las transacciones técnicas y financieras del MEM (Mercado Eléctrico Mayorista).

Consumidor final de energía eléctrica Es la persona natural o jurídica que hace uso de la energía eléctrica proporcionada por el distribuidor, previo contrato celebrado por las partes y cuyo suministro está sujeto a las tarifas establecidas en el pliego tarifario.

Centro de Transformación Constituye el conjunto de elementos de transformación, protección y seccionamiento utilizados para la distribución de energía eléctrica.

Circuito eléctrico Trayecto o ruta de una corriente eléctrica, formado por conductores, que transporta energía eléctrica entre fuentes.

Confiabilidad del Sistema eléctrico Es el suministro de un suficiente y seguro servicio de generación, transmisión y distribución.

FMIK Frecuencia Media de Interrupción por KVA nominal instalado, expresada en fallas por KVA.

TTIK Tiempo Total de Interrupción por KVA nominal instalado, expresado en horas por KVA.

MANIOBRA dependiente manual, efectuada exclusivamente por medio de una energía manual aplicada directamente en forma tal que la velocidad y la fuerza de la maniobra dependen de la acción del operador.

MTTF Mean Time To Failure

MTTR Mean Time To Repair

MTBF Mean Time Between Failures

SISDAT Sistematización de Datos del Sector Eléctrico

Tasa de fallas Cantidad de interrupciones de suministro eléctrico en un periodo de tiempo (fallas/año).

Tasa de reparaciones Cantidad de reparaciones realizadas

Topología radial Un sistema de distribución es radial si todos los componentes tienen que estar funcionando para abastecer de energía eléctrica al consumidor final.

Bibliografía

Bibliografía citada y consultada

- AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD. Calidad del servicio eléctrico de distribución. Regulación No. ARCONEL – 004/01, 2001.
- ARANCIBIA ÓRDENES, Rodrigo Eduardo. “Plan de mantenimiento basado en criterios de confiabilidad para una empresa de distribución eléctrica”, Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería eléctrica, Santiago de Chile, 2008.
- ARRIAGADA MASS, Aldo Gary. “Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución”, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 1994.
- AYRE SÍNCHEZ, Jorge Hernán. “Evaluación de la confiabilidad mediante el método de modo de fallas y ubicación óptima de seccionadores en una red de distribución eléctrica”, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2005.
- CAMPOS OCAMPOS, Melvin. Métodos y técnicas de Investigación Académica”, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2009.
- CYME International T&D, <http://www.cyme.com/es/software/cymdist>.
- GONZALES ARIAS, Alfonso. “Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante reconfiguración de circuitos primarios”, Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- MANZANEDA MAMANI, Juvenal. Electricidad y control - Análisis de fiabilidad, Superintendencia de electricidad, Bolivia, 2006.
- MERINO B. Guadalupe. “Plan de manejo de residuos sólidos en cinco empresas del Parque Industrial Ambato”, Universidad Internacional SEK, Ecuador, 2006.
- RINCON, Luis. “Introducción a los Procesos estocásticos”, Facultad de ciencias UNAN, México, 2011.

- ROJO HORACIO, MIRANDA MIGUEL “Cadenas de Markov” Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, 2009.
- SUBSECRETARÍA DE ZONAS ESPECIALES DE DESARROLLO “Proyecto de fomento al desarrollo territorial de parques industriales en el Ecuador”, Ministerio de Industrias y Productividad, 2014.
- VARELA VARELA, Vanessa. “Evaluación de la confiabilidad en sistemas de eléctricos de distribución”, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2004.
- ZAPATA GRISALES, Carlos Julio. Confiabilidad en Ingeniería, Universidad Tecnológica de Pereira, Primera edición, Colombia, 2011.
- ZARUMA VILLAMARÍN J. L., BLACIO LOAIZA D. A. “Análisis de confiabilidad del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.”, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2012.

ANEXOS