



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA

TEMA:

“MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO, ÍNDICES TTIK-FMIK, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LAS CADENAS DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR FICOA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. EEASA.”

TESIS PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.

AUTORA:

Basantes Basantes Lina Elizabeth

DIRECTOR DE TESIS:

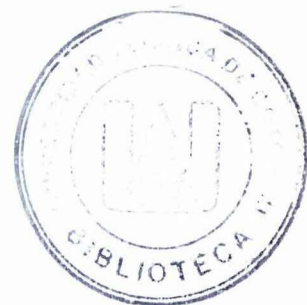
Ing. Eléc. Kléver Mayorga

ASESOR METODOLÓGICO

Dr. Bolívar Vaca

LATACUNGA - ECUADOR

2013





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Latacunga-Ecuador

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente informe de técnico 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 la postulante Lina Elizabeth Basantes Basantes, con el título de tesis *Mejoramiento de la Calidad de Servicio Técnico, Índices TTIK-FMIK, utilizando la Metodología de las Cadenas de Markov en el alimentador Ficoa del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. EEASA.*”, ha considerado las correcciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

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

Latacunga 18 de noviembre de 2013

Para constancia firman:


Ing. Xavier Proaño
PRESIDENTE


Ing. Vicente Quispe
OPOSITOR


Dr. Marcelo Bautista
MIEMBRO

AUTORÍA

Yo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

La responsabilidad de esta tesis de grado me corresponde exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Cotopaxi.



Lina Elizabeth Basantes Basantes

C.I. 0503481699



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Latacunga-Ecuador


AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

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

“MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO, ÍNDICES TTIK-FMIK, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LAS CADENAS DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR FICOA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. EEASA.”, de Lina Elizabeth Basantes Basantes, egresada de la Unidad Académica de Ciencias Ingeniería y Aplicadas Especialidad Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos Metodológicos y aporte Científico-Técnicos para presentarse al acto de defensa de tesis ante el Tribunal que la Comisión de Investigación de la Unidad Académica de Ciencias Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Es todo lo que puedo mencionar en honor la verdad.

Latacunga, agosto del 2013


ING. ELÉC. KLEVER MAYORGA.
DIRECTOR DE TESIS.
C.I. 180198718-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Latacunga-Ecuador

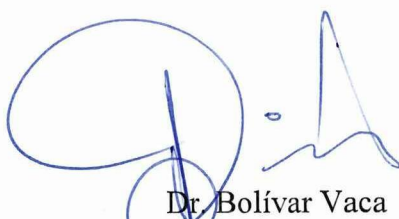
AVAL DEL ASESOR DE TESIS

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

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO, ÍNDICES TTIK-FMIK, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LAS CADENAS DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR FICOA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A. EEASA.

De la señorita estudiante: BASANTES BASANTES LINA ELIZABETH, postulante de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia.

Una vez revisado el documento entregado a mi persona, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte Científico-Técnicos para presentarse al acto de defensa de tesis ante el Tribunal que la Comisión de Investigación de la Unidad Académica de Ciencias Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.



Dr. Bolívar Vaca
ASESOR DE TESIS

Latacunga Julio del 2013



EMPRESA ELECTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A.

Trabajando con energía..!

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de Planificación de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A., a petición verbal de la interesada certifico que: La señorita Lina Elizabeth Basantes Basantes, portadora de la cédula de ciudadanía N° 050348169-9, realizó la Tesis de Grado con el tema: "MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO, ÍNDICES TTIK-FMIK, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LAS CADENAS DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR FICOA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A., EEASA.", bajo la supervisión de este Departamento, siguiendo todos los lineamientos y requerimientos establecidos por la E.E.A.S.A.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Atentamente,

Ing. Eléc. Luis Marcial.

Director de Planificación.

EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO RCN S.A.

Ambato, agosto 13, 2013





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

Latacunga-Ecuador

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, **MSC. AMPARO ROMERO PALACIOS**, con cédula de ciudadanía N° 050136918-5 , **CERTIFICO** que he realizado la respectiva revisión del ABSTRACT, CON EL TEMA “**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO, ÍNDICES TTIK-FMK, UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE LAS CADENAS DE MARKOV EN EL ALIMENTADOR FICOA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S.A., EEASA**”, cuya autora es la Señorita, **BASANTES BASANTES LINA ELIZABETH**, y el director de tesis, **ING. ELÉC. KLÉVER MAYORGA**

Latacunga, agosto del 2013

Docente:

MSC. AMPARO ROMERO PALACIOS

C.C N° 050136918-5

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Papito Dios, Mamita Virgen y mi mejor amigo Jesús que junto con mi familia son el motor que mueve mi vida y hoy pueden compartir conmigo un sueño hecho realidad.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por permitir formarme como profesional, a todos mis profesores por el apoyo y confianza depositada en mi persona.

Un agradecimiento sincero al Ing. Kléver Mayorga, por haber confiado en mí, por sus consejos y guía como director de tesis, al Ing. Luis Marcial por su apoyo y por sus valiosos conocimientos compartidos desinteresadamente en el desarrollo del presente proyecto de titulación.

A la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., por haberme acogido en su institución para el desarrollo de mi proyecto, al Departamento de Operación y Mantenimiento; de manera especial a todos y cada de las personas del Departamento de Planificación por el apoyo moral y a quienes los llevaré siempre en mi corazón, de la misma manera agradezco a los ingenieros, Rosita Carrasco, Antonio de Jesús Ortiz, Cristian Marín, Mario Morales y José Luis Banda por su apoyo incondicional y sincero.

A mis amigos de lucha Silvia, Jhonny y Lesly, con quienes compartí momentos de alegrías y tristezas pero siempre nos dimos la mano para continuar.

Las palabras para expresar mi sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que forman parte de este objetivo alcanzado no bastarían para decirles un Dios les pague por brindarme su amistad, confianza y ayuda desinteresada, mas siempre los llevare en mi mente, corazón y oraciones pidiendo a Dios que los guíe y bendiga siempre.

Lina Elizabeth

DEDICATORIA

La presente tesis quiero dedicar a:

A Dios por ser la guía y fortaleza en mí caminar.

A mis queridos padres María Luzmila y
Nelson Anibal por brindarme su amor, confianza
Y apoyo incondicional a lo largo de mi existencia.

A mis dos amores Adriana y Johana por inspirar en mí la fuerza para seguir.

En especial a un angelito que desde donde se encuentre
con su dulzura y alegría me enseñó que
todo sueño es posible realizarlo si obras por amor, Leito.

Y a todas aquellos seres auténticos, que nunca se dejan
vencer frente a las adversidades y luchan por conseguir un sueño.

Lina Elizabeth

Índice General

1.- PRELIMINARES	i
Portada.....	i
Página de responsabilidad o autoría.....	ii
Informe de Aval del Director de Tesis.....	iii
Informe de Aval del Asesor de Tesis	iii
Certificado Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A	v
Certificado abstract	vi
Agradecimiento	vii
Índice General	ix
Abstract	xvi
2.- INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1. Sistema eléctrico de distribución.....	1
1.1.1. Características generales de los sistemas de distribución	1
1.1.2 Aspectos legales.....	3
1.1.2.1 <i>Distribuidoras</i>	3
1.1.2.2 <i>Regulación No. CONELEC - 004/01 con respecto a la Calidad de Servicio Eléctrico</i>	3
1.1.2.2.1 <i>Aspectos de Calidad</i>	3
1.1.2.3 <i>Calidad Del Servicio Técnico</i>	3
1.1.2.4.1 <i>Aspectos Generales</i>	4
1.1.3 Análisis de los sistemas de distribución enfocado a la frecuencia y duración de fallas en sistemas primarios radiales.	10
1.2 Teoría de confiabilidad aplicada a sistemas de distribución	11
1.2.1 Introducción	11

1.2.2	Cadenas de Markov	12
1.2.2.1	<i>Matrices de probabilidades de transición</i>	13
1.2.2.2	<i>Procesos discretos de Markov</i>	13
1.2.2.3	<i>Misión orientada a los sistemas</i>	14
1.2.2.4	<i>Diagrama de estados</i>	15
1.2.3	Técnicas de frecuencia y duración.	15
1.2.4	Metodología para la evaluación de la confiabilidad	17
1.2.4.1	<i>Introducción</i>	17
1.2.4.1.1	<i>Aplicación de las cadenas de Markov en la confiabilidad de los sistemas.</i> ..	18
1.2.4.2	<i>Modelo de la red</i>	18
1.2.4.2.1	<i>Estructura topológica</i>	18
1.2.4.2.2	<i>Caracterización de los elementos</i>	19
1.2.4.2.3	<i>Clasificación de estados</i>	21
1.2.4.3	<i>Determinación de estados de los elementos</i>	22
1.2.4.3.1	<i>Determinación de estados</i>	22
1.2.4.3.2	<i>Evaluación de estados</i>	23
1.2.5	Reconfiguración de los sistemas de distribución	28
1.2.5.1	<i>Finalidad de la reconfiguración</i>	29
1.2.5.2	<i>Efecto de la reconfiguración en la confiabilidad</i>	30
CAPÍTULO II		31
2.	ANÁLISIS, DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO DEL ALIMENTADOR FICOA.	31
2.1.1	Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	32
2.1.2	Sistema de subtransmisión	32
2.1.2.1	<i>Subestación de Distribución Atocha</i>	33
2.2	Diseño de Metodología	36
2.2.1	Tipos de investigación	364
2.2.2	Metodos de la investigación	36
2.2.3	Instrumentos de la investigación	36

2.3	Alimentador Ficoa.....	36
2.3.1	Estructura topológica.....	37
2.3.2	Características técnicas de los elementos.....	38
2.3.2.1	<i>Parámetros de las líneas</i>	38
2.3.3	Modelamiento digital del sistema	42
2.3.4	Descripción de la modelación digital del alimentador primario en estudio. .	42
2.3.5	Efectividad del sistema de potencia	43
2.3.6	Cálculo de los índices actuales de confiabilidad para el alimentador en estudio.	44
2.3.6.1	<i>Determinación de los elementos del alimentador en estudio</i>	45
2.3.7	Índices actuales del alimentador Ficoa.....	48
2.4	VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS	52
CAPITULO III		54
3	METODOLOGÍA APLICADA A LA REDUCCIÓN DE ÍNDICES DE CONFIABILIDAD MEDIANTE RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE MEDIO VOLTAJE DEL ALIMENTADOR FICOA.....	54
3.1	Presentación	54
3.2	Justificación.....	55
3.3	Objetivos	56
3.4	Alcance.....	56
3.5	Desarrollo de la metodología	57
3.5.1	Reconfiguración de la topología del sistema de medio voltaje basado en la calidad del servicio.....	58
	CASO 1	59
	CASO 2	61
3.5.2	Determinación de los nuevos índices de confiabilidad con las reconfiguraciones propuestas.	62
	CASO 1	62
	CASO 2	65
3.6	Análisis Técnico.....	69
3.7	Análisis Costo – Beneficio.....	71

3.7.1	Inversiones	71
4	CONCLUSIONES	76
5	RECOMENDACIONES	77
6	BIBLIOGRAFÍA.....	79
7	ANEXOS.....	81

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 ASPECTOS DE CALIDAD	3
TABLA 1.2 REGISTRO Y CONTROL DE LAS INTERRUPCIONES	5
TABLA 1.3 VALORES LÍMITES ADMISIBLES, PARA LOS ÍNDICES CST	9
TABLA 1.4 INTERRUPCIONES APORTADAS, SEGÚN EL TIPO DE ELEMENTO	26
TABLA 1.5 TIEMPOS DE INTERRUPCIÓN	28
TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ALIMENTADOR EN ESTUDIO	37
TABLA 2.2 DISTANCIAS ENTRE CONDUCTORES DE FASE Y FASE-NEUTRO PARA LAS ESTRUCTURAS 3CPT, 3VPT Y 1CPT	39
TABLA 2.3 DATOS DE CONDUCTORES.....	40
TABLA 2.4 CAPACIDAD Y NÚMEROS DE TRANSFORMADORES DEL ALIMENTADOR FICOA....	41
TABLA 2.5 CONSUMO DIARIO EN (MW) DEL ALIMENTADOR FICOA AÑO 2013	41
TABLA 2.6 ENERGÍA CALCULADA DEL ALIMENTADOR FICOA 2013	42
TABLA 2.7 PARÁMETROS TÉCNICOS DEL ALIMENTADOR FICOA	43
TABLA 2.8 DESIGNACIÓN DE ELEMENTOS	44
TABLA 2.9 DETERMINACIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	47
TABLA 2.10 TIEMPOS DE INTERRUPCIÓN	47
TABLA 2.11 DIAGNÓSTICO DEL ALIMENTADOR FICOA	50
TABLA 2.12 PORCENTAJE DE ERROR Y MEJORA DE LOS ÍNDICES FMIK-TTIK.....	52
TABLA 3.1 TRAMO Y SECCIONADOR A CAMBIAR	60
TABLA 3.2 TRAMO Y SECCIONADOR A CAMBIAR	62
TABLA 3.3 PROPUESTA CASO 1 ALIMENTADOR FICOA	64
TABLA 3.4 PROPUESTA CASO 2 ALIMENTADOR FICOA.....	68
TABLA 3.5 ANÁLISIS TÉCNICO CASO 1	69
TABLA 3.6 ANÁLISIS TÉCNICO CASO 2.....	70
TABLA 3.7 PORCENTAJE DE MEJORA DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS.....	70
TABLA 3.8 PRESUPUESTO REFERENCIAL 1	72
TABLA 3.9 PRESUPUESTO REFERENCIAL 2.....	73
TABLA 3.10 BENEFICIO EN VALOR PRESENTE.....	74
TABLA 3.11 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	74

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 RED DE DISTRIBUCIÓN TÍPICA.....	2
FIGURA 1.2 CURVA DE LA BAÑERA.....	10
FIGURA 1.3 DIAGRAMA DE ESTADOS DE DOS COMPONENTES NO REPARABLES	14
FIGURA 1.4PRESENTACIÓN EL CICLO OPERACIÓN-FALLA-OPERACIÓN-FALLA- REPARACIÓN-OPERACIÓN DE UN COMPONENTE. DIAGRAMA DE ESPACIOS DE ESTADOS ASOCIADOS.	16
FIGURA 1.5 SISTEMA DE DOS COMPONENTES EN PARALELO	24
FIGURA 1.6 SISTEMA DE DOS COMPONENTES SERIE	25
FIGURA 1.7 REDUCCIÓN DE COMPONENTES SERIE-PARALELO.....	26
FIGURA 2.1 DIAGRAMA ALIMENTADOR FICOA.....	36
FIGURA 3.1 RECONFIGURACIÓN CASO 1	59
FIGURA 3.2 RECONFIGURACIÓN CASO 2.....	61

RESUMEN

La sociedad a través de los años ha avanzado con pasos firmes con la ayuda de la electricidad, por esta razón en el mundo es necesario crear instituciones para regular y controlar la calidad de la energía. En nuestro país el CONELEC es el organismo encargado de crear: leyes, normas y regulaciones para el sector eléctrico. El presente trabajo tiene como objetivo mejorar la confiabilidad de un sistema de distribución radial aplicando la metodología de las cadenas de Markov y la técnica de la reconfiguración de la red, contribuyendo a disminuir los tiempos totales de interrupción por kVA instalados (TTIK) y de frecuencia media de interrupción por kVA instalados (FMIK), para lo cual se ha tomado como referencia el circuito primario Ficoa perteneciente a la subestación Atocha, en la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, EEASA., según lo que establece el Reglamento 004/01 que trata sobre los índices de confiabilidad que las empresas de distribución deben cumplir. La aplicación de esta metodología para mejorar la confiabilidad contribuirá a que la EEASA cumpla con las políticas y regulaciones que rigen el sector eléctrico y brinde un mejor servicio a los usuarios; así como también, se disminuirá las pérdidas económicas tanto para los usuarios como para la empresa.

ABSTRACT

Through the years, Society has advanced with solid steps with electricity support. For this reason, it is necessary to create institutions to regulate and control the quality energy in the world. In our country, CONELEC is the agency responsible for creating: laws, rules and regulations for the electricity sector. The present research aims to improve the reliability of a radial distribution system using Markov chains methodology and network reconfiguration technique. Both help reduce total outage time per kVA installed (TTIK) and average interruption frequency per kVA installed (FMIK). For this action has been taken as reference the primary circuit to the substation belonging Ficoa Atocha in the service Ambato System Enterprise North Central Regional Electric SA EEASA. As set out in Regulation 004/01 which deals with the reliability indices that distribution companies must meet. The methodology application will improve the reliability and help the EEASA act in accordance with the governing policies and regulations of electricity sector in order to provide better service to customers. Also, this will reduce the economic losses to both: customers and company.

2.- INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo la electricidad ha jugado un papel importante en el desarrollo socioeconómico de la humanidad, por esta razón el sector eléctrico se ve en la necesidad y obligación de mejorar sus sistemas eléctricos de potencia para brindar un servicio de calidad a los clientes con sistemas confiables.

Un sistema eléctrico de potencia desde la generación hasta los consumidores, tiene varias etapas, entre ellas la etapa de distribución, la misma que está encargada de distribuir suministro continuo a los diferentes usuarios conectados a sus redes; sin embargo, en la práctica este escenario de suministro continuo no siempre es alcanzable debido a que el sistema eléctrico está expuesto a fallas de origen aleatorios, que frecuentemente se encuentran fuera del alcance del operador.

Actualmente, en nuestro país la evaluación de la confiabilidad es uno de los puntos más importantes; por tal razón el CONELEC como ente regulador ha creado normas y reglamentos con el objeto de brindar a los usuarios mayor confiabilidad, buena calidad en el servicio, continuidad y una alta eficiencia y eficacia del sistema eléctrico de potencia, mismos que tienen que ser cumplidos por las empresas distribuidoras.

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., EEASA, consecuente con los requerimientos de sus usuarios y en atención a las normas y regulaciones emitidas por el CONELEC, sobre la continuidad y calidad de servicio eléctrico, se ha visto en la necesidad de indagar y aplicar nuevas metodologías. Parte de ello el presente trabajo investigativo de emplear la metodología de las Cadenas de Markov y la reconfiguración de la topología de la red para mejorar los índices de confiabilidad del primario Ficoa.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este capítulo se presenta la definición de términos que serán empleados en el desarrollo de la investigación.

1.1. Sistema eléctrico de distribución

YEBRA, Juan (2009) menciona que “un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos encargados de conducir energía desde una subestación de potencia hasta el usuario.”Pág. 2

El sistema de distribución es la parte del sistema eléctrico encargado de suministrar energía eléctrica a los usuarios conectados a dicha red, con un nivel de voltaje acorde a las necesidades requeridas.

1.1.1. Características generales de los sistemas de distribución

TABARES, Jhon (2008) menciona que las redes de distribución presentan características muy particulares y que las diferencian de los sistemas de transmisión. Entre éstas se distinguen:

- Topologías Radiales



- Múltiples Conexiones (monofásicas, bifásicas, etc.)
- Cargas de distinta naturaleza
- Líneas de resistencia comparable a la reactancia
- Líneas sin transposiciones

Los sistemas de distribución son típicamente radiales; es decir, el flujo de potencia nace sólo de un nodo. Este nodo principal se reconoce como la subestación que alimenta el resto de la red, como se muestra en la figura 1. Esto se realiza debido a que se obtiene mayor economía en las protecciones, el diseño es mucho más sencillo, se reduce la dificultad de ubicar las fallas, se mejora el perfil de voltaje del sistema y en general se simplifica la operación de la red de distribución.

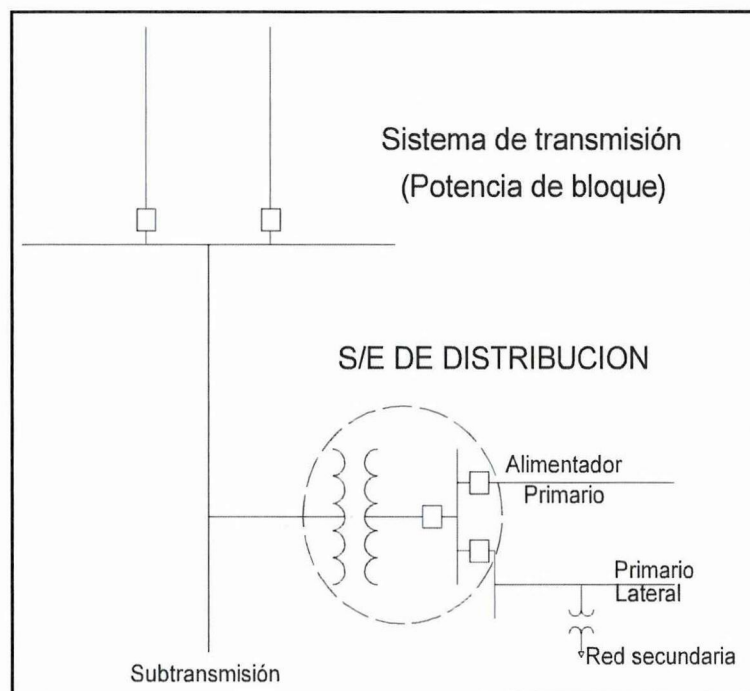


Figura 1.1 Red de Distribución Típica

Las empresas distribuidoras con mayor experiencia en las zonas urbanas ubican redes parcialmente anilladas que funcionan en forma radial con interconexión a otros alimentadores de la misma subestación o aledañas al mismo.

1.1.2 Aspectos legales

1.1.2.1 Distribuidoras

1.1.2.2 Regulación No. CONELEC - 004/01 con respecto a la Calidad de Servicio Eléctrico

Buscando cumplir con el Artículo 13 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) emitió la Regulación 004 de 2001 en la cual se establece los niveles de calidad de la prestación del servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las Empresas Distribuidoras.

1.1.2.2.1 Aspectos de Calidad

La Calidad de Servicio se medirá considerando los aspectos siguientes:

Calidad del Producto:	Calidad del Servicio Técnico:	Calidad del 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

Tabla 1.1 Aspectos de Calidad

1.1.2.3 Calidad Del Servicio Técnico

Para hacer operativos los criterios de calidad de servicio técnico de distribución definidos por el CONELEC y con el fin de hacer efectivo el derecho que tienen los usuarios a la compensación por el incumplimiento de la obligación principal que tienen las empresas, de prestar en forma continua un servicio confiable y de buena calidad, estableció los índices de confiabilidad TTIK y FMIK como normas para verificar la calidad de la prestación del servicio de energía y sanciones

económicas para forzar a las empresas a cumplir con los deberes que establece la ley en esta materia.

1.1.2.4.1 Aspectos Generales

La calidad del servicio técnico prestado se evaluará sobre la base de la frecuencia y la duración total de Interrupción.

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 (BV), centro de transformación de medio voltaje a bajo voltaje (MV/BV), circuito de medio voltaje (MV), subestación de distribución (AV/MV), red de alto voltaje (AV).
- 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

El Distribuidor debe llevar mediante un sistema informático el registro histórico de las interrupciones correspondientes, por lo menos de los tres últimos años.

El registro de las interrupciones se deberá efectuar mediante un sistema informático, el cual deberá ser desarrollado previamente a fin de asegurar su utilización durante la Subetapa 1.

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:

Registro y Clasificación de las Interrupciones			
Por su duración	Por su origen	Por su causa	Por el nivel de voltaje
Breves, las de duración igual o menor a tres minutos.	Externas al sistema de distribución.	Programadas	Bajo voltaje
Largas, las de duración mayor a tres minutos.	Internas al sistema de distribución.	No programadas	Medio voltaje
			Alto voltaje

Tabla 1.2 Registro y control de las interrupciones

Interrupciones a ser Consideradas

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.



No se considerarán las interrupciones de un consumidor en particular, causadas por falla de sus instalaciones, siempre que ellas no afecten a otros consumidores.

Tampoco se considerarán para el cálculo de los índices, pero sí se registrarán, las interrupciones debidas a suspensiones generales del servicio, racionamientos, desconexiones de carga por baja frecuencia establecidas por el CENACE; y, otras causadas por eventos de fuerza mayor o caso fortuito, que deberán ser notificadas al CONELEC, conforme lo establecido en el Art. 36 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad.

En el caso en que las suspensiones generales del servicio sean producidas por la Empresa Distribuidora, estos si serán registrados.

Control del servicio técnico en la subetapa 1

Durante la Subetapa 1, y para los consumidores cuyo suministro sea en bajo voltaje, se controlará la calidad del servicio técnico sobre la base de índices que reflejen la frecuencia y el tiempo total que queda sin servicio la red de distribución.

Durante esta Subetapa 1 no se computarán las interrupciones originadas en la red de Bajo Voltaje que queden circunscritas en la misma, es decir aquéllas que no produzcan la salida de servicio del Centro de Transformación MV/BV al que pertenezcan.

Los límites de la red sobre la cual se calcularán los índices son, por un lado el terminal del alimentador MV en la subestación AV/MV, y por el otro, los bornes BV del transformador MV/BV.

Índices

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

a) 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.

$$FMIK_{A_j} = \frac{\sum_i kVAfs_{iA_j}}{kVA_{instA_j}} \quad (1.1)$$

b) 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.

$$TTIK_{A_j} = \frac{\sum_i^{A_j} kVAfs_{iA_j} * Tfs_{iA_j}}{kVA_{instA_j}} \quad (1.2)$$

Donde:

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.

\sum_i : Sumatoria de todas las interrupciones del servicio "i" con duración mayor a tres minutos, para el tipo de causa considerada en el período en análisis.

$\sum_i^{A_j}$:	Sumatoria de todas las interrupciones de servicio en el alimentador "A _j " en el período en análisis.
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"
A_j:	Alimentador primario de medio voltaje "j"

Registro

Será responsabilidad del distribuidor efectuar el levantamiento y registro de las interrupciones y la determinación de los correspondientes índices.

Para la determinación de los índices se computarán todas las interrupciones que afecten la red de medio voltaje de distribución; es decir, a nivel de alimentadores primarios.

El distribuidor entregará informes anuales al CONELEC 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 CONELEC 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. A los efectos del control, el distribuidor entregará informes mensuales al CONELEC con:

- a) Los registros de las interrupciones ocurridas.
- b) La cantidad y potencia de los transformadores de MV/BV que cada alimentador de MV tiene instalado, para una configuración de red normal.
- c) El valor de los índices obtenidos.

Límites

Los valores límites admisibles, para los índices de calidad del servicio técnico (CST), aplicables durante la Subetapa 1 son los siguientes:

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

Tabla1.3 Valores límites admisibles, para los índices CST

Cálculo de la Energía No Suministrada

En caso de haberse excedido los valores límites admisibles de los índices de Calidad de Servicio, aplicables durante la Subetapa 1, se calculará la Energía No Suministrada (ENS), mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

a) Si: $FMIK > LimFMIK$ y $TTIK < LimTTIK$

$$ENS = (FMIK - LimFMIK) * \frac{TTIK}{FMIK} * \frac{ETF}{THPA} \quad (1.3)$$

Donde:

ENS: Energía No Suministrada por Causas Internas o Externas, en kWh.

ETF: Energía Total Facturada a los consumidores en bajo voltaje (BV) conectados a la Red de Distribución Global; o, al alimentador primario considerado, en kWh, en el periodo en análisis.

THPA: Tiempo en horas del periodo en análisis.

FMIK: Índice de Frecuencia media de interrupción por kVA.

TTIK: Índice de Tiempo total de interrupción por kVA.

LimFMIK: Límite Admisible de FMIK.

LimTTIK: Límite Admisible de TTIK

La Energía No Suministrada se calculará para toda la red de distribución y para cada alimentador primario de medio voltaje (MV).

1.1.3 Análisis de los sistemas de distribución enfocado a la frecuencia y duración de fallas en sistemas primarios radiales.

Los sistemas de distribución operan generalmente en una configuración radial o arborescente. Un alimentador incluye tramos de línea, cables, dispositivos de interrupción, protección entre otros. Según esta operación de los alimentadores se puede asumir desde el punto de confiabilidad, que todos los elementos están conectados en serie. Cada elemento que está presente en el alimentador tiene su propia tasa de fallas definida por la ecuación (1.4) siguiente.

$$\lambda = \frac{\text{Número_fallas_por_unidad_tiempo}}{\text{Número_componentes_expuestos_falla}} \quad (1.4)$$

En un alimentador de distribución la tasa de fallas λ total es equivalente a la suma de las tasas de fallas de cada elemento (conexión serie) y está directamente relacionada con los aspectos constructivos de la línea y con la agresividad del medio en que se encuentra. Por lo tanto, para mejorar la tasa de falla equivalente del alimentador es necesario utilizar componentes más confiables cuyo comportamiento se puede describir según la curva de la bañera, presentada en la figura 1.2

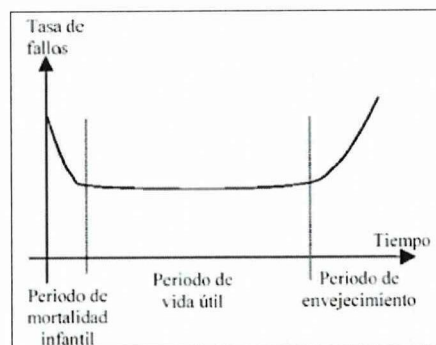


Figura1.2 Curva de la Bañera.

En el Ecuador el órgano regulador ha establecido, entre otros, índices de frecuencia y duración equivalente de las interrupciones.

Dentro de los casos de análisis de sistemas de distribución radiales se pueden presentar dos casos, el primero con una fuente de alimentación principal y un equipo de protección en la cabecera de la troncal; en el segundo caso, la presencia de equipos de protección y/o maniobra en estado normalmente abierto (NA) permiten la alimentación desde otras fuentes o alimentadores.

En el presente trabajo se realizará un análisis conjunto de los dos casos antes mencionados; en el cual, la fuente se considera como siempre disponible y cuya tasa de fallas se considera nula.

1.2 Teoría de confiabilidad aplicada a sistemas de distribución

1.2.1 Introducción

La confiabilidad en los sistemas eléctricos de distribución juega un papel imprescindible, debido a que el mundo gira en torno de la energía eléctrica y las fallas en la red pueden generar cuantiosas pérdidas económicas tanto para los consumidores conectados a la red como para la distribuidora.

La función de un sistema eléctrico de potencia es satisfacer la carga requerida por el sistema garantizando con certeza continuidad y calidad. La habilidad que tiene un equipo o sistema para operar sin fallas en un tiempo determinado de lo denomina confiabilidad.

Por algunos motivos, los componentes de un sistema eléctrico se ven sometidos a fallas o salir de servicio, lo que en algunos casos puede significar la desconexión de uno o más clientes conectados a la red.

Dentro de las metodologías para evaluar la confiabilidad se tienen los procesos estocásticos, como son la simulación de Monte Carlo y la metodología de las Cadenas de Markov, siendo esta última la que desarrollará en el presente trabajo debido a que determina de manera cuantitativa los índices de fallas del sistema.

1.2.2 Cadenas de Markov

En un sistema eléctrico de potencia en general, su principal objetivo es de abastecer a sus clientes de energía eléctrica.

ZUÑIGA, Carlos. (2006) menciona que en una red eléctrica, ya sea un sistema de distribución o de transmisión, se considera como un sistema reparable; es decir, aquel que al fallar un elemento, éste es reemplazado o reparado dependiendo de la naturaleza del elemento. Por lo tanto, el sistema es continuo en el tiempo, con estados discretos finitos, por medio de procesos de Markov.

La Metodología de las cadenas de Markov que recibe su nombre del matemático ruso Andrei Markov, es perfectamente adecuada para determinar la probabilidad de estado de disponibilidad del sistema de potencia; este método determina de manera cuantitativa los índices de fallas del sistema y por consiguiente la confiabilidad del mismo, cuando se presenten diversos tipos de contingencias, ya sean estas por fallas o por faltas de mantenimiento.

Las cadenas de Markov nacen de la teoría de la probabilidad; el cual, es un proceso estocástico en el que se verifica que el resultado de dicho proceso dependa solo del evento anterior, pero no de los anteriores a este. Esta metodología permite obtener, con una excelente precisión, la probabilidad de que el sistema resida en cualquiera de sus estados posibles; en las cadenas de Markov se considera al tiempo discreto t , es decir es de parámetro discreto.

1.2.2.1 Matrices de probabilidades de transición

En el sitio http://www.fbarreiro.com/joom2/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=60, menciona que la forma más cómoda de expresar la ley de probabilidad condicional de una cadena de Markov es mediante la llamada matriz de probabilidades de transición P, o más sencillamente, matriz de la cadena.

Dicha matriz es cuadrada con tantas filas y columnas como estados tiene el sistema, y los elementos de la matriz representan la probabilidad de que el estado próximo sea el correspondiente a la columna si el estado actual es el correspondiente a la fila.

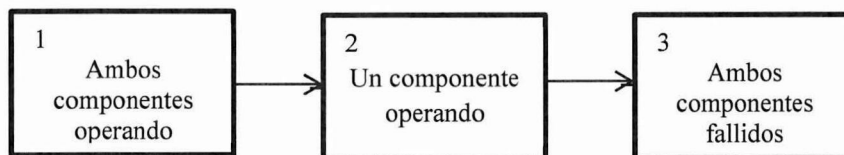
1.2.2.2 Procesos discretos de Markov

El sitio http://www.conscious-robots.com/raul/voz_old/voz_hmms.htm#pdm menciona que un proceso discreto o cadena de Markov consiste en un conjunto de estados y un conjunto de transiciones entre los mismos. A cada estado le corresponde un símbolo, y a cada transición se le asocia una probabilidad. Los símbolos se producen como la salida del modelo de Markov según la probabilidad de realizar la transición de un estado a otro (por el "transicionamiento probabilístico"). Es decir, en cada instante t el sistema se encuentra en un estado determinado, y a intervalos regulares de tiempo pasa de un estado a otro según indiquen las transiciones, quedando determinada de este modo una secuencia de símbolos (correspondientes a los estados recorridos).

Los procesos discretos de Markov permiten determinar el estado en el que se encuentra el sistema en intervalos considerables de tiempo dependiendo siempre de las transiciones.

1.2.2.3 Misión orientada a los sistemas

CASTRO, Miladis (2009) menciona que considerando los componentes del sistema que son reparables. El diagrama puede ser representado también por sistemas compuestos por elementos no reparables ambos se pueden resolver por el método de Markov. La única diferencia entre estos sistemas y los sistemas reparables es que las componentes de transición de sistemas no reparables no existen. El diagrama de estados de dos componentes idénticos es modificado por el diagrama de la figura 1.3



Figural.3 Diagrama de estados de dos componentes no reparables

En este caso, el sistema ya no es ergódico, ya que no todos los estados no pueden comunicarse y un estado está en estado de absorción. El tiempo depende de las probabilidades de los sistemas no reparables y pueden ser evaluados usando la técnica de procesos de Markov, de la misma manera para los sistemas reparables. El estado límite de las probabilidades, no tienen ninguna importancia; puesto que, en el límite, la probabilidad de que residen en el estado de absorción y está representada por la unidad y la probabilidad de que todos los no residentes en la absorción de estado es cero.

La misión de la metodología de las cadenas de Markov en los sistemas es importante al momento de ser aplicada, se pueden presentar dos eventos: estados reparables considerado ergódico y no reparable considerado no ergódico.

1.2.2.4 Diagrama de estados

Todos los estados que puede ocupar un sistema deben ser tomados en cuenta en los diagramas y todas las formas en las que las transiciones pueden realizarse deben fijarse; es imposible mostrar todas las posibles variaciones que pueden ocurrir en la práctica.

CASTRO, Miladis (2009) menciona que esta fase es muy importante, ya que se traduce el conocimiento de la operación del sistema en un modelo matemático que se puede resolver a través de la técnica de Markov. Cabe destacar que no existen modelos matemáticos que eliminan la necesidad de ejercer criterios técnicos y la exigencia de una profunda y exhaustiva comprensión de la física y lógica de funcionamiento del sistema. Las técnicas se presentan a lo largo de este capítulo, el cual son las herramientas para la evaluación de la confiabilidad del sistema, la forma de estos estados y al comunicar los valores de las tasa de transición Matriz estocástica de probabilidades de transición.

1.2.3 Técnicas de frecuencia y duración.

La evaluación de la confiabilidad de un sistema primario está enfocada en disponer de información cuantitativa, que de algún modo trate de reflejar el comportamiento de la red y la calidad del servicio que distribuye.

El sitio <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno01/reliab/mmee2.htm> menciona que la frecuencia y duración para un consumidor que se desee conectar a un nudo de la red de una empresa eléctrica, lo más probable, es que desee conocer la cantidad de veces que quedará sin suministro de energía eléctrica y cuánto pueden durar estas fallas de servicio. Esta técnica busca encontrar relaciones entre la cantidad de veces que puede quedar sin energía y cuánto tiempo pueden durar estas fallas. En la siguiente figura, se representa el proceso de operación-falla-reparación-operación de un elemento.

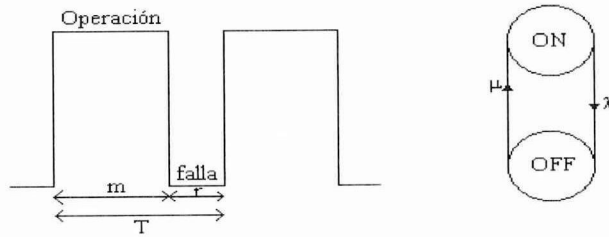


Figura 1.4 Presentación del ciclo operación-falla-operación-falla-reparación-operación de un componente. Diagrama de espacios de estados asociados.

Claramente, la frecuencia de este ciclo es $1/T$. La probabilidad de que un elemento esté en operación está dada por la relación:

$$P(op) = \frac{m}{m + r} \quad (1.5)$$

Donde:

$$m = 1/\lambda = \text{tiempo promedio de operación.}$$

$$r = 1/\mu = \text{tiempo promedio de reparación.}$$

Como $T = m + r$, se tiene

$$P(op) = m/T = 1/\lambda T = f/\lambda \quad (1.6)$$

$$f = P(op) * \lambda \quad (1.7)$$

La frecuencia de encuentro en un estado determinado está dada por la probabilidad de encontrarse en el estado, por la tasa de partida desde dicho estado. Evaluando las probabilidades límites de estado, la frecuencia de encuentro en un estado y la duración media de cada estado, se establece la duración media de residencia en cada estado de los estados acumulados.

La metodología de las cadenas de Markov es adecuada para determinar el estado y la disponibilidad del sistema y con la colaboración de las técnicas de frecuencia y duración se pueden hallar relaciones entre el tiempo que pueden durar las fallas y el número de veces que se puede quedar sin servicio.

1.2.4 Metodología para la evaluación de la confiabilidad

1.2.4.1 Introducción

Según ARRAIGADA, Aldo (1994) Los sistemas eléctricos de distribución de medio voltaje (12 - 13.8kV), normalmente son redes del tipo radiales. En ciertos casos existe la posibilidad de alimentar un tramo de alimentador desde distintos puntos a través de la operación abierto/cerrado de equipos de seccionamiento y/o protección, por lo que es de vital importancia identificar los puntos de transferencia de carga viables entre los circuitos adyacentes y el alimentador en estudio debido a que es una condición de influencia directa y sustancial en el análisis de confiabilidad.

En el desarrollo de este trabajo se utilizarán las siguientes teorías:

- Las redes consideradas corresponden a las de distribución en medio voltaje; es decir, sistemas de 13.8 kV nominales.
- El énfasis se concentrará en las redes de distribución públicas (empresas de distribución).
- Las redes son operadas radialmente.
- Algunos tramos de alimentadores pueden suministrarse, eléctricamente desde más de un punto, manteniendo siempre la condición de radialidad en la operación de la red. Si esta condición existe la reconexión de un alimentador será siempre posible, sin considerar probabilidad de sobrecarga.
- Los tipos de fallas simulados corresponden a los denominados activos
- Es decir, requieren la operación de algún dispositivo de protección.

1.2.4.1.1 Aplicación de las cadenas de Markov en la confiabilidad de los sistemas.

Uno de los métodos más atractivos aplicados para analizar la confiabilidad de un sistema es la metodología de las cadenas de Markov. Cuando se da un corte de energía eléctrica, es porque un elemento está en un estado de falla, el cual puede ser reparado o reemplazado, según la naturaleza del desperfecto, de esta manera se restablece el servicio lo que representa la continuidad en el tiempo con dos tipos de estados bien identificados (estado de operación y estado de falla) por lo tanto los elementos recuperan el 100% de su desempeño al ser reparados.

Para este tipo de sistemas es recomendable utilizar la Metodología de las Cadenas de Markov, porque permite obtener, con perfecta precisión la probabilidad de que el sistema resida en cualquiera de sus estados posibles, realizar estudios de confiabilidad.

1.2.4.2 Modelo de la red

1.2.4.2.1 Estructura topológica

Para realizar la evaluación de los parámetros de confiabilidad para el sistema y por ende para los consumidores, se modelará la red a través de una descripción topológica de tramos de alimentadores, separados por elementos de protección y/o maniobra. Esto, dado que los consumidores conectados a un mismo tramo sufrirán idénticas consecuencias ante las diversas contingencias que tendrán lugar en la red. Esto significa que hay una correlación perfecta entre tramo (de alimentador) y consumidor.

Los tramos de alimentador se definen como conductores separados por algún tipo de elemento de protección y/o maniobra. Se incluirán en este modelo: interruptores, seccionadores fusibles, seccionadores barra y seccionadores automáticos. La decisión de presentar distintos elementos de

protección se justifica dada la forma de operación diferente de cada uno de estos elementos. Por una parte, los seccionadores fusibles operarán solamente ante una falla activa, los seccionadores barra permiten realizar transferencia de carga de forma manual además de facilitar la operación y mantenimiento, mientras que los interruptores además pueden ser comandados a voluntad, e incluso ser telecomandados. La existencia de algún grado de automatismo en la red se debe reflejar en los tiempos de maniobra de los dispositivos considerados.

Cada elemento presente en el modelo de red estará caracterizado a través de sus propios parámetros tasa de falla y tiempo de reparación. En caso de suponer elementos perfectos, 100% confiables, bastará asignarle a dicho elemento una tasa de falla igual a cero.

1.2.4.2.2 Caracterización de los elementos

ORELLANA, Boris (2010), menciona que los tramos de alimentadores y los elementos de protección considerados, se caracterizan por los siguientes indicadores:

- 1. Tasa de falla (λ):** 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. En ciertos casos, puede ser deseable considerar elementos de protección 100% confiables, entonces, basta asignar a tal elemento una tasa de falla igual a cero.

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 una estimación, considerando el sistema completo:

$$\lambda = b \cdot l \quad 1/\text{año} \quad (1.8)$$

$$b = \frac{m}{L \cdot T} 1/\text{Km año} \quad (1.9)$$

Donde:

m: cantidad de fallas.

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

T: periodo de estudio en años.

b: número de fallas, por kilómetro por año.

l: longitud de la línea en interés.

Para los elementos individuales, tales como transformadores, seccionadores, interruptores, etc., se plantea la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{m}{N \cdot T} 1/\text{año} \quad (1.10)$$

donde:

m: cantidad de fallas observadas para cada tipo de elemento.

N: cantidad de elementos expuestos a la falla.

T: periodo de estudio en años.

- 2. Tiempo de interrupción:** 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.).

Se denomina tiempo total de interrupción del servicio eléctrico, al periodo transcurrido desde la desconexión del circuito, hasta la re-energización del mismo. El tiempo que tarda el restablecimiento del servicio eléctrico depende del tipo de falla y de los equipos presentes en el sistema. En general, se tendrá, para una red de distribución cualquiera, la siguiente clasificación de 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. La automatización juega aquí un importante papel, puesto que si existe señalización del estado de las protecciones (por ejemplo en un panel de control), la magnitud de este tiempo es muy pequeña, de manera que teóricamente puede considerarse cero.

- **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.

Sobre la cuantificación de cada uno de los tiempos mencionados, existe mayor dominio por parte de las empresas de distribución, puesto que ello constituye una práctica normal.

1.2.4.2.3 Clasificación de estados

ORELLANA, Boris (2010), 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:

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

1.2.4.3 Determinación de estados de los elementos

1.2.4.3.1 Determinación de estados

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.

El método de evaluación propuesto se basa en una combinación de metodologías, aprovechando la condición de radialidad de la red eléctrica. El objetivo final es determinar los estados de cada uno de los elementos que componen el modelo de red, cuando cada uno de ellos presenta una falla.

Para un mejor ordenamiento, se propone construir una matriz, donde las columnas presentan la condición del elemento, ante falla del elemento indicado por la fila. El algoritmo puede sintetizarse de la siguiente manera:

- 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.** Se considera un elemento a la vez, y se procede a 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 seccionador 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.

1.2.4.3.2 Evaluación de estados

Un sistema radial para ser evaluado es necesario determinar las expresiones equivalentes de la tasa de falla, el tiempo de reparación e indisponibilidad de los diferentes elementos sometidos a fallar dentro del sistema, considerando las conexiones de los mismos, paralelo, serie o combinados.

A continuación se presentan las expresiones equivalentes, especificando el tipo de conexión.

a. Sistemas conectados en paralelo.

ZUÑIGA, Juan (2006), menciona que “Un sistema en paralelo difiere de un sistema radial en que este tiene dos o más trayectorias para el flujo de potencia, desde la subestación a los consumidores.” Pag.33.

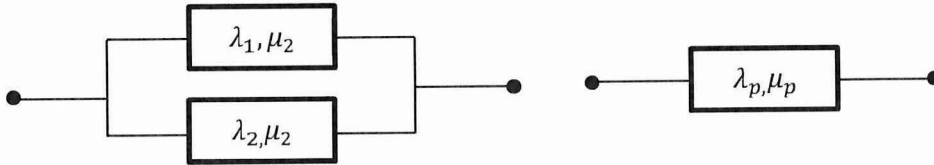


Figura1.5 Sistema de dos componentes en paralelo

La probabilidad de que el sistema esté en el estado de falla está dada por la ecuación.

$$P_{fa} = \frac{\lambda_p}{\lambda_p + \mu_p} \quad (1.11)$$

Un sistema formado por dos elementos en paralelo tiene los siguientes índices de confiabilidad.

donde:

Tasa de falla del sistema:

$$\lambda_p = \lambda_1 * \lambda_2 (r_1 + r_2) \quad (1.12)$$

Duración de la falla promedio del sistema:

$$r_p = \frac{r_1 * r_2}{r_1 + r_2} \quad (1.13)$$

Tiempo de interrupción del sistema:

$$\lambda_p = \lambda_p * r_p \quad (1.14)$$

b. Sistemas conectados en serie.

ZUÑIGA, Juan (2006), menciona que “Un sistema en serie o radial se caracteriza por tener una sola trayectoria para el flujo de potencia entre la subestación de distribución y los consumidores.” Pág. 32.

El diagrama de bloque de la figura 1.6 dispone de dos componentes; se considera que los componentes son independientes y reparables:



Figura 1.6 Sistema de dos componentes serie

La probabilidad de que un solo componente este en el estado de operación está dado por la ecuación.

$$P_{(op)} = \frac{\mu_s}{\lambda_s + \mu_s} \quad (1.15)$$

Donde la tasa de falla del sistema:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (1.16)$$

Duración de la falla promedio del sistema:

$$r_s = \frac{1}{\mu_s} = \frac{\lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2}{\lambda_s} \quad (1.17)$$

Tiempo de interrupción del sistema:

$$\mu_s = \lambda_s * r_r \quad (1.18)$$

Los sistemas conectados en serie tienen una sola trayectoria por ende si falla un elemento se queda sin servicio todo el sistema, mientras que en los sistemas en paralelo disponen de más de una trayectoria lo que significa que en caso de falla el flujo de potencia pasara por las trayectorias restantes.

c. Componentes serie-paralelo

Para el caso de componentes Serie-Paralelo, estos sistemas pueden ser analizados por reducciones sucesivas de los subsistemas hasta un componente equivalente paralelo o serie usando, las ecuaciones halladas anteriormente para componentes serie como paralelo. Como se puede apreciar en la figura 1.7.

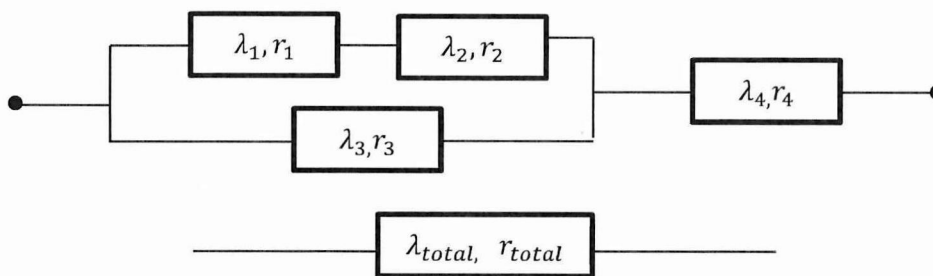


Figura 1.7 Reducción de componentes serie-paralelo

Como puede apreciarse de la metodología descrita, 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.

La cantidad de interrupciones que se debe contabilizar depende del estado definido para cada elemento, según se muestra en la Tabla 1.4:

Tipo Elemento	Interrupciones
Normal	0
Restablecible	λ
Transferible	2λ
Irrestablecible	λ
Irrestablecible c/esp.	λ

Tabla 1.4 Interrupciones aportadas, según el tipo de elemento

Obsérvese que cuando un elemento es transferible, aparece una tasa de falla doble. Esto se debe a que luego de efectuadas las reparaciones del elemento afectado por una falla, se debe volver a la configuración original del sistema, por lo tanto se

interrumpe el servicio con una duración, tiempo de maniobra para restablecer la configuración normal de operación (T_v).

Para el caso de elementos que representan tramos de alimentador, la tasa de falla debe calcularse como:

$$\lambda_t = \lambda_i \cdot l_i \quad (1.19)$$

donde:

λ_i : tasa de falla unitaria del tramo i , (fallas/km año)

l_i : Longitud del tramo alimentador i , (km)

λ_t : tasa de fallo tramo (fallas/año)

Entonces, la tasa de falla total para un elemento cualquiera, se obtiene sumando los aportes indicados de cada elemento del sistema, según el tipo indicado en la columna de la matriz de estados y la Tabla 1.4, es decir:

$$\lambda_{Ei} = \sum_{j=1}^n \lambda_i^j \quad (1.20)$$

donde:

λ_{Ei} : tasa de falla total del elemento i , fallas/año

λ_i^j : cantidad de interrupciones en el elemento i , debido a falla en elemento j .

n : cantidad de elementos considerados en el modelo de la red.

Por su parte, el tiempo total de interrupción también depende de la definición de tipo, como se indica en la Tabla 1.4

El tiempo total de interrupción de un elemento, corresponde a la indisponibilidad de él en el periodo considerado. Para obtener el tiempo total de indisponibilidad anual, se debe sumar las indisponibilidades producto de la cantidad de fallas

aportada por cada elemento, según se indica en la columna de la matriz de estados y la Tabla 1.5:

Tipo elemento	Tiempo interrupción (r)
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	$T_c+T_p+T_l+T_t+T_r$

Tabla 1.5 Tiempos de interrupción

$$T_i^j = \lambda_i^j \cdot r_j \quad (1.21)$$

$$T_{Ei} = \sum_{j=1}^n T_i^j \quad (1.22)$$

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,

T_i^j : indisponibilidad anual del elemento i, debido a falla en el elemento j, horas/año,

T_{Ei} : indisponibilidad anual total del elemento i, horas/año,

n: cantidad de elementos del modelo.

1.2.5 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.

El tema de la reconfiguración de circuitos fue propuesto por primera vez por Merlin y Back en 1975, cuando se propusieron como función objetivo la minimización de pérdidas de potencia sin incluir restricciones operativas.

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

La reconfiguración de los sistemas de distribución es la alteración de la topología de la red con el fin de disminuir las pérdidas en el sistema con la nueva topología encontrada permitiendo mejorar la calidad de servicio en el aspecto de confiabilidad seguridad y continuidad; para llevar a cabo la reconfiguración se tienen métodos entre ellos los estocásticos y heurísticos, en esta ocasión se empleará la Metodología de las cadenas de Markov perteneciente a los métodos estocásticos.

1.2.5.1 Finalidad de la reconfiguración

Desde el momento en que se planteó la reconfiguración de circuitos, fueron muchas las aplicaciones entre ellas se tienen: las que buscan reducir las pérdidas en el sistema de distribución y minimizar los costos operativos. Otros campos en los que se ha utilizado la reconfiguración, han sido para mejorar la cargabilidad de las líneas y mejorar la confiabilidad, como se mostrara en la presente investigación.

La reconfiguración de la red puede servir para mejorar la confiabilidad del sistema debido a que con la nueva y adecuada red encontrada se desea cumplir con las condiciones propuestas, se disminuye la probabilidad de fallas.

1.2.5.2 Efecto de la reconfiguración en la confiabilidad

GONZALEZ, 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 varia su topología.

Se puede concluir que de acuerdo a las topologías que se pueden encontrar en una red, los índices de confiabilidad asociados a ésta pueden aumentar o disminuir y teniendo una topología como la que presentan los sistemas de distribución en la que el número de posibles configuraciones es tan alto, el problema de hallar una red con los mejores índices de confiabilidad se torna altamente dificultoso.

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS, DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO DEL ALIMENTADOR FICOA.

2.1 Introducción

Un sistema de distribución debe mantenerse en óptimas condiciones operativas para contribuir con un servicio de calidad a los usuarios conectados a su red por lo que es necesario que las empresas distribuidoras evalúen las condiciones operativas en sus redes de distribución.

El objetivo de este capítulo es evaluar la situación actual del alimentador primario Ficoa, el mismo que parte de la subestación Atocha ubicada en la ciudad de Ambato. Para lograr este objetivo se realizará la modelación de las redes de medio voltaje en el programa Cymdist, para lo cual es necesario conocer todas las características de los elementos como: la carga instalada, longitud del alimentador, características eléctricas y geométricas del conductor, registro de interrupciones, entre otros.

Finalmente, una vez realizada la modelación digital del alimentador en estudio se describirá la condición operativa del mismo, si no cumplen con las condiciones operativas se propondrá nuevas alternativas para su correcto funcionamiento.

2.1.1 Reseña histórica de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

La Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., EEASA, es una entidad pública de distribución de energía eléctrica, constituida el 29 de abril de 1959; cuenta con la más extensa área de concesión en el Ecuador de 40.805km², sirve al momento a más de 230.000 clientes ubicados en las provincias de Tungurahua, Pastaza, Napo y cantones de Morona Santiago.

A partir del 23 de abril 2010 la EEASA alcanzó la certificación internacional ISO 9001:2008 que la cataloga como distribuidora Clase "A". Sus métodos, sistemas y procedimientos de trabajo innovador y creativo, han afianzado su imagen corporativa y conquistado el favor de su clientela.

La misión de esta entidad es mejorar la calidad de servicio que presta a los clientes conectados a sus redes, esta distribuidora dispone de 50 alimentadores primarios, de los cuales 22 son urbanos y 28 rurales, en los cuales se realizan análisis y estudios para mejorar la confiabilidad del sistema y evitar pérdidas económicas tanto para los usuarios como la empresa distribuidora.

2.1.2 Sistema de subtransmisión

1.1 En la actualidad el esquema del sistema de subtransmisión de EEASA dispone de 4 puntos de enlace con el Sistema Nacional Interconectado, SNI:

- a) S/E Totoras SNT, Transelectric, 230/138/69 kV,
Accede a 100MVA en tres posiciones de 69 kV;
- b) S/E Ambato SNT, Transelectric, 138/69 KV,
Accede a 36 MVA en dos posiciones de 69 kV;
- c) S/E TenaSNT, Transelectric, 138/69 KV,
Accede a 33 MVA, una posición de 69 kV;

- d) S/E Puyo SNT, Transeledric, 138/69 KV,
Accede a 33 MVA una posición de 69 kV;

Adicionalmente, aportan con generación cuando son despachadas por el Centro Nacional de Control de Energía, CENACE, la generación no escindida de EEASA.

Central Lligua, EEEASA, 5MW; y, Central Península, EEASA, 3 MW.

Para el caso de la EEASA, el sistema de subtransmisión dispone de varios niveles de voltaje que están entre 6.9kV hasta 69kV, su estructura se puede apreciar en el diagrama unifilar del sistema de la EEASA (Anexo digital 2.1)

2.1.2.1 Subestación de Distribución Atocha

Se encuentra localizada al nor-oeste de la ciudad de Ambato, en el sector de Laquigo. Recibe la energía por medio de la línea que proviene de la subestación de distribución Samanga, la cual a su vez recibe suministro de la subestación Ambato, en condiciones normales. Cuando existe alguna anomalía en el sistema de subtransmisión se puede conectar con la subestación de distribución Huachi que recibe energía de la subestación Totoras.

Esta subestación de distribución posee dos transformadores de potencia con una capacidad de 10/12.5 MVA cada uno, que reduce el voltaje de 69kV hasta 13.8kV (Anexo digital 2.2). Los transformadores de potencia tienen una protección en alta y medio voltaje con relés de sobrecorriente y para protección propia del transformador con relés diferenciales.

El esquema de esta subestación de distribución se encuentra definido: en el lado de 69 kV para cada transformador existe un disyuntor dimensionado por la capacidad del transformador, luego se ubica el transformador de potencia y para protección en el lado de 13.8kV se tiene otro disyuntor. Los disyuntores, del lado

primario y secundario, reciben la señal de operación del relé diferencial o de los relés de sobrecorriente.

De la subestación se derivan seis alimentadores primarios con un nivel de voltaje de 13.8kV 4 urbanos y dos rurales. En la salida de cada primario tiene un disyuntor que recibe la señal del relé, el disyuntor opera cuando existe alguna falla o si existen suspensiones programadas para todo el alimentador.

2.2 DISEÑO METODOLÓGICO

2.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

En el desarrollo de este proyecto se desarrollará una investigación tipo:

- Investigación Bibliográfica:

Es una amplia búsqueda de información sobre una cuestión determinada, que debe realizarse de un modo sistemático, pero no analiza los problemas que esto implica.

El tipo de Investigación Bibliográfica ayudará a tener un conocimiento más amplio de los diferentes términos, herramientas, programas relacionados, permitiendo de esta manera conocer términos esenciales para poder realizar el proyecto.

Investigación de Campo:

Consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna.

Este tipo de investigación de Campo ayudará para conocer a ciencia cierta las necesidades que tiene la empresa distribuidora puesto que podrá recolectar la información acorde a la realidad.

- **Investigación Descriptiva:**

Permite describir un fenómeno o una situación, mediante el estudio profundo de la realidad, en un tiempo y espacio determinado; describe causas y efectos del problema seleccionado.

Este tipo de investigación descriptiva permitirá conocer los parámetros necesarios para la reconfiguración del circuito primario, puesto que dicho análisis contribuirá a obtener resultados correctos.

2.2.2 Métodos de la Investigación.

- **Método Hipotético-Deductivo:**

El método consiste en un procedimiento que parte de unas afirmaciones en calidad de hipótesis y busca contradecir o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

Este método ayuda a tener una visualización más clara del problema que tiene la empresa distribuidora, esto permitirá dar una afirmación anticipada de lo que se quiere realizar y de los beneficios que dará mi proyecto, la cual debe ser verificada.

- **Método Analítico-Sintético:**

El método estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual (análisis), y luego se integran dichas partes para estudiarlas de manera holística e integral (síntesis).

Este método permitirá desfragmentar en partes mi objeto de investigación para analizar de una manera individual, luego conforme avanza el proyecto unirlos y de esta manera obtener un diseño que cumpla con los objetivos propuestos.

2.2.3 Instrumentos de la investigación

Los instrumentos utilizados en el desarrollo del presente trabajo son: planos eléctricos, cámara.

2.3 Alimentador Ficoa

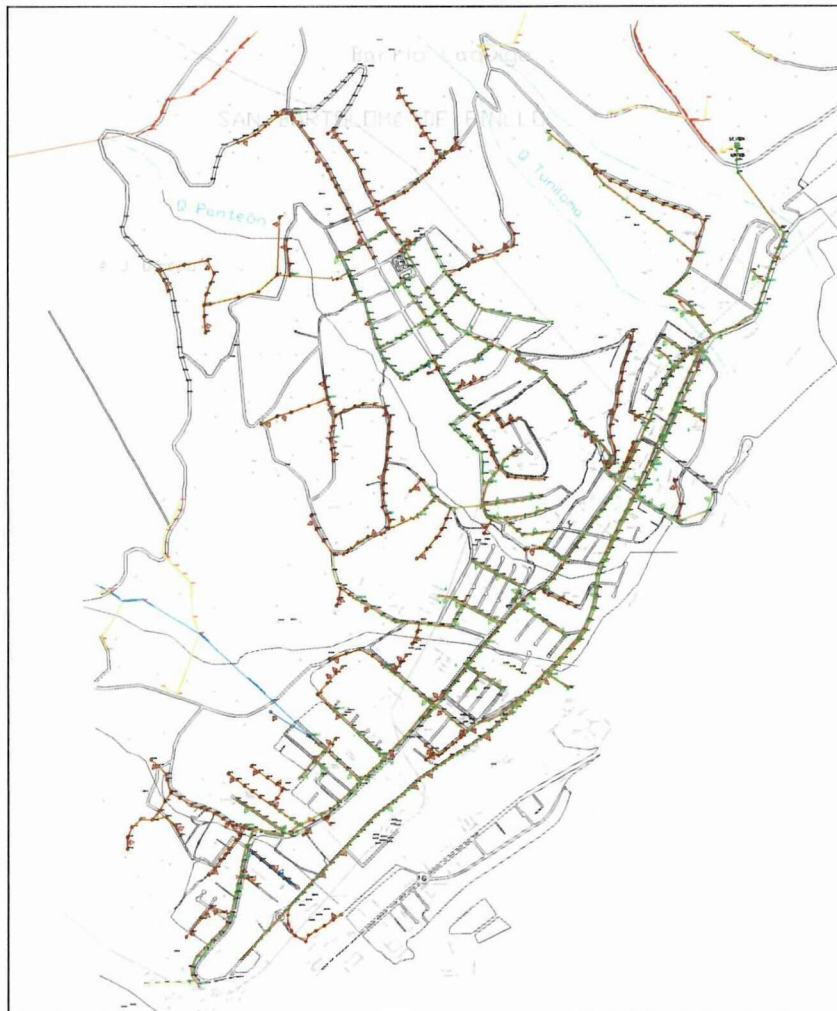


Figura 2.1 Diagrama Alimentador Ficoa

A continuación se presenta una Tabla 2.1 de las características técnicas del alimentador urbano en estudio:

Nombre del Alimentador	Alimentador Ficoa	
Nombre de Subestación	S/E Atocha	
Nivel de Voltaje (kV)	69/13,8 KV	
Longitud (Km) Media Voltaje	1F	11,83
	2F	0,18
	3F	19,96
	Total	31,97
Longitud (Km) Baja Voltaje	1F	2,61
	2F	35,18
	3F	20,15
	Total	57,94
Número de transformadores	1F	119
	3F	84
	Total	203
Potencia (MVA)	1F	2,8425
	3F	5,905
	Total	8,1475
Luminarias	Cantidad HG	147
	Sum Potencia HG	19,05
	Cantidad NA	1433
	Sum Potencia NA	241,5
	Potencia Total:	260,55
Total Abonados	6063	

Tabla2.1 Características técnicas del alimentador en estudio

Fuente: SID 2013 Dpto. Planificación EEASA

Recopilado por: La Autora.

En los anexos correspondientes al alimentador en estudio se señalan los aspectos a tomarse en cuenta en su análisis como son: recorrido del alimentador, longitud de los tramos, tipo de circuito, calibre de conductores, ubicación de los equipos de protección y seccionamiento en la condición normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC).

2.3.2 Estructura topológica

Para efectuar la evaluación de los parámetros de confiabilidad para el sistema se modelará la red a través de una descripción topológica de tramos de alimentadores, separados por elementos de protección y/o maniobra. Esto, debido

a que los consumidores conectados a un mismo tramo sufrirán idénticas consecuencias ante las diversas contingencias que tendrán lugar en la red. Esto significa que hay una correlación perfecta entre tramo (de alimentador) y consumidor.

Los tramos de alimentador se definen como conductores separados por algún tipo de elemento de protección y/o maniobra. Se incluirán en este modelo: interruptores, fusibles y seccionadores barra. La decisión de presentar distintos elementos de protección se justifica dada la forma de operación diferente de cada uno de estos elementos. Por una parte, los fusibles operarán solamente ante una falla activa, mientras que los interruptores además pueden ser comandados a voluntad, e incluso ser telecomandados.

Según ARRIAGADA, Aldo, (1994), “Cada elemento presente en el modelo de red estará caracterizado a través de sus propios parámetros tasa de falla y tiempo de reparación. En caso de suponer elementos perfectos, 100% confiables, bastará asignarle a dicho elemento una tasa de falla igual a cero.”, pág. 45

Al momento de seleccionar la topología de una red para un estudio se debe considerar varios aspectos que faciliten el estudio, como la información técnica necesaria que permitirá un estudio eficaz y un desarrollo correcto, de manera que no exista confusión entre los circuitos involucrados. En el presente trabajo se ha seleccionado un alimentador aéreo de la zona urbana de Ambato, debido a: puntos de carga concentrados, variedad de carga, la facilidad de inspección del circuito, recolección de información y el no cumplir con la Regulación 004/01.

2.3.3 Características técnicas de los elementos

2.3.3.1 Parámetros de las líneas

Para el estudio de una red de distribución aérea, es conveniente analizar la disposición de los conductores en las estructuras, según la Guía de Diseño de la

EEASA homologada con las emitidas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, tales como: 3CPT, 3VPT para la parte trifásica y para la parte monofásica las estructuras de tipo 1CPT.

Para el alimentador primario en estudio a 13.8kV, la red es aterrada; lo que significa que a más de la puesta a tierra en el transformador de potencia de la subestación, a lo largo del recorrido del primario, el neutro del alimentador es puesto en diferentes sitios.

Las estructuras 3CRT y 1CRT tienen igual montaje y disposición de los conductores que el de las estructuras 3CPT y 1CPT respectivamente su diferencia radica en el tipo de aislador, en función de montaje de línea.

Las distancias entre conductores de fase, fase-neutro se presentan en la tabla 2.2 según el tipo de estructuras.

ESTRUCTURA TRIFÁSICA CENTRADA PASANTE (3CPT)				
VANO MÁXIMO = 80m			80m < VANO ≤ 150m	
CONDUCTORES		ÁNGULOS	CONDUCTORES	ÁNGULOS
ALUMINIO	ACSR		ACSR	
2	2	0° - 20°	2	0° - 20°
1/0 - 3/0	1/0 - 3/0	0° - 10°	1/0 - 3/0	0° - 10°
4/0 - 350	4/0 - 336,4	0° - 5°	4/0 - 336,4	0° - 5°

Tabla 2.2 Distancias entre conductores de fase y fase-neutro para las estructuras 3CPT, 3VPT y 1CPT
Fuente: MEER y EEASA, Codificación de Unidades de propiedad UP y Guías de Diseño, Redes Aéreas, EEASA 2007
Recopilado por: La autora.

A más de la disposición de los conductores en las estructuras los parámetros de las líneas son:

- Número de conductores por circuito.
- Presencia del neutro del conductor.
- Material y calibre de los conductores.

De acuerdo al material y calibre de los conductores se tienen sus valores de resistencia y reactancia la Tabla 2.3

DATOS DE CONDUCTORES			
Calibre	R (Ω /km)	X (Ω /km) (1m esp.)	Capacidad de Corriente (A)
ACSR-1/0	0.54	0.50	175
ACSR-2	0.85	0.50	130
ACSR-2/0	0.42	0.49	200
ACSR-266	0.21	0.39	320
ACSR-3/0	0.34	0.48	235

Tabla 2.3 Datos de conductores

- **Transformadores de distribución**

El alimentador tiene transformadores tipo convencional y autoprotegido monofásicos, (1ϕ) de diferentes capacidades de 5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75 kVA; y, transformadores trifásicos, (3ϕ) con capacidades de 30, 45, 75, 112.5, 125, 250, 600 kVA. Los transformadores autoprotegidos son los que tienen incorporados, desde su etapa de diseño y fabricación, los elementos de protección contra sobre voltajes, sobrecargas y elementos para aislarlo de la red en caso de falla.

Los transformadores en su totalidad son de dos marcas diferentes ECUATRAN e INATRA. Estos transformadores son autoenfriados, sumergidos en aceite aptos para trabajar con una variación de temperatura de 65° C. sobre la del ambiente de 30° C y cumplen las normas de transformadores ANSI C-57-12

ALIMENTADOR FICOA							
Capacidad (kVA) Fase	TRANSFORMADORES MONOFASICOS (1Φ)						
	5	10	15	25	37.5	50	75
A	5	9	9	13	9	3	
B	4	6	4	7	6	3	
C	4	10	14	6	12	1	1

Capacidad (kVA)	TRANSFORMADORES TRIFASICOS (3 Φ)							
	30	45	50	75	112,5	125	250	600
Fase								
ABC	20	15	18	6	4	1	1	3

Tabla2.4 Capacidad y Números de Transformadores del Alimentador Ficoa

- **Máxima carga**

A continuación presentamos la tabla 2.5, datos que corresponden a los consumos en (MW) del alimentador del día Miércoles 16 de Enero del 2013.

ALIMENTADOR FICOA (MW)							
HORA-DIA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
0:00	1,55	1,74	1,69	1,73	1,74	1,81	1,64
2:00	1,34	1,51	1,45	1,50	1,49	1,44	1,40
3:00	1,33	1,49	1,45	1,50	1,49	1,38	1,34
4:00	1,33	1,46	1,42	1,47	1,46	1,34	1,31
5:00	1,40	1,51	1,48	1,52	1,52	1,35	1,29
6:00	1,98	1,90	1,85	1,97	1,91	1,39	1,36
7:00	2,01	1,97	1,98	1,96	1,94	1,42	1,26
8:00	2,21	2,22	2,16	2,21	2,18	1,64	1,51
9:00	2,32	2,26	2,25	2,29	2,34	1,80	1,63
10:00	2,38	2,33	2,30	2,31	2,35	1,82	1,69
11:00	2,40	2,38	2,31	2,44	2,38	1,87	1,70
12:00	2,47	2,41	2,37	2,41	2,43	1,89	1,70
13:00	2,38	2,33	2,34	2,42	2,39	1,89	1,69
14:00	2,36	2,35	2,37	2,44	2,43	1,79	1,68
15:00	2,39	2,35	2,41	2,37	0,00	1,74	1,65
16:00	2,36	2,32	2,43	2,36	0,00	1,69	1,65
17:00	2,34	2,29	2,38	2,34	2,40	1,82	1,63
18:00	2,36	2,31	2,43	2,43	2,40	2,06	1,85
19:00	3,05	3,05	3,12	3,07	3,00	2,69	2,70
20:00	3,18	3,12	3,15	3,15	3,08	2,78	2,76
21:00	3,02	3,03	3,00	2,90	2,87	2,64	2,67
22:00	2,62	2,58	2,67	2,57	2,55	2,32	2,29
23:00	2,07	2,03	2,07	2,07	2,13	1,96	1,80

Tabla 2.5 Consumo Diario en (MW) del Alimentador Ficoa Año 2013

En la tabla 2.6, se calculan los diferentes valores de demanda máxima, demanda mínima, factor de carga y la energía consumida al final del día por cada alimentadora para el año 2013.

Alimentador Ficoa	
Demanda Máx. (MW)	3,18
Demanda Min. (MW)	1,42
Demanda Prom. (MW)	2,19
Fac. Car.	0,69
Energía. (MWh).día	5,26

Tabla 2.6 Energía Calculada del Alimentador Ficoa 2013

2.3.4 Modelamiento digital del sistema

La modelación digital del alimentador en estudio ha sido realizada con el programa de análisis técnico de redes de distribución CYMDIST, que tiene una serie de aplicaciones diseñada para realizar estudios de planificación y simular el comportamiento de redes de distribución en distintas condiciones de funcionamiento y diversos escenarios.

CYMDIST, cuenta con funciones de análisis de flujo de carga, cortocircuito y optimización de configuración eléctrica, pueden analizar sistemas de redes de distribución equilibrados o desequilibrados, entre otros.

El espacio de trabajo del programa es totalmente personalizable. La representación gráfica de los componentes de la red, los resultados y los reportes puede crearse y modificarse con el fin de satisfacer el nivel de detalle requerido.

2.3.5 Descripción de la modelación digital del alimentador primario en estudio.

A continuación se presenta el procedimiento empleado para la elaboración del análisis de confiabilidad del alimentador en estudio mediante la base de datos Oracle, SID y el programa CYMDIST:

- a. Ingresar en el CYMDIST varios parámetros algunos comunes y otros propios del primario en estudio, los cuales reflejen valores reales del primario.
- b. Para realizar el análisis en operación normal del alimentador se utiliza el programa CYMDIST; en este análisis los elementos que se necesitan son:
 - Topología del alimentador: distancias por nodos y calibre del conductor de las fases y neutro.
 - Voltaje nominal del alimentador
 - Potencia instalada por fase y nodo.
 - Ubicación y estado de los elementos de protección y seccionamiento.
- c. Se realizó la inspección de sitio para comparar los datos facilitados por el Departamento de Planificación con las redes construidas pertenecientes al alimentador Ficoa.

Parámetros técnicos del alimentador Ficoa												
Red	i (A)			kVA			kW			Porcentaje de desbalance entre fases (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Alimentador Ficoa	153,5	116,6	133,1	1222,6	928,7	1060,4	1197,7	910	1039,1	14,2	-13,25	-0,95

Tabla 2.7 Parámetros técnicos del alimentador Ficoa

Fuente: Dpto. Planificación EEASA

Recopilado por: La Autora.

2.3.6 Efectividad del sistema de potencia

Para la evaluación de la efectividad del alimentador en estudio, se toma en cuenta la frecuencia y duración de fallas, por medio de los reportes obtenidos de la EEASA, en función de esto decido hacer el estudio de confiabilidad y disponibilidad, para mediante estos resultados obtener la efectividad de todo el sistema primario.

2.3.7 Cálculo de los índices actuales de confiabilidad para el alimentador en estudio.

Primeramente se analizará la confiabilidad de cada tramo del alimentador en estudio y por ende de los usuarios; debido a que los mismos se encuentran conectados a un tramo específico de la red, estos sufrirán los mismos efectos frente a una contingencia que pueda ocurrir; seguidamente se procederá a calcular los índices de confiabilidad globales del alimentador primario.

Para la modelación del alimentador se procederá a modelar los tramos según su topología los mismos que estarán limitados por un elemento de protección y/o maniobra, como se puede observar en el anexo 2.3 En el cual se identifica los elementos de protección y los tramos de red en estudio.

La nomenclatura de los elementos de protección y/o maniobra a utilizar se especifican en la siguiente tabla:

CÓDIGO	ELEMENTO
D	Disyuntor
SA	Seccionador automático
SB	Seccionador barra
SF	Seccionador fusible
TSB	Tramo- seccionador barra
TRA	Tramo – secc. Rompe arco

Tabla 2.8 Designación de elementos

Cada tramo será identificado con el elemento de protección y/o maniobra más cercano aguas arriba del mismo, por ejemplo si el elemento de protección más cercano es el fusible SB-1 el tramo lo denominaremos TB1, si el elemento de protección el SF-2, el tramo será T2 y así según corresponda a cada tramo.

Los diferentes elementos del diagrama estarán caracterizados por sus propios parámetros, tiempo de interrupción y tasa de falla. Este aspecto se realizará más adelante.

Siguiendo los pasos de la metodología para el análisis de la confiabilidad del sistema, una vez realizada la modelación de la red primaria con sus respectivos tramos y elementos de protección y/o maniobra.

Una vez modelado el primario en estudio y acorde a la metodología para el análisis de la confiabilidad, se procederá a elaborar la matriz de orden $(n \times n)$ siendo n el número de elementos del sistema en donde la fila representa la falla del elemento y la columna la condición del elemento frente a la falla.

2.3.7.1 Determinación de los elementos del alimentador en estudio

La determinación de los elementos comprende en encontrar la tasa de falla y el tiempo de interrupción de los tramos presentes en el primario en estudio.

Para elaborar la caracterización de los elementos se necesita el número las interrupciones que ocasionan las fallas de cada tramo y elemento, información detallada que no dispone la EEASA; para lo cual, se procede a utilizar como vía alternativa los registro de interrupciones por falla por un año en este caso 2012 de todos los alimentadores; cabe recalcar que se deberá clasificar las fallas de acuerdo al tipo de alimentador es urbanos y rurales.

Se calcula la tasa promedio de falla de los tramos, los cuales serán aplicados para todos los tramos del alimentador tomando en cuenta que el alimentador en estudio es urbano.

En el estado actual es imposible que todos los fusibles se encuentren coordinados con el interruptor de recierre que se encuentra localizado en la cabecera del alimentador, por tal razón, se ha considerado que los elementos de protección y/o maniobra que se encuentran coordinados con el interruptor son los fusibles que tienen mayor capacidad de carga.

Los seccionadores han sido considerados 'para establecer la condición de cada tramo, se ha determinado que si el elemento de seccionamiento fallido corta el flujo de corriente hacia el tramo de análisis se considerara tramo irrestable.

El cálculo de la tasa de fallas promedio para tramos de alimentador se realiza utilizando la ecuación (1.9)

$$b = \frac{m}{L \cdot T} \text{ 1/Km año}$$

donde:

m: cantidad de fallas ocurridas en todos los alimentadores urbanos o rurales, según el caso.

L: longitud total de las líneas urbanas o rurales expuestas a la falla, en km.

T: periodo de estudio en años.

b: número de fallas, por kilómetro por año.

l: longitud de la línea en interés.

Entonces, para los tramos urbanos tenemos:

$$b = \frac{222}{332,49 \text{ km} \cdot 1 \text{ año}} = 0,66769 \text{ fallas / km.año}$$

Aunque mediante este método no es posible encontrar las tasas de fallas específicas de los tramos del alimentador en estudio, este proceso es adecuado, ya que al estar los alimentadores ubicados en una misma área de concesión, las condiciones de falla distinguiendo primarios urbanos y rurales van a ser aproximadamente similares, por lo que los índices que se encuentran pueden aplicarse sin problema a un alimentador en particular.

Los tiempos medios de interrupciones ocasionados por fallas en los tramos, se han establecido tomando en cuenta el tipo y la longitud del alimentador, así como

también la información proporcionada por el personal de reparación y mantenimiento de la EEASA acerca de los tiempos de conocimiento, preparación, trasposos y reparación de los tramos de las redes de distribución.

Para este estudio se consideró que los elementos y equipos de protección y/o maniobra son 100% confiables

Las tasas de fallas y tiempos de interrupción que se aplicarán sobre los tramos y elementos de protección del alimentador en estudio se resumen en la Tabla 2.9.

TRAMOS SIN CONEXIÓN	λ (fallas/km.año)	Tc (horas)	Tp (horas)	Tl (horas)	Tt (horas)	Tr (horas)	Tv (horas)
Tramo Urbano	0,66769	0,0083	0,1666	0,25	0,4	1,5	0,25

Tabla 2.9 Determinación de los elementos
Fuente: Dpto. Operación y Mantenimiento EEASA
Recopilado por: La Autora.

Los tiempos de interrupción según el estado que puedan presentar los tramos del alimentador, tomando en consideración los diferentes tiempos se observan en la tabla 2.10 son:

Tipo de elemento	Interrupciones	Tiempo_inter(h) Tramo Urbano
Normal	0	0,00
Restablecible	Tc+Tp+Tl	0,42
Transferible	Tc+Tp+Tl+Tt+Tv	1,07
Irrestablecible	Tc+Tp+Tl+Tr	1,92
Irrestablecible con espera	Tc+Tp+Tl+Tt+Tr	2,32

Tabla 2.10 Tiempos de interrupción
Fuente: Dpto. Operación y Mantenimiento EEASA
Recopilado por: La Autora.

2.3.8 Índices actuales del alimentador Ficoa

El proceso planteado para encontrar los índices actuales del alimentador y que diagnostiquen el estado del alimentador Ficoa se puede esquematizar de la siguiente manera:

1. Determinar los parámetros de confiabilidad de los diferentes tramos del alimentador en estudio, separando los tramos mediante los dispositivos de protección y/o maniobra, como se presenta en el anexo digital (2.3)
2. Determinar la matriz de estados de orden 59 x 59, para la configuración considerada, la matriz de estados se muestra en el anexo digital (2.4)
3. Con la matriz de estados, se procede a calcular la tasa de falla (λ), anexo digital (2.5), el tiempo de interrupción (r), anexo digital (2.6) e indisponibilidad (U), anexo digital (2.7) de cada uno de los tramos del alimentador como se observa en la Tabla 2.11. Además en el Anexo (1) se presenta el esquema de seccionamiento y/o maniobra existente del alimentador.

En la tabla 2.11 se presentan: el equipo de seccionamiento, longitud del tramo, la potencia en kVA instalados y kVA demanda.

ALIMENTADOR FICOA							
Tramo	Equipos de Seccionamiento	Longitud Tramo (km)	kVAins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)	U (horas/año)
TD	D	0,441	90	36	0,295	1,925	0,567
T1	SF-1	0,079	15	6	0,792	1,925	1,524
T2	SF-2	0,729	1905	758	0,835	1,925	1,607
TRA1	SRA-1	0,833	80	32	1,391	2,251	3,131
T3	SF-3	0,563	5	2	1,767	4,158	7,346
T4	SF-4	0,928	397,5	159	2,386	1,312	3,131
TRA2	SRA-2	0,092	30	12	12,087	0,608	7,346
TRA3	SRA-3	1,161	250	100	12,087	0,696	8,416
T5	SF-5	0,493	75	30	12,087	0,737	8,910
TRA4	SRA-4	0,653	212,5	85	12,087	0,654	7,907
T6	SF-6	0,593	195	80	12,087	0,703	8,501
T7	SF-7	0,063	37,5	15	12,087	0,709	8,564

T8	SF-8	0,337	75	30	12,087	0,731	8,838
T9	SF-9	0,438	25	10	12,087	0,767	9,277
TV1	SV1	0,262	35	14	12,087	0,789	9,539
T10	SF-10	0,153	15	6	12,087	0,802	9,692
T11	SF-11	1,196	192,5	77	12,087	0,888	10,738
T12	SF-12	0,125	50	20	12,087	0,778	9,402
T13	SF-13	0,247	30	12	12,087	0,752	9,085
T14	SF-14	0,087	37,5	15	12,087	0,759	9,172
T15	SF-15	0,956	80	36,7	12,087	0,831	10,042
T16	SF-16	2,383	325	130	12,087	1,028	12,429
T17	SF-17	1,320	110	44	12,087	1,138	13,751
T18	SF-18	0,550	35	14	12,087	1,074	12,980
T19	SF-19	0,805	20	8	12,087	1,141	13,786
T20	SF-20	0,275	30	12	12,087	1,051	12,705
T21	SF-21	0,302	10	4	12,087	1,053	12,732
T22	SF-22	0,411	77,5	31	12,087	1,062	12,841
T23	SF-23	0,135	15	6	12,087	0,714	8,636
T24	SF-24	0,191	90	36	12,087	0,719	8,692
T25	SF-25	0,281	135	54	12,087	0,727	8,782
T26	SF-26	0,792	297,5	101	12,087	0,769	9,294
T27	SF-27	0,154	15	6	12,087	0,782	9,448
T28	SF-28	0,076	30	12	12,087	0,710	8,577
T29	SF-29	0,551	437,5	437,5	2,134	1,240	2,647
TB1	SB-1	0,315	30	12	9,544	0,582	5,558
T30	SF-30	0,116	100	40	9,544	0,594	5,674
T31	SF-31	1,651	280	112	9,544	0,768	7,327
T32	SF-32	0,135	0	0	9,544	0,782	7,462
T33	SF-33	0,453	162,5	65	9,544	0,829	7,916
T34	SF-34	1,636	125	55	9,544	0,954	9,101
T35	SF-35	0,229	75	30	9,544	0,853	8,145
T36	SF-36	0,559	85	34	9,544	0,907	8,658
T37	SF-37	0,162	10	4	9,544	0,924	8,821
T38	SF-38	0,913	302,5	121	9,544	0,878	8,377
T39	SF-39	0,308	175	70	9,544	0,862	8,225
T40	SF-40	0,181	25	10	9,544	0,881	8,405
T41	SF-41	0,257	65	26	9,544	0,952	9,088
T42	SF-42	0,203	62,5	24,7	9,544	0,973	9,291
T43	SF-43	0,639	245	98	9,544	0,992	9,470
T44	SF-44	0,589	187,5	75	9,544	0,987	9,420
TV2	SV2	0,229	135	54	9,544	0,949	9,059
T45	SF-45	0,573	190	76	9,544	0,985	9,404
T46	SF-46	1,092	145	58	9,544	1,040	9,924
T47	SF-47	0,210	65	26	9,544	1,007	9,615

T48	SF-48	0,067	15	6	9,544	0,992	9,471
T49	SF-49	0,210	30	11,7	9,544	1,007	9,615
TB2	SB-2	0,770	50	20	9,544	0,849	8,099
TB3	SB-3	0,155	37,5	15	9,544	0,784	7,483

Tabla 2.11 Diagnóstico del alimentador Ficoa

Una vez conocidos los índices de confiabilidad de cada tramo se procede a calcular los índices globales de confiabilidad de todo el alimentador en estudio.

Los índices para el sistema son la frecuencia media de interrupción (FMIK) y tiempo total de interrupción (TTIK), dados por las ecuaciones (1.1) y (1.2)

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum_i \lambda_i kVA_i}{kVA_{inst}} = 7,32 \text{ salidas / año} \rightarrow \text{No - cumple}$$

$$TTIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVA_i f_{s_i} * T_{fs_i}}{kVA_{inst}} = 6,59 \text{ Horas / año} \rightarrow \text{Cumple}$$

Se tiene una frecuencia de 7,32 veces en el año con un tiempo de interrupción de 6,59 horas en un año, de los resultados del análisis se confirma que el alimentador Ficoa no se encuentra cumpliendo con la Regulación 004/01 en cuanto a la frecuencia media de interrupción.

Con los datos obtenidos se procede a realizar el cálculo de la energía no suministrada y su costo se aplicará la fórmula (1.3) de la Regulación 004/01 emitida por el CONELEC.

a) Si: $FMIK > \text{Lím}FMIK$ y $TTIK < \text{Lím}TTIK$

$$ENS = (FMIK - \text{Lim}FMIK) * \frac{TTIK}{FMIK} * \frac{ETF}{THPA} \quad (1.5)$$

$$ENS = (7,32 - 5) * \frac{6,59h}{7,32} * \frac{1919,97kWh}{8760h}$$

$$ENS = 4579,42kWh$$

$$CENS = ENS * 1,50USD / kWh$$

$$CENS = 6869,13USD / kWh - Año$$

Por lo antes indicado, en el Capítulo III se aplicará la propuesta para mejorar los índices de confiabilidad y cumplir con la Regulación 004/01, disminuir cuantiosas pérdidas económicas y por ende mejorar el servicio entregado a los usuarios conectados a la red del alimentador en estudio.

2.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS

La hipótesis planteada en el anteproyecto de tesis fue la siguiente:

“La reconfiguración del sistema del alimentador Ficoa aplicando la Metodología de las Cadenas de Markov mejorará los índices TTIK-FMIK de una manera técnico-económica de la EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO REGIONAL CENTRO NORTE S. A.”

Para verificar la hipótesis se aplicó la metodología de las Cadenas de Markov en el estado actual del alimentador Ficoa, de esta manera se comprobó que los datos encontrados por esta metodología son semejantes a los facilitados por el personal del Centro de Control de la EEASA, CECON, FMIK 2,45%, TTIK 3,29% como se puede apreciar en la siguiente tabla:

INDICES DE CONFIABILIDAD	ESTADO ACTUAL		PROPUESTA CASO 1	PROPUESTA % MEJORAMIENTO DE LOS INDICES APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA
	DATOS CECON	DATOS METODOLOGIA		
Frecuencia Media de Interrupciones (FMIK)	7,14	7,32	3,14	57,12 %
Tiempo Total de Interrupciones (TTIK)	6,38	6,56	3,84	41,76%

Tabla 2.12 Porcentaje de error y mejora de los índices FMIK-TTIK

De esta manera se comprueba que al realizar la reconfiguraci3n en el alimentador y evaluar su confiabilidad con la metodolog3a de las cadenas de Markov cumple con la regulaci3n 004/01, de mejorar los 3ndices de calidad de servicio t3cnico, expuesto en la Tabla 1.3 del Cap3tulo I.

Indices	Lim FMIK	Lim TTIK
Alimentador Urbano	5.0	10.0

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA APLICADA A LA REDUCCIÓN DE ÍNDICES DE CONFIABILIDAD MEDIANTE RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE MEDIO VOLTAJE DEL ALIMENTADOR FICOA

3.1 Presentación

A nivel de distribución de energía eléctrica las empresas encargadas de este servicio se encuentran en la necesidad y obligación que ofertar un servicio de calidad y por ende cumplir con las normas y reglamentos emitidos por el ente de control Consejo Nacional de Electricidad, CONELLEC.

En el presente trabajo investigativo se optó por aplicar la teoría de probabilidad, en el alimentador Ficoa, perteneciente al área de concesión de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., el mismo que no se encuentra cumpliendo con la regulación 004/01.

Con la metodología de las Cadenas de Markov se evaluó la confiabilidad del alimentador en estado actual y las alternativas de reconfiguración planteadas. De esta manera se está contribuyendo a disminuir los índices de frecuencia y duración

de las interrupciones, robustecer, incrementa la confiabilidad el sistema y mejorar la calidad de servicio que se brinda a los usuarios conectados a esta red.

3.2 Justificación

La problemática de mejorar los índices de confiabilidad en un sistema de distribución es un tópico que ha sido estudiado con bastante énfasis en el pasado y que actualmente se encuentra vigente. Con la finalidad de cuantificar sus beneficios que son de carácter técnico y económico, las prácticas de eficiencia en las empresas distribuidoras, requieren de técnicas innovadoras que den una solución operativa de allí el empleo de la metodología de las Cadenas de Markov.

La EEASA para cumplir con las respectivas normas y reglamentos emitidos por el ente regulador, CONELEC realizará como proyecto de tesis el mejoramiento de la calidad de servicio técnico, índices de frecuencia y duración de interrupciones (TTIK-FMIK), utilizando la metodología de las Cadenas de Markov, mismo que servirá como modelo para los otros alimentadores de dicha empresa distribuidora.

Se desarrollará el análisis de la situación actual y futura del alimentador en estudio; para lo que se propone alternativas de reconfiguración de la red para una posible transferencia de carga de un circuito a otro, tomando en cuenta la cargabilidad de los conductores, esto se realiza con la ayuda de la herramienta computacional CYMDIST, al aplicar la Metodología de las Cadenas de Markov, permitirá a la empresa conocer los estados de los diferentes elementos del circuito y si están cumpliendo con los requerimientos del sistema con la finalidad de mejorar la calidad del servicio técnico.

En la elaboración de este trabajo existen alrededor de 6000 beneficiarios los cuales son clientes que reciben la energía de este alimentador Ficoa, que al

proponer soluciones el servicio de energía eléctrica será de mejor calidad, la otra parte beneficiada es la EEASA., con este estudio se podrá tomar de decisiones hacia el futuro y cumplir con las normas y reglamentos emitidos por el CONELEC en especial con la Regulación 004/01 de Calidad Del Servicio Eléctrico de Distribución.

3.3 Objetivos

Objetivo General:

- Mejorar los índices TTIK-FMIK, en el alimentador Ficoa del sistema de distribución de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A., EEASA, mediante la aplicación de la metodología de las Cadenas de Markov.

Objetivos Específicos:

- Recopilar información de índices TTIK - FMIK, métodos de evaluación y reconfiguración de la topología de la red.
- Describir y diagnosticar la situación actual del alimentador Ficoa.
- Reconfigurar el alimentador Ficoa para mejorar los índices TTIK-FMIK y comparar con los índices establecidos en la Regulación 004/01, mediante la aplicación de la metodología de las Cadenas de Markov

3.4 Alcance

El alcance de este trabajo tiene como finalidad mejorar los índices de confiabilidad mediante la reconfiguración de la red y con la aplicación de la Metodología de las Cadenas de Markov evaluar la de confiabilidad del sistema.

Se realiza la descripción de la EEASA referente a su organización, sistemas y subsistemas que lo conforman.

Se presenta el diagrama unifilar de la subestación Atocha y alimentador urbano Ficoa, en el que se determina y evalúa la situación actual de los índices de confiabilidad, tiempo total de interrupciones y frecuencia media de interrupción.

En el Capítulo III se analizan las posibles alternativas de reconfiguración del alimentador en estudio y se procede a evaluar los nuevos índices de confiabilidad, según los objetivos planteados.

Con el análisis económico se evalúa las diferentes alternativas de reconfiguración, en función a la relación costos-beneficios.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones.

3.5 Desarrollo de la metodología

Los sistemas eléctricos de medio voltaje generalmente son redes operadas en forma radial, con posibilidad de alimentar uno o más tramos a través del accionamiento de interruptores o desconectores.

El problema a enfrentar consiste en la mejora los índices de confiabilidad de la red del primario Ficoa, tiempo total de interrupciones por kVA instalado (TTIK), frecuencia media de interrupciones por kVA instalado (TTIK), determinación de los tramos del primario en estudio que puedan ser transferidos a redes aledañas, los que están sujetos al criterio de minimización del costo de energía no suministrada(CENES), más los costos de inversión en nuevos tramos y refuerzo de aquéllos que requieran modificarse frente a los cambios en la topología de la red.

El criterio seleccionado para agregar equipos es el siguiente:

- Se considera un elemento de protección y/o seccionamiento en la cabecera del alimentador.

- En cada derivación principal los seccionadores barra estarán coordinando con el primer elemento de protección y/o seccionamiento de la cabecera.
- Cada ramal adicional que se agrega entre distintos alimentadores, como respaldo adicional, incluye un seccionador. Uno de ellos permanece cerrado mientras que el otro se cierra en caso que se requiera transferir potencia desde un alimentador a otro.

Además, se adoptarán las siguientes simplificaciones relacionadas con la operación de la red y la ocurrencia de las fallas:

- Se considerarán fallas simples en los distintos tramos que conforman la red fallando sólo un tramo para determinar la indisponibilidad causada en los otros elementos de la red.
- Ante una reconexión producida por una falla, la red será operada manteniendo la condición de radialidad.
- Se considerará los equipos de seccionamiento y protección totalmente confiables, focalizando el estudio en las fallas de los tramos en la red.
- Los tramos candidatos a ser respaldos serán seleccionados a priori utilizando un criterio de minimización de distancias entre los alimentadores. Con esto, se evita aumentar en forma excesiva los costos de inversión, especialmente en redes de tipo rural.

3.5.1 Reconfiguración de la topología del sistema de medio voltaje basado en la calidad del servicio

Para realizar la evaluación de los nuevos parámetros de confiabilidad del sistema, es necesario considerar la topología del estado actual del alimentador analizado en el Capítulo II; como caso base para la elaboración de las nuevas propuestas de reconfiguración de la topología del alimentador.

CASO 1

Para el CASO 1, se ha considerado los siguientes reconfiguraciones en la red tipo radial de medio voltaje del alimentador Ficoa.

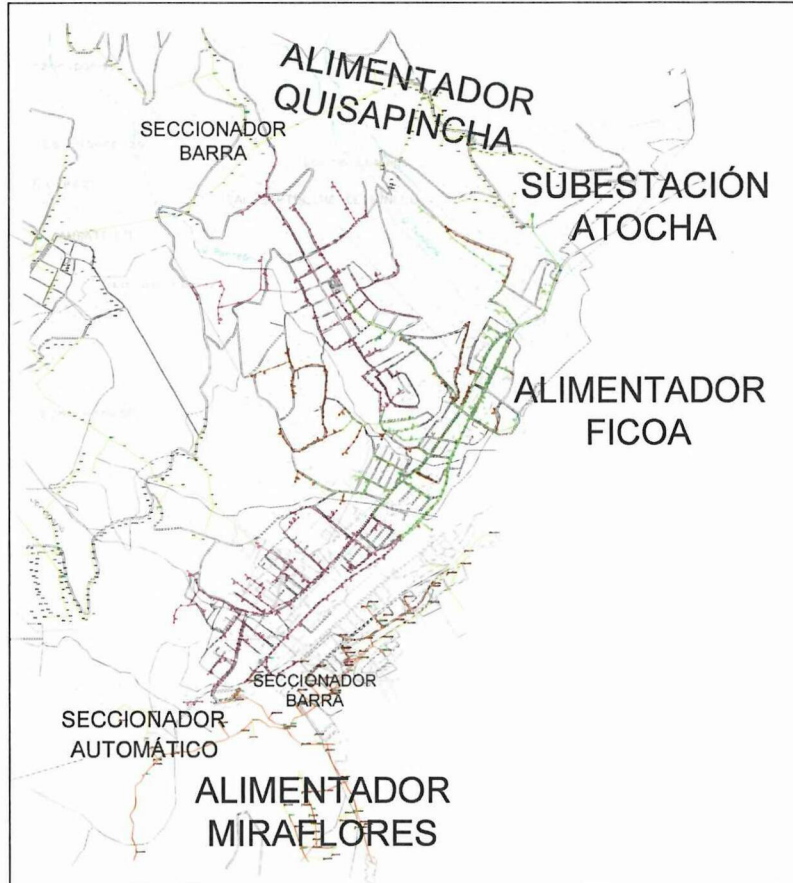


Figura 3.1 Reconfiguración CASO 1

1. Se sugiere construir 390 m de red de medio voltaje, es decir construir 8 estructuras trifásicas desde el poste 114722 hasta el poste 14164, mismas que permitirán mallar el alimentador Ficoa con el alimentador Quisapincha para realizar maniobras de transferencia de carga.
2. Es necesario cambiar 21 estructuras monofásicas por trifásicas en dos puntos clave, desde el poste 16966 hasta el poste 19209 y desde el poste 174948 hasta el poste 114722.

3. Se debe colocar un seccionador barra, el mismo que se encuentra localizado a 4.22 km desde la subestación Atocha, de esta manera se lograría hacer transferencia de carga de 0,775MVA hacia el alimentador Quisapincha perteneciente a la misma subestación.
4. Es esencial colocar un seccionador para transferencia automática, el mismo que se encuentra localizado a 3.91 km desde la subestación Atocha él mismo que permitirá transferir 2,29MVA hacia el alimentador Miraflores.
5. Habilitar el elemento de seccionamiento S572 ubicado a 2,76km desde la subestación Atocha, de esta manera se lograría hacer transferencia de carga de 0,125MVA hacia el alimentador Miraflores perteneciente a la subestación Huachi.
6. Se recomienda seccionar en el poste 135028, para transferir carga al alimentador Quisapincha.
7. Además de seccionar en el poste 19807 y 19865 para transferir carga al alimentador Miraflores.
8. Es importante cambiar los seccionadores fusibles por seccionadores barra en la troncal del alimentador, para mejorar la su operación y mantenimiento.

TRAMO	ELEMENTO
TB1	SB1
TB3	SB3
TB4	SB4
TB5	SB5
TB6	SB6
TB7	SB7
TB8	SB8
TB9	SB9
TB10	SB10

Tabla3.1 Tramo y seccionador a cambiar

CASO 2

Para el análisis del CASO 2, se ha considerado los siguientes reconfiguraciones en la red tipo radial de medio voltaje del alimentador Ficoa.

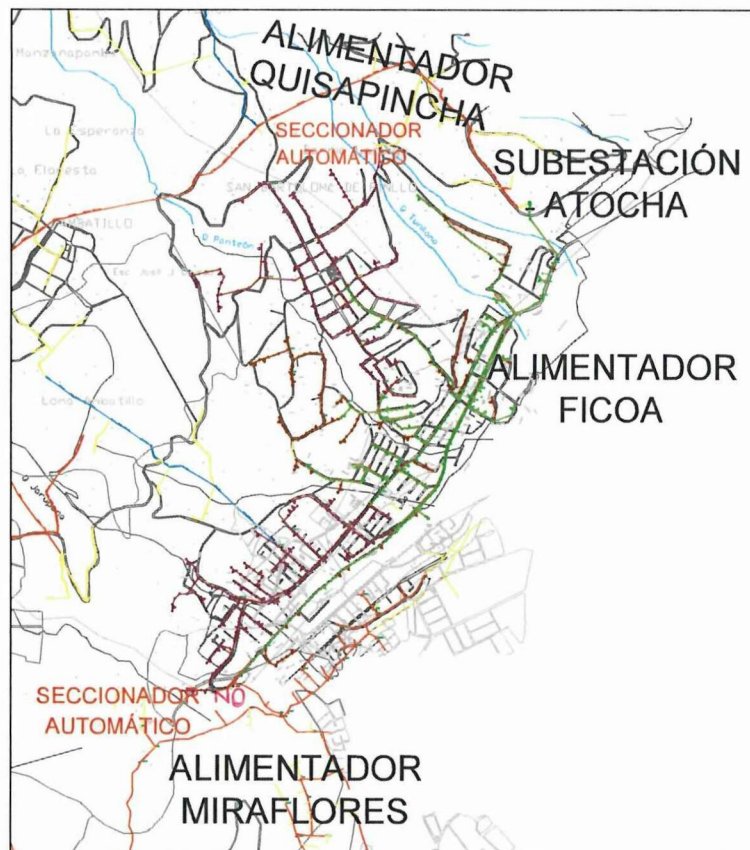


Figura 3.2 Reconfiguración CASO 2

1. Luego del análisis realizado se considera la construir 310m de red en medio voltaje, es decir construir 7 estructuras trifásicas desde el poste 16913 hasta el poste 157898
2. Además cambiar 21 estructuras monofásicas por trifásicas desde el poste 16966 hasta el poste 19209 y desde el poste 174948 hasta el poste 114722.
3. Se prevé colocar un seccionador automático que trabaje bajo carga, el mismo que se encuentra localizado a 4.28 km desde la subestación Atocha, de esta manera se lograría hacer transferencia de carga hacia el alimentador Quisapincha perteneciente a la misma subestación,

4. Se considera colocar un equipo de seccionamiento, el mismo que se encuentra localizado a 3.91 km desde la subestación Atocha, de esta manera se lograría hacer transferencia de carga hacia el alimentador Miraflores perteneciente a la subestación Huachi.
5. Es necesario cambiar los seccionadores fusibles por seccionadores barra en la troncal del alimentador.

TRAMO	ELEMENTO
TB1	SB1
TB3	SB3
TB4	SB4
TB5	SB5
TB6	SB6
TB7	SB7
TB8	SB8
TB9	SB9
TB10	SB10

Tabla 3.2 Tramo y seccionador a cambiar

6. Seccionar en el poste 135028, para transferir carga al alimentador Quisapincha.
7. Seccionar en el poste 19919 para transferir carga al alimentador Miraflores.

3.5.2 Determinación de los nuevos índices de confiabilidad con las reconfiguraciones propuestas.

CASO 1

Conocida la información correspondiente a la propuesta del caso 1 se procede según la metodología de análisis a elaborar la matriz de estados de orden 59 x 59, para obtener los nuevos índices de confiabilidad de la red, a partir de la matriz de estados Anexo digital 3.1 se determina la contribución de falla de cada tramo según el tipo, como se lo indica en la Tabla 2.9; tiempos de interrupción e indisponibilidad de servicio.

En el presente análisis de confiabilidad se planteó una matriz de estados en la cual únicamente se encuentra la confiabilidad de los tramos frente a una falla de los demás elementos de la red; al mismo tiempo de considerar los criterios expuestos en la sección 3.5.

De acuerdo a las interrupciones aportadas según el tipo de elemento, en el Anexo 3.2 se presenta la tasa de falla de cada tramo del alimentador; en el Anexo digital 3.3 se presentan los tiempos de interrupción y en el Anexo digital 3.4 los tiempos de indisponibilidad de servicio.

En la tabla 3.3 se presenta una síntesis de: equipos de seccionamiento, kVA instalados y la longitud de los tramos del alimentador, además se da a conocer los valores de las fallas (λ), que se obtienen de la fila denominada total del anexo 3.2; también los valores de indisponibilidad (U), son tomados de la fila total del anexo digital 3.4 y el tiempo de interrupción (r), es U/λ , Anexo digital 3.3, además en el Anexo (2) se presenta el esquema de seccionamiento y/o maniobra de la propuesta del CASO 1 del alimentador.

PROPUESTA CASO 1 ALIMENTADOR FICOA							
Tramo	Equipos de Seccionamiento	Longitud Tramo (km)	kVAins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)	U (horas/año)
TD	D	0,441	90	36	0,295	1,925	0,567
TB1	SB1	0,079	15	6	0,792	1,925	1,524
T1	SF-1	0,729	1905	758	0,835	1,925	1,607
TRA1	SRA-1	0,833	80	32	1,348	2,015	2,717
T2	SF-2	0,563	5	2	1,724	1,645	2,836
TB2	SB2	0,928	397,5	159	1,412	1,925	2,717
TRA2	SRA-2	0,092	30	12	1,473	1,925	2,836
TRA3	SRA-3	1,161	250	100	2,187	1,925	4,210
T3	SF-3	0,493	75	30	2,516	1,925	4,843
TRA4	SRA-4	0,653	212,5	85	1,847	1,925	3,556
T4	SF-4	0,593	195	80	8,859	0,805	7,129
T5	SF-5	0,063	37,5	15	8,859	0,812	7,193
T6	SF-6	0,337	75	30	8,859	0,843	7,467
T7	SF-7	0,438	25	10	8,859	0,892	7,905
TV1	SV1	0,262	35	14	8,859	0,922	8,168
T8	SF-8	0,153	15	6	8,859	0,939	8,321
T9	SF-9	1,196	192,5	77	8,859	1,057	9,366
T10	SF-10	0,125	50	20	8,859	0,906	8,031

TB3	SB3	0,247	30	12	8,859	0,634	5,616
T11	SF-11	0,087	37,5	15	8,859	0,628	5,563
T12	SF-12	0,956	80	36,7	8,859	0,726	6,433
T13	SF-13	2,383	325	130	8,859	0,934	8,278
T14	SF-14	1,320	110	44	8,859	0,931	8,247
T15	SF-15	0,550	35	14	8,859	0,844	7,476
T16	SF-16	0,805	20	8	8,859	0,935	8,282
T17	SF-17	0,275	30	12	8,859	0,813	7,200
T18	SF-18	0,302	10	4	8,859	0,816	7,227
T19	SF-19	0,411	77,5	31	8,859	0,828	7,336
T20	SF-20	0,135	15	6	1,937	1,925	3,729
T21	SF-21	0,191	90	36	1,975	1,925	3,802
T22	SF-22	0,281	135	54	2,035	1,925	3,917
T23	SF-23	0,792	297,5	101	2,479	1,863	4,617
T24	SF-24	0,154	15	6	2,479	1,925	4,771
TB4	SB4	0,076	30	12	1,898	1,925	3,654
TB5	SB5	0,551	437,5	437,5	1,160	1,344	1,559
TB16	SB16	0,315	30	12	1,002	1,925	1,929
T25	SF-25	0,116	100	40	1,079	1,925	2,077
TB6	SB6	1,651	280	112	2,104	1,925	4,050
TB7	SB7	0,135	0	0	2,194	1,925	4,224
TB8	SB8	0,453	162,5	65	2,497	1,178	2,941
TB9	SB9	1,636	125	55	3,287	1,357	4,461
T26	SF-26	0,229	75	30	2,649	1,221	3,235
T27	SF-27	0,559	85	34	3,190	1,874	5,977
T28	SF-28	0,162	10	4	3,190	1,925	6,140
TB10	SB10	0,913	302,5	121	3,106	1,242	3,857
T29	SF-29	0,308	175	70	2,823	1,347	3,804
T30	SF-30	0,181	25	10	2,823	1,412	3,985
T31	SF-31	0,257	65	26	3,413	1,092	3,726
T32	SF-32	0,203	62,5	24,7	3,413	1,151	3,930
T33	SF-33	0,639	245	98	3,532	1,177	4,159
T34	SF-34	0,589	187,5	75	3,499	1,170	4,095
TV2	SV2	0,229	135	54	3,259	1,115	3,633
TB11	SB11	0,573	190	76	3,489	1,168	4,075
TB12	SB12	1,092	145	58	3,835	1,236	4,742
TB13	SB13	0,210	65	26	3,629	1,197	4,345
TB14	SB14	0,067	15	6	3,533	1,178	4,161
TB15	SB15	0,210	30	11,7	3,629	1,197	4,345
TB17	SB17	0,770	50	20	2,708	1,769	4,790
TB18	SB18	0,155	37,5	15	2,208	1,925	4,250

Tabla 3.3 Propuesta CASO 1 Alimentador Ficoa

De la misma manera que se calculó los índices de confiabilidad del estado actual de alimentado Ficoa que es considerado como caso base, se procede a realizar el mismo cálculo en la propuesta del CASO 1.

Una vez conocidos los índices de confiabilidad de cada tramo en la propuesta del CASO 1 se procede a calcular los índices globales de confiabilidad de la nueva red del alimentador en estudio.

Los índices para el sistema son la frecuencia media de interrupción (FMIK) y tiempo total de interrupción (TTIK), dados por las ecuaciones (1.1) y (1.3)

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum \lambda_i kVA_i}{kVA_{nst}} = 3,14 \text{ salidas / año} \rightarrow Si - cumple$$

$$TTIK_{Rd} = \frac{\sum kVA_i f_{s_i} * T_{f_{s_i}}}{kVA_{nst}} = 3,84 \text{ Horas / año} \rightarrow Si - Cumple$$

Con la nueva topología propuesta del caso 1, se tiene una frecuencia de 3,14 veces en el año con un tiempo de interrupción de 3,84 horas en un año, con este análisis se mejoran los índices de confiabilidad de la red del alimentador Ficoa cumpliendo, de esta manera con la Regulación 004/01 en frecuencia media de interrupción y tiempo total de interrupciones

Por ende se contribuye a disminuir pérdidas económicas tanto para la empresa como para los usuarios, mejorando de esta manera servicio entregado a los usuarios conectados a la red del alimentador en estudio.

CASO 2

De la misma forma del CASO 1, conocida la información correspondiente a la propuesta del caso 2 se procede según la metodología de análisis a elaborar la

matriz de estados de orden 59 x 59, para obtener los nuevos índices de confiabilidad de la red, a partir de la matriz de estados (Anexo digital 3.6) se determina la contribución de falla de cada tramo según el tipo, como se lo indica en la Tabla 2.9; tiempos de interrupción e indisponibilidad de servicio.

En el presente análisis de confiabilidad se planteó una matriz de estados en la cual únicamente se encuentra la confiabilidad de los tramos frente a una falla de los demás elementos de la red; al mismo tiempo de considerar los criterios expuestos en la sección 3.5.

De acuerdo a las interrupciones aportadas según el tipo de elemento, en el Anexo digital 3.7 se presenta la tasa de falla de cada tramo del alimentador; en el Anexo digital 3.8 se presentan los tiempos de interrupción y en el Anexo digital 3.9 los tiempos de indisponibilidad de servicio.

En la tabla 3.4 se presenta un síntesis de: equipos de seccionamiento, kVA instalados y la longitud de los tramos del alimentador; además se da a conocer los valores de las fallas (λ) que se obtienen de la fila denominada total del Anexo digital 3.6, también los valores de indisponibilidad (U), que son tomados de la fila total del Anexo digital 3.8 y el tiempo de interrupción (r), es U/λ , (Anexo digital 3.7), además en el Anexo (3) se presenta el esquema de seccionamiento y/o maniobra de la propuesta del CASO 2 del alimentador.

PROPUESTA CASO 2 ALIMENTADOR FICOA							
Tramo	Equipos de Seccionamiento	Longitud Tramo (km)	kVA ins.	kVA DEM.	λ (fallas/año)	r (horas)	U (horas/año)
TD	D	0,441	90	36	0,295	1,925	0,567
TB1	SB1	0,079	15	6	0,792	1,925	1,524
T1	SF-1	0,729	1905	758	0,835	1,925	1,607
TRA1	SRA-1	0,833	80	32	1,348	2,015	2,717
T2	SF-2	0,563	5	2	1,724	1,645	2,836
TB2	SB2	0,928	397,5	159	1,412	1,925	2,717
TRA2	SRA-2	0,092	30	12	1,473	1,925	2,836
TRA3	SRA-3	1,161	250	100	2,187	1,925	4,210
T3	SF-3	0,493	75	30	2,516	1,925	4,843

TRA4	SRA-4	0,653	212,5	85	1,847	1,925	3,556
T4	SF-4	0,593	195	80	9,073	0,796	7,220
T5	SF-5	0,063	37,5	15	9,073	0,803	7,283
T6	SF-6	0,337	75	30	9,073	0,833	7,558
T7	SF-7	0,438	25	10	9,073	0,881	7,996
TV1	SV1	0,262	35	14	9,073	0,910	8,259
T8	SF-8	0,153	15	6	9,073	0,927	8,412
T9	SF-9	1,196	192,5	77	9,073	1,042	9,457
T10	SF-10	0,125	50	20	9,073	0,895	8,122
TB3	SB3	0,247	30	12	9,073	0,629	5,706
T11	SF-11	0,087	37,5	15	9,073	0,623	5,653
T12	SF-12	0,956	80	36,7	9,073	0,719	6,524
T13	SF-13	2,383	325	130	9,073	0,922	8,368
T14	SF-14	1,320	110	44	9,073	0,919	8,338
T15	SF-15	0,550	35	14	9,073	0,834	7,566
T16	SF-16	0,805	20	8	9,073	0,923	8,373
T17	SF-17	0,275	30	12	9,073	0,804	7,291
T18	SF-18	0,302	10	4	9,073	0,807	7,318
T19	SF-19	0,411	77,5	31	9,073	0,854	7,747
T20	SF-20	0,135	15	6	2,333	1,925	4,491
T21	SF-21	0,191	90	36	2,371	1,925	4,564
T22	SF-22	0,281	135	54	2,431	1,925	4,679
T23	SF-23	0,792	297,5	101	2,875	1,871	5,379
T24	SF-24	0,154	15	6	2,875	1,925	5,533
TB4	SB4	0,076	30	12	2,294	1,925	4,416
TB5	SB5	0,551	437,5	437,5	1,160	1,925	2,232
TB16	SB16	0,315	30	12	1,002	1,925	1,929
T25	SF-25	0,116	100	40	1,079	1,925	2,077
TB6	SB6	1,651	280	112	2,104	1,925	4,050
TB7	SB7	0,135	0	0	2,497	1,743	4,352
TB8	SB8	0,453	162,5	65	2,497	1,178	2,941
TB9	SB9	1,636	125	55	3,589	1,334	4,786
T26	SF-26	0,229	75	30	2,649	1,221	3,235
T27	SF-27	0,559	85	34	3,492	1,805	6,302
T28	SF-28	0,162	10	4	3,492	1,851	6,465
TB10	SB10	0,913	302,5	121	3,106	1,242	3,857
T29	SF-29	0,308	175	70	2,823	1,109	3,131
T30	SF-30	0,181	25	10	2,823	1,173	3,312
T31	SF-31	0,257	65	26	3,413	1,092	3,726
T32	SF-32	0,203	62,5	24,7	3,413	1,151	3,930
T33	SF-33	0,639	245	98	3,532	1,177	4,159
T34	SF-34	0,589	187,5	75	3,499	1,170	4,095
TV2	SV2	0,229	135	54	3,259	1,115	3,633

TB11	SB11	0,573	190	76	3,489	1,168	4,075
TB12	SB12	1,092	145	58	3,835	1,236	4,742
TB13	SB13	0,210	65	26	3,629	1,197	4,345
TB14	SB14	0,067	15	6	3,533	1,178	4,161
TB15	SB15	0,210	30	11,7	3,629	1,197	4,345
TB17	SB17	0,770	50	20	2,708	1,925	5,213
TB18	SB18	0,155	37,5	15	2,298	1,925	4,423

Tabla 3.4 Propuesta CASO 2 Alimentador Ficoa

En el CASO 2 se realizan los mismos cálculos de la propuesta del CASO 1.

Una vez conocidos los índices de confiabilidad de cada tramo en la propuesta del CASO 2, se procede a calcular los índices globales de confiabilidad de la nueva red del alimentador en estudio.

Los índices para el sistema son la frecuencia media de interrupción (FMIK) y tiempo total de interrupción (TTIK), dados por las ecuaciones (1.1) y (1.2) en este caso los nuevos índices globales son:

$$FMIK_{Rd} = \frac{\sum_i \lambda_i kVA_i}{kVA_{inst}} = 3,21 \text{ salidas / año} \rightarrow Si - cumple$$

$$TTIK_{Rd} = \frac{\sum_i kVA_i f_{s_i} * T f_{s_i}}{kVA_{inst}} = 3,94 \text{ Horas / año} \rightarrow Si - Cumple$$

Con la propuesta del CASO 2, los usuarios conectados a la red experimentan una pérdida de energía eléctrica de 3,94 horas en un año, con una frecuencia de 3,21 veces en el año, con este análisis se mejoran los índices de confiabilidad de la red del alimentador Ficoa cumpliendo de esta manera con la Regulación 004/01 en cuanto a la frecuencia media de interrupción y tiempo total de interrupciones

3.6 Análisis Técnico

Previo a realizar el análisis económico, se presentará en un análisis técnico las posibles alternativas de solución para mejorar la calidad de servicio técnico del alimentador en estudio.

Del análisis del sistema en el CYMDIST, se dispone de dos casos de análisis, en los cuales se encuentran inmersos dos alimentadores aledaños como son: el alimentador Miraflores perteneciente a la subestación Huachi y el alimentador Quisapincha perteneciente a la subestación Atocha, mismos que serán evaluados técnicamente para posibles transferencias de carga.

CASO 1

Alimentador Ficoa	Red	i (A)			kVA			kW		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Ficoa	153,5	116,6	133,1	1221,80	928,09	1059,43	1197,32	909,49	1038,20
Caso 1 (Transferencia Ficoa Miraflores y Quisapincha)		78,5	79	79,8	624,83	628,81	635,18	612,31	616,21	622,45
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Quisapincha	67,6	72,8	74,3	538,07	579,46	591,40	527,29	567,85	579,55
Caso 1 (Transferencia Ficoa a Quisapincha)		89,5	87,6	80,9	712,39	697,26	643,93	698,11	683,29	631,03
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Miraflores	41	32	36,6	326,34	254,71	291,32	319,80	249,60	285,48
Caso 1 (Transferencia Ficoa a Miraflores)		112,3	113,1	114,2	893,87	900,23	908,99	875,95	882,19	890,77

Tabla 3.5 Análisis Técnico CASO 1

CASO 2

Alimentador Ficoa	Red	i (A)			kVA			kW		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Ficoa	153,5	116,6	133,1	1222,6	928,7	1060,4	1197,7	910	1039,1
Caso 1 (Transferencia Ficoa Miraflores y Quisapincha)		74,7	65,7	85,4	594,8	523,3	680,4	582,3	512,2	665,7
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Quisapincha	67,6	72,8	74,3	538,6	580,3	591,9	527,5	567,6	579,6
Caso 1 (Transferencia Ficoa a Quisapincha)		96,4	73,6	74,6	767,9	586,7	594,4	751,1	573,6	581,7
Estado Actual (Sin Transferencia)	Alimentador Miraflores	41	32	36,6	326,3	255,3	292	319,8	250,2	286,1
Caso 1 (Transferencia Ficoa a Miraflores)		104	110,5	108,6	828,4	880	865,2	810	860	845,6

Tabla 3.6 Análisis Técnico CASO 2

Alimentador Ficoa	TTIK	TTIK Mejora (%)	FMIK	FMIK Mejora (%)
Estado Actual	6,59	-	7,32	-
Caso 1	3,84	41,76	3,14	57,12
Caso 2	3,98	39,64	3,21	56,10

Tabla 3.7 Porcentaje de mejora de las alternativas propuestas

BEDÒN, Mauricio (2007), menciona que “El porcentaje de desbalance nos indica cómo se encuentra distribuida la carga total del alimentador respecto a cada fase, un porcentaje mayor al 20% indica que se debe balancear el sistema”, pág. 29.

Después de analizar y comparar las alternativas propuestas se manifiesta que la alternativa del CASO 1 se seleccionó como técnicamente factible, porque su TTIK es mayor al CASO 2 con un 2,12% y su FMIK es mayor con un 1,1%. Sin embargo es de suma importancia realizar el análisis económico para verificar la viabilidad del proyecto.

3.7 Análisis Costo – Beneficio

Con los resultados obtenidos de las alternativas propuestas, mediante la construcción, remodelación de redes y la instalación de equipos de protección y/o seccionamiento, se puede observar que los índices de confiabilidad del alimentador han mejorado considerablemente.

Además económicamente se debe justificar los beneficios que se conseguirá con la implementación de una de las propuestas planteadas, para lo cual, se realizará un breve análisis económico en función a la energía no suministrada.

3.7.1 Inversiones

Construcción y desmantelamiento de la red. Los parámetros que se consideran en este ítem son: mano de obra de estructuras nuevas y desmantelamiento, costos de diseño, costos dirección, costos de administración, costos indirectos y costo de materiales nuevos.

Elementos de protección y/o seccionamiento: cambio de seccionadores fusible por seccionadores barra, costo del grupo de trabajo para cambio de protecciones.

Seccionador automático: Instalación de equipo automático.

Para el alimentador en estudio se planteó dos alternativas mismas que serán analizadas para decidir cuál es económicamente factible.

En la tabla 3.8 se presenta el presupuesto referencial 1 con dos opciones en cuanto a sus elementos de protección y/o seccionamiento para el alimentador Ficoa.

4

PRESUPUESTO REFERENCIAL CASO 1 ALIMENTADOR FICOA CON EQUIPO AUTOMÁTICO					
Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (\$)
1	Construcción de red trifásica en MV	m	400	15,25	6100
2	Remodelación de red monofásica a trifásica en MV	m	780	19,60	15293,06
3	Cambio de elementos de Protección	c/u	10	18,69	186,9
4	Equipo automático 100A 15kV	c/u	1	12000	12000
TOTAL COSTO					33579,96

PRESUPUESTO REFERENCIAL CASO 1 ALIMENTADOR FICOA SIN EQUIPO AUTOMÁTICO					
Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (\$)
1	Construcción de red trifásica en MV	m	400	15,25	6100
2	Remodelación de red monofásica a trifásica en MV	m	780	19,60	15293,06
3	Cambio de elementos de Protección	c/u	12	18,69	224,28
4	Equipo automático	c/u	0	0	0
TOTAL COSTO					21617,34

Tabla 3.8 Presupuesto referencial 1

En la tabla 3.9 se presenta el presupuesto referencial 2 para el alimentador Ficoa.

PRESUPUESTO REFERENCIAL CASO 2 ALIMENTADOR FICOA					
Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total (\$)
1	Construcción de red trifásica	m	350	15,25	5337,5
2	Remodelación de red monofásica a trifásica	m	1380	19,61	27056,94
3	Cambio de elementos de Protección	c/u	10	18,69	186,9
4	Seccionador automático	c/u	1	12000,00	12000
TOTAL COSTO					44581,34

Tabla 3.9 Presupuesto referencial 2

RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Este indicador tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto, mediante la comparación de los costos previstos y los beneficios esperados en la realización del mismo, a través de la ecuación 3.1

$$BC = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}}$$

(3.1)

Los resultados de este indicador, expresados en valor presente pueden tener significados tanto sociales como monetarios dependiendo del proyecto que se ejecute, en este caso, si el resultado es mayor que 1, significa que los beneficios netos son mayores de los egresos netos, es decir, que los beneficios son mayores que los gastos en consecuencia el proyecto es factible, caso contrario provoca pérdidas.

Para las alternativas propuestas se consideraron 15 años de vida útil de las redes, tiempo que es considerado en las guías de diseño de la EEASA; y la tasa de interés comercial del 12%.

COSTO-BENEFICIO:

Para el análisis de Costo-Beneficio del CASO1 se toma en cuenta la opción con equipo automático.

AÑO	CASO 1		CASO 2	
	Beneficio	Costo	Beneficio	Costo
0	0	- 33579,95	0	44581,34
1	6875,36	0	6875,36	0
2	6875,36	0	6875,36	0
3	6875,36	0	6875,36	0
4	6875,36	0	6875,36	0
5	6875,36	0	6875,36	0
6	6875,36	0	6875,36	0
7	6875,36	0	6875,36	0
8	6875,36	0	6875,36	0
9	6875,36	0	6875,36	0
10	6875,36	0	6875,36	0
11	6875,36	0	6875,36	0
12	6875,36	0	6875,36	0
13	6875,36	0	6875,36	0
14	6875,36	0	6875,36	0
15	6875,36	0	6875,36	0

Tabla 3.10 Beneficio en valor presente

Alimentador Ficoa	Análisis Costo-Beneficio	
	CASO 1	CASO 2
Vida útil (años)	15	15
Interés (%)	12	12
Beneficio total en valor presente (USD)	46.827,18	46.827,18
Costo total en valor presente (USD)	33579,95	44581,34
CB	1,39	1,05

Tabla 3.11 Análisis Costo-Beneficio

Un proyecto es factible económicamente cuando el valor C/B obtenido es superior a 1; en el análisis realizado en el presente proyecto investigativo se concluye que las dos alternativas son factibles para su ejecución, pero el CASO 1 tiene una ventaja del 24,5% , es decir $C/B = 1,39$; frente al valor del CASO 2 de $C/B= 1.05$. En consecuencia el CASO 1 reúne las características técnicas y económicas para ser ejecutado.

4 CONCLUSIONES

- Se comprueba que las Cadenas de Markov como metodología para evaluar la confiabilidad de una red primaria es factible porque el margen de error al comparar los datos reales y los obtenidos en el desarrollo de la metodología son bajos; FMIK 2% y TTIK 20%; porcentajes que varían en función a la información facilitada por la empresa.
- De los resultados del estudio, se tiene que si se compara los parámetros de confiabilidad del alimentador Ficoa antes y después, se concluye: la frecuencia media de interrupciones (FMIK) tiene una disminución considerable de un 57,12 % del FMIK, lo que quiere decir que la frecuencia con que se presentan las interrupciones del servicio se redujo a la mitad; por otro lado, en relación al tiempo total de interrupciones (TTIK) se alcanzó reducir el tiempo en un 41,76%; estos porcentajes indican que el alimentador en estudio se encuentra cumpliendo con la regulación de calidad del servicio, al mismo tiempo que se mejora la confiabilidad y operabilidad del sistema.
- Del análisis técnico económico de las alternativas planteadas para mejorar la confiabilidad del alimentador Ficoa, se tiene que las dos alternativas son factibles; sin embargo, en el caso CASO 1, con la instalación de un equipo automático de seccionamiento, los índices TTIK-FMIK se mejoran y cumple con la relación Costo/Beneficio más alta de las alternativas planteadas con el 1.39.
- Otra ventaja que se obtiene del estudio es la disminución del Costo de Energía No Suministrada (CENS) en 6869,13 USD por año y el tiempo en recuperar la inversión de la propuesta planteada es de 5 años.
- La empresa no dispone de la información digital necesaria en cuanto a los tiempos de interrupción de servicio de energía eléctrica, los mismos que son de suma importancia en la aplicación de la metodología de las Cadenas de Markov, esta información fue obtenida en base a un análisis entre la experiencia del personal que labora en esta área y registros manuales de los operadores del CECON.

5 RECOMENDACIONES

- Uno de los requerimientos más importantes para la aplicación de esta metodología es que las redes de distribución en medio voltaje deben estar actualizadas, esto permite que el estudio refleje resultados más confiables y reales posibles.
- Para disminuir los tiempos de interrupción en el alimentador Ficoa, se recomienda habilitar el equipo de seccionamiento ubicado en el poste 19856 para transferir de carga al alimentador Miraflores; así como también, la ubicación de equipos de seccionamiento en los postes 20198 y 19856 para el caso que si se tuviera una falla, esto permitirá transferir carga a los alimentadores aledaños. Además se propone cambiar todos los seccionadores fusibles de la troncal principal del alimentador en estudio por seccionadores barra para facilitar la operación y mantenimiento.
- Para el poste 20198 de transferencia de carga propuesto resulta económico utilizar solo un seccionador tipo barra, pero si se desea mejorar la confiabilidad lo más adecuado es el uso de un equipo de seccionamiento automático, con el cual las magnitudes de T_c , T_p , T_l , T_t son muy pequeñas, de manera que teóricamente pueden considerarse cero, reduciéndose los índices TTIK y FMIK.
- Como parte integral del proyecto se debe realizar un análisis de costo-beneficio y verificar que se cumpla el criterio de C/B siempre debe ser mayor a 1, entre las diferentes alternativas que se plateen.
- Se recomienda mantener actualizada la información digital de las redes de distribución, esto permitirá que cualquier tipo de análisis técnico, que en este caso es la metodología de las Cadenas de Markov, den como resultado valores confiables en el estudio o cualquier tipo de aplicación técnica.
- Al disminuir los índices TTIK y FMIK, se tiene como valor agregado la disminución del costo de energía no suministrada, por lo que se recomienda, hacer los esfuerzos necesarios para que estos índices permanezcan en los valores por lo menos límites según la regulación 004/01 del CONELEC.

- Si bien la información se la puede disponer en bitácoras, mucha información se puede perder o en el momento de su tabulación para cada tipo de consulta toma demasiado tiempo, por lo que se recomienda que la información de los tiempos de interrupción de servicio eléctrico se la lleve en forma digital.

6 BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía Citada

- ALLAN, R.N., DE OLIVEIRA, M.F. “Reliability modeling and evaluation of transmission and distribution systems” Proceedings of the IEE, Vol. 124 N° 6 (1977), págs.535-541.
- ARRIAGADA, Aldo, “Evaluación de confiabilidad en sistemas eléctricos de distribución”, Santiago de Chile, 1994, págs. 14, 30-45.
- BEDÒN, Mauricio “Tesis de grado: Estudio del Nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia en industrias florícolas del cantón Cayambe –Empresa Eléctrica Regional Norte S,A”, Quito, Ecuador, 2007, pág. 29.
- CASTRO, Miladis “Estudio de confiabilidad, utilizando las cadenas de Markov para la disponibilidad de un sistema eléctrico de potencia”, Puerto La Cruz, 2009, págs. 44-52.
- GONZALES, Alfonso, “Tesis de grado: Mejoramiento de la confiabilidad en sistemas de distribución mediante la reconfiguración de la red”, Pereira, 2007, pág. 7, 22-25.
- ORELLANA, Boris, “Tesis de grado: Calidad de Suministro en la Planificación de Redes de Distribución”, Santiago, Chile, 2010, págs. 28-31.
- TABARES, Jhon, “Reconfiguración de alimentadores primarios en sistemas de distribución para aumento de la confiabilidad usando flujo en redes”, Pereira, 2008, págs.10-11.
- VILLAROEL, Manuel, “Protecciones de sistemas eléctricas”, Temuco, 2008, págs. 151-156.
- YEBRA, Juan, “Sistemas Eléctricos de Distribución”, REVERTE, Barcelona, 2009, pag. 2.
- ZUÑIGA, Juan, “Tesis de grado: Confiabilidad de un primario”, Quito, 2006, págs.19-38, 60-63.

Bibliografía Consultada

- CASANOVA, C., CONTRERAS, C., “Reliability Evaluation of a Group of 3 Pumps with Markov Chain Model”, Venezuela, 2009, pág. 120.
- LEÓN, A., VILLÓN, J., “Tesis de grado: Estudio de coordinación de protecciones eléctricas para la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE) Año 2001”, Guayaquil, 2002.
- MORA, Juan, “Interrupción del servicio de energía eléctrica”, Giroga, 2003.
- RAUSAND, Marvin, “Markov Processes”, Valgrinda, 2005
- TIPÁN, Santiago, “Tesis de grado: Automatización e Integración al Sistema SCADA de los Alimentadores A1/1 y A1/2 de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.”, 2009

Bibliografía Virtual

- Recuperado en: www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc
- Recuperado en: http://www.fbarreiro.com/joom2/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=60
- Recuperado en: http://www.jorgegalbiati.cl/enero_07/Markov.pdf
- Recuperado en: http://www.conscious-robots.com/raul/voz_old/voz_hmms.htm#pdm
- Recuperado en: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno01/reliab/mmee2.htm>
- Recuperado en: CYME INTERNATIONAL T&D, CYMDIST - Análisis de sistemas de distribución. Recuperado de <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>