UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Estudio para determinar la ubicación óptima de localizadores de falla en el sistema de distribución aéreo de los alimentadores #0321, #0526, #0323, #0523 #1822, #0521, #0921, #1222 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

AUTORES: PABLO FERNANDO FLORES ZAMBRANO.

HECTOR GENARO CONCE ZARUMA.

DIRECTOR: ING. DIEGO XAVIER MORALES JADAN

MATRIZ CUENCA

2017

DECLARACIÓN

Yo, **Pablo Fernando Flores Zambrano,** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Pablo Fernando Flores Zambrano

DECLARACIÓN

Yo, **Héctor Genaro Conce Zaruma**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

Héctor Genaro Conce Zaruma

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por: **Pablo Fernando Flores Zambrano** y **Héctor Genaro Conce Zaruma**, bajo mi supervisión.

Ing. Diego Xavier Morales Jadan

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la fuerza y sabiduría para afrontar los retos que se presentan en nuestra vida diaria.

Nuestro profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo de investigación.

A los docentes de la prestigiosa Universidad Católica de Cuenca, de manera muy especial al Ing. Mgs Diego Xavier Morales Jadan, tutor de esta tesis, por la dedicación, ayuda brindada, y valiosa colaboración en la realización de este trabajo investigativo.

A nuestros padres y familia en general por el esfuerzo y el apoyo que nos brindaron desde el primer día que comenzó este sueño.

DEDICATORIA

Dedicado a Diosito sobre todas las cosas.

El esfuerzo invertido en la realización de este trabajo lo dedico a mis padres Elsa y Gustavo, a mis hermanas Ximena y Johana por siempre brindarme el apoyo necesario.

De manera especial este trabajo lo dedico a mi abuelita Sara donde quiera que se encuentre.

A esa persona especial que ha estado a lo largo de mis estudios.

Pablo Flores.

Dedico esta tesis a todos los que me han apoyado, mis padres Marina y Manuel, mis hermanos Bryan, Waldo, Romel, Karina y Mariela que me han acompañado y brindado su apoyo en todos mis años de estudio.

A Dios que me ha dado fuerza en todo lo bueno y malo de mi carrera universitaria.

A la persona que siempre estuvo a mi lado para ayudarme y darme los mejores consejos.

Genaro Conce.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN ..... **i**
DECLARACIÓN ..... **ii**
CERTIFICACIÓN ..... **iii**
AGRADECIMIENTOS ..... **iv**
DEDICATORIA ..... **v**
ÍNDICE DE CONTENIDO ..... **vi**
LISTA DE FIGURAS ..... **viii**
LISTA DE TABLAS ..... **ix**
RESUMEN ..... **x**
ABSTRACT ..... **xi**
1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 ALCANCE 2
1.2 JUSTIFICACION 3
1.3 OBJETIVO GENERAL 3
1.3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS 4
1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO 4
2 SISTEMAS DE DISTRIBUCION 6
2.1 CONFIABILIDAD EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 6
2.2 CONCEPTOS GENERALES 10
2.2.1 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN 10
2.2.2 SUBESTACIONES 12
2.2.3 DISTRIBUCIÓN PRIMARIA 14
2.2.4 ALIMENTADORES PRIMARIOS 14
2.2.5 DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA 17
2.2.6 TIPOS DE FALLA 18
2.2.7 ÍNDICES DE CALIDAD 22
2.2.8 PARÁMETROS DE CONFIABILIDAD (TIEMPOS DE INTERRUPCIÓN) 28

2.2.9 ÍNDICES DE CALIDAD DE MANERA INDIVIDUAL SEGÚN EL USUARIO. 29
2.2.10 ÍNDICES DE CALIDAD A NIVEL DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN. 29
2.2.11 ÍNDICES DE CALIDAD INDIVIDUAL UTILIZADOS EN EL ECUADOR 34
2.2.12 ÍNDICES DE CALIDAD GLOBALES UTILIZADOS EN EL ECUADOR 36
2.2.13 LOCALIZADORES DE FALLA 37
3 METODOLOGÍA 42
3.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LOS ALIMENTADORES. 42
3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ALIMENTADORES. 45
3.2 SELECCIÓN DE ALIMENTADORES PARA REALIZAR EL ESTUDIO. 48
3.2.1 RECOPILACIÓN DE DATOS DE LOS ALIMENTADORES SELECCIONADOS. 49
3.3 SIMULACIONES CON LOS ALIMENTADORES SELECCIONADOS. 50
3.3.1 ANÁLISIS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN NÚMERO DE CLIENTES CONECTADOS 50
3.3.2 ANÁLISIS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN LA POTENCIA INSTALADA. 54
3.3.3 ANÁLISIS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN ENERGÍA CONSUMIDA 58
4 RESULTADO Y ANALISIS 62
4.1 TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS SIMULACIONES 62
4.2 COMPARACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS CON LOS ESTABLECIDOS EN LAS NORMAS 80
4.3 PROPUESTAS PARA A LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA. 85
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 91
5.1 CONCLUSIONES 91
5.2 RECOMENDACIONES 93
6 REFERENCIAS 94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 94

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA. 6
FIG. 2. CURVA DE CONFIABILIDAD. 8
FIG. 3. PARTES DE UNA SUBESTACIÓN DE DISTRIBUCIÓN. 14
FIG. 4. LOCALIZADOR DE FALLA. 38
FIG. 5. FUNCIONAMIENTO DE UN LOCALIZADOR DE FALLA 39
FIG. 6. PORCENTAJE SEGÚN EL ÁREA DE CONCESIÓN. 42
FIG. 7. ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EERCS. 43
FIG. 8. UBICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES DENTRO DEL ÁREA DE CONCESIÓN. 45
FIG. 9. AGUAS ABAJO DESDE UN LOCALIZADOR. 51
FIG. 10. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIFI, ALIMENTADOR 0321. 65
FIG. 11. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0321. 65
FIG. 12. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0321. 66
FIG. 13. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0323. 67
FIG. 14. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0323. 68
FIG. 15. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0523. 69
FIG. 16. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0523. 70
FIG. 17. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0526. 71
FIG. 18. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0526. 72
FIG. 19. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0521. 73
FIG. 20. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0521. 74
FIG. 21. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 0921. 75
FIG. 22. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 0921. 76
FIG. 23 . COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 1222. 77
FIG. 24. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 1222. 78
FIG. 25. COMPORTAMIENTO ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADOR 1822. 79
FIG. 26. COMPORTAMIENTO ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADOR 1822. 80
FIG. 27. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN EL ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADORES URBANOS. 82
FIG. 28. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN EL ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADORES URBANOS. 83
FIG. 29. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN EL ÍNDICE SAIDI, ALIMENTADORES RURALES. 84
FIG. 30. PORCENTAJE DE REDUCCIÓN EN EL ÍNDICE CAIDI, ALIMENTADORES RURALES. 85

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. NIVELES DE TENSIÓN EN EL ECUADOR. 7
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DE UNA FALLA TRIFÁSICA. 19
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE UNA FALLA BIFÁSICA SIN CONTACTO A TIERRA. 20
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE UNA FALLA BIFÁSICA CON CONTACTO A TIERRA. 20
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE UNA FALLA BIFÁSICA CON CONTACTO A TIERRA. 21
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE UNA FALLA CON DOBLE CONTACTO A TIERRA. 21
TABLA 7. LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA REGULACIÓN CONELEC 004-01. 35
TABLA 8. LÍMITES FMIK Y TTIK ESTABLECIDOS EN LA REGULACIÓN CONELEC 004-01. 37
TABLA 9. ÁREA DE CONCESIÓN POR PROVINCIA. 42
TABLA 10. SUBESTACIONES DE LA EERCS. 44
TABLA 11. CLASIFICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES. 45
TABLA 12. CODIFICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES. 46
TABLA 13. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALIMENTADORES. 47
TABLA 14. DATOS RELEVANTES DE LOS ALIMENTADORES SELECCIONADOS. 49
TABLA 15. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN NÚMERO DE CLIENTES CONECTADOS, ALIMENTADORES URBANOS. 52
TABLA 16. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN NÚMERO DE CLIENTES CONECTADOS, ALIMENTADORES RURALES. 53
TABLA 17. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN LA POTENCIA INSTALADA, ALIMENTADORES URBANOS. 55
TABLA 18. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN LA POTENCIA INSTALADA, ALIMENTADORES RURALES. 56
TABLA 19. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN LA ENERGÍA CONSUMIDA, ALIMENTADORES URBANOS. 58
TABLA 20. RESULTADOS MEDIANTE UN ENFOQUE BASADO EN LA ENERGÍA CONSUMIDA, ALIMENTADORES RURALES. 60
TABLA 21. TASA DE REVISIÓN DE REDES PARA LOS ALIMENTADORES DE ESTUDIO. 63
TABLA 22. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0321. 64
TABLA 23. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0323. 67
TABLA 24. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0523. 68
TABLA 25. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0526. 71
TABLA 26. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0521. 73
TABLA 27. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 0921. 74
TABLA 28. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 1222. 76
TABLA 29. ÍNDICES DE CALIDAD OBTENIDOS. ALIMENTADOR 1822. 78
TABLA 30. PROPUESTAS EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS. ALIMENTADORES URBANOS. 80
TABLA 31. PROPUESTAS EN BASE A LOS RESULTADOS OBTENIDOS. ALIMENTADORES RURALES. 81

RESUMEN

La presente investigación consiste en un estudio para determinar la ubicación optima de localizadores de falla en el sistema de distribución aéreo, para ello se ha seleccionado 4 alimentadores del sector urbano #0321, #0526, #0323, #0523 y 4 alimentadores del sector rural #1822, #0521, #0921, #1222. El sistema de distribución que abastece a la ciudad de Cuenca, Cañar y Morona Santiago no cuenta con elementos que ayuden a la detección rápida de fallas. Por lo cual esta investigación presenta un estudio mediante simulaciones para determinar los puntos óptimos para la implementación de estos elementos y así aportar a la mejora de la confiabilidad del servicio eléctrico, pues con la realización de este trabajo investigativo se busca establecer las directrices para la ubicación óptima de localizadores de falla con el fin de automatizar procesos de detección y monitoreo de fallas eléctricas presentes en el sistema de distribución .La correcta ubicación de estos elementos es de suma importancia ya que instalaciones en gran cantidad así como una mala ubicación pueden ser contraproducentes y afectar la confiabilidad en lugar de mejorarla, debido a que se puede entorpecer las tareas de ubicación de fallas, además de incurrir en gastos innecesarios con el exceso de localizadores, con la realización de este trabajo se determina el mejor punto en la red para la instalación de estos elementos el cual se verá reflejado en una mejora en los índices de confiabilidad.

Palabras clave: localizadores de falla, índices de confiabilidad, sistemas de distribución, alimentadores primarios.

ABSTRACT

The present research consists of a study for determing the optimal location of fault locators in the overhead distribution system. For this purpose, 4 feeders from the urban sector # 0321, # 0526, # 0323, # 0523 and 4 rural sector feeders # 1822, # 0521, # 0921, # 1222 have been selected. The distribution system that supplies energy to Cuenca, Cañar and Morona Santiago cities does not have devices for the rapid detection of failures. Thus, in this research a study is developed through simulations in order to determine the optimal points for the implementation of these elements and thus contribute to the improvement of reliability. Since with the accomplishment of this research the main guidelines for the optimal location of fault locators in order to automate processes of detection and monitoring of electrical faults present in the distribution system are established. The right placement of these elements is key since excessive installations, as well as, bad placements can be counterproductive and affect reliability rather than improving it. In addition, it can hamper fault location tasks, and to incur in unnecessary expenses, the realization of this work determines the best point in the network for the installation of these elements which will be reflected in an improvement on the reliability indices.

Keyword: Fault Locators, Reliability Indices, distribution systems, primary feeders.

CAPITULO 1:

GENERALIDADES

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día garantizar la calidad del servicio eléctrico es la prioridad de las empresas distribuidoras, sin embargo muchos factores impiden cumplir con este objetivo, ya que se presentan múltiples tipos de fallas eléctricas, técnicas y no técnicas, sin embargo el tiempo que tome restaurar el servicio eléctrico influye en la calidad de servicio que presta una empresa distribuidora, por tal motivo y con el fin de contribuir a la mejora de la calidad y la automatización de procesos de detección de fallas en el sistema de distribución aéreo se realizó el siguiente trabajo de investigación, el cual consiste en un estudio para determinar la ubicación óptima de localizadores de falla en las redes de distribución aéreo mediante análisis de número de clientes, consumo de energía y la potencia instalada en un alimentador, trabajos previos se han realizado para determinar la confiabilidad de los alimentadores de la EERCS como el realizado por (Loaiza Zaruma & Villamarín Blacio, 2012) en el cual se determina los alimentadores que presentan menor confiabilidad, No obstante, no existe trabajos investigativos en él se incluya elementos localizadores de falla.

Para la realización de este trabajo investigativo se hizo uso del software ARC GIS ya que presenta muchas facilidades en la realización de este trabajo.

La importancia de la realización de este trabajo investigativo se refleja en el impacto que se tendrá en los índices de calidad debido a que una correcta ubicación de los elementos localizadores de falla indudablemente ayudará notablemente a la reducción de los índices de calidad SAIDI Y CAIFI, que representan el tiempo de interrupción promedio que sufre un cliente que básicamente representa el objetivo principal de esta investigación.

1.1 ALCANCE.

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A., presta el servicio de suministro eléctrico mediante varios alimentadores, a Azuay, Cañar y Morona Santiago es decir, estas provincias están dentro de su área de concisión la misma que cuenta con 30.146Km^2, que representa el 11,3 % del territorio ecuatoriano. Según (Zambrano, 2010). En el último análisis de confiabilidad de acuerdo a un levantamiento de datos, la empresa contaba con 16 subestaciones y 51 alimentadores que por su nivel de tensión están divididos de la siguiente manera: 34 alimentadores que operan a 22kV, 7 alimentadores que operan con un nivel de tensión de 13.8kV, 9 que operan a 6,3kV y 1 es expreso. Actualmente la empresa distribuidora ha ampliado su número de subestaciones y por ende sus alimentadores, Para motivos y fines investigativos se seleccionaran 8 alimentadores: 4 del sector urbano, #0321, #0526, #0323, #0523 y 4 del sector rural, #1822, #0521, #0921, #1222 los cuales fueron seleccionados en base a sus índices de calidad, su longitud y el número de clientes conectados al mismo, esto con el fin de buscar los más representativos del sistema de distribución aéreo, para poder generalizar la metodología desarrollada a los demás alimentadores.

En los alimentadores seleccionados para la investigación se toma los datos de clientes conectados al mismo desde ARCGIS, además para el análisis de confiabilidad se utilizará los datos requeridos como: tasas de falla, tiempos de duración de las fallas, y se realizara simulaciones con la implementación de los localizadores de falla, para determinar el impacto que se tendría en los índices de calidad y confiabilidad SAIFI, SAIDI, FMIK y TTIK, con el objetivo de compararlos con los establecidos por la regulación del CONELEC 004/01 (ARCONEL, 2001) y IEEE 1366-2003 (IEEE, 2003), el proceso de simulación se desarrollara con distintos escenarios, es decir, mediante posibles lugares para la instalación de dichos elementos hasta obtener resultados idóneos, además dicho estudio se hará en base a datos de: número de fallas por año, tiempo de duración de la falla.

Asimismo, se realizará un análisis de los resultados obtenidos para determinar los beneficios obtenidos con la implementación de los localizadores de falla.

1.2 JUSTIFICACION.

El sistema eléctrico ecuatoriano en general se encuentra en el proceso de automatizar muchos procedimientos, en este caso de investigación se busca aportar con el estudio para determinar el punto idóneo para la implementación de un localizador de falla. Un sistema de distribución debe garantizar la calidad de suministro eléctrico para ello debe controlar las interrupciones que afectan notablemente al consumidor final. El sistema de distribución aéreo de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (E.E.R.C.S), no cuenta con sistemas de localización de falla, lo que afecta considerablemente los índices de calidad y confiabilidad, con este estudio se busca aportar a mejorar los índices de calidad teniendo en cuenta los establecidos por las normas nacionales e internacionales antes mencionadas.

La regulación CONELEC 004-01, establece límites para los índices de calidad en algunos alimentadores no se cumple y esto afecta la calidad del suministro eléctrico, con el estudio se podrá comparar los índices anteriores con los obtenidos y así poder determinar la conveniencia de la instalación de estos elementos.

Teniendo en cuenta los índices de calidad de los alimentadores de la ciudad de Cuenca y el resto del área de concesión de la E.E.R.C.S, se ha visto la necesidad de efectuar un estudio para determinar los puntos idóneos para la instalación de localizadores de falla, con el fin de mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico.

1.3 OBJETIVO GENERAL.

- Determinar la ubicación optima de localizadores de falla en sistemas de distribución aéreos, en los alimentadores #0321, #0526, #0323, #0523 #1822, #0521, #0921, #1222, de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur de la Ciudad de Cuenca.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Revisar los índices de calidad de los alimentadores #0321, #0526, #1822 Y #0521 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

- Realizar simulaciones mediante el software ARCGIS de posibles puntos para la implementación de los localizadores de falla en el sistema de distribución aérea (alimentadores #0321, #0526, #0323, #0523 #1822, #0521, #0921, #1222) y establecer los puntos óptimos para la instalación de los localizadores de falla.

- Analizar el impacto que tendría la implementación de los localizadores de falla en el sistema de distribución, mediante el análisis de los índices SAIFI, SAIDI, FMIK y TTIK.

- Realizar un informe de los resultados obtenidos y en base a los mismos (en caso de que los resultados sean favorables) establecer los parámetros a tener en cuenta para la implementación e instalación de localizadores de falla en los alimentadores propuestos.

1.4 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Este trabajo investigativo está compuesto por 6 capítulos que a continuación serán brevemente descritos:

Capítulo 1: INTRODUCCION.

En este capítulo se presenta una visión general del trabajo investigativo ya que se encuentran los objetivos generales y específicos además del alcance y justificación.

Capítulo 2: SISTEMAS DE DISTRIBUCION.

En esta parte se realiza una recopilación de información necesaria para la realización del trabajo investigativo, como análisis de confiabilidad en sistemas de distribución, conceptos

generales referentes a índices de calidad y localizadores de falla, es decir se recopila información necesaria que será utilizada dentro del trabajo.

Capítulo 3: METODOLOGIA.

Este capítulo presenta una metodología para la ubicación optima de Localizadores de falla en función de la información levantada de los alimentadores en estudio, datos como número de clientes por alimentador, longitud, potencia instalada y consumo son presentados, además las simulaciones de los alimentadores realizado en el software ARCGIS.

Capítulo 4: RESULTADOS Y ANALISIS.

Se presenta los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, la tabulación y comparación de los índices obtenidos con los establecidos, además se presentan figuras que representan el impacto de los elementos localizadores de falla en los índices SAIDI Y CAIDI.

Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se establece las conclusiones obtenidas del trabajo investigativo así también algunas recomendaciones que se pueden implementar.

CAPITULO 2:

2 SISTEMAS DE DISTRIBUCION

2.1 Confiabilidad en un sistema de distribución

Un sistema eléctrico de potencia (SEP) puede ser considerado como un complejo industrial ya que intervienen muchos elementos como: centrales de generación, subestaciones, líneas de transmisión, estaciones de transformación, y sistemas de distribución, la unión de todos estos elementos tiene como fin generar, transportar y distribuir la energía eléctrica (Figura. 1), este proceso empieza desde el aprovechamiento de un recurso primario (sol, viento, agua) y termina en un consumidor final el cual debe recibir este producto (energía eléctrica) con un alto grado de calidad y confiabilidad (Castaño, 2004). Para cumplir con este objetivo se requiere grandes inversiones de capital en la realización de complejos estudios y diseños en donde se debe cumplir con normativas nacionales e internacionales, además de tener un planeamiento riguroso y sobre todo contar con un personal que tenga grandes y amplios conceptos de ingeniería eléctrica, no obstante contar con personal calificado para su operación y un plan de mantenimiento preventorio debidamente programado garantizaran la operación satisfactoria de un SEP.

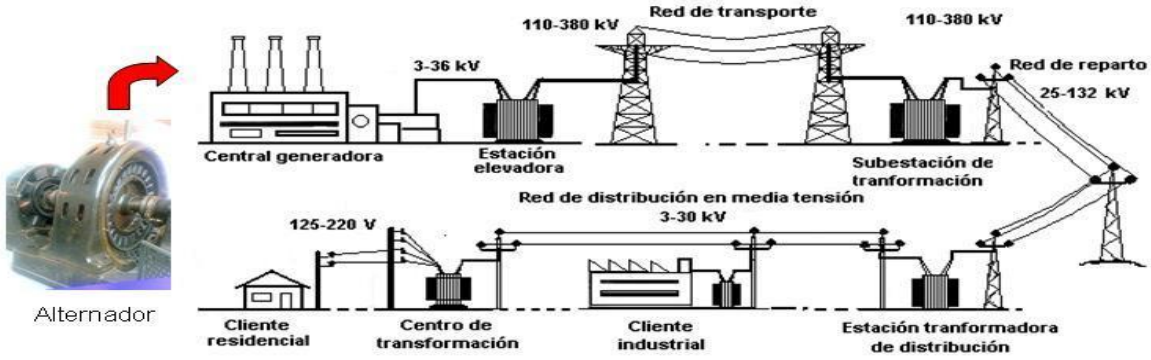


Fig. 1. Sistema Eléctrico de Potencia.

Fuente: http://opex-energy.com/termosolares/sistemas_electricos_termosolar.html.

La energía producida en las centrales de generación para ser transportada debe pasar por un proceso de elevación en donde intervienen las subestaciones elevadoras para

posteriormente ser transportada a través de líneas de transmisión hasta las subestaciones reductoras cuya función es disminuir el nivel de la tensión a valores admisibles para la distribución de la energía eléctrica, los valores de generación transmisión y distribución en el Ecuador están designados como se muestra en la tabla 1:

Tabla 1. Niveles de tensión en el Ecuador.

Generación	Transmisión	Subtransmision	Distribución medio voltaje	Distribución bajo voltaje
13,8 kV	230 kV	69 kV	6,3 kV	220/127 V
4,16 kV	138 kV		13,8 kV	240/120 V
	500kV		22 kV	
			33 kV	

Fuente: (Calle, 2013)

Una parte importante del sistema eléctrico de potencia es la etapa de distribución, un sistema de distribución es el encargado de llevar al consumidor final suministro eléctrico con los niveles de tensión y frecuencia que lo requiera, además de cumplir con estándares de calidad nacionales e internacionales, del cumplimiento de estas normas dependerá la confiabilidad de un sistema de distribución, la cual se define como la capacidad de un elemento o sistema de cumplir su función de la mejor manera dentro de parámetros de funcionamiento establecidos (Chusin Cayo & Escobar Guanoluisa, 2015). También se precisa a la confiabilidad como la capacidad que tiene un componente del sistema de distribución de desarrollar su actividad satisfactoriamente para el cual esta designado, los índices de confiabilidad tienen como objetivo representar cuantitativamente la calidad de servicio suministrado a los usuarios del sistema de distribución (Arias, 2007). En un sistema de distribución la confiabilidad estará dada por la capacidad de operación óptima es decir con un mínimo de interrupciones y el cumplimiento de los índices de calidad.

(Zapata, 2006) Establece que la confiablidad es una intensa área de investigación debido a que:

- La sociedad es muy sensible a las interrupciones del servicio de suministro de energía eléctrica debido la alta dependencia de éste recurso energético en todas las actividades de la vida diaria.
- El 90% de fallas ocurren en el sistema de distribución.
- Existe penalizaciones pues en muchos países el sistema de distribución debe cumplir regulaciones, que establecen los límites de confiabilidad, en el Ecuador la entidad encargada es el Agencia de Regulación y Control de la Electricidad –ARCONEL-.

La curva de confiabilidad se puede observar en la Figura 2, es de tipo decreciente en la cual podemos interpretar que la mayor confiabilidad prestada por un equipo o elemento se da al comienzo de su vida útil y conforme pasa el tiempo esta va decreciendo (Loaiza Zaruma & Villamarín Blacio, 2012).

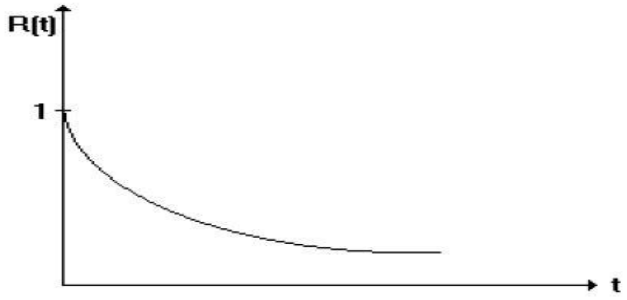


Fig. 2. Curva de confiabilidad.

Fuente:https://jmirez.files.wordpress.com/2014/10/funcion_de_confiabilidad.jpg

La función de confiabilidad es calculada mediante la ecuación 2.1, que está estrechamente relacionada con la función de falla que se define en la ecuación 2.2.

$$R(t) = e^{u} \qquad \textbf{(2.1)}$$

$$R(t) = 1 - e^{u} \quad \textbf{(2.2)}$$

DONDE:

- $R(t)$ = *función de confiabilidad.*
- e^{u} = *exponencial de fallas.*

Según (Baeza, Rodríguez, & Hernández, 2003) los pasos para establecer la confiabilidad de un sistema de distribución se puede determinar de la siguiente manera:

1. Recopilación de datos por cada elemento de la red, en base a datos históricos de la empresa distribuidora o mediante ecuaciones, los datos requeridos son los siguientes:
    - tasas de falla por año "λ"
    - tiempo de reparación "r"
2. Realizar una matriz de estados considerando la topología de red con todos sus elementos y sus parámetros de confiabilidad.
3. Analizar los parámetros "λ", "r" y "U" (tiempo anual de desconexión).

$$U=\lambda * r \quad \textbf{(2.3)}$$

DONDE:

- U = *Tiempo anual de desconexión.*
- λ = *tasa de falla por año.*
- r = *tiempo de reparación.*

4. Definir ΔU (variación de nivel de no disponibilidad de servicio) valor calculado por cada punto de carga (cliente).

$$\Delta U_i = \sum_j rj * \Delta\lambda j + \sum_j \lambda j * \Delta rj \quad \textbf{(2.4)}$$

DONDE:

- ΔU = *variación de no disponibilidad de servicio.*
- λ = *tasa de falla por año.*
- r = *tiempo de reparación.*
- $\Delta\lambda$ = *variación de la tasa de falla por año.*
- Δr = *variación del tiempo de reparación.*

5. Análisis de costos por unidad con nuevos valores de λ y r
6. Reevaluación de la confiabilidad del sistema utilizando los nuevos valores de los parámetros, es decir aplicando el método propuesto para la mejora de los índices

2.2 Conceptos generales.

2.2.1 Sistema de distribución

Los sistemas de distribución (SD) son los encargados del enlace entre los sistemas de transmisión y el consumidor final, cumplen el propósito de llevar energía eléctrica al instante con niveles de tensión y frecuencia aptas y admisibles para su consumo, el suministro eléctrico que llega al cliente debe tener una forma de onda sinusoidal pura, no debe tener perturbaciones y debe cumplir con normativas establecidas (Hernández Panesso, 2013), representan las 2/3 partes de inversión total un sistema eléctrico de potencia motivo por el cual implica mayor atención en estudios de confiabilidad (Castaño, 2004). En base a la característica de la carga que maneja, la cantidad o volumen de energía que transportan y a la fiabilidad que debe presentar los sistemas de distribución se clasifican de la siguiente manera:

- **SD Industrial:** está destinado a consumidores que generalmente reciben el suministro de energía en alta tensión, y en algunos casos cuentan con generación propia para ayudar a la gran demanda que requieren sus procesos industriales.
- **SD comercial:** tienen como objetivo proveer de energía eléctrica al sector comercial que generalmente se encuentran concentrados en sectores específicos de una ciudad.
- **SD urbano:** alimentan de energía eléctrica a grandes sectores urbanos con gran demanda de consumo pero que la densidad de carga es pequeña, es decir está

suministrando de energía a muchos clientes pero que tienen consumos pequeños, sin embargo, se requiere una adecuada utilización de los equipos y un correcto dimensionamiento de los mismos.

- **SD rural:** suministran de energía eléctrica a cargas o clientes que se encuentra en sectores alejados, por lo general no tienen mucha densidad de carga, pero requieren la utilización de gran cantidad de elementos eléctricos por las distancias, estos proyectos requieren gran inversión de capital.

Según el tipo de construcción los sistemas de distribución se clasifican de la siguiente manera:

- **SD aéreo:** los conductores eléctricos están sostenidos en estructuras debidamente homologadas, los conductores utilizados son de aluminio con alma de acero, su dimensión depende de la potencia a transportar, usualmente los conductores están desnudos, debido a su construcción presenta algunas ventajas:
  - La ubicación y restauración de fallas es más rápida
  - El costo de construcción inicial es más bajo en referencia a otros tipos de SD.
  - La realización del mantenimiento preventivo es más fácil.
  - Maneja plazos cortos para su construcción.

Este tipo de SD de distribución presenta una desventaja principal debido a su forma de construcción está expuesto a fallas y por consiguiente a ausencia de suministro eléctrico, ya que ser afectado por una falla técnica es muy fácil, o a pérdidas de energía por calidad de líneas u otros aspectos resulta común.

- **SD subterráneos:** generalmente usados en lugares con limitantes para la construcción de SD aéreos como: centros urbanos, urbanizaciones, o por razones de seguridad, los sistemas de distribución subterráneo ayudan estéticamente a una ciudad además de presentar mayor seguridad, a continuación, se presenta las principales ventajas:
  - presentan mayor confiabilidad, aunque su reparación toma más tiempo

- mayor seguridad para los transeúntes de una ciudad
- no están expuesto a fallas de agentes exteriores

La desventaja principal de los sistemas de distribución subterránea es su alto costo de inversión, ya que generalmente requiere mayor obra civil como ductos, cabinas de revisión, un aspecto importante es que utilizan un tipo de conductor especial generalmente de cobre, además la ubicación de una contingencia o falla resulta más complejo.

Los SD se dividen en tres componentes principales (VIAKON, 2011):

- Subestaciones de distribución.
- Distribución primaria.
- Distribución secundaria.

2.2.2 Subestaciones.

Una subestación eléctrica tiene la función de transformar la energía a niveles requeridos tanto como para su transmisión y distribución, representa un nodo físico de un sistema eléctrico de potencia pues es el encargado de unir la generación con la transmisión y de igual manera la transmisión con la distribución de energía eléctrica (Gomez Tapia & Vargas Torres, 2011), es decir cumplen la función de modificar los parámetros de tensión y corriente sea estos de elevación o reducción además sirven como puntos de interconexión y según (Mar Perez & Vidal Lopez, 2011) se clasifican según función y construcción.

2.2.2.1 Clasificación de subestaciones por su función

Se clasifican en:

- **Subestaciones de transformación:** son aquellas subestaciones que cuenta con equipos de transformación maniobra y control. modifican los valores de tensión y corriente, se subdividen en:
  - **S/E Elevadoras:** mediante transformadores de potencia elevan la tensión y reducen la corriente con el objetivo de transportar la potencia a grandes distancias, generalmente estas subestaciones están ubicadas a la salida de una central de generación.

- **S/E reductoras:** mediante transformadores de potencia reducen el voltaje y elevan la corriente a valores admisibles para su distribución y comercialización, pueden transportar la potencia a distancias medias.

- **Subestaciones de seccionamiento o maniobra:** cuentan con equipos de protección, maniobra y en ocasiones con equipos de control, que sirven para la conexión y desconexión de circuitos, este tipo de subestaciones no tienen transformador, no modifican los valores de tensión y corriente, su función principal es la interconexión y derivación de líneas, además sirven para la conexión y reconexión de equipos de compensación reactiva y capacitiva.

2.2.2.2 Clasificación de subestaciones por su ubicación en el sistema eléctrico.

De acuerdo en que parte del sistema eléctrico de potencia estén ubicadas se clasifican en:

- S/E elevadora
- S/E intermedia de transformación
- S/E final de transformación
- S/E transmisión
- S/E sub-transmisión
- S/E distribución

2.2.2.3 Subestaciones de distribución.

Este tipo de subestaciones son las encargadas de recibir la potencia que llega desde los sistemas de subtransmisison generalmente reciben tensiones con valores que van desde 66 kV hasta 230 kV, se encargan de reducir estas tensiones a valores admisibles para su transporte mediante los alimentadores primarios (distribución primaria), también pueden estar destinados a seccionar a otros sistema de distribución primario o clientes que requieran el suministro eléctrico a niveles de tensión primario (Cervantes Juarez, 1995) .

En la Figura 3 se muestra las partes de una subestación de distribución:

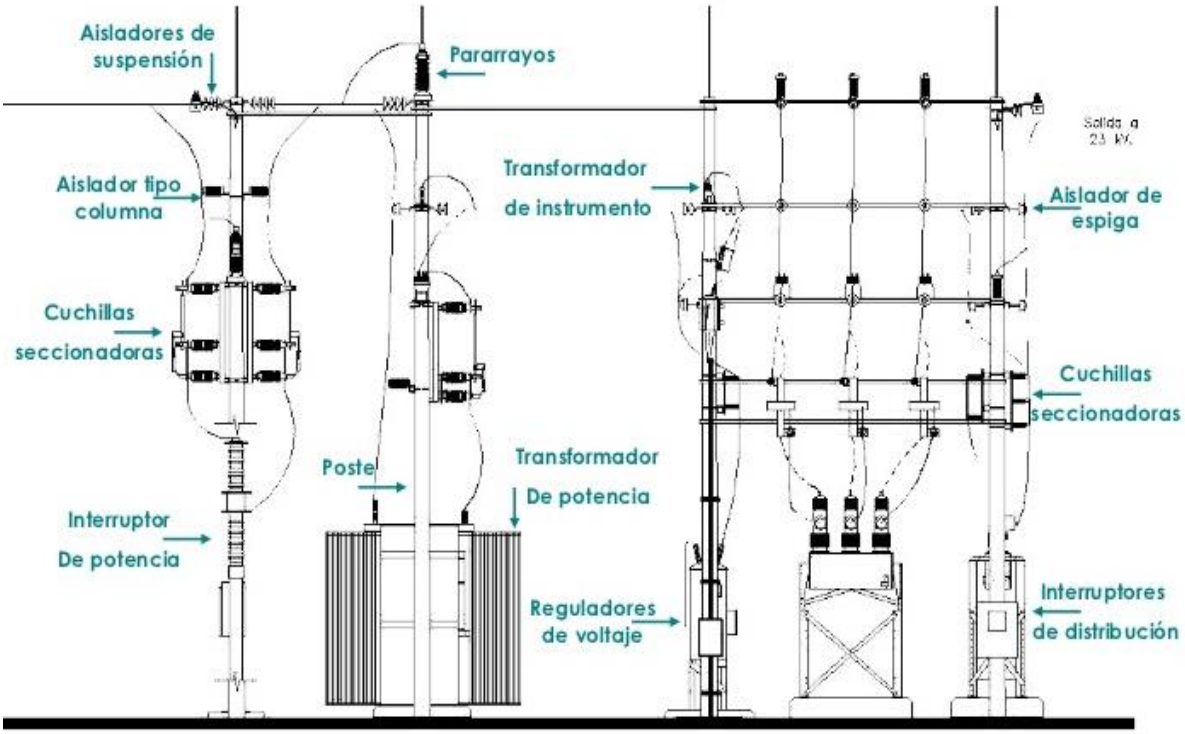


Fig. 3. Partes de una Subestación de distribución.

Fuente: http://es.slideshare.net/alejandroalonso777/distribucin-elctrica

2.2.3 Distribución primaria.

La distribución primaria está compuesto por un conjunto de redes y troncales trifásicos (Castaño, 2004). Tienen la capacidad de transportar tensiones que en el Ecuador están denominadas media tensión, dentro del sistema de distribución primaria se encuentran las redes denominadas “alimentadores primarios” que son los que alimentan a los transformadores de distribución.

2.2.4 Alimentadores primarios.

Están dentro del sistema de distribución primaria, llevan el suministro eléctrico desde las S/E de distribución hasta los transformadores de distribución, están distribuidos mediante

postes de hormigón armado en alimentadores aéreos y mediante ductos en alimentadores de tipo subterráneo y están compuestos por:

- **Troncales:** componente del alimentador primario que llevan energía eléctrica desde las subestaciones hasta los ramales de distribución, poseen gran capacidad de transporte de potencia por lo que el calibre de sus conductores debe estar correctamente dimensionado, generalmente se usa conductores ACSR con alma de acero, se usa los calibres: 336, 556 hasta 795 MCM.

- **Ramales:** parte del alimentador primario cuya función es llegar con un nivel de tensión hasta los transformadores, requieren de conductores de menor calibre, también proveen de suministro eléctrico a clientes que requieran la energía eléctrica a niveles de media tensión, (industrias, fabricas, centros comerciales).

2.2.4.1 Clasificación de los alimentadores primarios.

Los alimentadores primarios se clasifican de acuerdo a su número de hilos, la E.E.R.C.S. en su sistema de distribución también hace uso de esta clasificación que a continuación se describe según (Bautista Tonato & Solis Mora, 2013):

- **Trifásico-3 hilos:**

Este tipo de alimentadores son utilizados mayormente en zonas urbanas, dentro del SD de la EERCSA son los más utilizados debido a su bajo costo de inversión en relación a otro tipo de alimentadores, presentan algunas características relevantes ya que debido a su configuración de tres fases los transformadores que se conecten al mismo deberían tener un neutro flotante en el lado primario, además en este tipo de alimentadores la detección de fallas son más complejas ya que las corrientes de secuencia cero son menores debido a las altas impedancias que se presentan al ocurrir una falla de fase a tierra, así mismo los equipo instalados a este tipo de alimentadores deben presentar un nivel de aislamiento mayor ya que la configuración de estos alimentadores presentan la desventaja de presentar un coeficiente de aterramiento de un nivel mayor con referencia a los alimentadores trifasico-4 hilos.

- **Trifasico-4 hilos**

Este tipo de alimentadores son usados en SD urbanos, sin embargo su costo de inversión es mayor al de trifásico-3 hilos, ya que en su configuración se incorpora otro conductor (neutro), no obstante presenta algunas características relevantes pues a este tipo de alimentadores se les puede conectar los transformadores que tengan el neutro aterrizado a tierra en el lado primario, además estos alimentadores presentan la ventaja de que se puede detectar en menor tiempo una falla fase-tierra ya que las corrientes originadas (corrientes de falla) regresan por el conductor neutro, a diferencia de los alimentadores trifásico- 3 hilos estos alimentadores presentan un nivel menor de coeficiente de aterramiento debido a esto los equipos que se conecten al mismo requieren un nivel menor de aislamiento generando un costo menor.

- **Monofasico-2 hilos**

Generalmente este tipo de alimentadores son usados para alimentar transformadores monofásicos que se encuentran en zonas alejadas (rurales), o para lugares con poca densidad de carga, usualmente se derivan de alimentadores trifásicos-3 hilos y trifásicos-4 hilos es decir son extensiones de una fase más un conductor neutro.

- **Monofasico-1 hilo**

Al igual que los alimentadores monofásicos-2 hilos son proyecciones de los alimentadores trifásicos-3 hilos, alimentan transformadores de distribución monofásicos ubicaos en zonas alejadas con poca densidad de carga su costo de implementación es bajo en referencia a otros alimentadores.

2.2.4.2 Clasificación de alimentadores primarios por el tipo de red.

Los alimentadores se clasifican según sea su forma, es decir, pueden alimentar cargas que estén alrededor del mismo es decir concentrados en una área o territorio, también pueden servir a clientes que se encuentren alejados de un centro urbano , dependiendo de la densidad de carga se hará uso de cualquier tipo de configuración, a continuación se

describe los tres tipos de redes más utilizados dentro del sistema de distribución de la EERCS (Valdiviezo Regalado, 2013).

- **Red radial**

Es el tipo de red más simple, no presenta mayor confiabilidad ya que al existir una falla en la cabecera la ausencia de suministro eléctrico será en todos los usuarios conectados a este alimentador, por su constitución resulta ser el más económico, se la denomina radial porque según su configuración salen de una subestación de distribución y termina en una carga , sin cerrar el circuito con otra subestación, generalmente es utilizada para proveer de energía a usuarios que estén ubicados en zonas alejadas (zonas rurales).

- **Red anillo**

Es un tipo de red más complejo, representa calidad, confiabilidad y garantiza mayormente la continuidad de servicio eléctrico, en esta configuración se interconectan varias subestaciones de distribución debido a esto la confiabilidad de este tipo de sistemas tienen mayor nivel ya que al ocurrir una contingencia en una línea esta puede salir de servicio sin embargo el alimentador puede ser suministrado por otra línea ya misma que vendrá de otra subestación, por la interconexión de las subestaciones de distribución se denomina anillo, es muy utilizado en zonas urbanas.

- **Red Mallada**

Este tipo de red es el más confiable, se constituye de redes tipo radial y anillo, se crean de este tipo de sistemas ya que muchas veces la demanda en una zona crece y los sistemas de tipo radial y anillo no están diseñados para soportar esta densidad de carga, es decir son mejoras que se realizan a estos sistemas por consiguiente la maniobra y el control es más complejo.

2.2.5 Distribución secundaria.

El sistema de redes secundarias son las encargadas de conectar desde un trasformador de distribución sea este trifásico o monofásico hasta las acometidas, tienen niveles de tensión denominados de baja tensión, valores que son requeridos para el consumo de los clientes,

se debe cumplir normas de calidad y confiabilidad, comúnmente la red de distribución secundaria tiene forma radial.

El sistema de distribución secundario se clasifica de acuerdo al número de conductores por el cual está compuesto el circuito, y se clasifican en (Granda Vázquez, 2013):

- Monofásico 2-hilos
- Monofásico 3-hilos
- Trifásico 4-hilos

2.2.6 Tipos de falla

2.2.6.1 Cortocircuitos en las redes de distribución.

- **Corrientes de cortocircuito.**

Los cortocircuitos son aquellas corrientes que circulan en un circuito o un sistema eléctrico cuando hay el choque de 2 o más líneas sometidas a diferentes potenciales, como el que ocurre en un cortocircuito trifásico o monofásico en el cual existe el choque entre una fase y tierra, la causa de esta falla es debido a la perdida de aislamiento entre los conductores.

En la actualidad los cortocircuitos que se dan en las redes de distribución eléctrica producen pérdidas de energía y afectan a la demanda energética además reducen significativamente los índices de calidad, los cortocircuitos se dan debido a distintos orígenes (Mujal Rosas, 2002):

1) Cruzamiento o choque de conductores: debido a la influencia de fuertes vientos.
2) Fallas mecánicas: el rompimiento de conductores o aisladores puede ser por animales, caída de árboles, ramas en redes aéreas.
3) Problemas geológicos: deslaves que se dan en áreas donde encuentran distribuidos los postes que llevan las líneas conductoras.
4) Sobretensiones: descargas atmosféricas en la red.
5) Otros: malas maniobras en la red, incendios, vandalismo, etc.

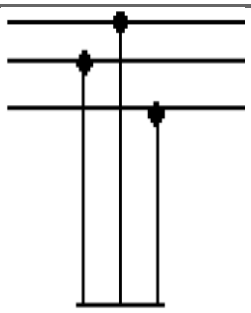
2.2.6.2 Tipos de cortocircuitos

En el sistema de distribución las fallas más frecuentes son cinco.

- **Cortocircuito trifásico**

La causa por la cual se produce esta falla se da cuando en el sistema trifásico hay la unión de las tres líneas por accidente, se sabe que estos cortocircuitos son los únicos que tienden a comportarse como sistemas equilibrados, debido a que las fases se ven afectadas todas por igual.

Tabla 2. Características de una falla trifásica.

Tipo de falla	Conexión	Tipo	Frecuencia de ocurrencia
Trifásica aislada		Simétrica	1%

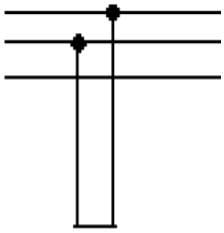
Fuente: (Mujal Rosas, 2002)

- **Cortocircuito bifásico sin contacto a tierra.**

Este tipo de fallas eléctricas se dan cuando hay un contacto o choque entre dos fases, por lo general estos cortocircuitos se dan en menor cantidad a comparación que las fallas trifásicas, sin embargo, este tipo de fallas pueden provocar un daño mayor que los cortocircuitos trifásicos ya que al existir el choque entre dos fases sin un contacto a tierra la corriente de cortocircuito no tiene vías de descarga provocando daños mayores a equipos.

En la siguiente tabla podemos observar las características de este tipo de cortocircuitos.

Tabla 3. Características de una falla bifásica sin contacto a tierra.

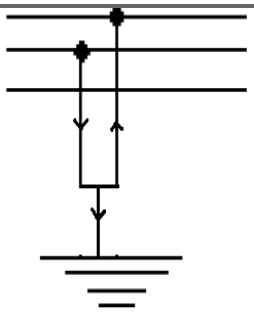
Tipo de falla	Conexión	Tipo	Frecuencia de ocurrencia
Bifásica aislada		Asimétrica	15%

Fuente: (Mujal Rosas, 2002)

- **Cortocircuito bifásico con contacto a tierra.**

Contiene iguales características que el cortocircuito sin contacto a tierra, se dan por la unión accidental de dos conductores a tierra y las pérdidas se descargan mediante el conductor tierra.

Tabla 4. Características de una falla bifásica con contacto a tierra.

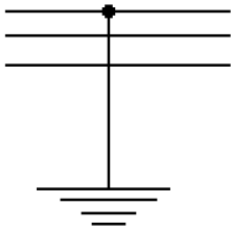
Tipo de falla	Conexión	Tipo	Frecuencia de ocurrencia
Bifásica a tierra		Asimétrica	6%

Fuente: (Mujal Rosas, 2002)

- **Cortocircuito monofásico a tierra.**

Es la falla más común y se produce hasta un 80% de veces más que los demás tipos de cortocircuitos.

Tabla 5. Características de una falla bifásica con contacto a tierra.

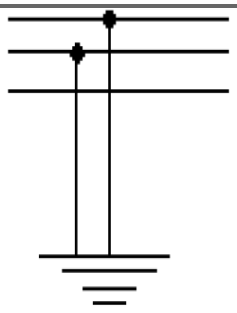
Tipo de falla	Conexión	Tipo	Frecuencia de ocurrencia
Monofásica		Asimétrica	75%

Fuente: (Mujal Rosas, 2002)

- **Cortocircuito con doble contacto a tierra.**

Este tipo de contacto al tener neutro aislado o un puesto a tierra se dan impedancias de gran valor ocasiona la aparición del doble contacto a tierra. Las corrientes de cortocircuito son menores al de los demás tipos fallas.

Tabla 6. Características de una falla con doble contacto a tierra.

Tipo de falla	Conexión	Tipo	Frecuencia de ocurrencia
Bifásica a tierra		Asimétrica	75%

Fuente: (Mujal Rosas, 2002)

2.2.7 Índices de calidad

En el Ecuador la comercialización y distribución de energía eléctrica es realizado por las denominadas “empresas eléctricas”, cuyo objetivo es llegar con el suministro eléctrico hasta donde el cliente lo requiera cumpliendo requerimientos técnicos de calidad, continuidad y confiabilidad del producto.

Para garantizar que el servicio de energía eléctrica llegue hasta el consumidor final con un nivel de calidad aceptable existen entidades encargadas de velar que se cumpla normativas nacionales e internacionales de índices de calidad.

Los índices de calidad tienen el objetivo de mostrarnos cuan confiable es un sistema de distribución eléctrica, los índices de confiabilidad básicos son: la tasa de falla que se define como la cantidad de veces que ocurre una falla eléctrica en un elemento del sistema de distribución durante un determinado periodo de análisis, otro índice de confiabilidad es el tiempo de reparación, que hace referencia al tiempo que la empresa distribuidora se tarda en restablecer el suministro eléctrico y regresar el sistema a las condiciones de funcionamiento anteriores a las de la falla (Loaiza Zaruma & Villamarín Blacio, 2012) (Mass Arriagada, 1994).

2.2.7.1 Calidad del servicio eléctrico

El servicio eléctrico será de buena calidad siempre que cumpla niveles aceptables de calidad y que la empresa eléctrica distribuidora garantice la confiabilidad y sobre todo el continuo servicio eléctrico, es decir la falta de interrupciones o fallas eléctricas determinaran la calidad del mismo (Cume Ortiz & Chiriboga Vasconez, 2003), sin embargo un sistema de distribución en general está expuesto continuamente a factores que impiden que se cumpla las normativas, no obstante la rapidez para afrontar este tipo de contingencias hará que el sistema garantice la continuidad del suministro eléctrico, y por ende el nivel de confiabilidad.

2.2.7.2 Regulación nacional CONELEC 004-01.

En el Ecuador el ente encargado de velar por el cumplimiento de las normas de calidad es el ARCONEL, (Agencia de Regulación y Control de Electricidad), además de ser el encargado de crear los reglamentos que establezcan los límites y demás aspectos que

garanticen la calidad de energía, quizá la norma más importante con la que cuenta el Ecuador dentro de los aspectos de calidad es la REGULACION CONELEC 004-01.

El 23 de mayo del 2001 el CONELEC puso en vigor la REGULACION 004-01, la misma que tiene como título “Calidad de servicio eléctrico de distribución” la misma que además de velar por la calidad en los sistemas de distribución establece la reglamentación técnica y evaluaciones a las que deben someterse la empresas distribuidoras, para ello la regulación establece tres aspecto importantes (Pinos Quintanilla, 2010):

- **Calidad de servicio técnico.**

La regulación es clara al establecer los parámetros a ser tomados en cuenta para calificar la calidad del servicio técnico: nivel de voltaje, perturbaciones del voltaje y factor de potencia, es decir cumpliendo con los límites admisibles de los parámetros antes mencionados se garantizaría la calidad de servicio técnico prestado por una empresa distribuidora.

- **Calidad del producto.**

Quizá uno de los aspectos más importantes de la regulación es garantizar la calidad del producto que llega al consumidor final, para ello la regulación establece dos parámetros a calificar: frecuencia de interrupciones y duración las interrupciones, no obstante el cumplir con los niveles aceptados por la regulación resulta complicado pues existen varios factores que influyen en el cumplimiento de los parámetros antes mencionados, las interrupciones pueden afectar gravemente la calidad y confiabilidad de un sistema de distribución, motivo por el cual revisar la clasificación de las interrupciones es importante, en el capítulo siguiente se lo analiza.

- **Calidad de servicio comercial.**

El servicio prestado por las empresas distribuidoras al cliente es importante, para la revisión de este parámetro se toma en cuenta los siguientes aspectos: atención de solicitudes, atención de los reclamos y los errores en facturación y medición, sin embargo, este aspecto

puede no afectar en gran magnitud a la confiabilidad del suministro eléctrico, pero la atención que se brinde al cliente también es importante.

2.2.7.3 Clasificación de las interrupciones en sistemas de distribución.

Dentro de esta investigación se busca mejorar la confiabilidad y calidad del servicio eléctrico mejorando los índices de la frecuencia de interrupciones y de manera específica la restauración rápida de una interrupción presentada por una falla eléctrica de cualquier tipo analizada en el capítulo anterior. Conocer la naturaleza de las interrupciones ayudara a buscar mejores soluciones para la reducción de las mismas.

Una interrupción es la ausencia de energía eléctrica por un tiempo corto o largo, es decir afecta directamente a la continuidad del suministro eléctrico, provocando pérdidas económicas a los consumidores.

Según la REGULACION 004-01 (ARCONEL, 2001) en referencia a la calidad del suministro eléctrico dice que se consideran interrupciones aquellas que tengan una duración mayor a tres minutos es decir aquellas ausencias provocadas por una falla en las que el suministro eléctrico se restaure en un tiempo menor a tres minutos no se toma como interrupción y no afectara a los índices de confiabilidad, además establece que la ausencia de energía eléctrica que se presenten dentro de un domicilio no será considerada interrupción a no ser que afecte a otros clientes. Establece también que las interrupciones provocadas por racionamientos y ausencia general del servicio eléctrico no se toman en cuenta para evaluar la confiabilidad del SD pero que si registra como interrupciones a diferencia de las ausencias del servicio eléctrico provocado por la empresa que si serán registradas y tomadas en cuenta para la evaluación de confiabilidad aplicado al SD perteneciente a la empresa distribuidora.

Las interrupciones se pueden clasificar de la siguiente manera (Pinos Quintanilla, 2010) (ARCONEL, 2001):

a) Por el tiempo de duración.

Según el tiempo de duración se agrupan en:

- **Momentáneas:** cuando el tiempo de ausencia de energía eléctrica es menor o igual a tres minutos.
- **Largas:** cuando la ausencia de la energía eléctrica supera los tres minutos, se subdividen en:

- *Temporales:* cuando la restauración del suministro se la realiza entre 30 minutos y 2 horas
- *Permanentes:* cuando se reemplaza o cambia un elemento.

b) Por el tipo de origen.

Se subdividen en:

- **Externas al SD:** Cuando la ausencia de energía eléctrica es provocada por agentes ajenos al sistema de distribución, se reagrupan de la siguiente manera:

- *Otro distribuidor:* cuando es provocada por otra empresa distribuidora.
- *Generadoras:* cuando la ausencia de energía eléctrica se da por una falla provocada en una central generadora, no obstante, la salida de esta central no afecta la frecuencia del sistema.
- *Transmisoras:* cuando existe alguna falla en los elementos de sistema de transmisión.
- *Restricción de carga:* cuando por razones técnicas se limita el suministro eléctrico a sectores estratégicos, ejemplo la poca generación en una central por razones climáticas (razonamientos).
- *Baja frecuencia:* cuando ocurre una falla en una central de generación la cual implica que la salida de esta generadora del sistema represente una baja frecuencia al sistema eléctrico de potencia.
- *Otros:* cuando la causa se da por aspectos que no estén considerados en los ítems antes mencionados, cuando la falla no deja evidencia del factor que la provoca.

- **Internas al SD:** cuando la ausencia de energía eléctrica es provocada por elementos pertenecientes al mismo sistema de distribución, se reagrupan de la siguiente manera.

- *Programadas: la* empresa distribuidora puede comunicar a sus clientes cuando va a ocurrir la ausencia de energía eléctrica.
- *No programadas:* son ausencias de tipo imprevisto por lo que la empresa distribuidora no podrá comunicar a los clientes.

c) Por el tipo de causa.

Se clasifica de la siguiente manera:

- **Programadas:**
  - *Mantenimiento:* las interrupciones por mantenimiento ocurren cuando la empresa requiere dar mantenimiento a algún elemento del SD, generalmente se puede comunicar a los clientes afectados con anticipación.
  - *Maniobra:* ocurre cuando la empresa distribuidora requiere realizar alguna maniobra técnica, puede ser la transferencia de un alimentador a otra troncal o la entrada de nuevos alimentadores.
  - *Ampliaciones:* cuando el SD requiere ser ampliado por el aumento de la carga, es decir cuando se requiere dar servicio a nuevos clientes, se puede notificar con anterioridad a los clientes.
  - *Otros:* cuando el motivo de la interrupción no está descrito en los anteriores ítems, sin embargo, por estos motivos de interrupción también se puede notificar a los clientes.
- **No programadas:**
  - *Factor Climático:* este tipo de interrupciones son causadas por factores climáticos como descargas atmosféricas que afecten las redes de distribución o transmisión, pueden existir muchos factores climáticos que causen interrupciones de este tipo.

- *Factor Ambiental:* ocurre cuando los motivos de la interrupción son de tipo ambiental, como caída de árboles, animales que choquen las líneas provocando cortocircuitos etc.
- *Terceros:* cuando la interrupción ocurre por factores que no estén mencionados en los dos aspectos anteriores.
- *Red de alto voltaje:* la interrupción se origina por cualquier factor antes mencionado, pero solamente afecta a la red de alto voltaje, puede dejar sin suministro eléctrico a un gran número de clientes o en ocasiones a toda una ciudad, la probabilidad de que ocurra una falla es poca debido al monitoreo constante que se tiene de este tipo de redes.
- *Red de medio voltaje:* la interrupción se origina por cualquier factor antes mencionado climático, ambiental o terceros pero que solamente afecta a las redes de media tensión, generalmente deja sin energía eléctrica a un gran número de clientes, pero no a toda una ciudad, la probabilidad de que ocurra una falla es alta debido a que está más expuesto a cualquier factor causante de interrupciones.
- *Red de bajo voltaje:* la causa de la interrupción ocurre en las redes de baja tensión, el número de clientes afectados es inferior que en los dos casos anteriores.

d) Por el voltaje nominal.

Se clasifican de la siguiente manera:

- **Bajo voltaje:** la causa de la interrupción ocurre a niveles de tensión bajo, es decir en redes secundarias en donde los valores van desde los 110 hasta los 440 voltios.
- **Medio voltaje:** la causa de la interrupción ocurre a niveles de media tensión, generalmente en alimentadores primarios.
- **Alto voltaje:** la causa de la interrupción es generada por los factores antes mencionados en las redes de alta tensión generalmente en los sistemas de transmisión.

2.2.8 Parámetros de confiabilidad (tiempos de interrupción).

Los parámetros de confiabilidad son los aspectos a tomar en cuenta para evaluar la confiabilidad de un sistema de distribución, comúnmente hacen referencia a los tiempos de interrupción y la frecuencia con la que ocurren las mismas.

Mediante los parámetros de confiabilidad se puede determinar los tiempos desde que ocurre la interrupción hasta su restauración y otros aspectos más que a continuación se describen (Chusin Cayo & Escobar Guanoluisa, 2015):

- **Transcurso de tiempo del reconocimiento de falla: (Tc)**

Es el lapso de tiempo entre el acontecimiento de la falla hasta que los técnicos tienen conocimiento de la misma.

- **Transcurso de tiempo en preparación: (Tp)**

El tiempo que toma alistar los materiales necesarios para determinar el lugar de la falla que ocasiono la interrupción.

- **Transcurso de tiempo en localización: (Ti)**

El tiempo que toma llegar al lugar de la falla y comenzar trabajos y pruebas para determinar el lugar específico de la falla.

- **Transcurso de tiempo para maniobra de transferencia: (Tt)**

Es el lapso de tiempo que toma realizar los trabajos necesarios para restablecer el suministro a tramos que sea posible.

- **Transcurso de tiempo en reparación: (Tr)**

Es el lapso de tiempo que toma restablecer el servicio, mediante reparación de equipos o reemplazo de los mismos.

- **Transcurso de tiempo para la configuración normal de la red: (Tv)**

Es el lapso de tiempo que toma en restablecer la configuración normal de la red. Sea esta radial, anillo o mallada.

Para poder determinar la falla que ocasione una interrupción se debe primeramente recibir las notificaciones de la ocurrencia de la misma, luego proceder a determinar la zona del acontecimiento, seguidamente llegar al lugar y determinar el problema para posteriormente determinar el procedimiento a seguir con el objetivo de restablecer el suministro eléctrico, a continuación, se determina los pasos importantes a tomar cuando ocurra una falla eléctrica.

2.2.9 Índices de calidad de manera individual según el usuario.

Son indicadores de calidad que miden la calidad de servicio que reciben los clientes de manera individual, es decir se mide el número de interrupciones y la frecuencia con la que ha sufrido interrupciones por un periodo de tiempo establecido para el análisis sea este un año o más pero el estudio se lo realiza a los consumidores de manera individual.

Para evaluar la calidad de servicio que recibió un cliente se toma en cuenta los siguientes indicadores de calidad:

- Número de interrupciones.
- Duración media de interrupciones.
- Duración total de interrupciones.
- Energía no suministrada.

2.2.10 Índices de calidad a nivel de un sistema de distribución.

También denominados índices de confiabilidad, determinan la calidad de un sistema de distribución, es decir sirve para valorar cuan confiable y los niveles de garantía que presenta un SD.

Para cuantificar la calidad o confiabilidad de un sistema de distribución existen índices que se clasifican de acuerdo a la potencia, consumidores y energía que presta un SD, a continuación, se muestra la clasificación:

Indicadores en base a potencia (Baquero Campaña, 2013)

- **ASIFI** (AVERAGE SYSTEM INTERRUPTION FREQUENCY INDEX): su cálculo se basa en la carga instalada, es la relación entre la densidad de carga conectada que sufrió la interrupción y el número total de carga o potencia conectada la red.

$$\boldsymbol{ASIFI} = \frac{\text{POTENCIA CONECTADA INTERRUMPIDA (KVA)}}{\textit{POTENCIA TOTAL CONECTADA (KVA)}} \qquad \textbf{(2.5)}$$

- **ASIDI** (AVERAGE SYSTEM INTERRUPTION DURATION INDEX): su cálculo se basa en la potencia instalada, es la relación entre la densidad de carga conectada que sufrió la interrupción y el número total de carga o potencia conectada a la red expresada en horas.

$$\boldsymbol{ASIDI} = \frac{\text{POTENCIA CONECTADA INTERRUMPIDA (KVA)} * \text{horas interrumpidas}}{\text{POTENCIA TOTAL CONECTADA (KVA)}} \qquad \textbf{(2.6)}$$

- **NIEPI** (NÚMERO DE INTERRUPCIONES EQUIVALENTE DE LA POTENCIA INSTALADA): su cálculo se basa en la potencia instalada a niveles de media tensión, similar al índice ASIFI, con la diferencia que este indicador se basa en potencia conectada mientras que el NIEPI se basa en la potencia instalada expresado por número de interrupciones.

$$\boldsymbol{NIEPI} = \frac{\text{POTENCIA INSTALADA INTERRUMPIDA (KVA)}}{\text{POTENCIA TOTAL INSTALADA (KVA)}} \approx \textit{ASIFI} \qquad \textbf{(2.7)}$$

- **TIEPI** (TIEMPO DE INTERRUPCIÓN EQUIVALENTE DE LA POTENCIA INSTALADA): su cálculo se basa en la potencia instalada a niveles de media tensión, similar al índice ASIDI, con la diferencia que este indicador se basa en potencia conectada mientras que el NIEPI se basa en la potencia instalada expresado por horas.

$$\boldsymbol{TIEPI} = \frac{\text{POTENCIA INSTALADA INTERRUMPIDA (KVA)} * \textit{horas interrumpidas}}{\text{POTENCIA TOTAL INSTALADA (KVA)}} \approx \textit{ASIDI} \qquad \textbf{(2.8)}$$

- **TIEPED** (TIEMPO DE INTERRUPCIÓN EQUIVALENTE DE LA POTENCIA DEMANDADA): este índice hace referencia al tiempo que una carga de una zona determinada está sin suministro eléctrico y es expresado en minutos, se lo puede aplicar a niveles de medio y alto voltaje.

$$\boldsymbol{TIEPED} = \frac{\text{POTENCIA DEMANDADA INTERRUMPIDA (KVA)} * \text{minutos interrumpidos}}{\text{POTENCIA TOTAL DEMANDADA (KVA)}} \qquad \textbf{(2.9)}$$

Indicadores en base a consumidores (Baquero Campaña, 2013)

- **SAIFI** (SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION FRECUENCY INDEX): representa el promedio de interrupciones que ha sufrido un cliente en un periodo de análisis, aplicable a los niveles de bajo y medio voltaje, se lo expresa en número de interrupciones por año.

$$\boldsymbol{SAIFI} = \frac{\text{SUMA TOTAL DE INTERRUPCIONES POR CONSUMIDOR}}{\text{NUMERO TOTAL DE CONSUMIDORES}} \qquad \textbf{(2.10)}$$

$$\boldsymbol{SAIFI} = \frac{\sum \lambda i Ni}{\sum Ni} \qquad \textbf{(2.11)}$$

DONDE:

- λi = *tasa de falla en el punto de carga i.*
- Ni = *número de consumidores en el punto de carga i.*

- **SAIDI** (SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION DURATION INDEX): representa el promedio de tiempo que un cliente permaneció sin suministro eléctrico,

generalmente el tiempo de análisis es un año, aplicable a los niveles de bajo y medio voltaje, se lo expresa en unidades de tiempo (horas o minutos por año/ cliente).

$$\boldsymbol{SAIDI} = \frac{DURACION\ DE\ LAS\ INTERRUPCIONES\ \ DE\ LOS\ CONSUMIDORES}{\text{NUMERO TOTAL DE CONSUMIDORES}} \quad \textbf{(2.12)}$$

$$\boldsymbol{SAIDI} = \frac{\sum UiNi}{\sum Ni} \quad \textbf{(2.13)}$$

DONDE:

- Ui = *tiempo de interrupción anual en el punto de carga i.*
- Ni = *número de consumidores en el punto de carga i.*

- **ASAI** (AVERAGE SERVICE AVAILABILITY INDEX): representa la disponibilidad de un sistema de distribución en horas, su equivalencia también puede ser el resultado de la diferencia de 1 y de dividir el índice SAIDI para el número total de horas en un año, se lo expresa en tanto por uno.

$$\boldsymbol{ASAI} = \frac{\text{SUMA DE LAS INTERRUPCIONES A CONSUMIDORES}}{\text{NUMERO TOTAL DE HORAS DEMANDADAS}} = 1 - \frac{SAIDI}{8760} \quad \textbf{(2.14)}$$

- **CAIFI** (CUSTOMER AVERAGE INTERRUPTION FRECUENCY INDEX): representa la frecuencia con la que los clientes de una red han sufrido interrupciones, generalmente por un periodo de un año.

$$\boldsymbol{CAIFI} = \frac{\text{NUMERO TOTLA DE INTERRUPCIONES A LOS CLIENTES}}{\text{NUEMRO TOTAL DE CLIENTES AFECTADOS}} \quad \textbf{(2.15)}$$

$$CAIFI = \frac{\sum \lambda iNi}{\sum (USUARIOS\ AFECTADOS)} \quad \textbf{(2.16)}$$

DONDE:

- $\lambda i =$ *tasa de falla en el punto de carga i.*
- $Ni =$ *número de consumidores en el punto de carga i.*

- **CAIDI** (CUSTOMER AVERAGE INTERRUPTION DURATION INDEX): representa el promedio de tiempo que dura una interrupción a un cliente, también es el resultado de dividir los índices SAIDI para el SAIFI, se lo expresa en horas.

$$\boldsymbol{CAIDI} = \frac{\sum DURAIONES\ DE\ INTERRUPCIONES\ A\ LOS\ CONSUMIDORES}{NUMERO\ TOTAL\ DE\ CONSUMIDORES} \quad \textbf{(2.17)}$$

$$\boldsymbol{CAIDI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \quad \textbf{(2.18)}$$

Indicadores en base a energía (Pinos Quintanilla, 2010)

- **ENS** (ENERGY NOT SUPPLIED): ENERGIA NO SUMINISTRADA, representa la sumatoria de tota la energía que no se suministra cuando ocurre una interrupción en un periodo de análisis, se lo expresa en kWh.

$$\boldsymbol{ENS} = \sum ENERGIAS\ NO\ SUMNISTRADAS\ EN\ TODAS\ LAS\ INTERRUPCIONES \quad \textbf{(2.19)}$$

$$\boldsymbol{ENS} = \sum_{I=1}^{n} \boldsymbol{Li} * \boldsymbol{Ui} \quad \textbf{(2.20)}$$

DONDE:

- $Ui =$ *tiempo de interrupción anual en el punto de carga i.*
- $Li =$ *demanda en el punto de carga i.*

- **ASCI** (AVERAGE SYSTEM CUARTAILMENT INDEX): es el promedio de energía que no fue entregada a los clientes debido a una interrupción, se lo expresa en kWh.
-

$$\boldsymbol{ASCI} = \frac{\sum ENERGIAS\ NO\ SUMINISTRADAS\ EN\ TODAS\ LAS\ INTERRUPCIONES}{\text{NUMERO TOTAL DE CONSUMIDORES}} \quad \textbf{(2.21)}$$

- **ACCI** (AVERAGE CUSTOMER CUARTAILMENT INDEX): promedio de energía no suministrada por parte del sistema de distribución, se lo expresa en kWh.

$$\boldsymbol{ACCI} = \frac{\sum ENERGIAS\ NO\ SUMINISTRADAS\ EN\ TODAS\ LAS\ INTERRUPCIONES}{\text{NUMERO TOTAL DE CONSUMIDORES AFECTADOS}} \quad \textbf{(2.22)}$$

Estos índices son los más utilizados para cuantificar la calidad de un sistema de distribución, dependiendo de los valores que se quiera resaltar se utilizaran los índices adecuados anteriormente descritos.

2.2.11 Índices de calidad individual utilizados en el Ecuador

Los índices para valorar la calidad del servicio eléctrico emitidos por el CONELEC en la REGULACION 004-01 en la que se hace referencia a la frecuencia de interrupciones así también al tiempo de duración, se describen a continuación (ARCONEL, 2001):

- **FAIc** (FRECUENCIA DE INTERRUPCIONES POR NUMERO DE CONSUMIDORES): hace referencia a cuantas interrupciones a estado sujeto el cliente “c” en un tiempo determinado de análisis, de acuerdo a la regulación se toma solamente aquellas interrupciones que tengan una duración mayor a tres minutos.

$$\boldsymbol{FAIc} = Nc \quad \textbf{(2.23)}$$

DONDE:

- Nc = *suma de todas las interrupciones mayores a 3 minutos.*

- **DAIc** (DURACION DE LAS INTERRUPCIONES POR CONSUMIDOR): hace referencia a la sumatoria de las duraciones de cada interrupción que afecto al cliente "c".

$$\boldsymbol{DAIc} = \sum_i (Ki * dic) \quad \textbf{(2.24)}$$

DONDE:

- dic = *tiempo que duro la interrupción "i" que afecto al cliente "c".*
- Ki = *factor de ponderación dependiendo el tipo de interrupción.*
  - *Ki = 1.0 para tipo de interrupciones no programadas.*
  - *Ki = 1.5 para tipo de interrupciones programadas cuando la empresa distribuidora comunico a los clientes 48 horas antes.*

En la regulación antes mencionada se establece los niveles admisibles que debe mantener una empresa distribuidora al ser evaluada de los índices FAIc y DAIc, al no cumplir con estos niveles permitidos se podría decir que la calidad que ofrece una empresa distribuidora "x" no es buena, sin embargo, investigaciones como estas permiten explorar nuevos métodos para mejorar los índices que no se cumplen, a continuación, se en la tabla 7 se muestra los niveles permitidos por la regulación.

Tabla 7. Límites establecidos en la regulación CONELEC 004-01.

Índices	Limite. FAIc	Limite. DAIc
Consumidores AV	6.0	4.0
Consumidores MV urbanos	8.0	12.0
Consumidores MV rurales	10.0	24.0
Consumidores BV urbanos	10.0	16.0
Consumidores BV rurales	12.0	36.0

Fuente: (ARCONEL, 2001)

2.2.12 Índices de calidad globales utilizados en el Ecuador

Dentro de la regulación CONELEC 004-01 los limites dispuesto a ser aplicados anualmente al sistema de distribución en general (Rd) para alimentadores primarios que tengan un nivel de media tensión (Aj), están dispuestos por la subetapa 1 y se describen a continuación (ARCONEL, 2001):

- **FMIK** (FRECUENCIA MEDIA DE INTERRUPCION POR KVA NOMINAL INSTALADO): hace referencia al número de interrupciones por KVA que sufrió los consumidores en un periodo de tiempo, generalmente el lapso de tiempo de análisis es un año (Cume Ortiz & Chiriboga Vasconez, 2003):

$$\boldsymbol{FMIK}\ (\mathrm{Rd}) = \frac{\sum_i KVAfs_i}{\mathrm{KVA}_{inst}} \qquad \textbf{(2.25)}$$

$$\boldsymbol{FMIK}\ (\mathrm{Aj}) = \frac{\sum_i KVAfs_i Aj}{\mathrm{KVA}_{inst} Aj} \qquad \textbf{(2.26)}$$

- **TTIK** (TIEMPO TOTAL DE INTERRUPCION POR KVA NOMINAL INSTALADO): hace referencia al tiempo de que duro la interrupción, es decir la duración que no hubo servicio eléctrico expresado en KVA, este índice se aplica generalmente en tiempos de análisis de un año (Cume Ortiz & Chiriboga Vasconez, 2003):

$$\boldsymbol{TTIK}\ (\mathrm{Rd}) = \frac{\sum_i KVAfs_i * Tfs_i}{\mathrm{KVA}_{inst}} \qquad \textbf{(2.27)}$$

$$\boldsymbol{TTIK}\ (\mathrm{Aj}) = \frac{\sum_i KVAfs_i Aj * Tfs_i Aj}{\mathrm{KVA}_{inst} Aj} \qquad \textbf{(2.28)}$$

DONDE:

- $\sum_i$ = *suma de todas las interrupciones i con duración mayor a tres minutos.*
- $\sum_i^{Aj}$ = *suma de todas las interrupciones en el alimentador "Aj".*
- $KVAfsi$ = *cantidad de KVAs fuera de servicio durante una interrupción.*
- $KVAinst$= *cantidad de KVAs nominales instalados.*
- $Tfsi$= *tiempo de fuera de servicio en una interrupción "i".*
- Rd = *red de distribución.*
- Aj = *alimentador primario j en medio voltaje.*

Los valores permitidos por (ARCONEL, 2001) aplicables para la calidad del servicio técnico se muestran a continuación en la tabla 7:

Tabla 8. Límites FMIK y TTIK establecidos en la regulación CONELEC 004-01.

TIPO	LÍMITE FMIK	LÍMITE TTIK
Red	4.0	8.0
Alimentador urbano	5.0	10.0
Alimentador rural	6.0	18.0

Fuente: (ARCONEL, 2001)

2.2.13 Localizadores de falla

También denominados Fault Locators (FLs), son dispositivos eléctricos que se instalan en líneas de transporte de energía (Figura 4), comúnmente su instalación se realiza en alimentadores primarios, con niveles de media tensión, su función es brindar una indicación visual mediante el encendido de una luminaria o bien sea auditiva a través de una alarma que indique la presencia de una falla que afecta la continuidad del suministro eléctrico.

Fig. 4. Localizador de falla.

Fuente: https://selinc.com/es/products-section/fault-indicators-sensors/

La utilización de los localizadores de falla tiene como objetivo disminuir los tiempos para la ubicación de una falla eléctrica en redes de distribución, y por ende disminuir el tiempo para la restauración o reparación del suministro eléctrico con el propósito de mejorar la calidad del servicio eléctrico.

2.2.13.1 Funcionamiento de un localizador de falla.

La base del funcionamiento de un localizador de falla son las corrientes de falla, es decir al ocurrir una falla eléctrica en las redes eléctricas se genera corrientes (corrientes de inducción) que atravesaran el dispositivo de localización activándolo, para indicar que ha ocurrido una falla el elemento mostrara una luminaria encendida (Morales, Icaza, Flores, & Conce, 2016).

El funcionamiento de un localizador de falla de describe a continuación:

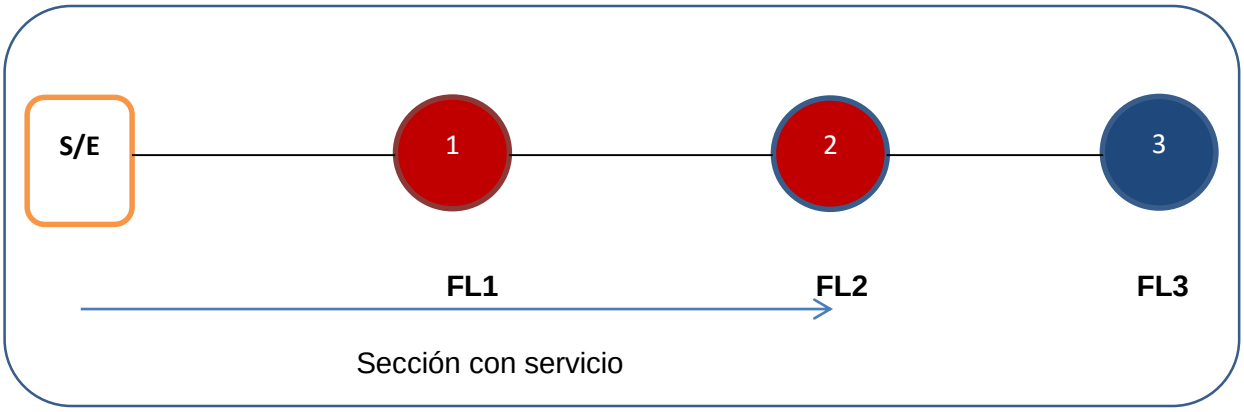


Fig. 5. Funcionamiento de un localizador de falla.

Fuente: propia

Al existir una falla eléctrica entre la subestación de distribución y el localizador 1 los interruptores de potencia actuaran como detectores de falla, se puede decir que todos los clientes del alimentador quedaran sin suministro eléctrico, de la misma manera si la falla ocurriera entre FL1 y FL2 se activaran estos dispositivos y podemos determinar que la falla se encuentra en esta sección del alimentador, y si la falla se encuentra ubicada entre FL2 y FL3 como se muestra en la figura 5 la sección del alimentador ubicada después de FL2 quedara sin suministro eléctrico.

2.2.13.2 Tipos de localizadores de falla.

Los localizadores de falla se clasifican en:

- **FLs sin comunicación.**

Los localizadores sin comunicación son aquellos que solamente se conectan en los conductores de un alimentador primario y que al ocurrir una falla eléctrica simplemente activan una luminaria indicadora o activan una alarma sonora, cualquiera de los dos indicadores darán a entender que en esa sección del alimentador se encuentra la falla, no obstante dentro de la empresa distribuidora la cuadrilla encargada de esta área recibirá la notificación de la falta de suministro y deberán recorrer el alimentador hasta encontrar que FLs este activado para posteriormente ubicar exactamente la falla, sin embargo se puede

decir que los tiempos que se tomarían en realizar todas estas actividades se las realizara más rápido ayudando a mejorar la confiabilidad del sistema de distribución.

- **FLs con comunicación.**

Este tipo de localizadores son más eficientes que los localizadores sin comunicación, aunque con un costo mayor, por su tecnología que usan, el tiempo para ubicar la falla es rápido, sin embargo, su desventaja es que para comunicarse con su sistema SCADA se requiere contar con un sistema de comunicaciones generando un costo mayor, el sistema de comunicaciones puede estar basado en:

- Radio frecuencia.
- Red celular.
- Fibra óptica.

El medio de comunicaciones más óptimo, pero quizá el más costoso seria la fibra óptica, no obstante, su uso dentro de la ingeniería eléctrica cada vez es más recurrente, la utilización de FLs con comunicaciones ayudaría considerablemente a mejora la calidad y confiabilidad de un sistema de distribución.

2.2.13.3 Condiciones de ubicación de localizadores de falla.

Esta investigación pretende generar un nuevo procedimiento para la instalación correcta de los localizadores de falla, es decir contar con una lista de pasos que ayuden a las empresas distribuidoras a instalar los dispositivos en los lugares más óptimos y que se obtengan los mayores beneficios, sin embargo estudios anteriores establecen que se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de instalar localizadores de falla en la red, los cuales se describen a continuación (Loaiza Zaruma & Villamarín Blacio, 2012):

- Dentro del sistema de comunicación se utilizará un concentrador de datos (CD), que tendrá la capacidad de comunicar una cantidad de 9 localizadores como máximo.

- Al comienzo de un alimentador se debe realizar la instalación de un localizador de falla con el propósito de sensar posibles fallas debido a la utilización de conductores soterrados.
- Se puede combinar localizadores con y sin comunicación, generalmente localizadores con comunicación son utilizados en derivaciones del alimentador que tengan gran longitud, y aguas abajo se puede utilizar o instalar localizadores sin comunicación.
- La utilización de localizadores con comunicación será restringida por la geografía del alimentador, es decir si el alimentador esta en zonas geográficamente de difícil acceso se puede usar elementos con comunicación.

CAPITULO 3:

3 METODOLOGÍA

3.1 Levantamiento de datos de los alimentadores.

En la tabla 9 podemos observar la superficie de cada provincia a la cual la E.E.R.C.S. presta servicio, como se puede observar actualmente cubre una area de concesion de 30.146 km2.

Tabla 9. Área de concesión por provincia.

PROVINCIA	SUPERFICIE KM2
AZUAY	7.789
CAÑAR	2.436
MORONA SANTIAGO	19.660
OTRAS PROVINCIAS	261
Total	30.146

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/trayectoria.pdf

En la Figura 6 se puede observar el porcentaje según el área de concesión y de acuerdo a la superficie de cada provincia que pertenecen al área de concesión de la E.E.R.C.S.

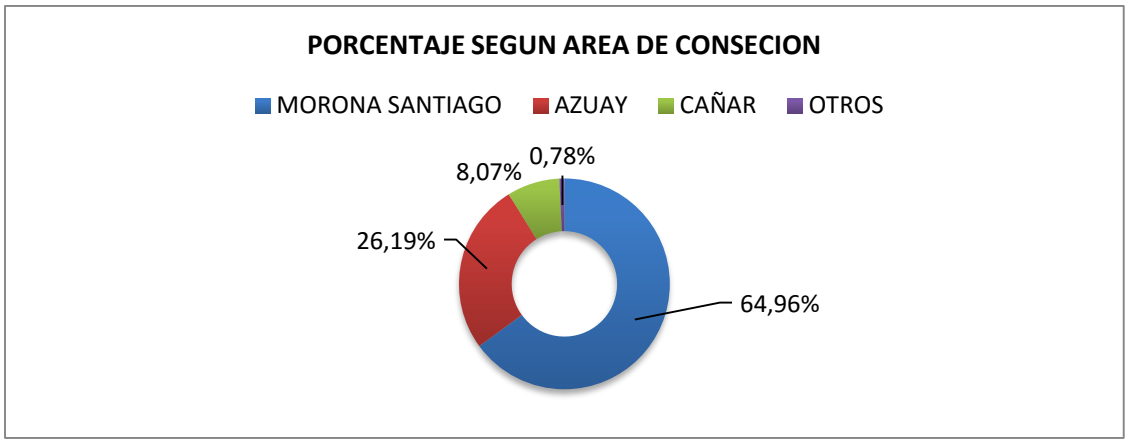


Fig. 6. Porcentaje según el área de concesión.

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec/sites/default/files/trayectoria.pdf

De igual manera en la Figura 7 se puede observar la dimensión del área de concesión de la E.E.R.C.S.

Fig. 7. Área de concesión de la EERCS.

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec

La conexión al SIN (Sistema Nacional Interconectado) se lo realiza a través de la subestaciones Cuenca, que recibe un nivel de tensión de 138 kV y distribuye a las demás subestaciones un nivel de tensión de 69 kV de igual manera también esta interconectado a través de la subestación Sinicay que recibe un nivel de tensión de 230 kV y entrega a la demás subestaciones un nivel de 69 kV, además a través de la subestación Cuenca se

encuentran interconectadas las S/E 15, S/E 21, S/E 22 y S/E 23, Chiquintur, Macas, Méndez y Limón respectivamente.

En la tabla 10 se detalla las subestaciones pertenecientes al EERCS:

Tabla 10. Subestaciones de la EERCS.

NUMERO	NOMBRE	DIRECCION	VP (kV)	VS (kV)	TIPO
S/E 01	Luis Cordero	Luis Cordero y Rafael Maria Arizaga	22	6,3	Reduccion
S/E 02	Puente del Septenario	Benigno Malo y Calle Larga	22	6,3	Reduccion
S/E 03	Monay	Max Uhle y Pumapungo	69	22	Reduccion
S/E 04	Parque Industrial	Av. del Toril y Barrial Blanco	69	22	Reduccion
S/E 05	Arenal	Tarquino Cordero y Cornelio Crespo Vega	69	22	Reduccion
S/E 06	Verdillo	El Verdillo	69	22	Reduccion
S/E 07	Ricaurte	Molinopamba (Ricaurte)	69	22	Reduccion
S/E 08	Turi - 22 kV	TURI- HITO CRUZ	69	22	Reduccion
S/E 09	Huablincay	Shishiquin (Azogues)	69	22	Reduccion
S/E 12	Descanso	El Descanso	69	22	Reduccion
S/E 14	Lentag	Lentag (Santa Isabel)	69	22	Reduccion
S/E 15	Chiquintur	Chiquintur (Gualaceo)	22	22	Seccionamiento
S/E 18	Cañar	Loma Narin (Cañar)	69	22	Reduccion
S/E 19	Corpanche	Corpanche	69	69	Seccionamiento
S/E 21	Macas	Rio Blanco (Macas)	69	13,8	Reduccion
S/E 22	Mendez	Bella Union (Mendez)	13,8	13,8	Seccionamiento
S/E 23	Limon	Plan de Milagro (Limón)	13,8	13,8	Seccionamiento
S/E 50	La Troncal	AV. MARGINAL Y AV. 25 DE AGOSTO	69	13,8	Reduccion

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec

Mediante todas estas subestaciones la empresa eléctrica distribuye y provee de suministro eléctrico a un territorio que representa el 11,3% del Ecuador, las subestaciones están distribuidas en las provincias antes descritas, en la Figura 8 podemos observar la distribución geográfica de las subestaciones.

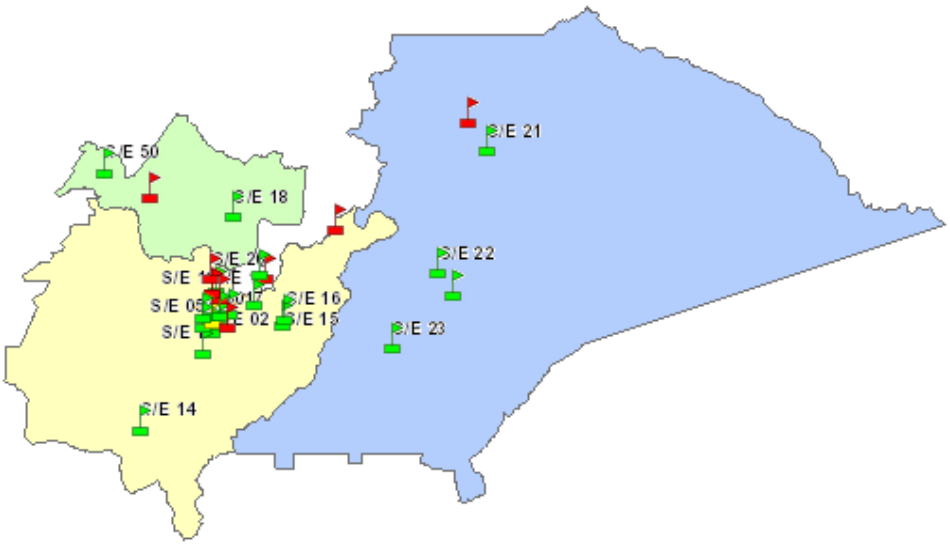


Fig. 8. Ubicación de las subestaciones dentro del área de concesión.

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec

3.1.1 Descripción de los alimentadores.

En el Ecuador el ente regulador del sector eléctrico es el ARCONEL, el cual ha clasificado a los alimentadores en urbanos y rurales a partir de su potencia instalada (en kVA), y su longitud (en km), el criterio de clasificación de alimentadores establecido por el ente regulador se muestra en la tabla 11 (Larriva F & Fernández de cordova, 2007):

Tabla 11. Clasificación de los alimentadores.

Tipo de alimentador	Carga (KVA/Km)
Urbano	< 50 kVA/km
Rural	> 50 kVA/km

Fuente: (ARCONEL, 2001)

Para denominar a cada alimentador la EERCS utiliza cuatro dígitos, cada número tiene un significado o proporciona información, en la siguiente tabla se observa dichas características:

Tabla 12. Codificación de los alimentadores.

Primer digito y Segundo digito	**Tercer digito**	**Cuarto digito**
Hace referencia al número de subestación a la que pertenece el alimentador.	Proporciona información acerca de nivel de tensión que tiene el alimentador, según los números 0, 1, y 2.	Hace referencia al número de salida que usa el alimentador.
	0= 6,3 Kv	
	1= 13,8 Kv	
	2= 22 Kv	

Fuente: propia

Ejemplo: alimentador 1822 y 0323

18: subestación 18

2: nivel de tensión 22 Kv

2: salida 2 de la subestación

03: subestación 3

2: nivel de tensión 22 Kv

3: salida 3 de la subestación

Según informes proporcionados por la empresa distribuidora los clientes por alimentador se describen a continuación:

Tabla 13. Características de los alimentadores.

ALIMENTADOR	NUMERO DE CLIENTES	TIPO DE ALIMETADOR	LONGITUD (KM)
101	3752	URBANO	5.3
102	2100	URBANO	4
103	2204	URBANO	3.4
104	4838	URBANO	8.79
201	2077	URBANO	4.62
202	2004	URBANO	5.09
203	2526	URBANO	3.09
204	1603	URBANO	6.73
205	1916	URBANO	9.02
321	19919	URBANO	395.41
322	5897	URBANO	20.42
323	5237	URBANO	16.21
324	7509	URBANO	17.17
325	9776	URBANO	21.42
421	138	URBANO	6.2
422	5065	URBANO	21.78
423	13483	URBANO	63.02
424	5056	URBANO	9.18
425	25	URBANO	1.58
426	63	URBANO	2.4
427	11093	URBANO	100.37
521	11149	RURAL	475.46
522	6605	URBANO	20.48
523	11379	URBANO	87.35
524	7018	URBANO	60.81
525	13160	RURAL	311.59
526	12315	URBANO	45.18
527	11751	URBANO	40.12
721	6625	URBANO	32.52
722	7335	URBANO	69.81
921	9590	RURAL	225.93
1221	7086	URBANO	136.84

1222	3135	RURAL	119.08
1223	6308	RURAL	12.25
1421	7333	RURAL	666.07
1422	10427	RURAL	491.45
1423	8682	RURAL	278.31
1521	19614	RURAL	407.55
1522	9312	URBANO	68.38
1523	10239	URBANO	217.36
1821	5986	RURAL	217.93
1822	6339	RURAL	189.85
1823	6617	RURAL	476.13
1824	4465	URBANO	70.18
2211	134	RURAL	297.26
2212	56	RURAL	110.55
2311	58	RURAL	82.72
2312	76	RURAL	287.78

Fuente: http://www.centrosur.gob.ec

3.2 Selección de alimentadores para realizar el estudio.

Para realizar esta investigación se buscó información acerca de estudios de confiabilidad realizados anteriormente, en la cual pudimos encontrar trabajos de investigación como el realizado por (Loaiza Zaruma & Villamarín Blacio, 2012), en el cual se determina los alimentadores más problemáticos, es decir los que presentan un nivel de confiabilidad inferior al resto de alimentadores, algunos de ellos no cumplen con los índices de calidad estipulados por la regulación 004-01, además realizando un análisis de informes presentados por la E.E.R.C.S. se llegó a la conclusión de escoger 8 alimentadores para realizar el estudio, cuatro alimentadores pertenecientes al área urbana y cuatro alimentadores pertenecientes al área rural, la realización de este estudio investigativo tiene como finalidad contribuir con la mejora de la confiabilidad del sistema de distribución, no obstante también se tienen como objetivo poder colaborar con la automatización de algunos procesos como la detección de fallas y por consiguiente la restauración rápida del suministro eléctrico, el estudio se realizara a alimentadores denominados piloto, sin embargo se pretende crear un procedimiento para poder aplicar al resto del sistema de distribución, los alimentadores escogidos son los siguientes:

Alimentadores urbanos:

- #0321
- #0526
- #0323
- #0523

Alimentadores rurales:

- #1822
- #0521
- #0921
- #1222

3.2.1 Recopilación de datos de los alimentadores seleccionados.

Tabla 14. Datos relevantes de los alimentadores seleccionados.

ALIMENTADOR	TIPO	FMIK	TTIK	LONGITUD (Km)	NUMERO DE CLIENTES
0321	urbano	6.05	16.53	355.55	19480
0526	urbano	1.23	0.69	41.85	14538
0323	urbano	6.41	5.71	148.38	6025
0523	urbano	5.06	5.78	404.2	13111
1822	rural	8.43	10.24	144.95	5833
0521	rural	3.61	4.91	473.85	12833
0921	rural	0.02	0.05	204.93	8788
1222	rural	5.19	3.96	297.15	3555

Fuente: propia

3.3 Simulaciones con los alimentadores seleccionados.

Para poder realizar el estudio de la localización de estos dispositivos se utiliza el software ARCGIS 10.2 por su fácil manejo y su completa información, además de prestar gran cantidad de aplicaciones útiles para el desarrollo de la investigación.

En una investigación previa (Morales, Icaza, Flores, & Conce, 2016) a la realización de este trabajo se pudo establecer que para alcanzar resultados óptimos y los más convenientes se debe realizar cuatro casos de estudio, es decir:

- **Primer caso:** se realiza el cálculo de los índices requeridos sin la utilización de localizadores de falla.
- **Segundo caso:** se realiza el cálculo de los índices requeridos con la utilización de un localizador de falla.
- **Tercer caso:** se realiza el cálculo de los índices requeridos con la utilización de dos localizadores de falla.
- **Cuarto caso:** se realiza el cálculo de los índices requeridos con la utilización de tres localizadores de falla.

En base a la realización de cada caso de estudio podemos determinar cuál es el punto óptimo para la instalación de los dispositivos de detección de fallas.

3.3.1 Análisis mediante un enfoque basado en número de clientes conectados

Para poder obtener los resultados de los análisis mediante el enfoque basado en el número de clientes, potencia instalada y energía consumida se aprovechó la facilidad que presenta el software Arc Gis, que nos permite entre otras características visualizar número de clientes aguas abajo desde un punto, así también características como potencia instalada y el consumo de los clientes conectados a un alimentador, cualidad que en esta investigación nos fue de mucha utilidad, como se observa en la Figura 9.

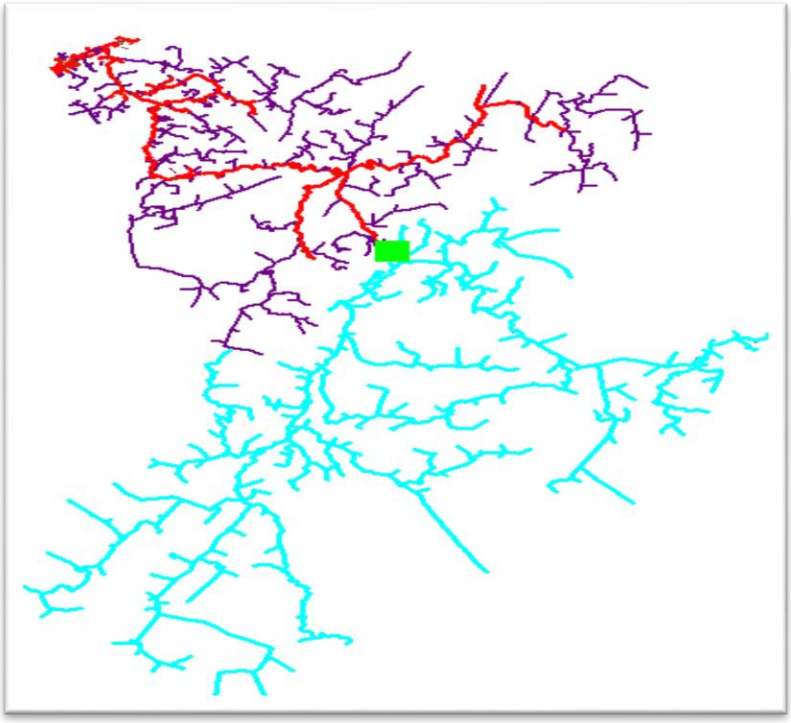


Fig. 9. Aguas abajo desde un localizador.

Fuente: propia

Para realizar el análisis mediante el número de clientes se busca equilibrar la cantidad de usuarios que quedan cubiertos ya sea por el interruptor de potencia o bien sea por los localizadores de falla, para el análisis se tomó en cuenta el número de clientes que representa los medidores eléctricos que se encuentran dentro de un tablero al que se denomina punto de carga, es decir en un punto de carga se puede tener uno más clientes, se tomó en cuenta el número de clientes debido a que son datos con mayor relevancia ya que en algunas zonas se puede tener menor número de puntos de carga sin embargo pueda que exista un mayor de consumidores, además se tomó en cuenta la longitud de los tramos en los cuales se encontraban los clientes aguas abajo de los localizadores, los resultados de los cuatro casos de estudio se muestran a continuación en la tabla 15, cabe recalcar que la división de clientes no será exacta ya que en ocasiones resulta conveniente cubrir mayor longitud del alimentador, además que la configuración del alimentador no permite tener divisiones exactas del número de clientes.

Tabla 15. Resultados mediante un enfoque basado en número de clientes conectados, ALIMENTADORES URBANOS.

ALIMENTADOR: 321		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		16131	16919	395.41
1 localizador	interruptor	7841	8833	298.06
	Localizador 1	8290	8086	97.35
2 localizadores	interruptor	5783	6750	64.95
	Localizador 1	5181	5139	118.58
	Localizador 2	5167	5030	211.87
3 localizadores	interruptor	3692	4569	26.97
	Localizador 1	4213	4333	71.63
	Localizador 2	3626	3594	101.88
	Localizador 3	4600	4423	194.91
ALIMENTADOR: **323**		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		2891	5237	16.21
1 localizador	interruptor	963	1371	5.59
	Localizador 1	1928	3866	10.61
2 localizadores	interruptor	963	1371	5.59
	Localizador 1	755	1845	4.77
	Localizador 2	1173	2021	5.85
3 localizadores	interruptor	672	900	3.12
	Localizador 1	666	1124	4.12
	Localizador 2	755	1845	4.75
	Localizador 3	798	1368	4.22
ALIMENTADOR: **523**		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		9250	11379	87.35
1 localizador	interruptor	4433	6159	36,31
	Localizador 1	4817	5220	51.04
2 localizadores	interruptor	2472	3559	17.80
	Localizador 1	3060	4043	26.14
	Localizador 2	3718	3777	43.41
3 localizadores	interruptor	2055	2935	13.52
	Localizador 1	2535	3406	23.95
	Localizador 2	2391	2649	16.65
	Localizador 3	2269	2389	33.23
ALIMENTADOR: **526**		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		6655	12315	45.18

1 localizador	interruptor	3055	6913	19.57
	Localizador 1	3600	5402	7.49
2 localizadores	interruptor	1939	4104	11.61
	Localizador 1	2835	4190	20.88
	Localizador 2	18.81	4021	12.69
3 localizadores	interruptor	1520	3080	9.50
	Localizador 1	2493	3097	19.86
	Localizador 2	1380	3100	9.92
	Localizador 3	1262	3038	5.89

Fuente: propia

De igual manera en los alimentadores rurales se busca que tanto el interruptor de potencia como los localizadores de falla cubran un mismo número de clientes, no obstante, en los alimentadores rurales por su gran extensión se busca cubrir la parte más extensa del alimentador y no siempre quedaran equilibrados los números de clientes como se puede observar en algunos de los alimentadores.

Tabla 16. Resultados mediante un enfoque basado en número de clientes conectados, ALIMENTADORES RURALES.

ALIMENTADOR: 521		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		10720	11149	475.46
1 localizador	interruptor	5712	6174	226.11
	Localizador 1	5008	4975	249.35
2 localizadores	interruptor	3353	3800	97.54
	Localizador 1	11709	3024	154.51
	Localizador 2	4342	4325	223.41
3 localizadores	interruptor	2619	3056	74.97
	Localizador 1	3093	3117	151.6
	Localizador 2	2232	2271	63.03
	Localizador 3	2776	2705	185.86
ALIMENTADOR: 921		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		9558	9590	225.93
1 localizador	interruptor	5001	5154	69.31
	Localizador 1	4457	4436	156.61
2 localizadores	interruptor	3187	3330	36.72
	Localizador 1	4187	4155	108.48
	Localizador 2	2181	2102	81.75

3 localizadores	interruptor	2116	2094	44.29
	Localizador 1	3001	3174	26.99
	Localizador 2	2180	2101	81.29
	Localizador 3	21.94	2146	75.32
ALIMENTADOR: 1222		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		3271	3134	119.089
1 localizador	interruptor	1473	1447	46.56
	Localizador 1	1798	1688	74.20
2 localizadores	interruptor	1072	1072	33.63
	Localizador 1	1086	1064	33.5
	Localizador 2	1079	1003	54.49
3 localizadores	interruptor	861	827	33.26
	Localizador 1	612	619	13.42
	Localizador 2	1029	954	34.9
	Localizador 3	779	734	40.69
ALIMENTADOR: 1822		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**LONGITUD ALIMENTADOR**
Sin localizador		6506	6339	189.85
1 localizador	interruptor	3700	3230	104.44
	Localizador 1	2806	3109	85.41
2 localizadores	interruptor	2142	2162	75.98
	Localizador 1	2300	2245	47.48
	Localizador 2	2064	1932	66.90
3 localizadores	interruptor	1744	1604	65.18
	Localizador 1	2438	2551	95.43
	Localizador 2	1130	1606	38.19
	Localizador 3	1194	1118	40.42

Fuente: propia

Como ya se mencionó no se puede dividir exactamente el número de clientes, pero se busca que cada elemento cense un número similar de consumidores.

3.3.2 Análisis mediante un enfoque basado en la potencia instalada.

Para el análisis mediante un enfoque basado en la potencia instalada se toma en cuenta el número de transformadores instalados al alimentador para poder establecer potencias similares y de igual manera que en el análisis anterior se busca que cada elemento de localización de falla cubra una misma cantidad de potencia instalada, en este como tipo de análisis no siempre se cubre una gran extensión del alimentador ya que en un área pequeña

se puede encontrar gran valor de potencia instalada, Los resultados se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Resultados mediante un enfoque basado en la potencia instalada, ALIMENTADORES URBANOS.

ALIMENTADOR: 321		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		974	24357.5	395.41
1 localizador	interruptor	202	12325.5	125.03
	Localizador 1	772	12032	278.38
2 localizadores	interruptor	97	9190	11.68
	Localizador 1	289	7400	85.66
	Localizador 2	588	7767	29.80
3 localizadores	interruptor	97	9190	11.68
	Localizador 1	195	5562.5	52.42
	Localizador 2	319	5390	127.8
	Localizador 3	363	4215	203.5
ALIMENTADOR: 323		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		165	9260	16.21
1 localizador	interruptor	94	4437.5	11.11
	Localizador 1	71	4822.5	5.10
2 localizadores	interruptor	55	3070	5.76
	Localizador 1	39	3098	4.56
	Localizador 2	57	3092	6.21
3 localizadores	interruptor	66	2685	8.17
	Localizador 1	36	2612.5	2.83
	Localizador 2	26	2190	1.79
	Localizador 3	37	2272.5	3.65
ALIMENTADOR: 523		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		468	20799	87.35
1 localizador	interruptor	225	11261.5	35.32
	Localizador 1	243	9537.5	52.03
2 localizadores	interruptor	104	6079.5	17.83
	Localizador 1	200	7734.5	29.05
	Localizador 2	164	6985	40.47
3 localizadores	interruptor	100	5107.5	14.28
	Localizador 1	99	5072.5	15.02
	Localizador 2	113	5229	18.21

	Localizador 3	156	5390	39.84
ALIMENTADOR: 526		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		438	23707	45.18
1 localizador	interruptor	212	12532	19.57
	Localizador 1	226	11175	26.61
2 localizadores	interruptor	159	7890	15.05
	Localizador 1	168	7970	19.67
	Localizador 2	111	7847	10.45
3 localizadores	interruptor	130	5962.5	12.38
	Localizador 1	81	6457	7.13
	Localizador 2	97	6127.5	9.74
	Localizador 3	130	5160	15.92

Fuente: propia

En el alimentador 0321 en el caso de estudio con tres localizadores de falla la potencia no queda distribuida uniformemente debido a la forma del alimentador, además como se puede observar se tiene un mayor número valor de potencia instalada, sin embargo, la distancia que se tendría que recorrer en caso de falla en menor con respecto a los localizadores 1, 2 y 3.

Para este análisis es importante tomar en cuenta que si un localizador tiene un mismo número de transformadores instalados aguas abajo no significa que se tenga la misma potencia instalada ya que los transformadores instalados son de diferente potencia dependiendo de la demanda de los clientes, los resultados obtenidos en los alimentadores rurales se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Resultados mediante un enfoque basado en la potencia instalada, ALIMENTADORES RURALES.

ALIMENTADOR: 521		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		940	20928	457.46
1 localizador	interruptor	375	9752.5	107.75
	Localizador 1	565	11175.5	349.71
2 localizadores	interruptor	228	7117.5	74.45
	Localizador 1	322	6827.5	133.74
	Localizador 2	390	6983	249.27
3 localizadores	interruptor	108	5302.5	16.12

	Localizador 1	263	4415	69.26
	Localizador 2	232	5987.5	125.62
	Localizador 3	337	5223	246.46
ALIMENTADOR: 921		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		513	8420	225,93
1 localizador	interruptor	239	4667,5	79,77
	Localizador 1	274	3752,5	146,159
2 localizadores	interruptor	170	3177,5	52,89
	Localizador 1	182	2767,5	88,58
	Localizador 2	161	2475	85,75
3 localizadores	interruptor	124	2095	46,04
	Localizador 1	119	2087,5	45,42
	Localizador 2	125	2055	59,36
	Localizador 3	145	2182,5	74,88
ALIMENTADOR: 1222		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		309	6572	119.08
1 localizador	interruptor	123	3274,5	35.44
	Localizador 1	186	3322,5	83.76
2 localizadores	interruptor	79	2234,5	35.56
	Localizador 1	79	2050	15.19
	Localizador 2	151	2287,5	74,20
3 localizadores	interruptor	74	1564,5	27,78
	Localizador 1	49	1695	7,65
	Localizador 2	89	1630	36,98
	Localizador 3	96	1672,5	46.51
ALIMENTADOR: 1822		**CANTIDAD TRAFOS**	**POTENCIA INSTALADA (kVA)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		446	9742,5	189,85
1 localizador	interruptor	275	4857,5	119,75
	Localizador 1	163	4895	71,85
2 localizadores	interruptor	173	2702,5	77,71
	Localizador 1	185	3510	66,74
	Localizador 2	88	3535	47,36
3 localizadores	interruptor	148	2372,5	68,86
	Localizador 1	139	2689	51,60
	Localizador 2	84	2095,5	40.86
	Localizador 3	75	2585,5	28,53

Fuente: propia

3.3.3 Análisis mediante un enfoque basado en Energía consumida.

Para el análisis mediante un enfoque basado en la energía o consumo se toma en cuenta el ultimo consumo mensual de los clientes, y de igual manera la longitud aguas abajo del localizador en el cual se encuentran conectados los usuarios, cada resultado obtenido en los cuatro casos de estudio se encuentran en la tabla 19, cabe recalcar que en algunos casos se encontró que un número pequeño de clientes tienen un consumo mayor a otro grupo de clientes de mayor cantidad, esto implica que el localizador de falla cubra áreas pequeñas en extensión.

Tabla 19. Resultados mediante un enfoque basado en la energía consumida, ALIMENTADORES URBANOS.

ALIMENTADOR: 321		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGÍA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		16131	16919	1918908	395.41
1 localizador	interruptor	3743	4640	1032943	27.29
	Localizador 1	12388	12279	885965	368.12
2 localizadores	interruptor	2186	2900	626292	8.68
	Localizador 1	4830	5077	642611	68.63
	Localizador 2	9115	8942	650005	33.60
3 localizadores	interruptor	1971	2537	478377	11.09
	Localizador 1	885	1109	475920	10.29
	Localizador 2	4984	5187	476970	75.78
	Localizador 3	8290	8086	487641	298.24
ALIMENTADOR: 323		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGÍA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		2891	5237	1152975	16.21
1 localizador	interruptor	2115	3375	574556	9.62
	Localizador 1	776	1862	578419	6.59
2 localizadores	interruptor	1392	2057	370425	7.49
	Localizador 1	693	1681	418106	4.41
	Localizador 2	806	1499	364444	4.31
3 localizadores	interruptor	1040	1515	265393	6,32
	Localizador 1	782	1321	288163	4.35
	Localizador 2	339	1020	300981	2.86
	Localizador 3	730	1381	298438	2.68

ALIMENTADOR: 523		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGÍA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		9250	11379	3512060	87.35
1 localizador	interruptor	4330	5949	1715760	30.36
	Localizador 1	4918	5430	1796300	56.99
2 localizadores	interruptor	2259	3167	1130402	22.84
	Localizador 1	2959	3987	1226848	18.19
	Localizador 2	4032	4225	1154810	46,30
3 localizadores	interruptor	2273	3183	871735	16.41
	Localizador 1	847	1131	894059	9.53
	Localizador 2	2860	3736	875531	21.93
	Localizador 3	3270	3329	870735	39.48
ALIMENTADOR: 526		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGÍA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		6655	12315	2402257	45.18
1 localizador	interruptor	2999	5804	1143815	16.73
	Localizador 1	3656	6511	1258442	28.45
2 localizadores	interruptor	2218	4659	792059	13.14
	Localizador 1	1741	3606	804762	11.16
	Localizador 2	2696	4050	805436	20.88
3 localizadores	interruptor	1603	3440	601261	8.90
	Localizador 1	1209	4077	599829	9.13
	Localizador 2	2128	3248	601159	13.63
	Localizador 3	1115	1550	600008	13.52

Fuente: propia

Dependiendo de un cierto número de clientes se obtiene una potencia consumida en kilovatios–hora, para la ubicación de los localizadores de falla se busca equilibrar la potencia consumida es decir que cubran un mismo valor de potencia, sin embrago en algunos casos se busca cubrir zonas alejadas del alimentador. Los resultados obtenidos de los alimentadores rurales se muestran en la tabla 20.

Tabla 20. Resultados mediante un enfoque basado en la energía consumida, ALIMENTADORES RURALES.

ALIMENTADOR: 521		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGIA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		10720	11149	1380794	475.46
1 localizador	interruptor	3343	3787	679959	96.76
	Localizador 1	7377	7362	700835	378.70
2 localizadores	interruptor	2635	3075	450622	70.67
	Localizador 1	3064	3085	468175	150.82
	Localizador 2	5021	4989	461997	253.97
3 localizadores	interruptor	946	1328	435438	9.01
	Localizador 1	2822	2898	300983	107.08
	Localizador 2	2508	2503	305489	131.13
	Localizador 3	4444	4420	338884	228.24
ALIMENTADOR: 921		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGIA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		9558	9590	799826	225.93
1 localizador	interruptor	4246	4392	391661	54.77
	Localizador 1	5312	5198	408165	171.16
2 localizadores	interruptor	3136	3244	284778	43.62
	Localizador 1	3529	3510	264778	93.8
	Localizador 2	2908	2853	251953	90.25
3 localizadores	interruptor	1968	1955	197292	43.31
	Localizador 1	2634	2765	198184	20.36
	Localizador 2	2559	2508	201213	81.48
	Localizador 3	1999	1925	203137	79.19
ALIMENTADOR: 1222		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGIA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		3271	3134	261441	119.08
1 localizador	interruptor	1473	1446	134639	46.56
	Localizador 1	1798	1688	127766	74.20
2 localizadores	interruptor	1033	1000	86503	34.16
	Localizador 1	411	419	87098	6.85
	Localizador 2	1830	1720	87840	80.07
3 localizadores	interruptor	764	723	64233	30.90
	Localizador 1	435	444	65826	5.40
	Localizador 2	982	955	65357	26.31
	Localizador 3	1092	1015	66025	58.66

ALIMENTADOR: 1822		**PUNTOS DE CARGA**	**NUMERO DE CLIENTES**	**ENERGIA (kWh)**	**LONGITUD ALIMENTADOR (km)**
Sin localizador		3134	6339	595302	189.85
1 localizador	interruptor	3703	3911	297896	103.43
	Localizador 1	2983	2428	297406	44.50
2 localizadores	interruptor	2406	2513	158566	113.30
	Localizador 1	2202	2138	209403	15.86
	Localizador 2	1888	1688	206969	62.83
3 localizadores	interruptor	2323	2160	142981	75.49
	Localizador 1	2100	2186	156244	38.18
	Localizador 2	1026	1009	144500	25.22
	Localizador 3	1073	1002	151577	45.57

Fuente: propia

CAPITULO 4

4 RESULTADO Y ANALISIS

4.1 Tabulación de los resultados obtenidos en las simulaciones

Para realizar los cálculos de los índices de calidad se utilizó las formulas 2.10, 2.12, y 2.18, que corresponden a los índices de calidad SAIFI, SAIDI, CAIDI respectivamente.

El índice SAIFI hace referencia a la frecuencia de interrupciones que sufre un alimentador, sin embargo, en este trabajo investigativo no se busca disminuir las interrupciones en el sistema, motivo por el cual su cálculo se realiza con una interrupción y es el mismo para los cuatro casos de estudio.

El índice SAIDI corresponde a la duración de una interrupción que sufre un sistema, en este caso un alimentador, para el análisis de este índice se toma en cuenta el tiempo de interrupción para ello se aplica la siguiente formula 2.29:

$$T_{int} = \Delta r + T_{retiro} + T_{sust} + T_{pruebas} \qquad \textbf{(2.29)}$$

DONDE:

- T_{int} = *duración de la interrupción provocado por alguna causa.*
- Δr = *tasa de revisión de red.*
- T_{retiro}= *tiempo de retiro de un elemento dañado.*
- T_{sust}= *tiempo de sustitución de un elemento dañado.*
- $T_{pruebas}$= *tiempo de pruebas para un elemento nuevo.*

La tasa de revisión de redes hace referencia al tiempo que toma recorrer una red eléctrica al ocurrir una falla eléctrica, se lo calcula con la siguiente formula:

$$\Delta r = \frac{\text{distancia del alimentador en km}}{\text{velocidad promedio km/h}} \qquad \textbf{(2.30)}$$

Para el caso de estudio 1 se tendrá la tasa de revisión mayor ya que se recorrerá todo el alimentador, conforme se implementen los localizadores de falla la tasa de revisión de redes disminuye, y se podrá analizar el impacto que se tendrá en los índices de calidad, a continuación, se muestra la tasa de revisión de redes de los 8 alimentadores para el primer caso de estudio, se calcula con una velocidad promedio de 40 km/h para alimentadores urbanos y de 80 km/h para alimentadores rurales.

Tabla 21. Tasa de revisión de redes para los alimentadores de estudio.

ALIMENTADOR	LONGITUD Km	VELOCIDAD Km/h	Δr (min)
321	395,41	40	593,115
323	16,21	40	24,315
523	87,35	40	131,025
526	45,18	40	67,77
521	475,46	80	356,595
921	225,93	80	169,4475
1222	119,08	80	89,31
1822	189,85	80	142,3875

Fuente: propia

Para el cálculo de los tiempos de retiro, sustitución y pruebas se considera un tiempo promedio de 60 minutos, sin embargo, este valor puede variar y el impacto que se tendrá variará proporcionalmente.

$$T_{retiro} + T_{sust} + T_{pruebas} = 60\ min \qquad \textbf{(2.31)}$$

A continuación, se presenta una tabla con los resultados obtenidos de los cálculos, esto nos podrá indicar el impacto que tiene la implementación de localizadores de falla en los alimentadores sujetos a estudio. Los resultados obtenidos de los índices SAIFI, SAIDI y CAIDI de los alimentadores 0321, 0323, 0523, 0526, 0521, 0921, 1222 y 1822 se muestra a continuación en las tablas 22-30 en donde se puede observar el comportamiento de los índices antes descritos, estos nos indicaran si es factible la instalación de 1 o más localizadores y el lugar adecuado para su implementación.

Tabla 22. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0321.

RESULTADO MEDIANTE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
SAIDI	2.3161	1.7982	0.5582	0.3562
CAIDI	661.74	513.77	159.48	101.77
RESULTADO MEDIANTE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	2.3161	0.8778	0.2749	0.2749
CAIDI	661.74	250.8	78.54	78.54
RESULTADO MEDIAATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	2.3161	0.3579	0.3915	1.7992
CAIDI	661.74	102.25	111.85	514.05

Fuente: propia

Como se mencionó anteriormente el índice SAIFI no sufre el impacto de la implementación de localizadores de falla ya que estos dispositivos no están destinados a disminuir las interrupciones más si el tiempo de duración de una interrupción, este resultado se puede observar en la figura 10 y se repite en todos los casos de estudio y en todos los alimentadores.

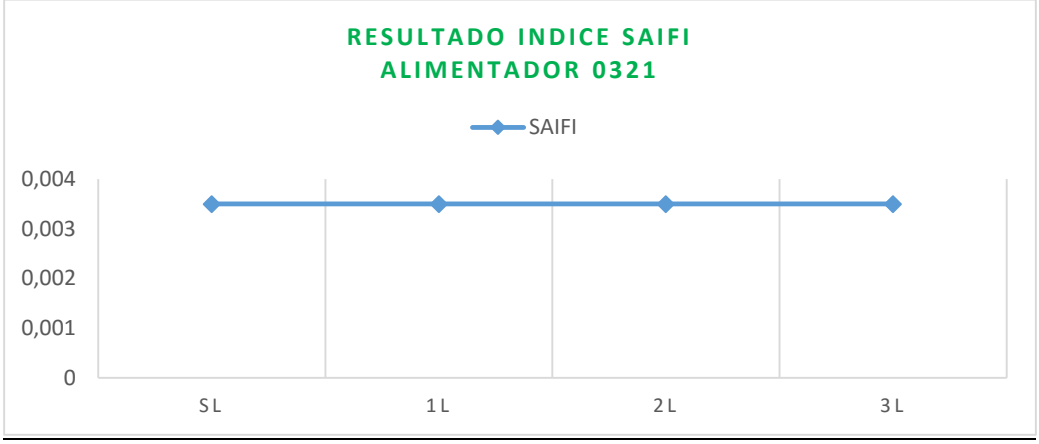


Fig. 10. Comportamiento índice SAIFI, alimentador 0321.

Fuente: propia

En las figuras 11 Y 12 que a continuación se muestran se puede observar el comportamiento de los índices SAIDI y CAIDI, podemos determinar el incremento o disminución de los índices que a su vez determinan cuan efectivo resulta la implementación de localizadores de falla.

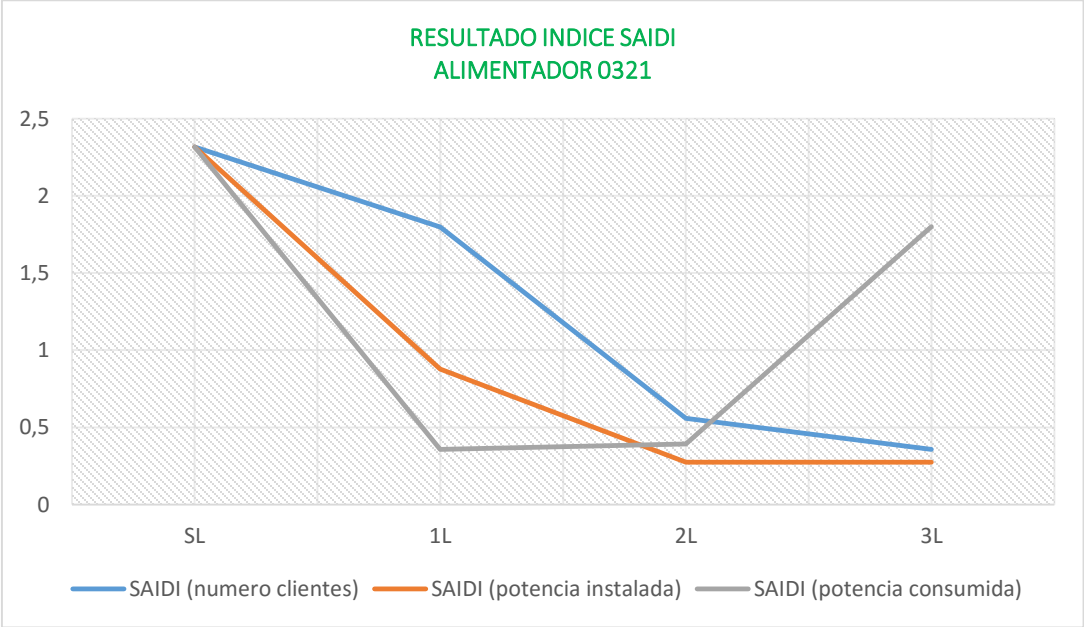


Fig. 11. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0321.

Fuente: propia

Podemos observar que el índice SAIDI a partir del tercer localizador en el análisis basado en la energía consumida empieza a incrementarse lo que podía indicarnos que no sería conveniente la utilización de un cuarto localizador, el mismo comportamiento tenemos en el índice CAIDI ya que de igual manera aumenta su valor a partir del tercer localizador, sin embargo, se puede notar que mediante potencia instalada y número de clientes se tiene casi los mismos valores de reducción en los índices de calidad lo que nos indica que se puede usar cualquiera de los dos tipos de análisis para la implementación de los localizadores de falla, resultados que se muestran en la figura 12.

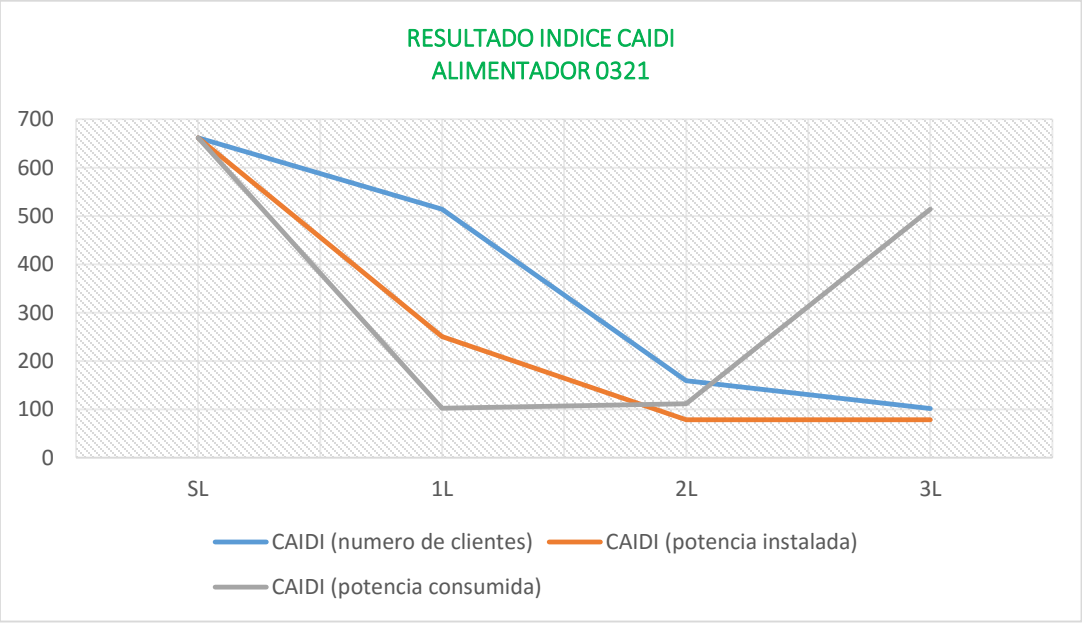


Fig. 12. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0321.

Fuente: propia

Una vez realizado los cálculos de los índices de calidad en el alimentador 0323 se puede ver su comportamiento y determinar la cantidad y la mejor ubicación para cada localizador de falla. En la tabla 23 podemos visualizar los resultados obtenidos y en las figuras 13 y 14 se observa el comportamiento de los índices de calidad.

Tabla 23. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0323.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0114	0.0114	0.0114	0.0114
SAIDI	0.9659	0.8697	0.7879	0.7690
CAIDI	84.72	76.28	69.11	67.45
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	0.9659	0.7750	0.7657	0.8278
CAIDI	84.72	67.98	67.16	57.48
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	0.9659	0.8006	0.7632	0.7365
CAIDI	84.72	70.22	66.94	64.60

Fuente: propia

Según los resultados obtenidos podemos determinar que el mejor análisis para la implementación de localizadores de falla en este alimentador es mediante potencia consumida ya que al realizar el cálculo con tres localizadores de falla se disminuye considerablemente el índice de calidad, sin embargo, el análisis mediante número de clientes también presenta una disminución significante, no obstante mediante el análisis basado en la potencia consumida se observa disminución del índice de calidad.

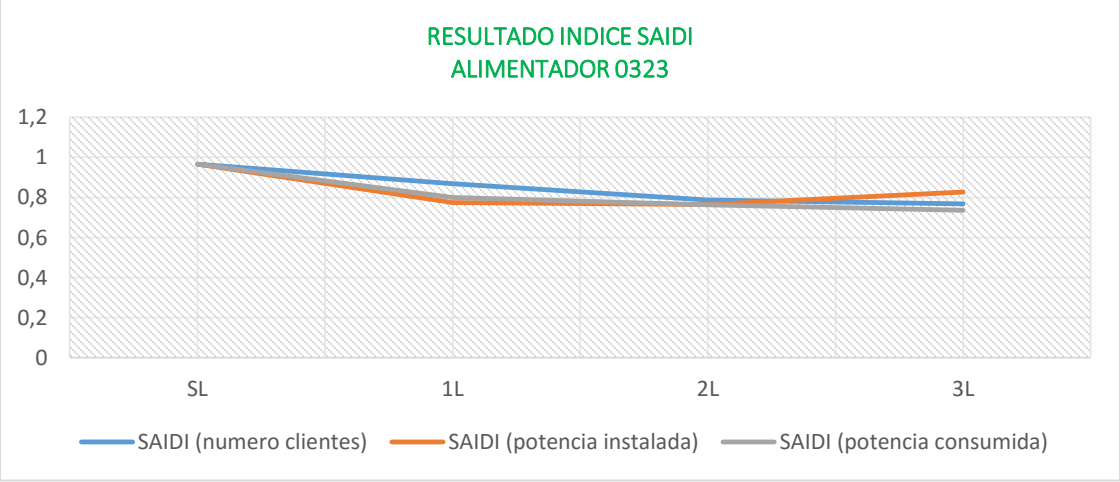


Fig. 13. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0323.

Fuente: propia

El índice CAIDI mediante potencia consumida tiende a disminuir con la implementación de 3 localizadores.

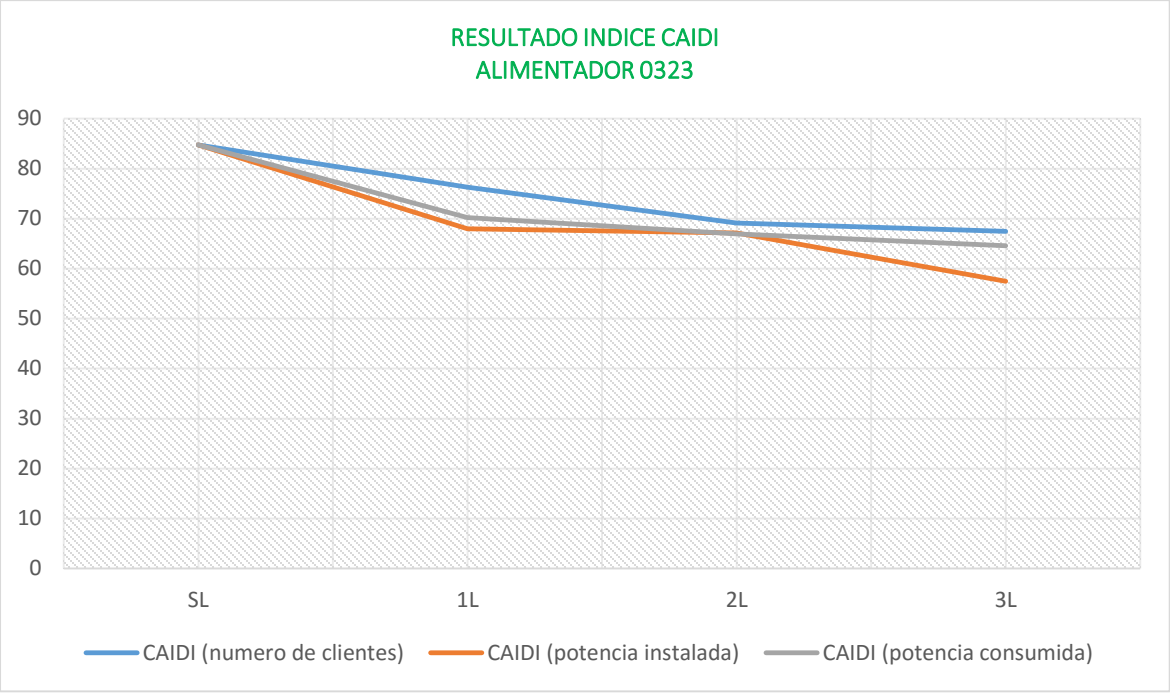


Fig. 14. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0323.

Fuente: propia

Los resultados del alimentador 0523 se presentan en la tabla 24.

Tabla 24. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0523.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052
SAIDI	1.0072	0.6035	0.5231	0.5058
CAIDI	193.69	116.05	100.59	97.26
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	1.0072	0.5957	0.5461	0.6314
CAIDI	193.69	114.55	105.01	121.42
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				

SAIDI	1.0072	0.7667	0.4602	0.3917
CAIDI	193.69	147.44	88.5	75.32

Fuente: propia

El resultado de los índices en donde menor disminución presenta es mediante el análisis basado en la potencia consumida, como podemos observar en la figura 15 la disminución de 1 localizador a 2 es mayor que al utilizar 3 localizadores sin embrago es conveniente usar 3 localizadores

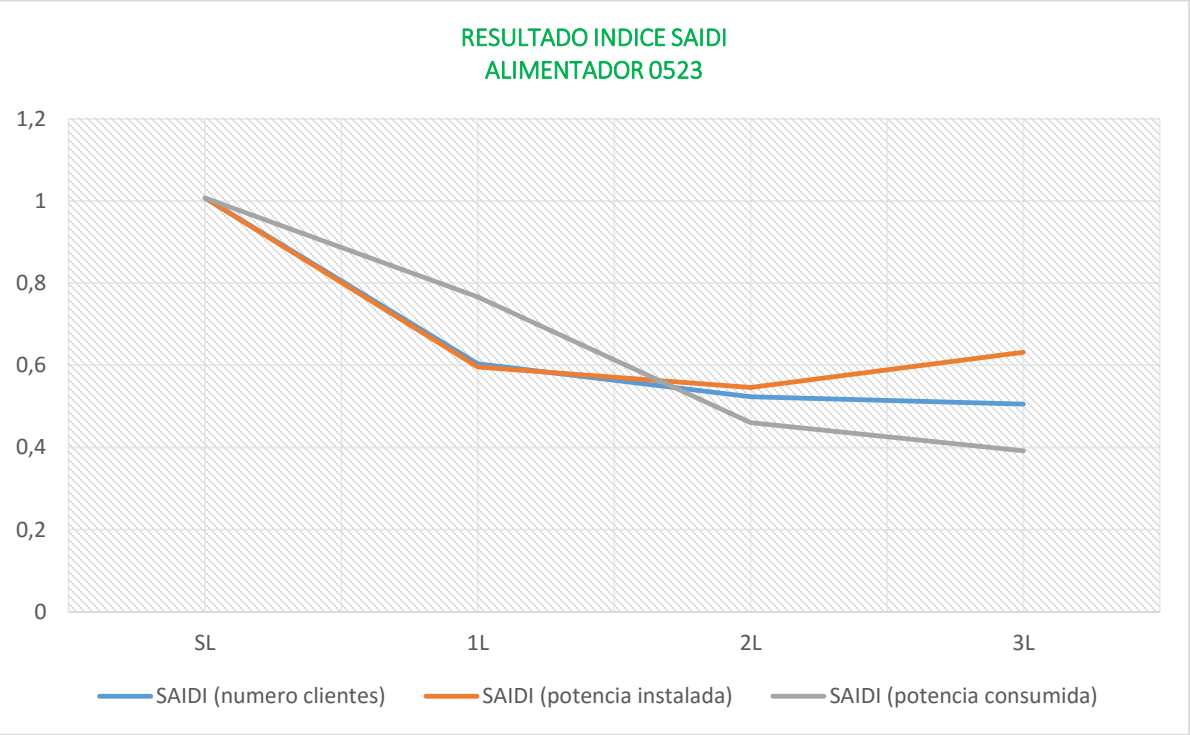


Fig. 15. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0523.

Fuente: propia

De la misma manera que el índice SAIDI se presenta una mayor disminución del índice con la utilización de 3 localizadores mediante el análisis de potencia consumida, así también en el análisis mediante número de clientes se observa una reducción de los índices SAIDI y CAIDI es decir se podría utilizar las dos propuestas. Los resultados del comportamiento del índice CAIDI se presenta en la figura 16.

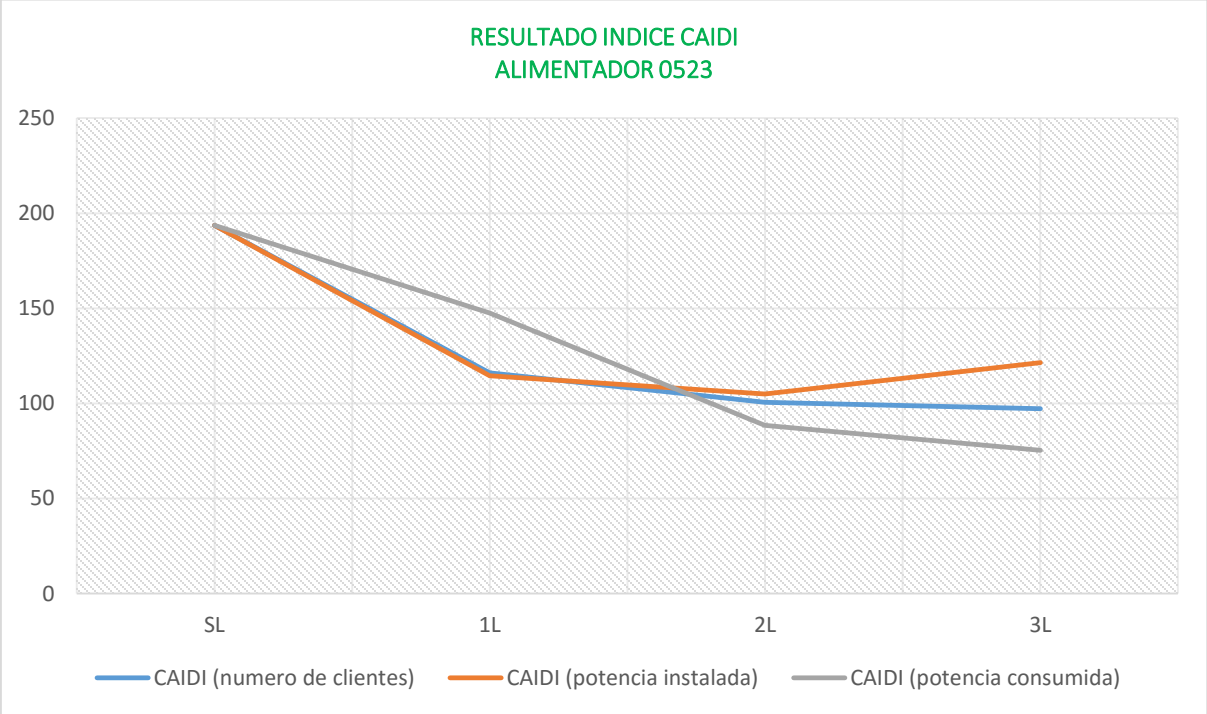


Fig. 16. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0523.

Fuente: propia

Para el alimentador 0526 el análisis mediante potencia consumida no resulta conveniente ya que con la implementación de un 3 localizador de falla el índice comienza a incrementarse , por tal motiva para este alimentador lo conveniente son los resultados de análisis mediante potencia instalada ya que presentan una disminución mayor que los resultados por el número de clientes, los resultados se pueden observar en la tabla 25 y de igual manera de una mejor manera se puede observar en las figuras 17 y 18.

Tabla 25. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0526.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048
SAIDI	0.6225	0.4353	0.4449	0.3648
CAIDI	129.68	90.68	92.68	76
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	0.6225	0.4353	0.4360	0.3444
CAIDI	129.68	90.68	90.83	71.75
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	0.6225	0.5002	0.4449	0.3573
CAIDI	129.68	104.20	92.68	74.43

Fuente: propia

En la figura 17 podemos observar que la implementación de un tercer localizador en los tres tipos de análisis representa un impacto significativo positivo pues se puede observar la reducción en los índices SAIDI Y CAIDI.

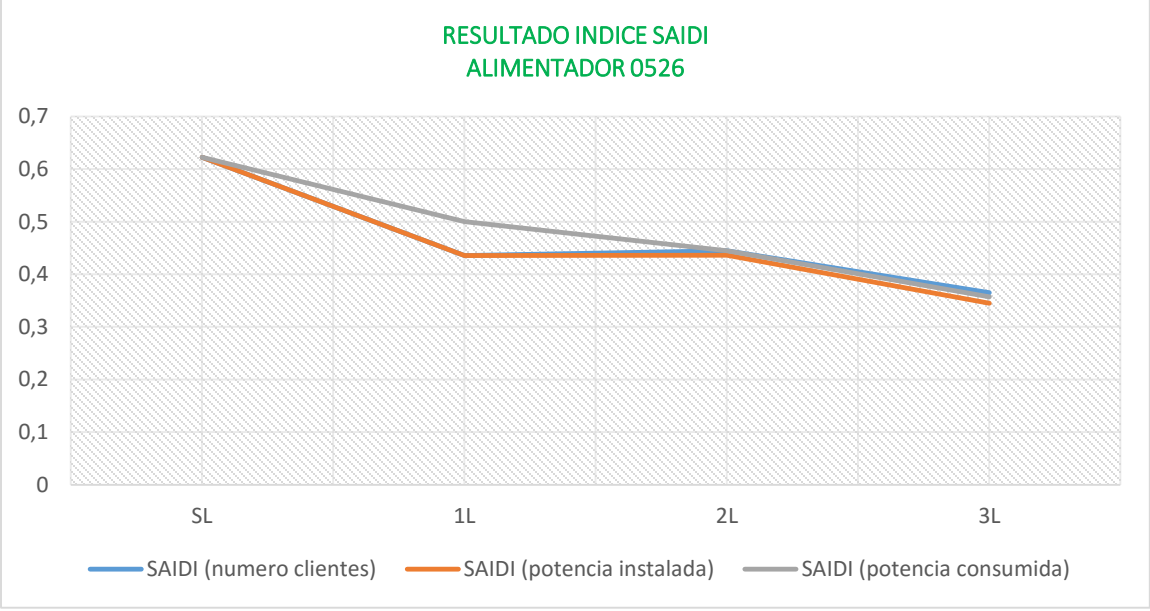


Fig. 17. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0526.

Fuente: propia

Los resultados del índice CAIDI confirman que el resultado del análisis basado en la potencia instalada presenta una mayor reducción del índice al implementar un tercer localizador.

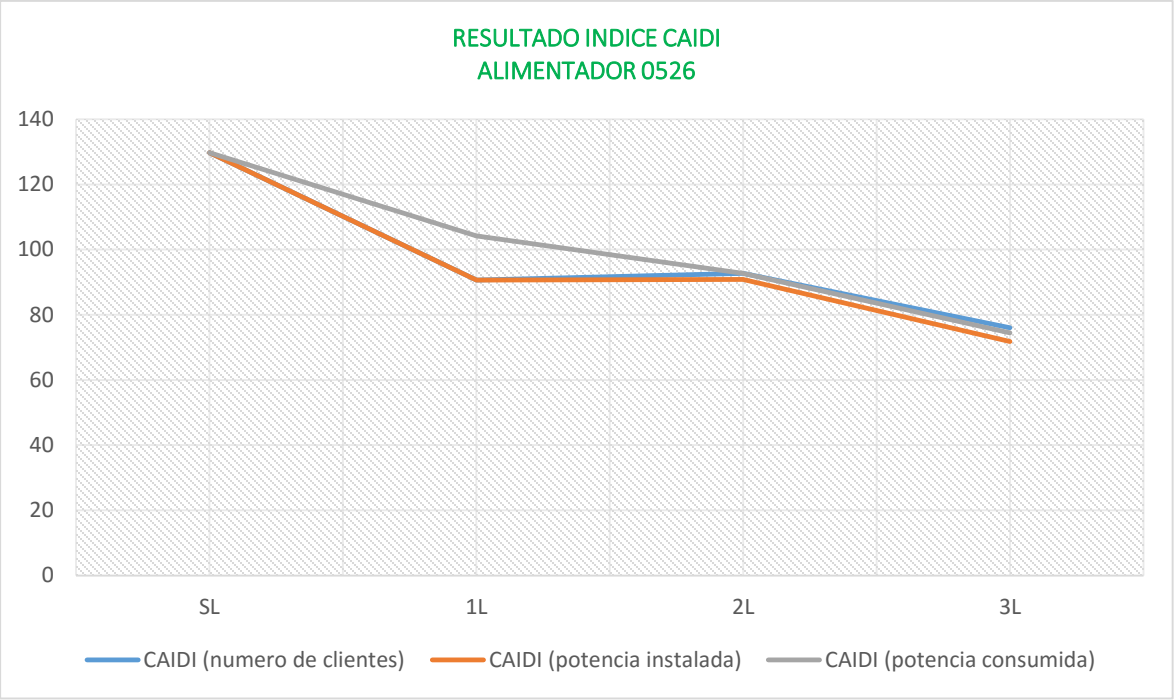


Fig. 18. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0526.

Fuente: propia

A continuación, en las tablas 26-29 se presentan los resultados de los índices de calidad aplicados a los alimentadores 521, 921, 1222 y 1822 respectivamente.

Para el alimentador 521 los mejores resultados son los que se calcularon con los valores del análisis basado en potencia consumida ya que se presenta una considerable reducción de los índices, además de notarse un incremento en los análisis mediante el análisis basado en la potencia instalada a partir de la implementación de un tercer localizador de falla, tal como se puede observar en la tabla 26 y en las figuras 19 el comportamiento del índice SAIDI y en la figura 20 el comportamiento del índice CAIDI.

Tabla 26. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0521.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053
SAIDI	2.2419	1.2355	1.2246	0.9347
CAIDI	423	233.11	231.05	176,35
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	2.2419	1.7344	0.6233	0.8299
CAIDI	423	327.24	117.60	156.58
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	2.2419	1.8514	0.9316	0.3592
CAIDI	423	349.32	175.77	67.77

Fuente: propia

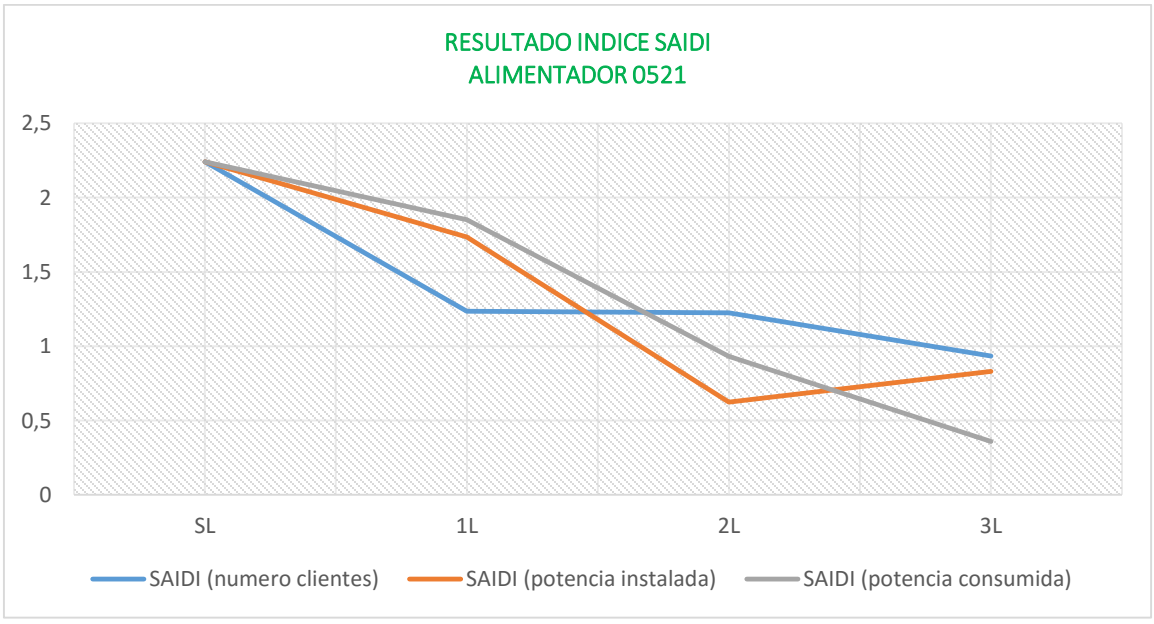


Fig. 19. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0521.

Fuente: propia

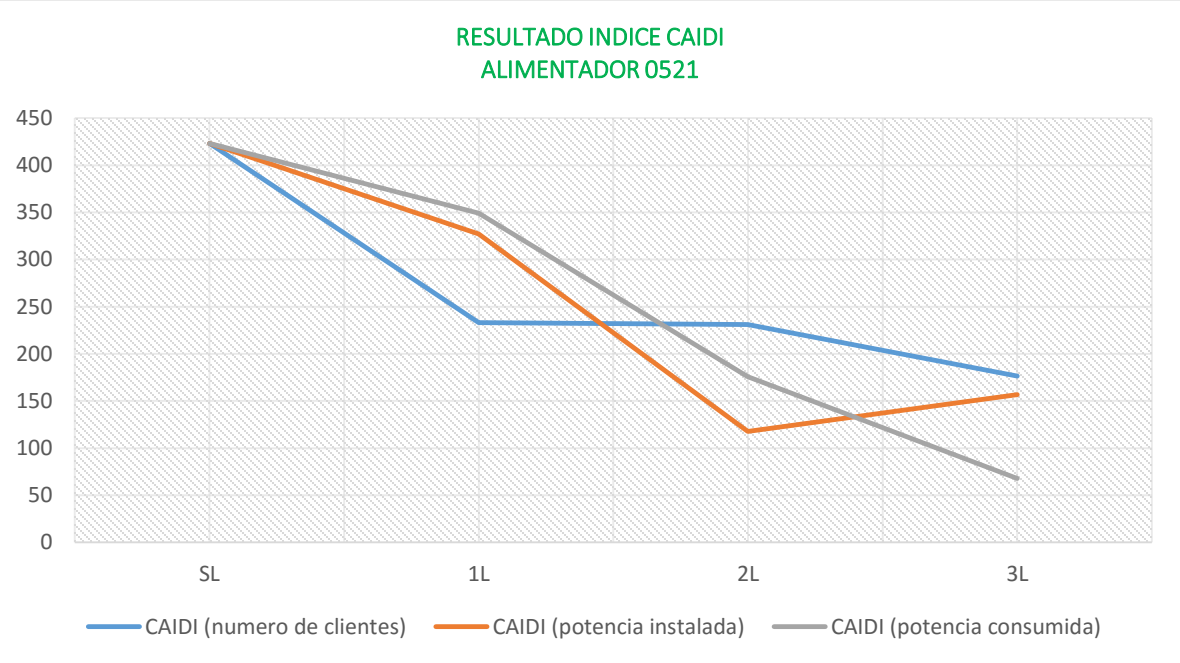


Fig. 20. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0521.

Fuente: propia

Para el alimentador 921 se puede implementar localizadores basándose en los resultados obtenidos mediante número de clientes y potencia consumida ya que existe una breve diferencia en la disminución del índice de calidad ya que ambos tienden a disminuir al implementar un tercer localizador sin embargo mediante potencia consumida se nota una mayor disminución, datos que se pueden apreciar en la tabla 27.

Tabla 27. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 0921.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0062	0.0062	0.0062	0.0062
SAIDI	1.4355	0.7006	0.8844	0.5020
CAIDI	231.53	113	142.64	80.96
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	1.4355	0.7497	0.6235	0.7267
CAIDI	231.53	120.91	100.56	117.20

RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	1.4355	1.1785	0.5800	0.7469
CAIDI	231.53	190.08	93.54	120.46

Fuente: propia

El comportamiento del índice SAIDI y CAIDI se puede apreciar de mejor manera en las figuras 21 y 22.

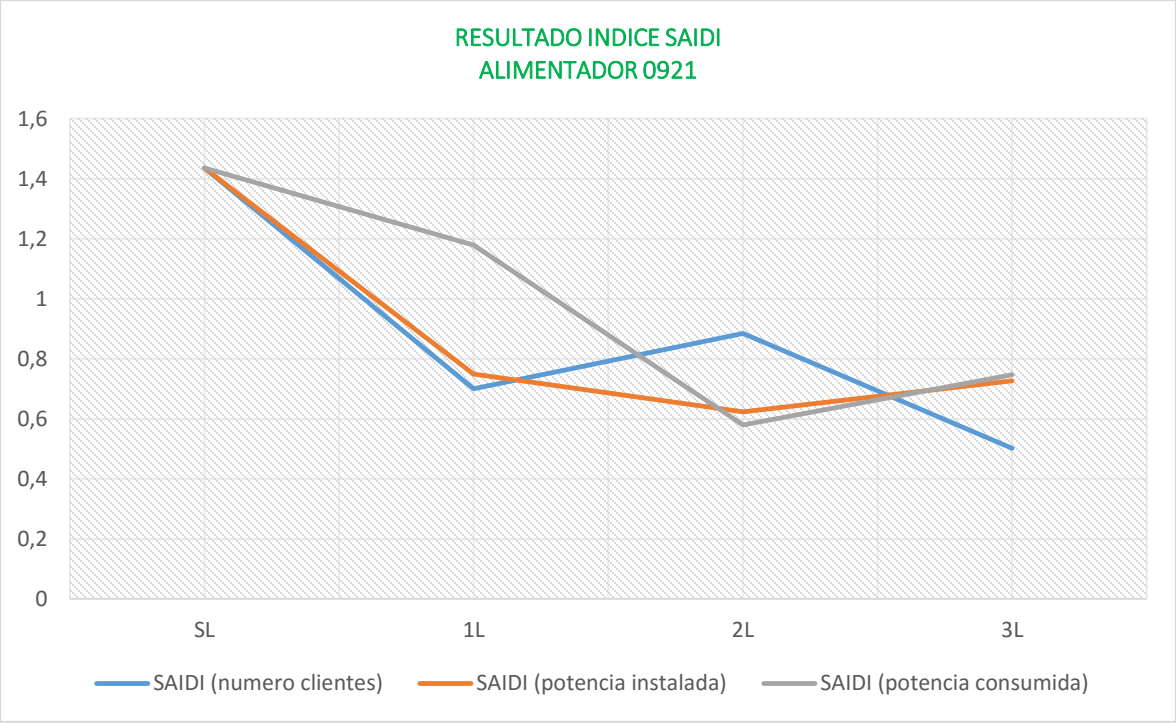


Fig. 21. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 0921.

Fuente: propia

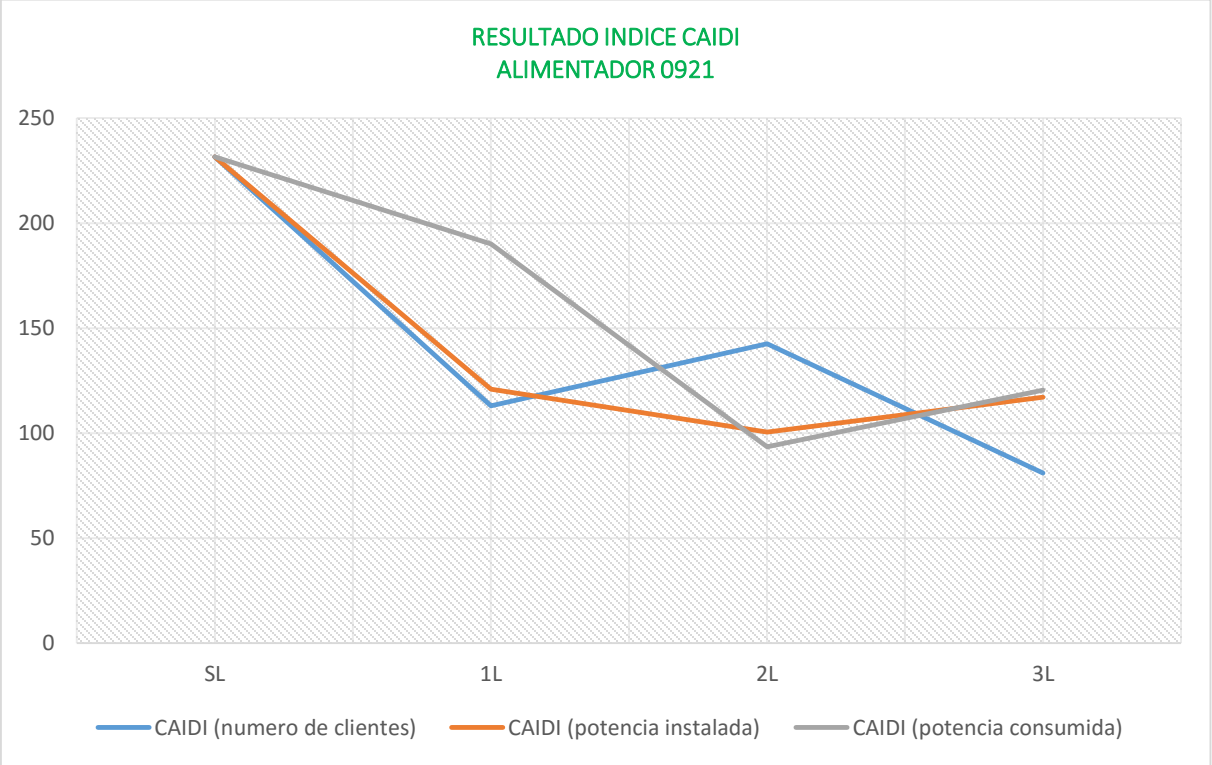


Fig. 22. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 0921.

Fuente: propia

En el alimentador 1222 se utilizará los resultados del análisis mediante potencia instalada ya que presenta una considerable disminución de los índices de calidad, datos que se pueden observar en la siguiente tabla 28 y en las figuras 23 y 24.

Tabla 28. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 1222.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0191	0.0191	0.0191	0.0191
SAIDI	2.8585	2.2141	1.6315	1.6498
CAIDI	149.65	115.92	85.41	86,37
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				

SAIDI	2.8585	2.3513	2.2141	1.2585
CAIDI	149.65	123.10	115.92	65.89
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	2.8585	1.8172	2.2983	1.9909
CAIDI	149.65	95.14	120.32	104.23

Fuente: propia

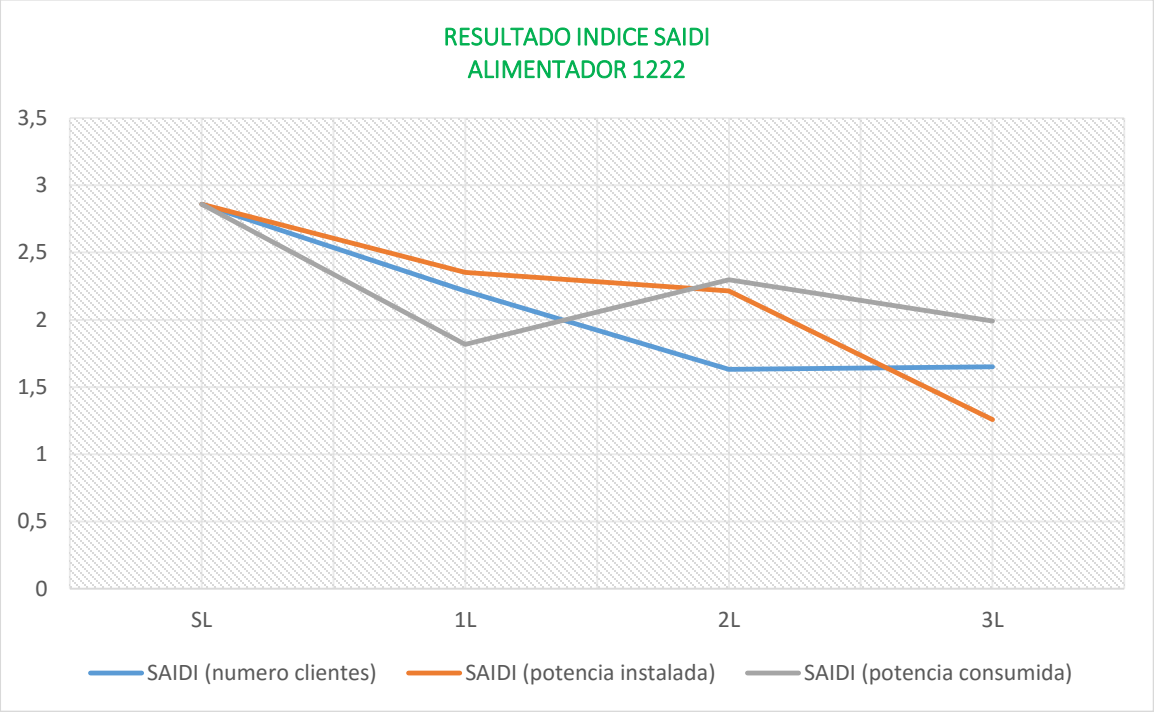


Fig. 23 . Comportamiento índice SAIDI, alimentador 1222.

Fuente: propia

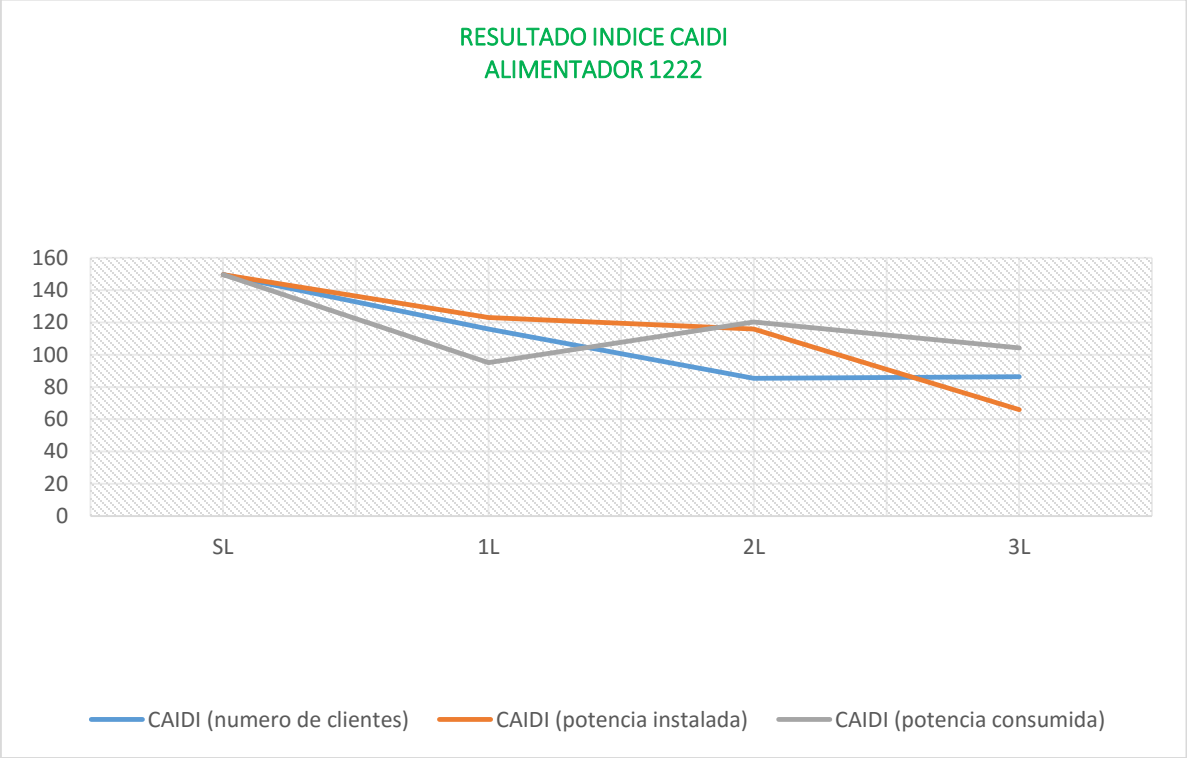


Fig. 24. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 1222.

Fuente: propia

Para el alimentador 1822 también se utilizará los resultados obtenidos del análisis mediante potencia instalada ya que es donde se nota una mayor reducción de los índices de calidad, como se observa en la tabla 29 y en las figuras 25 y 26 respectivamente.

Tabla 29. Índices de calidad obtenidos. ALIMENTADOR 1822.

RESULTADO MEDINATE: NUMERO DE CLIENTES				
	SL	**1L**	**2L**	**3L**
SAIFI	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
SAIDI	1.9156	1.3093	0.9049	1.2453
CAIDI	203.78	139.28	96.74	132.47
RESULTADO MEDINATE: POTENCIA INSTALADA				
SAIDI	1.9156	1.0779	0.9041	0.8342
CAIDI	203.78	114.67	96.18	99.38

RESULTADO MEDINATE: POTENCIA CONSUMIDA				
SAIDI	1.9156	1.3021	0.6805	0.8389
CAIDI	203.78	114.67	72.39	89.24

Fuente: propia

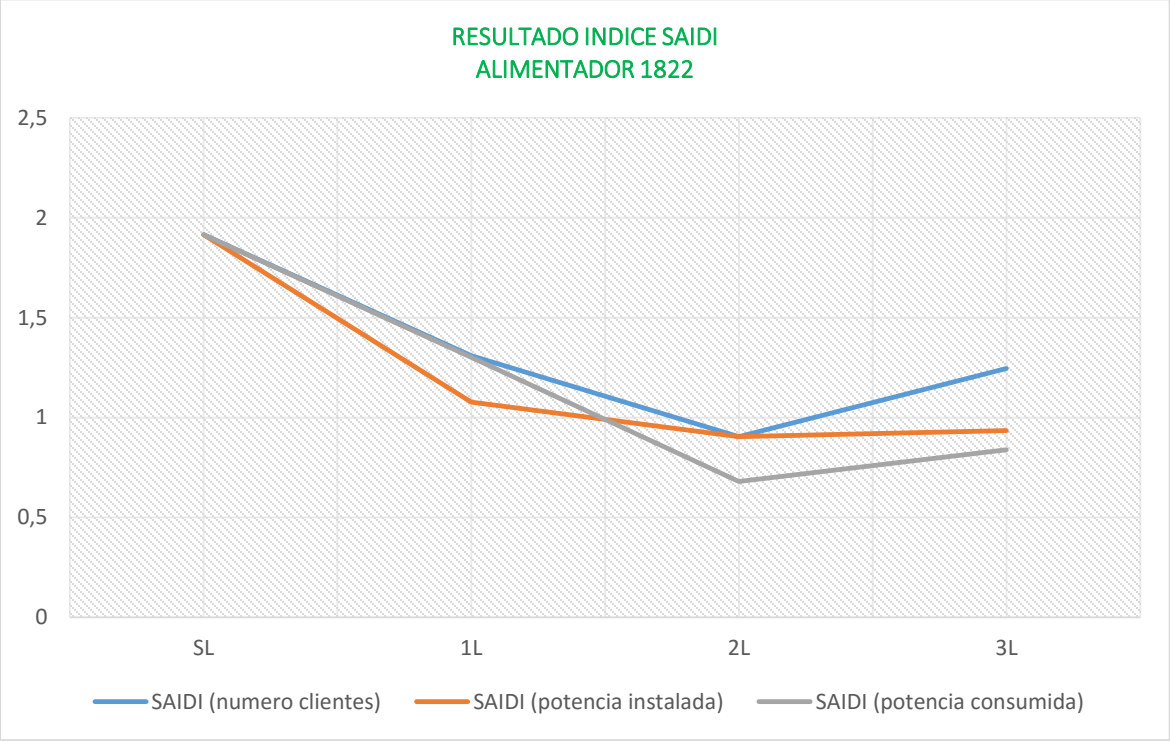


Fig. 25. Comportamiento índice SAIDI, alimentador 1822.

Fuente: propia

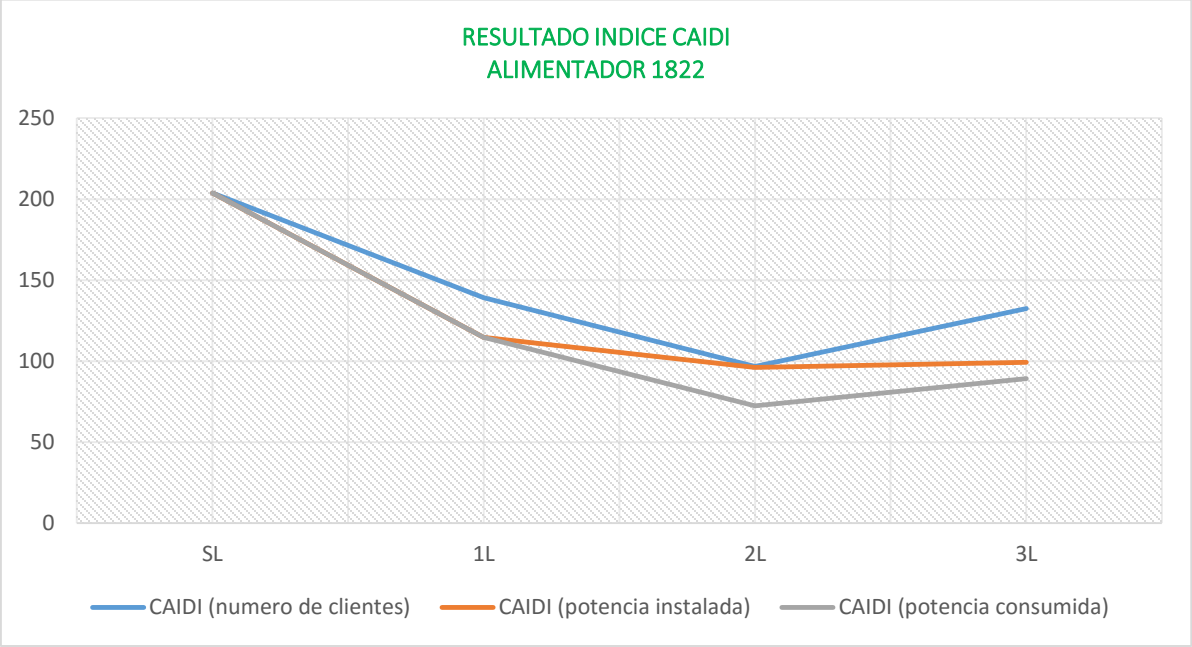


Fig. 26. Comportamiento índice CAIDI, alimentador 1822.

Fuente: propia

4.2 Comparación de los índices de calidad obtenidos con los establecidos en las normas

En la siguiente tabla se presenta el resultado obtenido de los tres tipos de análisis en donde podemos observar y determinar qué tipo de análisis resulta el más conveniente para la implementación de localizadores de falla, la propuesta 1 es en la que se obtuvo una mayor reducción de los índices de calidad, sin embargo, en la propuesta 2 también se presenta una reducción de los índices de calidad.

Tabla 30. Propuestas en base a los resultados obtenidos. ALIMENTADORES URBANOS.

ALIMENTADOR	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
0321	Número de clientes	Potencia instalada
0323	Potencia instalada	Potencia consumida
0523	Potencia consumida	Número de clientes
0526	Potencia consumida	Potencia instalada

Fuente: propia

Tabla 31. Propuestas en base a los resultados obtenidos. ALIMENTADORES RURALES.

ALIMENTADOR	PROPUESTA 1	PROPUESTA 2
0521	Potencia consumida	Número de clientes
0921	Número de clientes	Potencia instalada
1222	Potencia instalada	Potencia consumida
1822	Potencia instalada	Potencia consumida

Fuente: propia

Los datos que se presentan a continuación en la Figura 27 son los valores porcentuales en los que se reduce el índice SAIDI en los alimentadores urbanos, como se observa la reducción del índice es evidente, en alimentador 321 visualizar la disminución que se da de un 100% a un 77,48% con la implementación de un localizador de falla, seguidamente con la instalación de un segundo localizador se reduce a un 23,8% y finalmente con un tercer localizador se obtiene una reducción de 15,15 %, y así podemos observar en cada alimentador las reducciones que se tiene, en el alimentador 0323 se obtuvo la menor reducción ya que solamente se disminuyó a un 83,33 % sin embargo con la implementación de un tercer localizador se alcanza un valor de 76,04 % y así podemos ver el resultado de cada alimentador.

De la misma manera en la Figura 28 se puede observar los valores de reducción del índice CAIDI que van casi en similitud con los valores del índice SAIDI, pues se obtiene los mismos valores con una mínima diferencia.

Los resultados expuestos a continuación corresponden a los análisis en los que se obtuvieron una menor reducción de los índices de calidad, para el alimentador 0321 se usó lo valores del análisis mediante un enfoque basado en el número de clientes, en el alimentador 323 se ocupó los resultados obtenidos del análisis mediante potencia instalada, y por ultimo para los alimentadores 523 y 526 el análisis en que mayor reducción del índice se obtuvo fue mediante el análisis basado en un enfoque mediante potencia consumida.

Los porcentajes de reducción se pueden a preciar en la Figura 27.

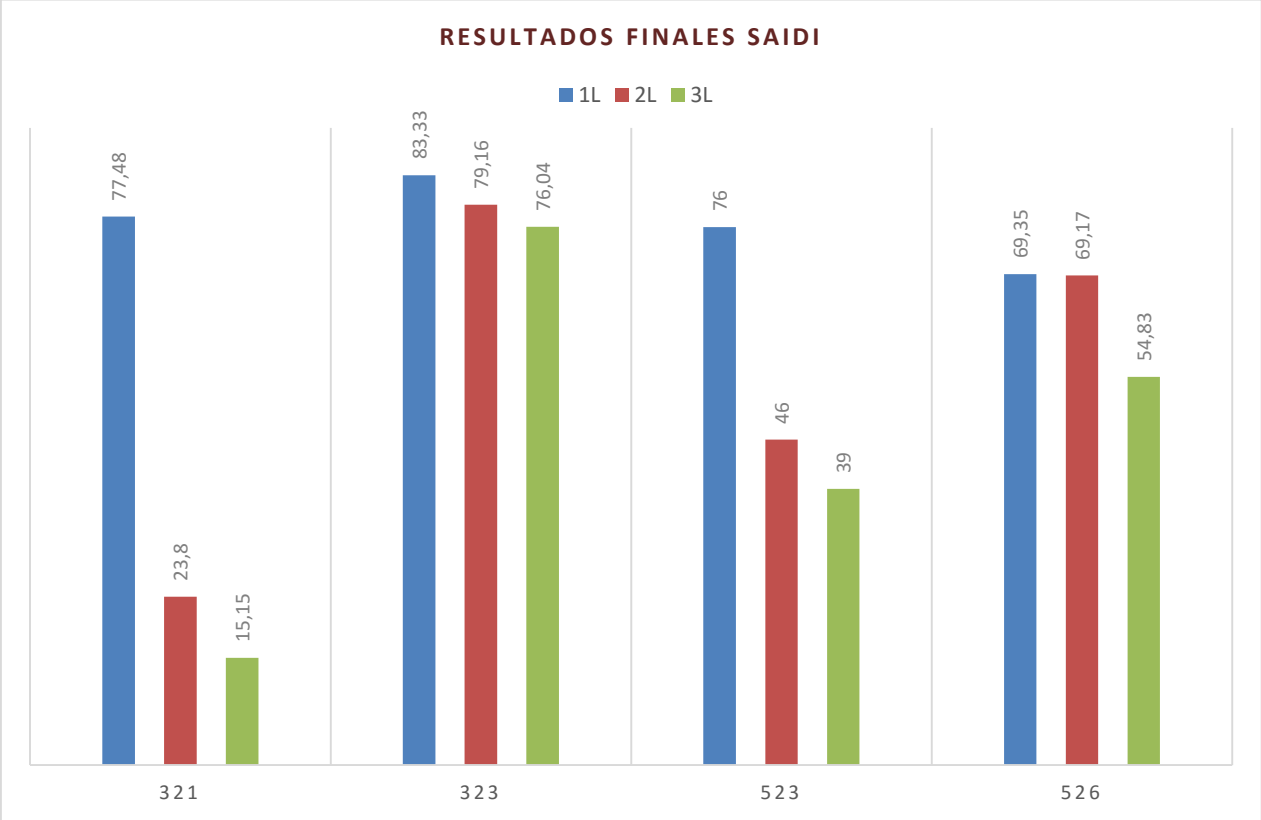


Fig. 27. Porcentaje de reducción en el índice SAIDI, alimentadores urbanos.

Fuente: propia

Como ya se mencionó los valores del índice CAIDI son similares a los valores obtenidos en el índice SAIDI, en la Figura 28 podemos apreciar los porcentajes de reducción del índice de calidad.

En todos los alimentadores podemos apreciar una importante reducción del índice al implementarse un tercer localizador, en el alimentador 321 es en donde se mayor impacto se obtuvo ya que con la instalación de un tercer localizador se obtiene un porcentaje de 38, 88%, seguido del alimentador 523 en donde el porcentaje de reducción es de un 38,88%.

La implementación de un tercer localizador representa una considerable reducción de los índices de calidad en los alimentadores urbanos.

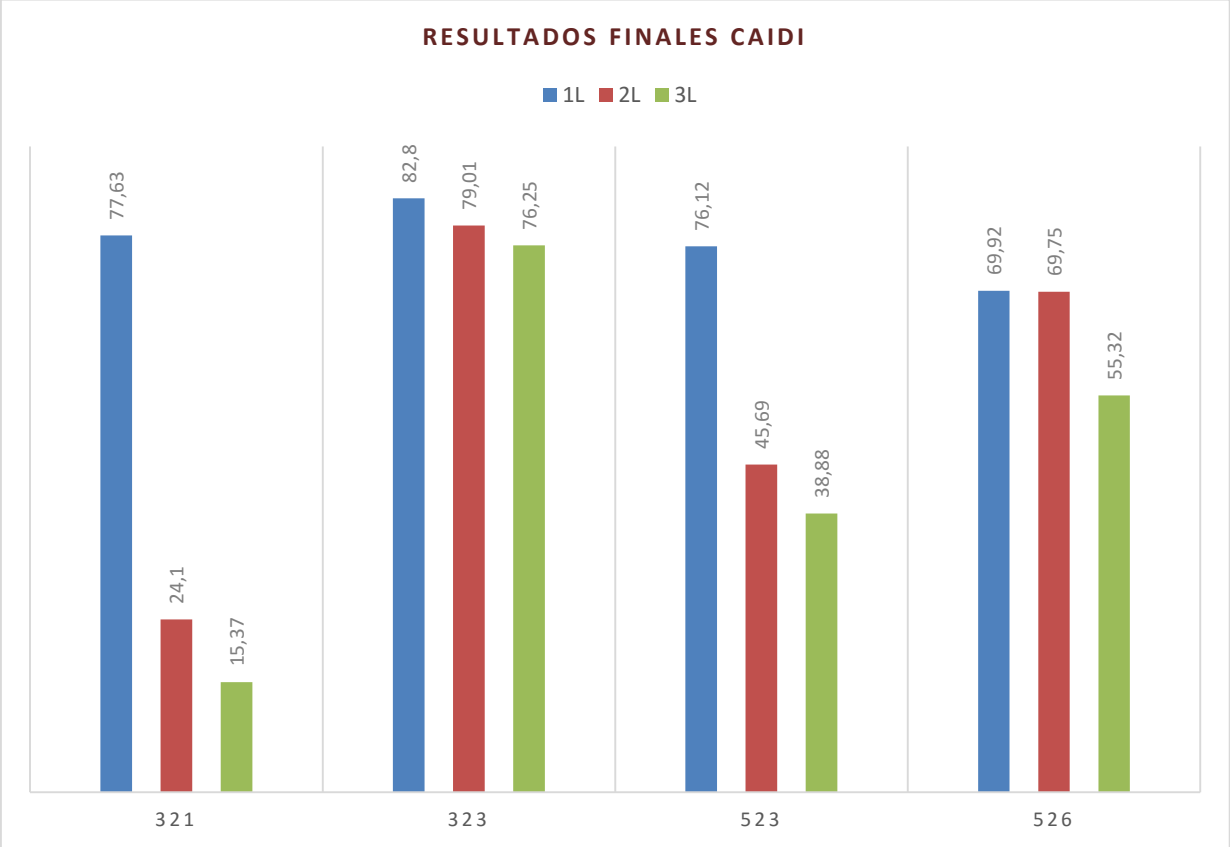


Fig. 28. Porcentaje de reducción en el índice CAIDI, alimentadores urbanos.

Fuente: propia

De igual manera se observa los valores del índice SAIDI Y CAIDI de los alimentadores rurales en las figuras 29 y 30, valores que representan las reducciones que se obtuvieron luego del análisis, cabe recalcar que para obtener los resultados se tomó en cuenta en el caso de estudio donde menor reducción había del índice SAIDI y CAIDI, que casi en su mayoría resulto del análisis mediante potencia consumida, en la tabla se puede observar al implementar en todos los alimentadores un tercer localizador se tiene una mayor reducción del índice, datos que también resultan similares en el índice CAIDI valores que se pueden observar en la figura 30.

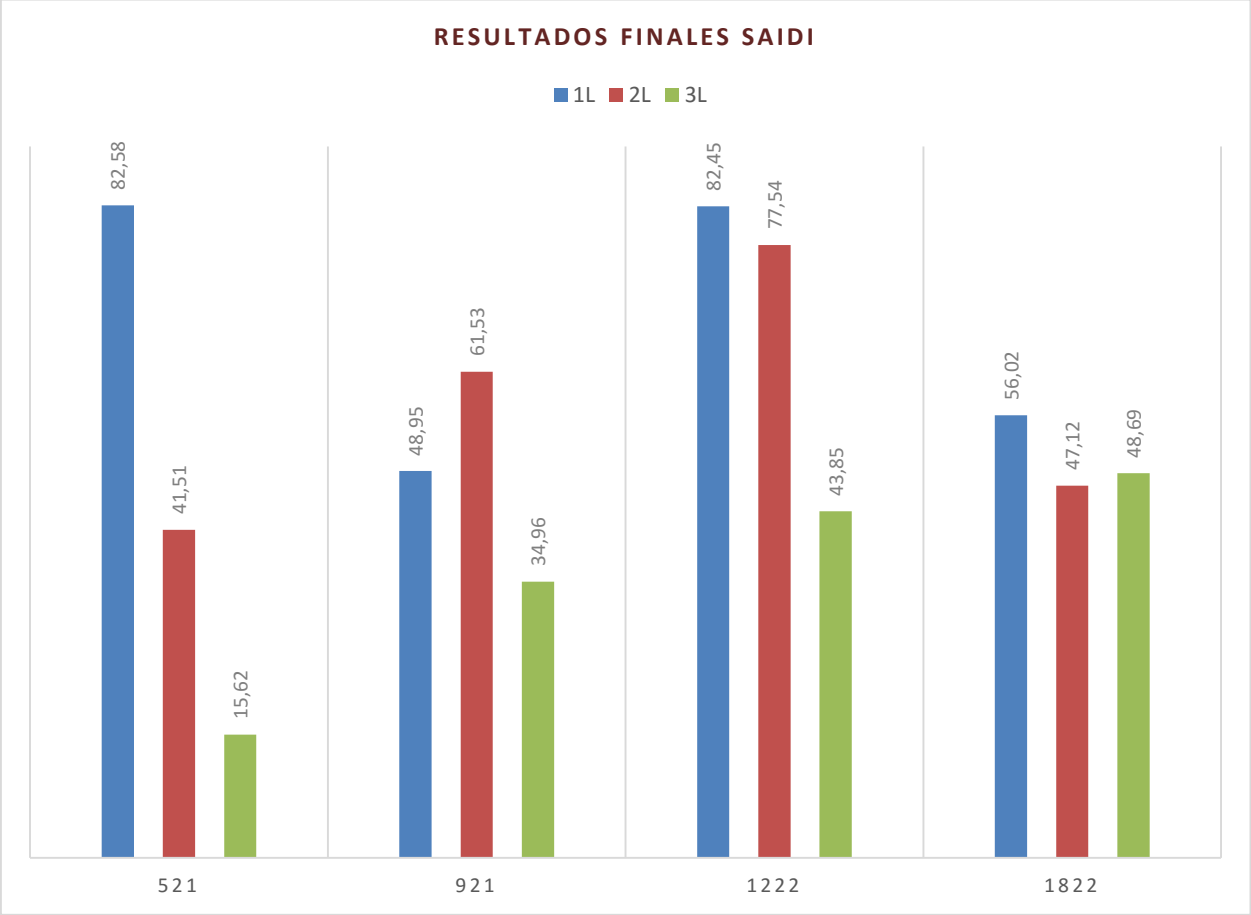


Fig. 29. Porcentaje de reducción en el índice SAIDI, alimentadores rurales.

Fuente: propia

En el alimentador 521 se puede observar que hay al implementar un localizar se reduce el índice a un 82,58 % y así con la implementación de un segundo y tercer localizador se reduce a un 41,51% y 15,62% respectivamente, resultados de disminución del índice que se observa en casi todos los alimentadores a excepción del alimentador 1822 en donde se observa un leve aumento de los índices de calidad con la implementación de un tercer localizador, resultado que se puede observar tanto en el índice SAIDI como en el CAIDI con valores que van desde 47,02% hasta 48,69%.

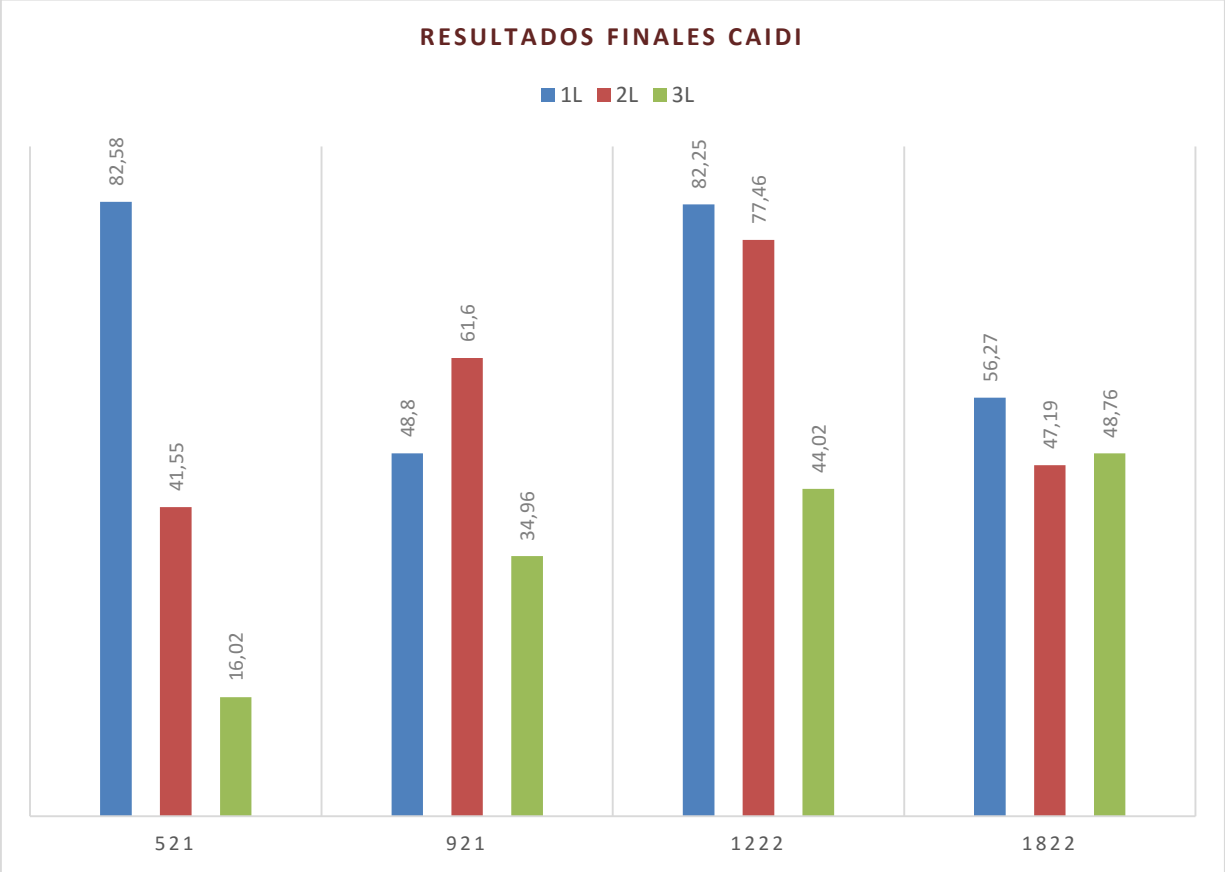


Fig. 30. Porcentaje de reducción en el índice CAIDI, alimentadores rurales.

Fuente: propia

4.3 Propuestas para a la implementación de los localizadores de falla.

Los resultados más convenientes y en los que mayor reducción de los índices SAIDI y CAIDI se obtiene nos indica que son los mejores puntos para la implementación de los localizadores de falla en los alimentadores, en el alimentador 0321 los resultados más convenientes resultaron del análisis mediante el enfoque basado en el número de clientes sin embargo como en este y otros casos también se obtiene buenos resultados del análisis mediante el enfoque basado en la potencia instalada, para el alimentador 0323 también fue mediante el enfoque basado en la potencia instalada como primera propuesta y mediante

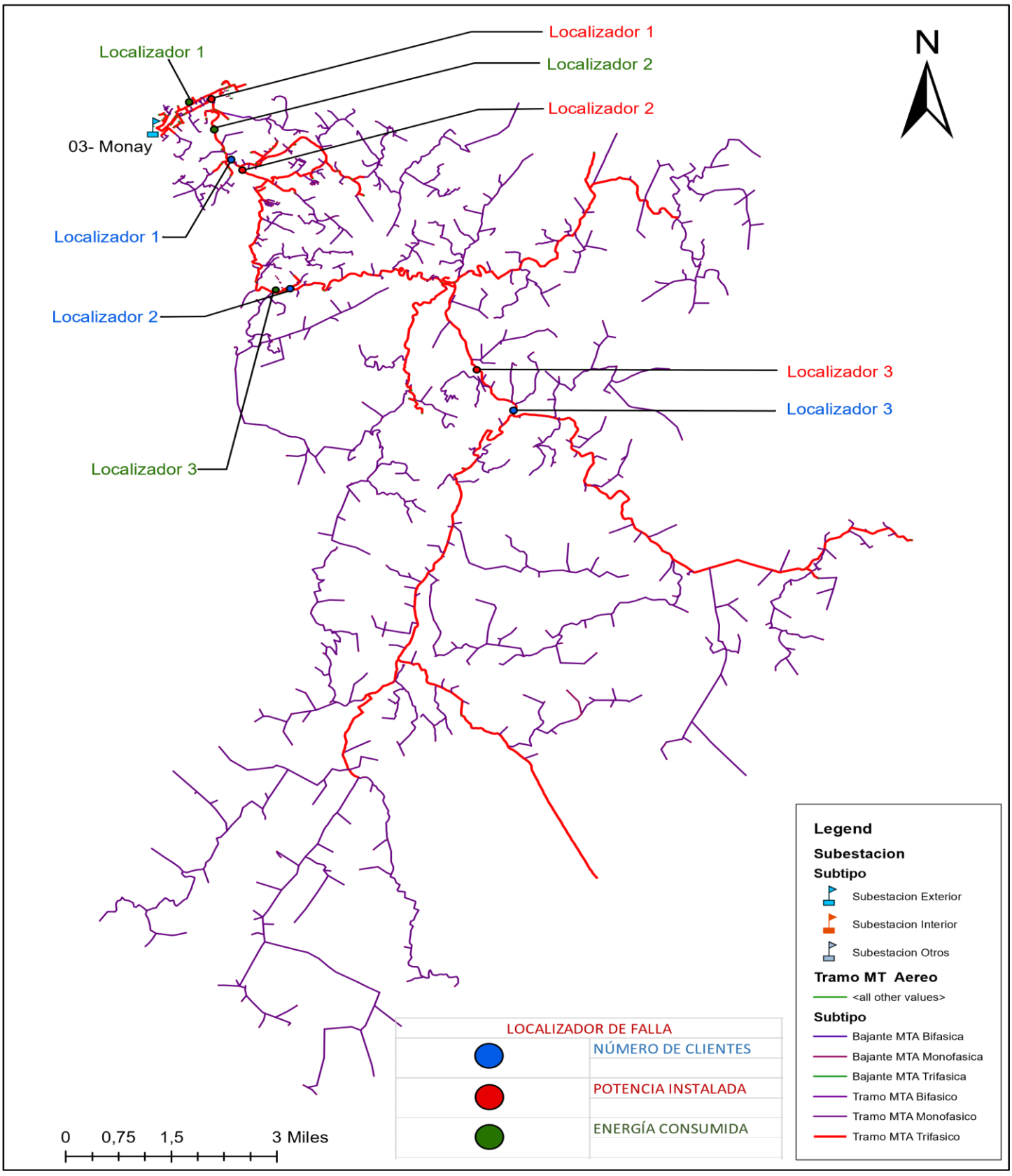
el análisis basado en la potencia consumida como segunda propuesta, para el alimentador 523 la implementación los elementos localizadores de falla resultaría conveniente de los resultados obtenidos mediante el análisis de potencia consumida como primera opción pues es en donde mayor reducción de los índices de calidad se observa, no obstante también mediante el análisis mediante potencia instalada representa una considerable reducción, en el alimentador 521 también se puede aplicar los resultados obtenidos del análisis mediante potencia consumida como primera propuesta y mediante el número de clientes como segunda propuesta.

En los alimentadores rurales también se puede apreciar un impacto positivo en os índices de calidad ya que se observa la reducción de los mismos, sin embargo en el alimentador 1822 es el único que presenta un leve aumento con la implementación del tercer localizador, en el alimentador 521 se ocupó los resultados de los análisis mediante potencia consumida como primera opción y mediante el número de clientes como segunda opción ya que en ambos análisis se observa una reducción de los índices, así también para el alimentador 921 se ocupó los resultados del análisis mediante número de clientes como primera opción, para los alimentadores 1222 y 1822 los resultados se obtuvieron del análisis mediante la potencia instalada.

En las siguientes páginas se presenta los mapas de los alimentadores urbanos y rurales con las propuesta de ubicación de los elementos localizadores de falla obtenidos de los tres tipos de análisis, mediante un enfoque basado en número de clientes, mediante un enfoque basado en la potencia instalada y mediante la energía consumida.

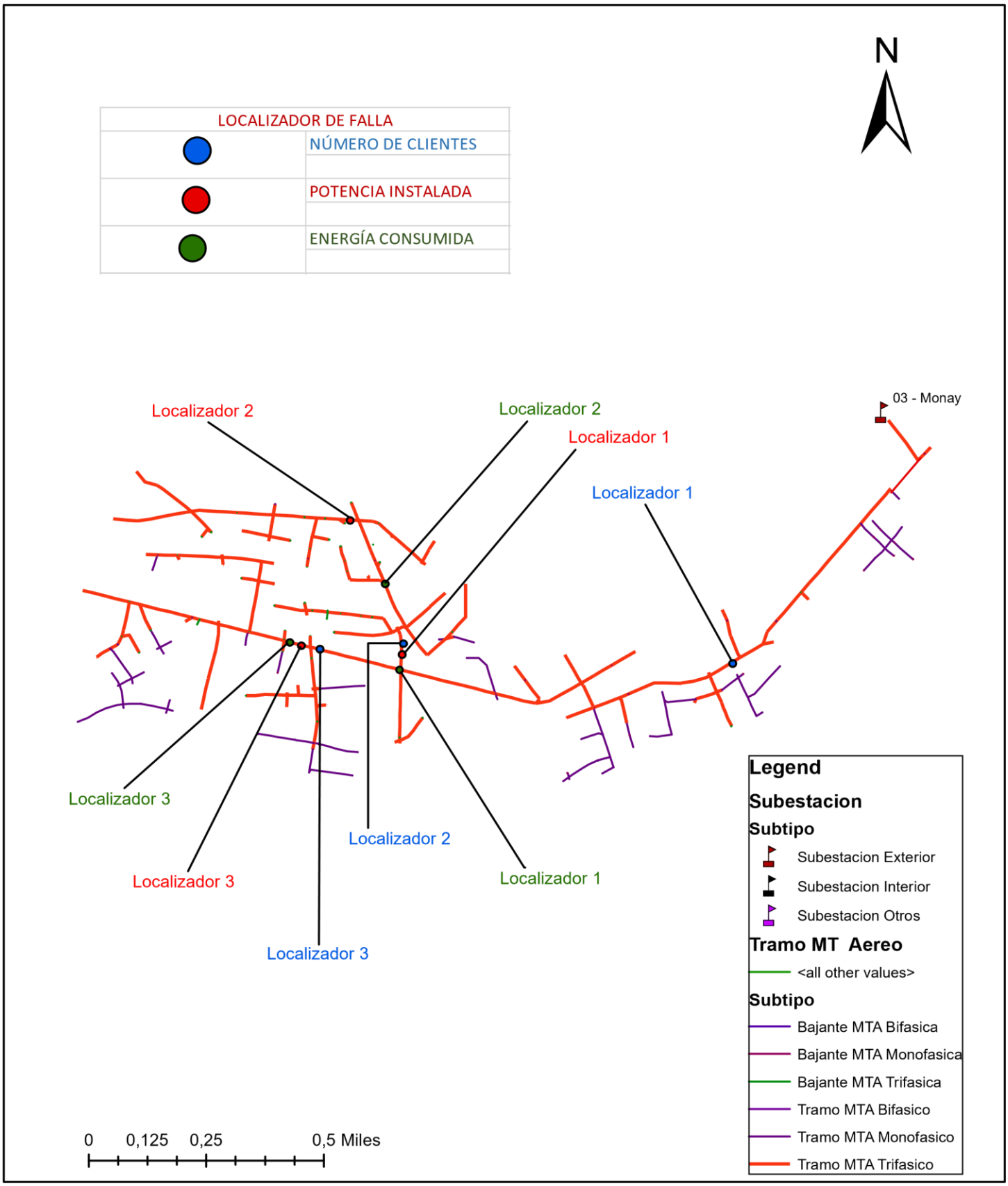
ALIMENTADOR 0321

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



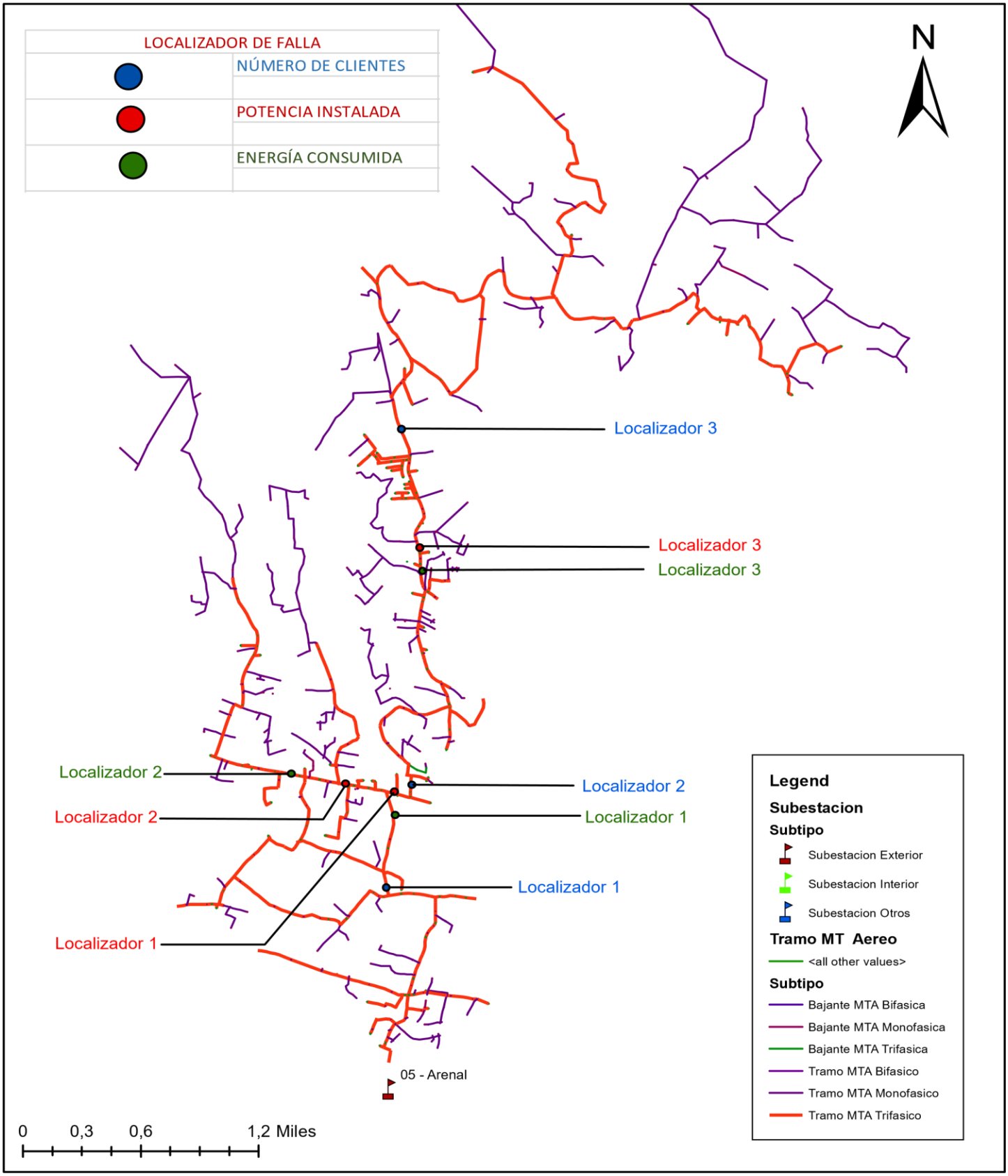
ALIMENTADOR 0323

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



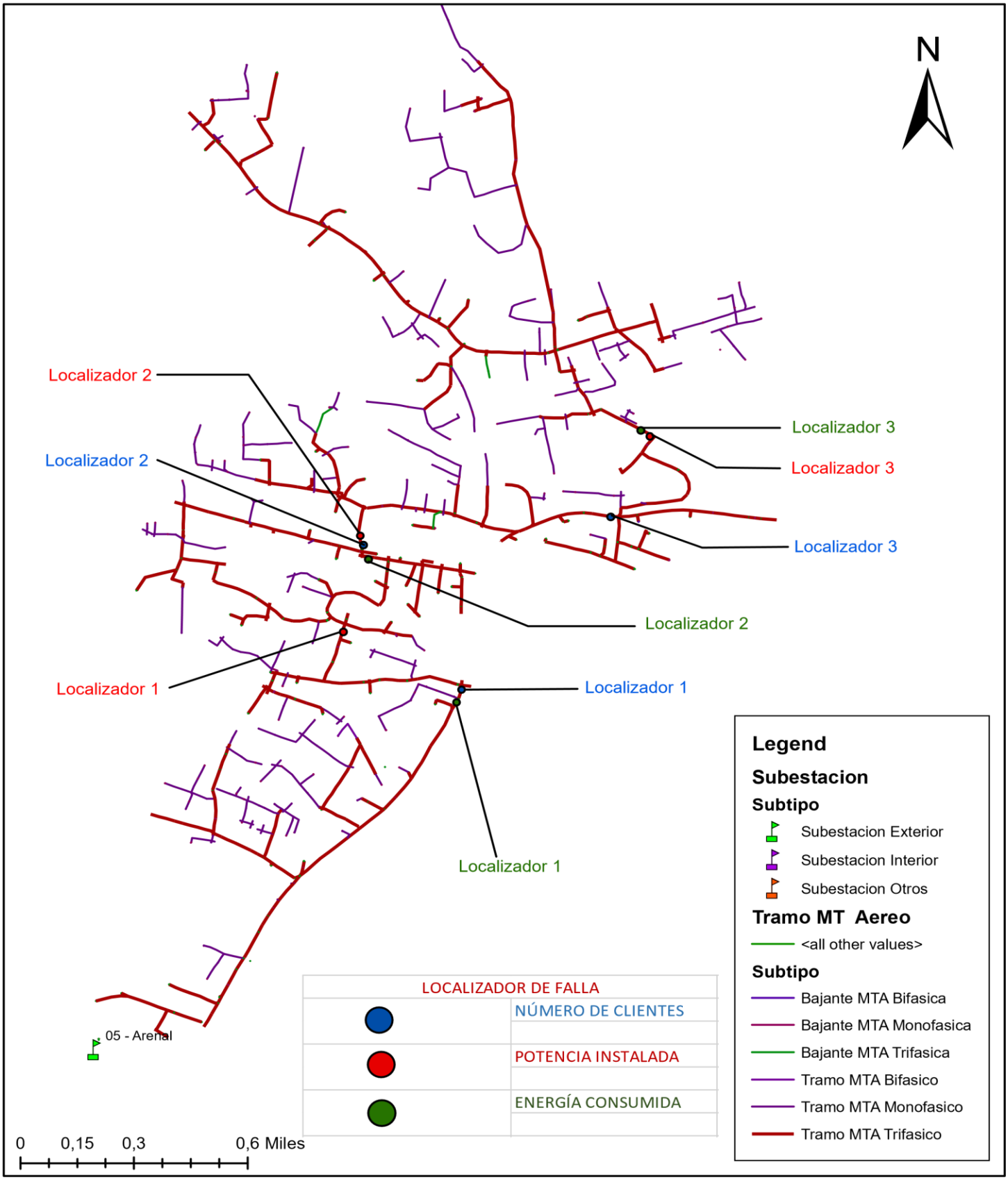
ALIMENTADOR 523

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



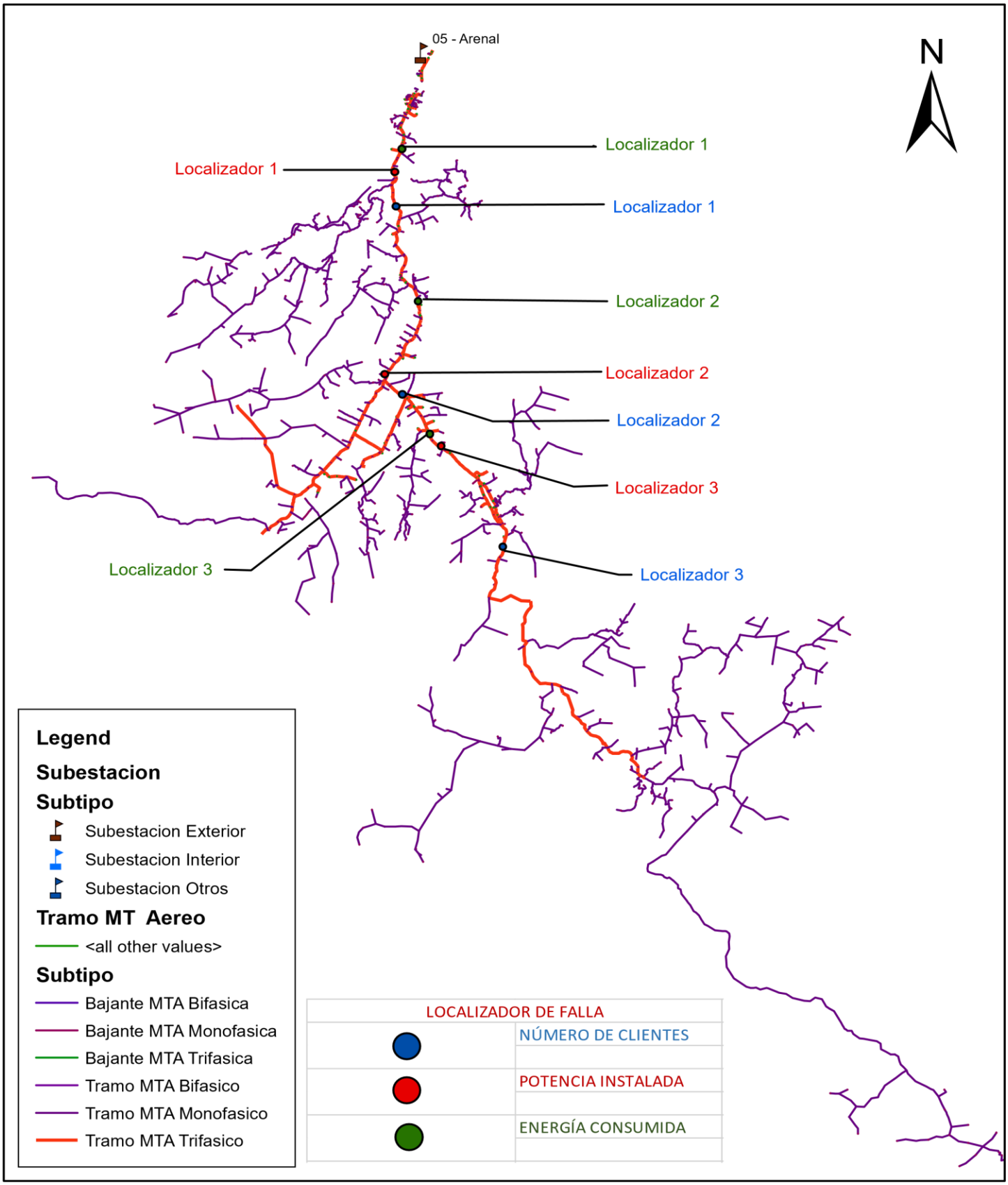
ALIMENTADOR 0526

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



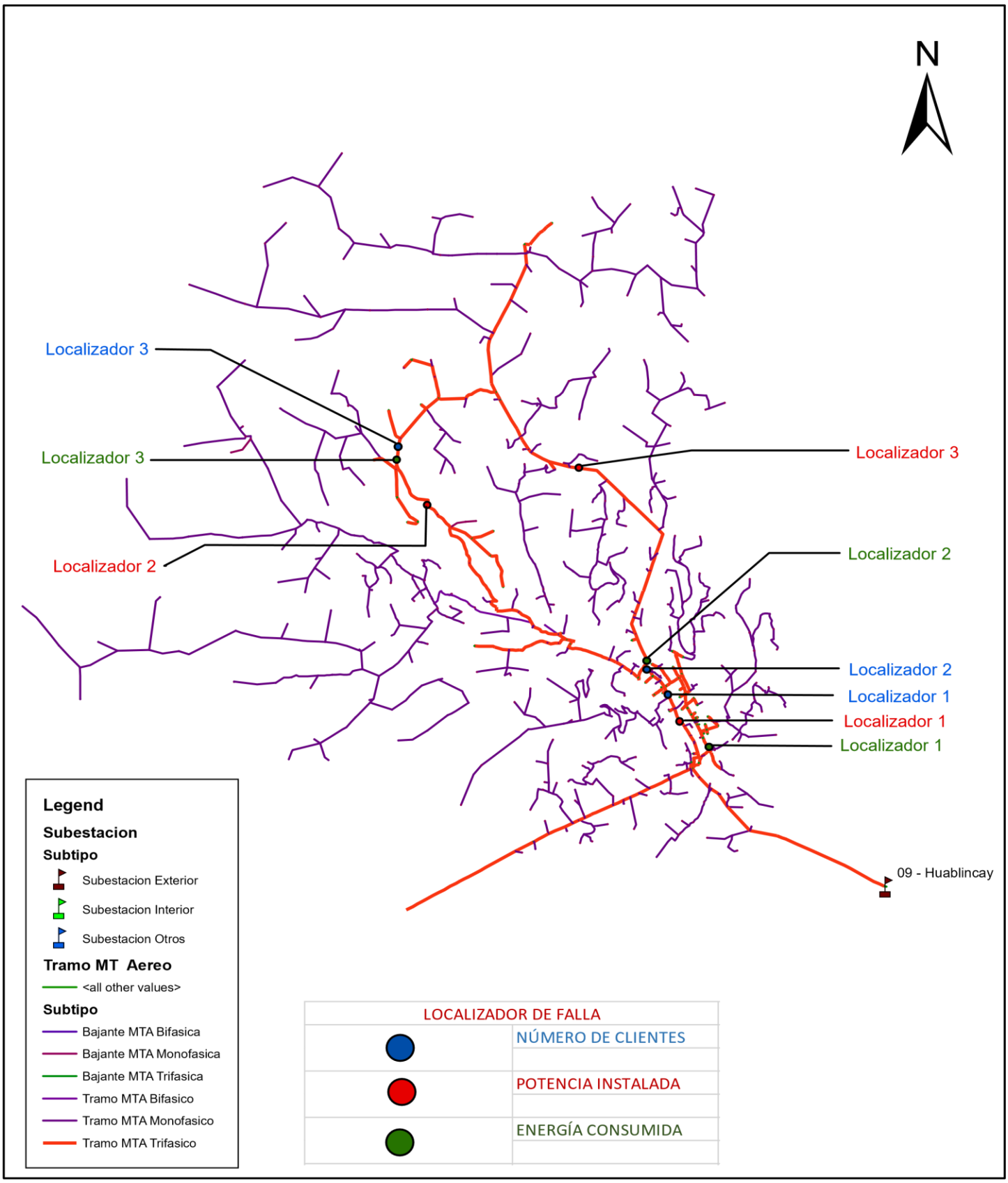
ALIMENTADOR 521

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



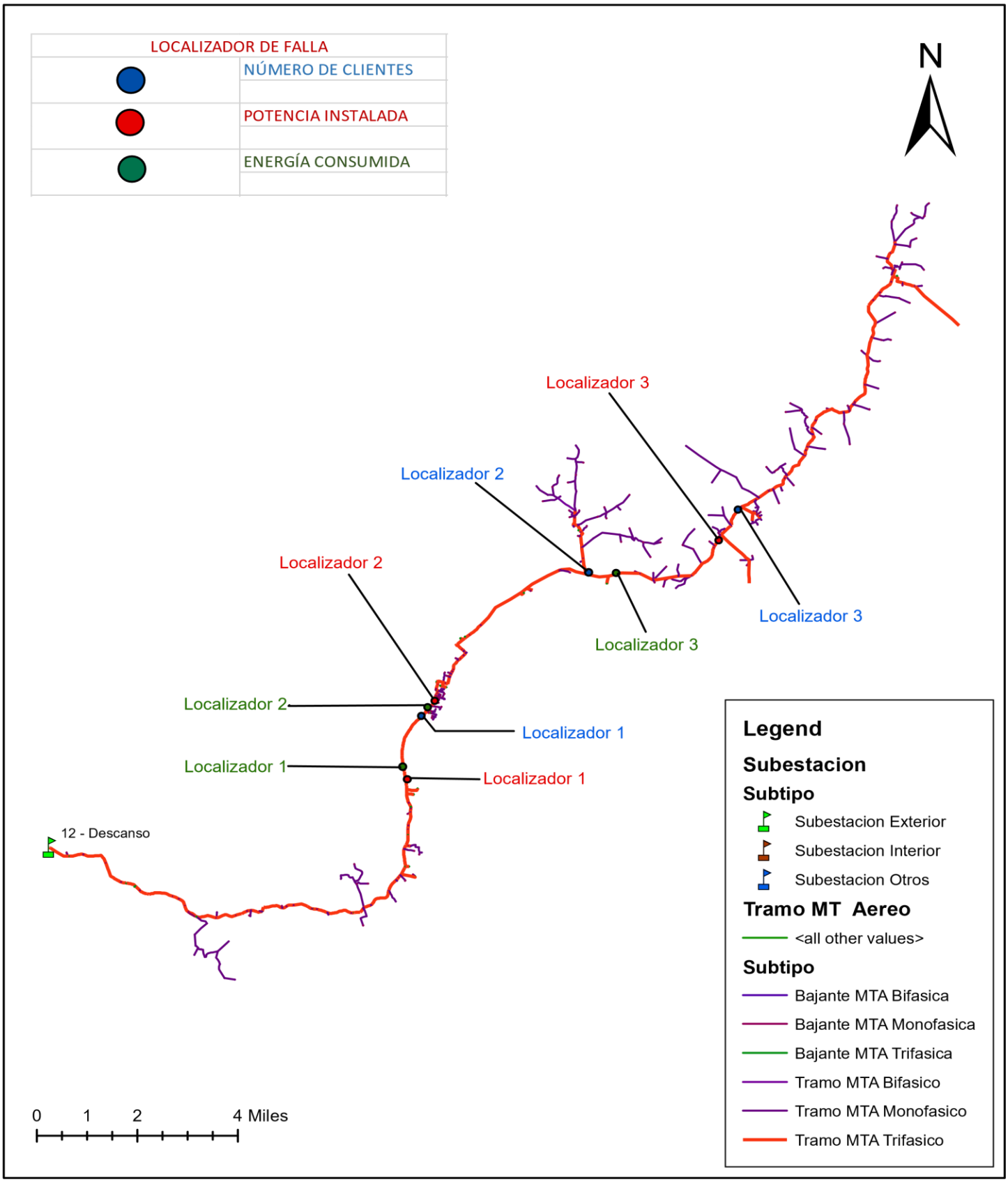
ALIMENTADOR 921

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



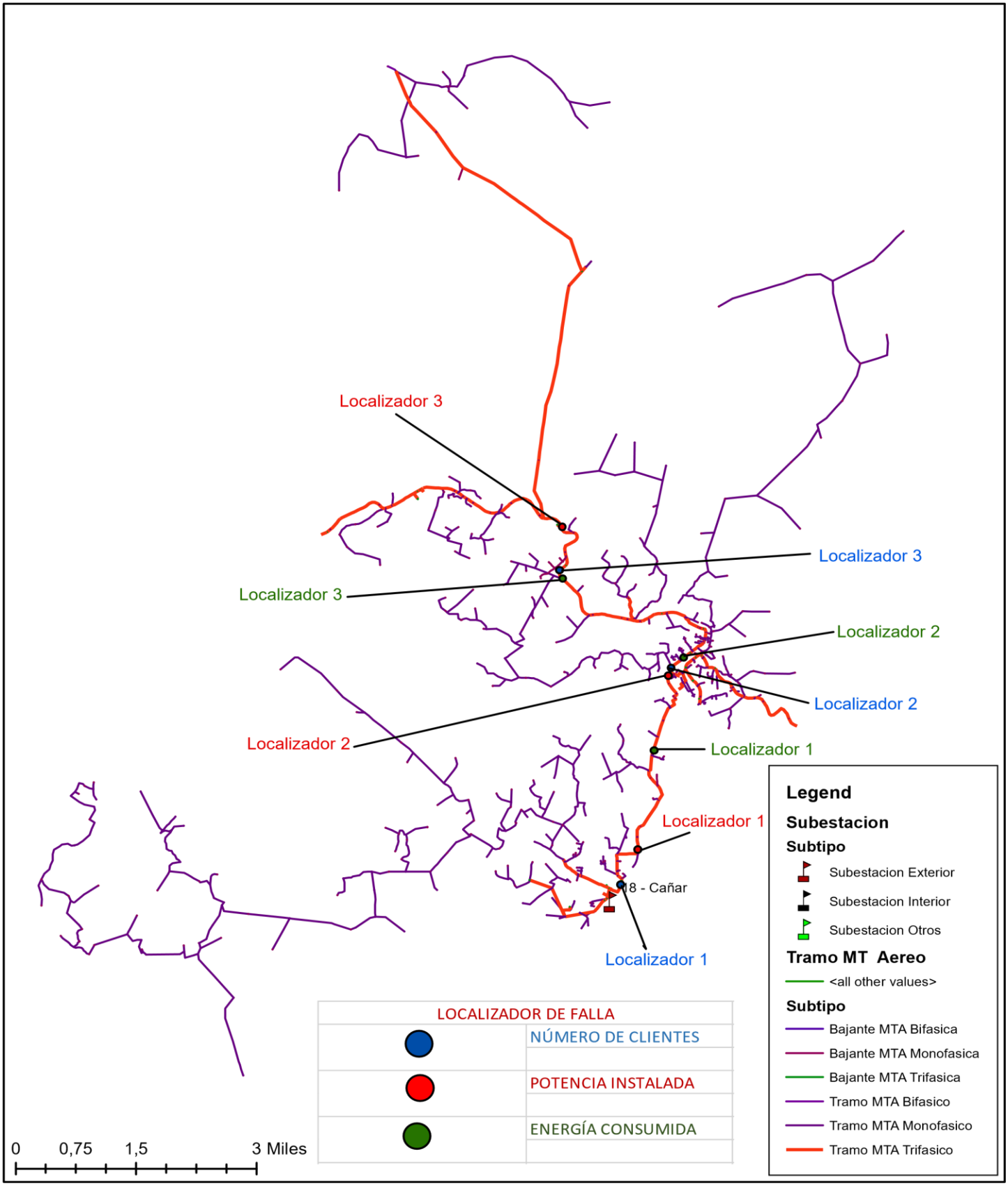
ALIMENTADOR 1222

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



ALIMENTADOR 1822

UBICACIÓN DE LOS LOCALIZADORES DE FALLA SEGUN SU TIPO DE ANALISIS



CAPITULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La implementación de los localizadores de falla son de suma importancia ya que ayudan a la mejora en la confiabilidad de un sistema eléctrico, sin embargo, su instalación debe basarse en estudios que pueden tener un enfoque ya sea de potencia instalada, número de clientes o por el consumo de los clientes, es decir no se puede optar por instalar localizadores de falla sin estudios técnicos ya que la mala ubicación puede representar un impacto negativo en los índices de confiabilidad de la empresa distribuidora.

- Se ha establecido realizar el análisis mediante 4 casos de estudio, esto significa la utilización de 1 a 3 localizadores de falla ya que el objetivo no es tener un exagerado número de localizadores instalados, Mediante los resultados obtenidos se pudo establecer que con la utilización de tres localizadores por alimentador nos ofrece una notable disminución de los índices de confiabilidad.

- El análisis mediante número de clientes permite cubrir cantidades casi iguales de consumidores y longitudes del alimentador similares, pues lo que se hace es buscar cubrir zonas alejadas del alimentador o el mismo número de clientes, sin embargo, como se puede observar en los resultados no siempre es recomendable pues los índices de calidad empiezan a incrementarse.

- El análisis mediante un el enfoque basado en la potencia instalada lo que se hizo es sumar el valor total de la potencia instalada del alimentador y al momento de

implementar los elementos localizadores d falla se buscó equilibrar la potencia, es decir que cada localizador de falla cubra un área que tenga un mismo valor de potencia instalada aguas abajo, sin embrago en algunos alimentadores no se puede equilibrar la potencia instalada debido a la configuración de la red del alimentador.

- Para el análisis mediante el consumo se tomó en cuenta los valores en kilovatios hora de cada consumidor, sin embargo, como pasa en el caso de estudio mediante potencia instalada se puede cubrir lugares donde se encuentre mayor concentración de clientes, pero no zonas alejadas del alimentador, y en ocasiones grandes longitudes del alimentador quedan sin ser sensadas por los elementos localizadores de falla, no obstante se buscó equilibrar de manera que FLs estén ubicados de manera que cubra longitudes y valores de clientes, potencia y energía iguales.

- Como podemos observar el índice de frecuencia de interrupciones (SAIFI) no cambia en ningún caso de estudio ya sea cuando se usa 1, 2 o 3 localizadores de falla esto es porque en este trabajo investigativo no se busca reducir el número de fallas en un alimentador, nuestro objetivo es reducir el tiempo de restauración cuando ocurre una falla eléctrica.

- Para obtener los resultados con mayor reducción en los índices de calidad se debe optar por la instalación de localizadores de falla con comunicación, ya que al existir una falla estos indicaran la zona a recorrer para la ubicación exacta de la falla, a diferencia de los localizadores sin comunicación en los que se debe recorrer toda la red hasta encontrar los localizadores activados que indican la zona que presenta la falla eléctrica.

5.2 Recomendaciones

- Para una mejora integral de los índices que regulan la confiabilidad de un sistema eléctrico recomendamos realizar estudios para la reducción del número de fallas presentes en un alimentador o sistema eléctrico, es decir trabajos investigativos en donde su objetivo sea disminuir el índice de frecuencia de interrupciones SAIFI.

- En el alimentador 0321 que es uno de los que menor confiabilidad presenta debido a su gran longitud, la ayuda de los localizadores debidamente ubicados ayudara a tener un control de interrupciones en zonas alejadas del alimentador, recomendamos usar los resultados obtenidos mediante potencia instalada por lo que se puede observar que se cubre un área igual para cada elemento localizador de falla, como se observa en los mapas la ubicación de los localizadores por el análisis mediante el consumo cubren un área pequeña y este alimentador es de gran extensión.

- Para el alimentador 0323 recomendamos usar los resultados obtenidos mediante el análisis de número de clientes ya que los elementos localizadores de falla esta distribuidos de manera uniforme, es decir cubren áreas iguales, esto ayudara a tener una rápida ubicación de fallas eléctricas.

- En alimentadores urbanos o que su extensión sea pequeña para la implementación de localizadores de falla se recomienda realizar estudios con un enfoque basado en potencia consumida o instalada, ya que por lo general al realizar los cálculos de los índices se obtiene que la ubicación de los elementos localizadores posibilita cubrir áreas pequeñas, sin embargo, al tratarse de alimentadores pequeños, la ubicación no se vería afectada o no tendría mayor impacto en los índices de calidad.

- En alimentadores extensos o rurales no recomendamos el análisis por consumo ya que por lo general se obtiene resultados en donde no se cubre un área extensa a diferencia del análisis mediante número de clientes en donde se cubre áreas iguales y grupos de clientes iguales, además esto ayuda a cubrir zonas alejadas del alimentador.

6 REFERENCIAS

Referencias Bibliográficas

ARCONEL. (2001). *REGULACION CONELEC - 004-01 CALIDAD DE SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION.* QUITO.

Arias, A. G. (2007). *"MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION MEDIANTE RECONFIGURACION DE CIRCUITOS PRIMARIOS".* PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA.

Baeza, R., Rodríguez, J., & Hernández, J. (2003). "EVALUACIÓN DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA EN DESREGULARIZACION". *REVISTA FACULTAD DE INGENIERÍA, U.T.A. (CHILE)*.

Baquero Campaña, J. V. (2013). *"ANÁLISIS DE CALIDAD Y ESTUDIO DE CONFIABILIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO EN EL AREA DE DISTRIBUCION DE LA S/E TENA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO ZONA NAPO".* QUITO.

Bautista Tonato, J. N., & Solis Mora, V. S. (2013). *"DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO MEDIANTE LA TÉCNICA DE LA TERMOGRAFÍA PARA EVALUAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ORIENTE Y ALIMENTADOR TOTORAS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A.".* RIOBAMBA: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Calle, J. R. (2013). *"EFICIENCIA ELÉCTRICA EN ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C. A. – ECUADOR".* CUENCA: Universidad de Cuenca.

Castaño, S. R. (2004). *"REDES DE DISTRIBUCION DE ENERGÍA".* MANIZALES: Centro de Publicaciones UNIVERSIDAD NACIONAL DE MANIZALES.

Cervantes Juarez, J. D. (1995). *SISTEMA DE DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA.* MEXICO: Universidad Autonoma Metropolitana.

Chusin Cayo, L. A., & Escobar Guanoluisa, B. S. (2015). *"ANALISIS DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICA CON PENETRACION DE GENERACION DISTRIBUIDA".* QUITO: Escuela Politécnica Nacional.

Cume Ortiz, W., & Chiriboga Vasconez, J. (2003). "CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO DE LA CORPORACIÓN PARA LA ADMINISTRACION TEMPORAL ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL". *Escuela Superior Politecnica del Litoral*, 10.

Gomez Tapia, F., & Vargas Torres, H. R. (2011). "PLANEAMIENTO DEL DISEÑO DE SUBESTACIONES". *revista Epsilon*.

Granda Vázquez, P. M. (2013). *"PARAMETRIZACIÓN, CONTROL, DETERMINACIÓN, Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN BASE A LA OPTIMIZACIÓN EN EL MONTAJE DE ESTACIONES DE TRANSFORMACIÓN EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO".* CUENCA: UNIVERSIDAD DE CUENCA.

Hernández Panesso, A. F. (2013). *"LOCALIZACIÓN DE FALLAS EN ALIMENTADORES PRIMARIOS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CONSIDERANDO INCERTIDUMBRES EN LA CARGA Y CON PRESENCIA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA".* PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

IEEE. (2003). "GUIDE FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION RELIABILITY INDICES". *IEEE Standar1366-2003*.

Larriva F, & Fernández de cordova, S. (2007). *"ESTUDIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE ALIMENTADORES PRIMARIOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A. MEDIANTE EL USO DE RECONECTADORES. ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO".* CUENCA: Universidad Politécnica Salesiana.

Loaiza Zaruma, J. l., & Villamarín Blacio, D. A. (2012). *"ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTROSUR C.A.".* CUENCA.

Mar Perez, J. G., & Vidal Lopez, E. D. (2011). *“DESCRIPCION Y FUNCION DEL EQUIPO DE UNA SUBESTACION ELECTRICA".* ZONA POZA RICA – TÚXPAN: UNIVERSIDAD VERACRUZANA.

Mass Arriagada, A. G. (1994). *"EVALUACION DE CONFIABILIDAD EN SISTEMAS DE DISTRIBUCION".* SANTIAGO DE CHILE.

Morales, D., Icaza, D., Flores, P., & Conce, G. (2016). "UBICACION MEJORADA DE LOCALIZADORES DE FALLA EN REDES DE DISTRIBUCION AEREAS". *IEEE ICA/ACCA*, 7.

Mujal Rosas, R. (2002). *"PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA".* BARCELONA.

Pinos Quintanilla, R. M. (2010). *"ANALISIS DE LA REGULACION DE CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION EN EL ECUADOR: PROPUESTA DE REFORMAS Y APLICACION PRACTICA".* QUITO: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

Valdiviezo Regalado, W. A. (2013). *"COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO TENA".* LATACUNGA: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.

VIAKON. (2011). Sistemas y redes de distribucion (MANUAL ELECTRICO). *VIAKON*, 337-371.

Zambrano, S. (2010). *“Sistema de Gestión de Interrupciones (OMS) Especificaciones Técnicas y Funcionales de la Licitación”.* Cuenca: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.

Zapata, C. J. (2006). "VALORACIÓN DE CONFIABILIDAD DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN". *DIALNET "Scientia et Technica"*.