



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA SEDE QUITO  
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO  
SOBRE EL IMPACTO DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DEL CABLE  
ECOLÓGICO EN LOS ÍNDICES DE  
CALIDAD DEL SERVICIO EN  
PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN EN  
EL CANTÓN TENA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR: VÍCTOR ALEXANDER  
QUILUMBAQUÍN LLAMATUMBI  
TUTOR: SILVANA FABIOLA VARELA  
CHAMORRO**

Quito -Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Yo, Víctor Alexander Quilumbaquín Llamatumbi con documento de identificación N° 1725706798 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de marzo del año 2025

Atentamente,



-----  
Víctor Alexander Quilumbaquín Llamatumbi

1725706798

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Víctor Alexander Quilumbaquín Llamatumbi con documento de identificación No. 1725706798, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Análisis técnico – económico sobre el impacto de la implementación del cable ecológico en los índices de calidad del servicio en proyectos de electrificación en el cantón Tena”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo del año 2025

Atentamente:



Víctor Alexander Quilumbaquín  
Llamatumbi  
1725706798

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro con documento de identificación N° 1713565818, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO SOBRE EL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CABLE ECOLÓGICO EN LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL SERVICIO EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN EN EL CANTÓN TENA**, realizado por Víctor Alexander Quilumbaquín Llamatumbi con documento de identificación N° 1725706798, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de marzo de año 2025

Atentamente,



---

Ing. Silvana Fabiola Varela Chamorro, MSc  
1713565818

## Índice General

1	Introducción .....	2
2	Problema de estudio .....	2
3	Justificación.....	3
4	Objetivos .....	3
4.1	Objetivo General .....	3
4.2	Objetivo Específico .....	3
5	Marco teórico .....	4
5.1	Conductores para Redes Aéreas de Medio Voltaje .....	4
5.1.1	Conductor ASCR Desnudo .....	4
5.1.2	Conductor ACC Desnudo .....	4
5.1.3	Conductor Semiaislado - Ecológico.....	5
5.2	Estructuras Para Redes Aéreas de Medio Voltaje .....	5
5.2.1	Estructura Convencionales.....	5
5.2.2	Estructura Compactas.....	6
5.3	Indicadores de Calidad de Servicio Técnico .....	6
5.3.1	Indicador FMIK .....	7
5.3.2	Indicador TTIK .....	7
5.4	Desbroce .....	8
6	Estrategia Metodológica para el análisis del impacto del cable ecológico .....	8
7	Caso de Estudio.....	8
7.1	Criterio técnico .....	10
7.1.1	Datos con Transmisor .....	11
7.1.2	Datos sin Transmisor .....	12
7.1.3	Desglose de Incidencias No Programadas .....	12
7.1.4	Tramo Monofásico Vía a Yuralpa-Kompade.....	13
7.1.5	Tramo Monofásico Comunidad Ponce Loma .....	14
7.2	Criterio Económico .....	15
7.2.1	Desbroce en Redes Aéreas .....	15
7.2.2	Costo de movilización de grupos de mano de obra.....	18
8	Análisis de Resultados .....	19
8.1	Ventajas del uso del cable ecológico.....	20
8.2	Desventajas del uso del cable ecológico .....	20
9	Conclusiones .....	20

9.1	Trabajos futuros.....	21
10	Referencias.....	21

## **Índice de figuras**

Figura 1. Estructura Centrada Trifásica Pasante.....	5
Figura 2. Estructura Compacta Trifásica Pasante .....	6
Figura 3. Procesos para el desarrollo de la metodología.....	8
Figura 4. Tramo Monofásico Yuralpa-Kompade.....	13
Figura 5. Tramo Monofásico Comunidad Ponce Loma.....	14

## **Índice de ilustraciones**

Ilustración 1. Resumen Porcentual FMIK Misahualli.....	11
Ilustración 2. Resumen Porcentual TTIK Misahualli .....	11
Ilustración 3. Resumen FMIK Sin Transmisor – Misahualli .....	12
Ilustración 4. Resumen TTIK Sin Transmisor – Misahualli .....	12
Ilustración 5. Resumen Incidencias No Programadas.....	13
Ilustración 6. Presupuestos Selva Amazónica – Plataforma Proyectado a 20 Años.....	19
Ilustración 7. Comparación del Presupuesto Comunidad Israel Proyectado a 20 Años ..	20

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Límites para la calidad de servicio técnico - índices globales .....	7
Tabla 2. Datos Proyecto Comunidad Israel.....	9
Tabla 3. Datos Proyecto Selva Amazónica - Plataforma .....	9
Tabla 4. Resumen de Incidencias FMIK 2023 - Misahualli .....	10
Tabla 5. Comparativa Indicador FMIK Alimentador Misahualli .....	10
Tabla 6. Resumen de Incidencias TTIK 2023 - Misahualli .....	10
Tabla 7. Comparativa Indicador TTIK Alimentador Misahualli .....	10
Tabla 8. Desconexiones en el Tramo Monofásico Yuralpa-Kompade .....	14
Tabla 9. Índice Acumulado por Desconexión en Tramo Yuralpa-Kompade.....	14
Tabla 10. Desconexiones en el Tramo Monofásico Ponce Loma.....	15
Tabla 11, Aporte de los Indicadores FMIK y TTIK en el Tramo Ponce Loma.....	15
Tabla 12. Costo por Desbroce en los Proyectos.....	16
Tabla 13. Costo Anual por Desbroce Red Desnuda.....	16
Tabla 14. Costo Proyectado por Desbroce Red Desnuda .....	17
Tabla 15. Costo Anual Por Desbroce Red Ecológica .....	17
Tabla 16. Costo Anual Por Desbroce Red Ecológica .....	17
Tabla 17. Proyección de Presupuesto Desbroce Selva Amazónica - Plataforma .....	17
Tabla 18. Proyección de Presupuesto Desbroce Comunidad de Israel .....	18
Tabla 19. Precios Referenciales por Movilización con Conductor Desnudo.....	19
Tabla 20. Precios Referenciales por Movilización con Conductor Ecológico.....	19

## Índices de ecuaciones

Ecuación 1. Indicador FMIK Individual .....	7
Ecuación 2. Indicador FMIK Total .....	7
Ecuación 3. Indicador TTIK individual .....	8
Ecuación 4. Indicador TTIK Total .....	8
Ecuación 5. Costo por Desbroce .....	16
Ecuación 6. Costo de Contrato Anual por Desbroce.....	16
Ecuación 7. Costo de Contrato Proyectado.....	17

# ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO SOBRE EL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL CABLE ECOLÓGICO EN LOS ÍNDICES DE CALIDAD DEL SERVICIO EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN EN EL CANTÓN TENA

## Resumen

La evolución de la energía eléctrica ha impulsado innovaciones en los componentes de la generación, transmisión y distribución, realizando un enfoque particular en los temas de proyectos de electrificación rural en el Ecuador. Debido a su ubicación, en el caso de las zonas dentro del cantón Tena estos proyectos deben enfrentar desafíos únicos como la geografía compleja y la densa vegetación. En ese contexto, la implementación del cable ecológico tiende a ser una nueva alternativa en comparación al cable tradicional (desnudo) puesto que busca ser una solución técnica y económica con el fin de mejorar la calidad del servicio técnico. El análisis técnico - económico pertinente revela que el cable ecológico llega a ofrecer ventajas significativas en las mejoras de calidad del servicio, puesto que reduce las interrupciones no programadas provocadas por condiciones ambientales y con ello, disminuye los costos operativos por mantenimiento y movilización en áreas rurales con acceso tardío. A pesar de que su elección conlleva un costo elevado, dicho valor es compensado con una recuperación de inversión mucho más rápida acompañado de un reforzamiento en los indicadores de calidad de servicio.

**Palabras clave:** FMIK, TTIK, Cable Ecológico, Cable Desnudo, Proyectos de Electrificación.

## Abstract

The evolution of electrical energy has driven innovations in the components of generation, transmission, and distribution, placing a particular focus on the issues of rural electrification projects in Ecuador. Due to their location, in the case of areas within the Tena canton, these projects must face unique challenges such as complex geography and dense vegetation. In this context, the implementation of the ecological cable tends to be a new alternative compared to the traditional (bare) cable since it seeks to be a technical and economic solution to improve the quality of the technical service.

The relevant technical-economic analysis reveals that the ecological cable offers significant advantages in improving service quality, since it reduces unscheduled interruptions caused by environmental conditions and, thereby, reduces operating costs for maintenance and mobilization in rural areas, with late access. Although its choice entails an excessive cost, this value is compensated by a much faster recovery in investment accompanied by a reinforcement of service quality indicators.

**Keywords:** FMIK, TTIK, Ecological Cable, Bare Cable, Electrification Projects.

# 1 Introducción

La energía eléctrica ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, mejorando continuamente sus tres componentes fundamentales: generación, transmisión y distribución. Este progreso constante ha impulsado la búsqueda de innovaciones en equipos y materiales que optimicen cada uno de estos procesos. En Ecuador, los proyectos de electrificación han experimentado un crecimiento sostenido, no solo en las principales ciudades y sus alrededores, sino también en comunidades remotas, incluyendo aquellas ubicadas en zonas de difícil acceso, como la selva amazónica.

Cada proyecto de electrificación presenta desafíos únicos, ya que las condiciones geográficas, los materiales y las tecnologías aplicables varían considerablemente. Un ejemplo de esta realidad se visualiza en el cantón Tena, donde se ha impulsado la expansión del servicio eléctrico a comunidades rurales con el objetivo de proporcionar un acceso equitativo a este recurso básico. Sin embargo, las características particulares de la selva ecuatoriana, como la densa vegetación, la fauna y la posible intervención humana, generan riesgos específicos para la infraestructura eléctrica, que deben ser considerados en el diseño de estos proyectos.

Ante estos desafíos, se ha identificado la necesidad de utilizar un tipo de conductor diferente al tradicional cable desnudo que se emplea en las zonas urbanas. En estos casos, se ha optado por el uso de cable semiaislado o ecológico, un conductor de aluminio cubierto que ofrece mayor protección y durabilidad, especialmente en redes de media tensión (13,8kV o superiores). Este conductor ha demostrado ser una alternativa viable

para reducir las incidencias y mejorar la calidad del servicio en zonas rurales.

En este contexto, surgen interrogantes clave: ¿Es el cable ecológico superior al cable desnudo en estas aplicaciones? ¿Qué beneficios aporta su implementación, tanto a corto como a largo plazo? Para responder a estas preguntas, se llevará a cabo un análisis técnico-económico que evaluará el impacto del uso de cables ecológicos en los índices de calidad del servicio eléctrico, proporcionando una visión objetiva y fundamentada sobre su potencial en los proyectos de electrificación rural.

Este análisis técnico-económico permitirá evaluar, desde un punto de vista técnico, cómo el uso del cable ecológico mejora la confiabilidad y la continuidad de los índices del servicio eléctrico en zonas rurales, mitigando los riesgos asociados a las condiciones del entorno. Desde una perspectiva económica, se analizarán los costos de implementación, mantenimiento y operación de este tipo de conductor, comparándolo con el cable desnudo, a fin de determinar su rentabilidad y sostenibilidad en el largo plazo. Además, se estudiará el impacto de esta tecnología en los índices de calidad del servicio, como la reducción de interrupciones y fallos, lo que permitirá una toma de decisiones más fundamentada en proyectos de electrificación en zonas como el cantón Tena.

## 2 Problema de estudio

En la actualidad, es un requisito presentar un análisis elemental sobre el comportamiento o adecuación que tienen ciertos conductores (desnudos o semiaislados) que pueden ser utilizados en proyectos de electrificación de medio voltaje, como parte del estudio previo a

su futura ejecución. Sin embargo, dicho análisis al ser elemental podría no cumplir de manera eficiente la evaluación referente al desempeño del tipo de conductor elegido para los proyectos de expansión del sistema de distribución.

Específicamente, el análisis que se realiza es referente a los apartados técnicos y económicos entre los conductores aéreos desnudos y el conductor aéreo ecológico; en donde se evalúa en como la utilización de un tipo y otro cumplen con los indicadores y parámetros de calidad de servicio técnico al momento de ser utilizado en sistemas de distribución y a la vez evitando las pérdidas económicas por cortes e interrupciones [1].

### **3 Justificación**

Para poder valorizar correctamente el impacto que tiene el uso del cable ecológico en los índices de calidad de servicio, es necesario poder detallar con simpleza las ventajas y desventajas de su uso en zonas rurales que cuenten con gran vegetación y en donde se trate de minimizar el impacto ambiental de la zona sobre las líneas de distribución. Este análisis puede permitir obtener una valoración adecuada referente a la viabilidad del porque usar el cable ecológico y no los conductores tradicionales en futuros proyectos de electrificación en zonas con gran importancia ambiental.

El uso del cable ecológico ha tenido la oportunidad de ser implementado en algunos sectores y con ello se ha podido obtener datos suficientes, relacionados a los apartados técnicos y económicos, que pueden ser analizados para determinar los índices de calidad de servicio técnico

que tuvo en esas zonas y podría tener en nuevos y futuros proyectos. Con ese análisis, se plantea poder ampliar el uso del cable ecológico en varios sectores rurales, en vías y zonas estratégicas como los alimentadores principales. Por ende, el objetivo de este artículo es demostrar mediante un análisis técnico – económico, más detallado y realista, en como el uso del conductor ecológico, en comparación con los conductores desnudos, puede llegar a asegurar el cumplimiento de los indicadores de calidad de servicio técnico y minimizando las pérdidas económicas generadas por las frecuentes desconexiones presentes en el uso de cables desnudos.

## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Realizar un análisis técnico-económico del impacto que tiene la implementación del cable ecológico en los índices de calidad de servicio de proyectos destinados a zonas rurales en el cantón Tena.

### **4.2 Objetivo Específico**

- Revisar datos obtenidos en pequeñas implementaciones de proyectos con cable ecológico, para evaluar su viabilidad en proyectos de mayor magnitud en el cantón Tena.
- Determinar las ventajas y desventajas del uso del cable ecológico en los proyectos de electrificación rurales del cantón Tena.
- Evaluar los índices de calidad de servicio de proyectos con el uso del cable ecológico versus la implementación de los proyectos con red aérea desnuda en

proyectos eléctricos rurales del cantón Tena.

## 5 Marco teórico

Para realizar un análisis técnico-económico adecuado, es fundamental el establecer las generalidades que puedan relacionarse a los temas de proyectos de electrificación aéreas y con ello desarrollar al impacto en los índices de calidad del servicio. Es crucial comprender que los proyectos de electrificación aérea tienen gran impacto en los indicadores de calidad, los cuales se vinculan con la continuidad del servicio o las desconexiones que pueden ser provocadas por incidencias dentro de las líneas de distribución.

Por ende, se tiene en cuenta a todo aquello que se relaciona en la etapa de distribución, es decir, el uso de estructuras y las clases de conductores que son utilizados van a ser causa principal del impacto en los indicadores de calidad de un alimentador y con ello, determinando la eficiencia y la fiabilidad que tiene del sistema con un ante un suministro estable o ante frecuentes fallas.

### 5.1 Conductores para Redes Aéreas de Medio Voltaje

Las redes aéreas de medio voltaje trabajan mediante la utilización de conductores desnudos o ecológicos [1] destinados para soportar grandes cantidades de corriente y a su vez, con niveles de voltaje desde los 15kV, hasta los 35kV.

#### 5.1.1 Conductor ASCR Desnudo

Un conductor desnudo ASCR o “*Aluminum Conductor Steel Reinforced*” es un tipo de conductor que su uso está enfocado a la etapa de distribución, es decir, trabaja con MT con

valores superiores a los 13.8kV. El ASCR es un tipo de conductor que cuenta con la característica que son fabricados concéntricamente con aleaciones o sobre almas de acero o cable de acero galvanizado, pero, sin contar con un recubrimiento antes y después de su empaquetamiento en carretes de longitudes de cientos de metros [2].

Los conductores que basan su construcción en aluminio reforzado, al ser enfocados en redes de transmisión, subtransmisión y distribución cuenta con la característica de una considerable resistencia ante tracciones o tensiones mecánicas por carga, lo cual es indispensable para poder ser aplicados en tendidos de líneas de distribución, pero sin perder la capacidad propia del conductor para transportar corriente [2].

#### 5.1.2 Conductor ACC Desnudo

Los conductores de aluminio refinado que son del tipo trenzados o conocidos como conductores AAC 1350-H19, son aquellos conductores que están casi compuestos en su totalidad por aluminio refinado el cual cuenta con una pureza no menor a los 99,7%. Por su tipo de configuración son destinados en lugares que no tengan mucho distanciamiento entre poste y poste lo cual es recomendable para el ahorro de precios y una rápida instalación en espacios estrechos [3].

Al ser un cable sin ninguna clase de recubrimiento externo, cuentan con características destinadas a disminuir la corrosión desde su proceso de fabricación. Por ende, suele ser recomendable que sea utilizado en zonas con grandes niveles de humedad puesto que, al contar con una fabricación destinada a evitar una rápida corrosión, son más duraderos en comparación a

otros conductores que no cuenten con esa ventaja.

### 5.1.3 Conductor Semiaislado - Ecológico

El Cable Semiaislado o ecológico para líneas aéreas tiene la misma composición que un conductor desnudo de aluminio AAC, AAAC o ACSR [4]. pero con la característica de que cuentan con una capa semiconductor aplicada directamente sobre el conductor [5]. El conductor ecológico está diseñado con una capa interna de:

#### -Polietileno reticulado XLPE-TR

El polietileno reticulado, o XLPE-TR trata acerca del tipo de recubrimiento interno que tiene el cable ecológico. Las siglas “TR” hacen referencia a la característica de funcionar como retardante de arborescencia ante el proceso de ruptura dieléctrica la cual puede ser visible en el recubrimiento [6]. Y una capa externa de:

#### -Polietileno reticulado XLPE-TK

El subtipo de polietileno reticulado XLPE-TK, al ser diseñado específicamente para recubrimiento externo, cuenta con la certificación ASTM B232 el cual asegura que el conductor, gracias a su recubrimiento externo, puede resistir a descargas superficiales y a una intemperie caracterizada por zonas arborizadas, manteniendo así su confiabilidad en temas de distribución de servicio eléctrico [7].

Estos cables son ideales para redes aéreas de distribución de media tensión en zonas arborizadas, tanto industriales como residenciales. Con una temperatura de operación de 90°C y capacidades de tensión de 15, 25 y 35 kV, estos cables ofrecen una solución eficiente y ecológica para la transmisión de energía eléctrica en entornos desafiantes al ser

acompañados del uso de las estructuras correspondientes [8].

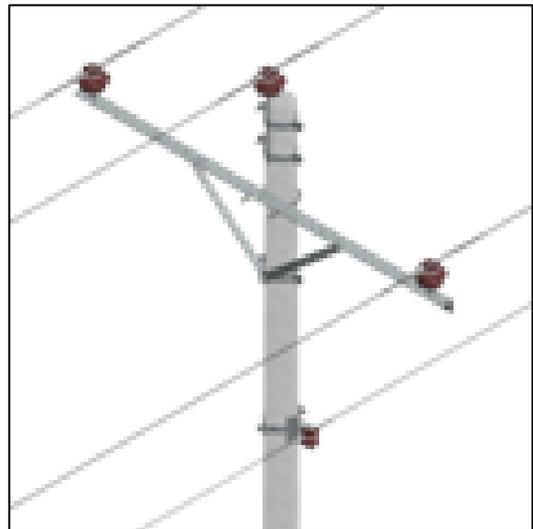
## 5.2 Estructuras Para Redes Aéreas de Medio Voltaje

### 5.2.1 Estructura Convencionales

Las estructuras convencionales utilizadas en las redes aéreas de media tensión son diseñadas y construidas en base a la norma establecida en las Unidades de Propiedad [9]. El hecho de ser conocidas como “convencionales” viene por el hecho de que son muy prácticas y de bajo costo al momento de iniciar un proyecto de electrificación aéreo.

Teniendo en cuenta que su diseño estaba basado en las unidades de propiedad, dicha norma puede ser utilizada tanto para la construcción de redes aéreas de cable desnudo y de la misma manera, para redes aéreas de cable ecológico, teniendo en cuenta que el uso de equipos y herrajes por utilizar varía en las zonas de apoyo o de retención.

Figura 1. Estructura Centrada Trifásica Pasante



Fuente: Unidades de Propiedad p.42

Los diseños de proyectos de electrificación en base a estos tipos de estructuras son muy confiables en temas de calidad de servicio eléctrico, pero

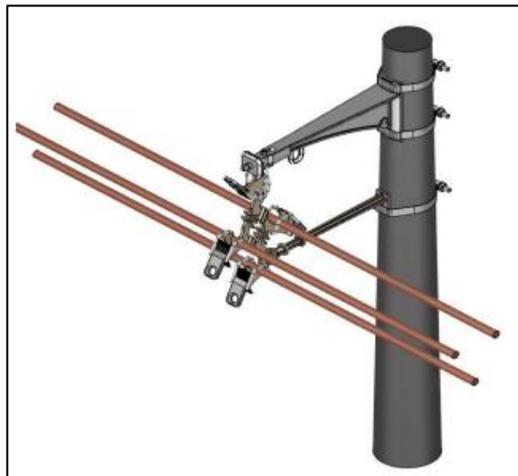
dependiendo el uso de cable desnudo o cable ecológico van teniendo sus ventajas y desventajas en su modo de operación y funcionamiento.

### 5.2.2 Estructura Compactas

El tendido regulado de redes aéreas de distribución mediante el uso de un “portante triangular” y su cable guía de acero son conocidos como “estructuras compactas”, las cuales son armados de esa manera con el fin de proteger los tramos de redes eléctricas de factores de fauna, flora, humedad, rayos ultravioletas y los encaminamientos eléctricos gracias a la reducción de espacio que se tienen entre fases y el aumento de aislamiento contra la ionización en el aire debido a las ventajas con las que cuenta el portante [10].

El ser considerado como una estructura “compacta” toma mayor sentido al relacionarse con su estructura ya montada, la cual, como se mencionó, está diseñada para mantener la confiabilidad del sistema de distribución en situaciones en zonas con condiciones específicamente, gran cantidad de vegetación, grandes extensiones o vanos sumamente amplios. Esto debido a que el tendido y su carga de ruptura son apoyados por un cable de acero, que sirve como soporte y permite a los conductores mantenerse a una misma distancia sin interrumpir su funcionamiento [10].

Figura 2. Estructura Compacta Trifásica Pasante



Fuente: Unidades de Propiedad Trifásicas p.10

La aplicación de este tipo de estructuras en su totalidad cuenta con una reducción de costo en temas de mantenimiento, mejoras en confiabilidad de los valores de indicadores de calidad del servicio técnico y un menor impacto medioambiental.

### 5.3 Indicadores de Calidad de Servicio Técnico

Al hablar de los indicadores de calidad de servicio eléctrico se hace referencia a los límites regularizados que tiene una empresa distribuidora ante fallas, incidencias o eventualidades que tengan un efecto directo en el servicio hacia los consumidores. Estos límites a los que se hace mención fueron establecidos en un principio por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) y pasó posteriormente a ser controlado por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR). Actualmente dicha entidad es la encargada de determinar las regulaciones como es el caso de la **Regulación No. ARCERNNR 002-20 (Codificada)** [11], la cual tiene el objetivo de asegurar y garantizar lo referente a la calidad de

servicio en temas de distribución basándose en el *Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad* declarada en el año 1999 y además de fundamentar el mejoramiento continuo en lo referente a la prestación, distribución del servicio eléctrico [11].

La regulación establecida concede los índices globales del *FMIK* (Frecuencia Media de Interrupciones por KVA nominal instalado) y el indicador *TTIK* (Tiempo total de Interrupciones por KVA nominal instalado) los cuales van variando acorde al total de incidencias que se generan en los alimentadores que tiene cada empresa de distribución [12], siendo sus límites los siguientes:

Tabla 1. Límites para la calidad de servicio técnico - índices globales

Índice	Red	Alimentador	
		Alta Densidad	Baja Densidad
<b>FMIK</b>	6.0	7.0	9.50
<b>TTIK</b>	8.0	10.0	16.0

Fuente: Regulación ARCERNR – 003/23. Pág. 19

Teniendo en cuenta la Tabla 1, toda empresa basa su eficiencia y desempeño acorde a los valores mostrados. Buscando tener el total de sus incidencias por debajo del indicador para evitar sanciones monetarias por parte del ARCENNR [11].

### 5.3.1 Indicador *FMIK*

El indicador *FMIK* o indicador de *Frecuencia Media de Interrupciones de Suministro*, es aquel índice que es utilizado para medir, evaluar y calificar la calidad del comportamiento referente al suministro eléctrico [13].

La forma que tiene el indicador *FMIK* para calificar el suministro es en base al cálculo del total de la carga desconectada

en un fallo, en comparación a la carga total instalada, teniendo en cuenta que dichas cargas este desconectadas por un tiempo mayor a tres minutos, puesto que, si la falla ocurrió en un tiempo menor a tres minutos, esta desconexión y pérdida de carga no afecta de manera directa al indicador total.

La fórmula para poder calcular este indicador es la siguiente:

Ecuación 1. Indicador *FMIK* Individual

$$FMIK_i = \frac{kVA_i}{kVA_{Ti}}$$

Donde:

$kVA_i$  = *kVA instalados por tramo*

$kVA_{Ti}$  = *kVA total instalado del alimentador*

Con la ecuación mostrada se puede obtener el valor que tiene una desconexión (incidencia) sobre el indicador total. Por ende, es requerido que se aplique la siguiente fórmula para poder obtener la suma y el valor total que tiene el indicador y con ello saber si afecta o no a la empresa de distribución.

Ecuación 2. Indicador *FMIK* Total

$$FMIK = \sum FMIK_i$$

Donde:

$\sum FMIK_i$  = *Suma total del valor de incidencias*

### 5.3.2 Indicador *TTIK*

El indicador global *TTIK* o indicador de *Tiempo Total de Interrupciones por KVA nominal instalado*, es aquel indicador que calcula el tiempo total que pasa desconectado una carga dentro de un alimentador, como se mencionó, esta desconexión, por cualquiera que sea su causa, debe ser mayor a tres minutos para poder realizar una suma final al valor del

indicador [13]. La fórmula para el cálculo del indicador es la siguiente:

Ecuación 3. Indicador TTIK individual

$$TTIK_i = \frac{kVA_i * t_i}{kVA_{Ti}}$$

Donde:

$kVA_i$  = *kVA instalados por tramo*  
 $kVA_{Ti}$  = *kVA total instalado del alimentador*  
 $t_i$  = *Tiempo de la duración de la incidencia en horas*

De la misma manera, los resultados individuales de este indicador tienen que ser recopilados y añadidos a un indicador general. Por ende, es requerido que se aplique la siguiente formula:

Ecuación 4. Indicador TTIK Total

$$TTIK = \sum TTIK_i$$

Donde:

$\sum TTIK_i$  = *Suma total del valor de incidencias*

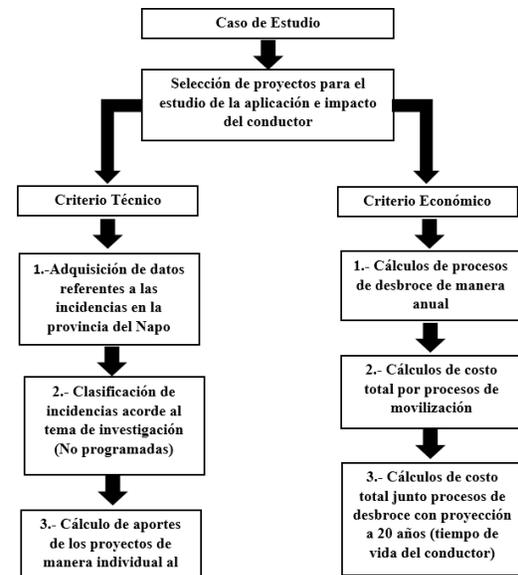
## 5.4 Desbroce

La palabra desbroce se refiere a la acción de abrir o realizar a la apertura de la franja requerida para la construcción o mantenimiento de una línea de distribución (primario o ramal) durante toda su vida útil [14]. Es un procedimiento obligatorio cuando se realiza un proceso de expansión de red que cruza zonas boscosas o zonas ecológicas [15]. La distancia que debe mantener el desbroce varía acorde a la ubicación del proyecto, generalmente se busca conseguir una separación que va desde los tres a los cinco metros y, sobre todo, un ángulo de 45 grados de separación entre la línea construida y la caída de la vegetación más cercana.

## 6 Estrategia Metodológica para el análisis del impacto del cable ecológico

El desarrollo de este estudio está basado en el análisis de los apartados técnicos y económicos con el objetivo de determinar el impacto del conductor ecológico en el cantón Tena. Por ende, se presenta el siguiente proceso metodológico, el cual se muestra en la Figura 3 y detalla una estructura organizada para el estudio de cada uno de los apartados.

Figura 3. Procesos para el desarrollo de la metodología



Al seguir la organización sistemática propuesta, se espera una valoración precisa sobre el impacto referente al cable ecológico en proyectos de electrificación sobre los índices de calidad en el cantón Tena.

## 7 Caso de Estudio

Una vez establecidas las bases requeridas para continuar el tema principal de este artículo, se puede iniciar con el planteo del problema en el cual está basado el

presente estudio. Como se comentó, los temas de expansión de redes gracias a proyectos de electrificación son mucho más frecuentes y tratan de abarcar zonas en donde años posteriores era difícil el acceder, por factores ambientales y geológicos en su mayoría.

La mayoría de los proyectos de electrificación son del tipo aéreo, debido a que este tipo de distribución es presenta ventajas relacionadas a la conveniencia técnica, puesto que son utilizados en el desarrollo y crecimiento de alimentadores mediante la realización de proyectos de electrificación. Dichos procesos deben ser ejecutados mediante las regulaciones establecidas en las guías de diseño de la empresa que son basadas en las unidades de propiedad proporcionadas por el MEER, con el objetivo de obtener un óptimo funcionamiento. Esta ejecución debe contar con un armado correcto de las estructuras antes mencionadas acompañadas de gran variedad de herrajes y el uso del conductor correspondiente, para que no existan inconvenientes al momento de distribuir el servicio hacia los usuarios ubicados en cada ramal del alimentador [13].

En la actualidad, dentro del cantón Tena, existen dos proyectos de electrificación de media tensión que están en etapa de planificación para posteriormente ser ejecutados basados en el siguiente análisis, nombrados como: *Proyecto comunidad Israel* y *Proyecto Selva Amazónica – Plataforma*. Estos proyectos están próximos a ser ejecutados con un voltaje nominal de 13.8kV por lo cual deben contar con la utilización de un conductor ya sea desnudo, o ecológico para soportar el trabajo y la corriente al cual van a estar destinados. Los datos como longitud, alimentador y presupuesto referenciales se muestran en las siguientes tablas, las

cuales servirán para poder realizar la análisis y comparaciones pertinentes.

Tabla 2. Datos Proyecto Comunidad Israel

<b>Proyecto:</b>	Comunidad de Israel
<b>Alimentador:</b>	Misahualli
<b>Longitud (km):</b>	2,7
<b>Presupuesto Red Desnuda:</b>	\$ 53.569,52
<b>Presupuesto Red Ecologica:</b>	\$ 60.222,52

Fuente: Proyectos EEASA 2024

Tabla 3. Datos Proyecto Selva Amazónica - Plataforma

<b>Proyecto:</b>	Selva Amazónica - Plataforma
<b>Alimentador:</b>	Misahualli
<b>Longitud (km):</b>	3,1
<b>Presupuesto Red Desnuda:</b>	\$ 59.677,84
<b>Presupuesto Red Ecologica:</b>	\$ 66.573,24

Fuente: Proyectos EEASA 2024

Para empezar con los análisis, técnico-económico pertinente de este artículo, es requerido tomar en cuenta que los estudios mostrados van a tener un fuerte contacto con zonas de gran vegetación al formar parte del alimentador Misahualli. Y con ello pueden sufrir incidencias que provoquen un corte de suministro de energía a las comunidades ubicadas en sus extensiones. Tal hipótesis se basa en que dicha troncal muestra una gran cantidad de incidencias provocada por vegetación, descargas y fallas en el equipo puesto que el alimentador Misahualli cuenta con un total de 399 kilómetros de recorrido dentro del cantón Tena, en los cuales únicamente 92,6

kilómetros son ramales diseñados con uso del cable ecológico.

### 7.1 Criterio técnico

Como se aclaró, el alimentador Misahualli es uno de los troncales con un mayor número de incidencias durante todo el transcurso del año, al ser un alimentador sumamente extenso en zonas rurales, implica una gran variación en los valores de sus indicadores.

Puesto que las incidencias ocurridas en los ramales antiguos, recientes y posiblemente en los futuros, cuentan con una influencia directa en la suma total de los indicadores TTIK y FMIK sean de baja o alta densidad [11], se puede tener claro cuáles son los factores que más influyen en los valores finales.

Tabla 4. Resumen de Incidencias FMIK 2023 - Misahualli

Alimentador Misahualli				
Mes	FMIK	Programadas	No Programadas	Transmisor
ENE	0.23	-	0.23	-
FEB	0.94	0.00	0.78	0.16
MAR	2.99	0.40	1.73	0.86
ABR	1.90	0.10	0.94	0.86
MAY	0.96	0.01	0.09	0.86
JUN	0.26	0.03	0.23	-
JUL	1.71	0.01	0.01	1.69
AGO	0.74	-	0.74	-
SEP	-	-	-	-
OCT	2.53	-	2.53	-
NOV	-	-	-	-
DIC				
<b>12.26</b>	<b>0.55</b>	<b>7.29</b>	<b>4.42</b>	

Fuente: Incidencias EEASA 2023

Es importante tener en cuenta que, a pesar de no tener valores referentes a los meses de septiembre, octubre y noviembre, estos datos son obtenidos en base al registro de incidencias y que, por ende, los datos son lo más apegado a la realidad. Por lo tanto, se realiza el análisis siguiente:

Tabla 5. Comparativa Indicador FMIK Alimentador Misahualli

ALIMENTADOR	LIMITE	TOTALES	ESTADO
MISAHUALLI	9.5	12.26	No Cumple

Fuente: Incidencias EEASA 2023

A pesar de que el alimentador Misahualli es un primario de baja densidad [16] y cuenta con mucha más apertura para poder cumplir con los valores de los indicadores establecidos, se evidencia que, con los 12.26 puntos obtenidos tras la suma de todas sus incidencias generadas en el año 2023, no llega a cumplir con los valores establecidos en la regulación sobre el indicador FMIK.

Tabla 6. Resumen de Incidencias TTIK 2023 - Misahualli

Alimentador Misahualli				
Mes	TTIK	Programadas	No Programadas	Transmisor
ENE	1.46	-	1.46	-
FEB	1.10	0.02	1.06	0.02
MAR	4.17	2.36	1.60	0.21
ABR	3.93	0.15	3.70	0.09
MAY	0.55	0.04	0.25	0.26
JUN	1.19	0.04	1.15	-
JUL	0.60	0.01	0.05	0.54
AGO	0.75	-	0.75	-
SEP	-	-	-	-
OCT	2.33	-	2.33	-
NOV	-	-	-	-
DIC				
<b>16.09</b>	<b>2.63</b>	<b>12.35</b>	<b>1.11</b>	

Fuente: Incidencias EEASA 2023

Tabla 7. Comparativa Indicador TTIK Alimentador Misahualli

ALIMENTADOR	LIMITE	TOTALES	ESTADO
MISAHUALLI	16	16.09	No Cumple

Fuente: Incidencias EEASA 2023

De la misma manera, los datos obtenidos sobre la variación de las incidencias y su relación con los valores finales del indicador TTIK, se puede determinar que

el alimentador Misahualli, tampoco cumple con lo establecido en la regulación. Por lo cual es pertinente analizar a detalle como los factores, que se toman en cuenta en la suma final de los índices, tiene influencia en el total del indicador.

### 7.1.1 Datos con Transmisor

Los datos y valores del tipo “transmisor”, son denominados como externos, puesto que ocurren por temas de suspensiones de suministros o fallas en centrales de generación y por ende, están fuera del control propio de la EEASA, como ente de distribución [11]. Debido a que los datos del Transmisor no están relacionados directamente a las desconexiones aguas abajo en el alimentador Misahualli, no forman parte del análisis que se está realizando acerca del uso de conductores para redes de distribución en media tensión. Sin embargo, sus valores finales si son tomados en cuenta en la suma total de los indicadores individuales [16].

Dicho enfoque se basa en lo establecido en la **Regulación No. ARCERNR 002-20 (Codificada)** [11], que como se ha ido mencionando, es la encargada de definir que todo aquello que produzca una desconexión mayor a tres minutos en un alimentador tiene que ser considerado en los valores finales, para que se pueda ir resumiendo de manera mensual y con ello formar gráficas anuales para poder realizar análisis posteriores.

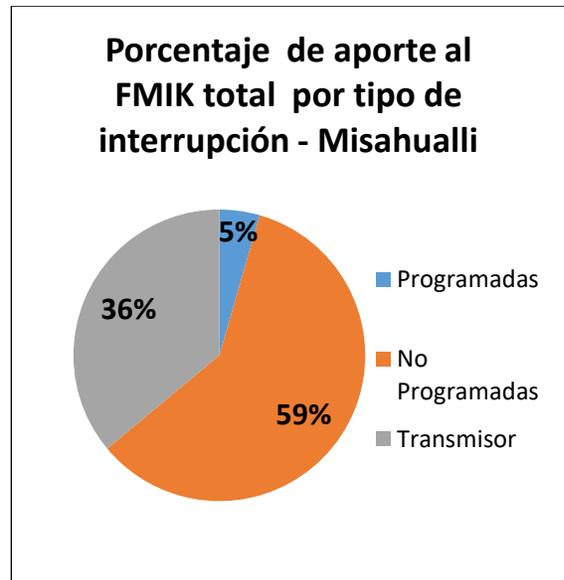


Ilustración 1. Resumen Porcentual FMIK Misahualli

La siguiente gráfica muestra, en porcentajes, la cantidad correspondiente equivalente a cada tipo de incidencia en el indicador FMIK, las cuales se dividen en tipo por transmisor, programadas y no programadas, dentro del alimentador Misahualli al cual están conectados los proyectos que fueron tomados como objeto de estudio. De la misma manera, se muestran los datos para el indicador TTIK.

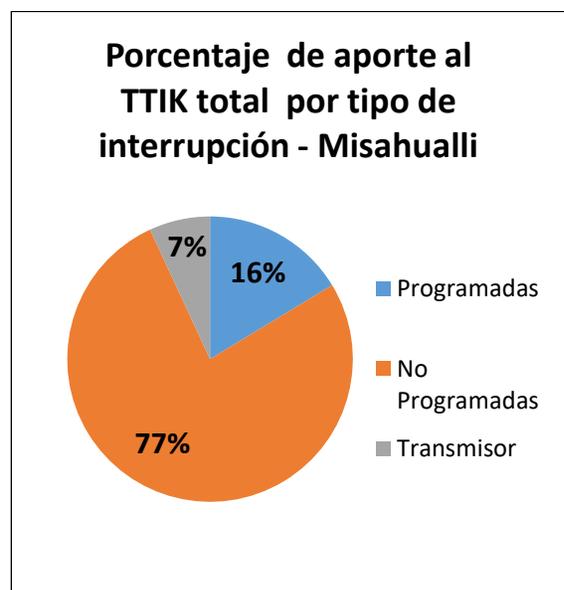


Ilustración 2. Resumen Porcentual TTIK Misahualli

En cada uno de los indicadores se evidencia que las incidencias del tipo “no programadas” cubren gran parte del total de los valores que tiene el alimentador en comparación al tipo *programadas* y el tipo *transmisor* [16]. Es pertinente el tomar en cuenta que, en la regulación, las incidencias del tipo *Transmisor* pueden llegar a no ser consideradas dentro de la suma de los indicadores. Por ende, es requerido que se realice una comparación en donde no se tomen en cuenta esos datos.

### 7.1.2 Datos sin Transmisor

Los datos sin transmisor que son recopilados del alimentador Misahualli, como se mencionó, incluían las incidencias por transmisor (externas) y las incidencias programadas y no programadas (internas) [11]. Por ende, cuando se debe ir especificando las incidencias que tengan mayor relación y sean correspondientes al caso de estudio (las programadas y no programadas). Obteniendo lo siguiente:

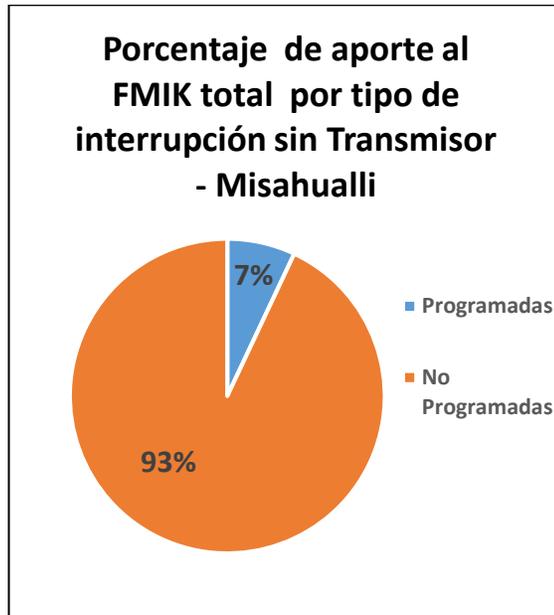


Ilustración 3. Resumen FMIK Sin Transmisor – Misahualli

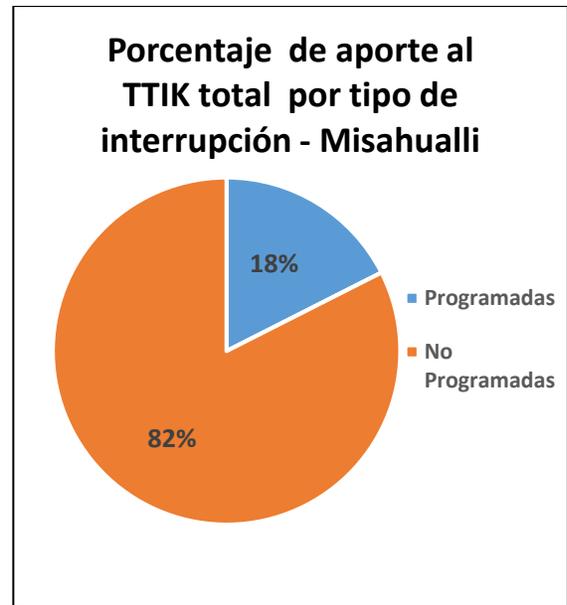


Ilustración 4. Resumen TTIK Sin Transmisor – Misahualli

Dentro de lo que respecta a los apartados de incidencias “Programadas” entra todo lo que tenga en cuenta los mantenimientos preventivo, predictivo y correctivo. Además de incluir los cortes de suministro por temas de ampliación de red (ramales por agregar) y las desconexiones por mejoras en redes de distribución. Pero como se evidencia, ya en este punto, las incidencias no programadas son más del 80% del total, Por lo cual, es requerido que se las desglose para poder analizar más a detalle entre lo que se relacione y tenga impacto con el uso de cada conductor, ya sea desnudo o ecológico, para con ello determinar si el uso de uno o de otro, es viable para los proyectos de estudio y de igual forma, para futuros proyectos de electrificación.

### 7.1.3 Desglose de Incidencias No Programadas

Como se evidencia en la Ilustración 1, en el alimentador Misahualli, las incidencias del tipo *No Programadas* forman más del 50% del total de la suma de sus indicadores por desconexión. Al

hablar de este tipo de incidencia tomamos en cuenta todo lo que tenga que ver con: daños de terceros, factores climáticos (descargas atmosféricas, lluvia y vientos fuertes), mantenimientos correctivos (falla en propios equipos o materiales), vegetación (sin tomar en cuenta lo relacionado a temas de desbroce), fauna, etc.

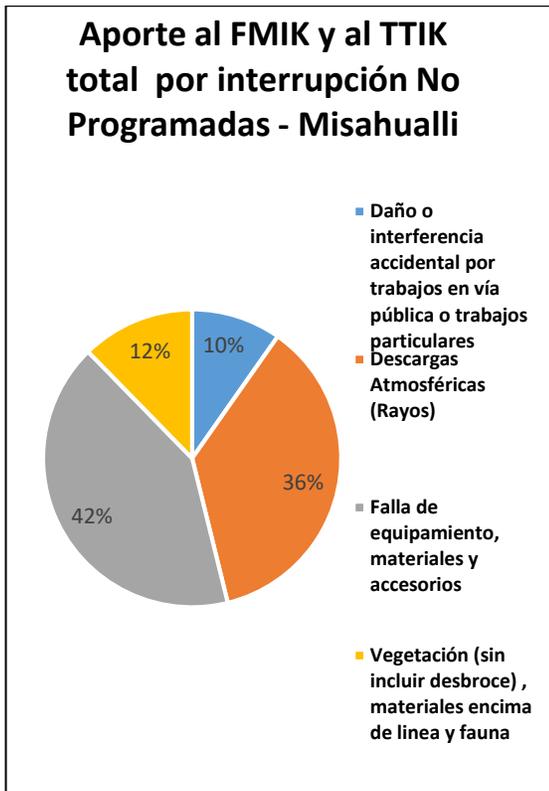


Ilustración 5. Resumen Incidencias No Programadas

Al ir desarrollando cada una de estas posibles causas, se prioriza lo relacionado al funcionamiento técnico del conductor de media tensión y la ilustración obtenida referente a los temas de desglose de las incidencias no programadas, se puede observar que lo relacionado a temas descargas eléctricas y vegetación (temas de interés en este análisis), cuentan con una gran presencia dentro de los valores con influencia en el indicador del alimentador Misahualli. Con base a esta observación se prosigue con el análisis detallado de cómo estas

incidencias, afectan a los conductores desnudos y a los conductores semiaislados en los proyectos de electrificación en el cantón Tena.

#### 7.1.4 Tramo Monofásico Vía a Yuralpa-Kompade

Tras el análisis de los datos referentes a las incidencias suscitadas en el año 2023, se determinó la existencia de una derivación de 20.3km con cable desnudo (tramo de red monofásica) en donde ha ocurrido quince incidencias entre los meses de julio a diciembre provocadas por vegetación en líneas y descargas atmosféricas. El tramo seleccionado es un proyecto que fue ejecutado en la parroquia de Chontapunta en el cantón Tena:

Figura 4. Tramo Monofásico Yuralpa-Kompade



Fuente: Sistema GIS EEASA 2024

Este sector, al ser extenso, es recurrente y propenso a los tipos de incidencias mencionada por las características geográficas antes mencionadas. El alimentador Misahualli, tuvo quince desconexiones en el tramo tomado como estudio en donde queda en evidencia la alta probabilidad de una desconexión al recurrir a la utilización de cables desnudos, dando la siguiente tabla:

Tabla 8. Desconexiones en el Tramo Monofásico Yuralpa-Kompade

CAUSAS DE APERTURA	CANTIDAD
DESCONOCIDA	2
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	7
VEGETACIÓN	6

Fuente: Incidencias EEASA 2023

Como se muestra en la Tabla 6, el uso de cable desnudo ha provocado varias desconexiones caracterizadas con los temas de interés, las cuales influyeron de manera directa en el alimentador, obteniendo el cálculo de los siguientes valores y la suma referente a los indicadores de FMIK y TTIK:

Tabla 9. Índice Acumulado por Desconexión en Tramo Yuralpa-Kompade

Nº	APORTE FMIK	APORTE TTIK
1	0,026149425	0,143022829
2	0,026149425	0,582616459
3	0,026149425	0,463513091
4	0,026149425	0,155458333
5	0,026149425	0,548811063
6	0,026149425	0,219342832
7	0,026149425	0,19423212
8	0,026149425	0,53565645
9	0,026149425	0,024420658
10	0,026149425	0,587889927
11	0,026149425	0,121493135
12	0,026149425	0,101902858
13	0,026149425	0,525421855

14	0,026149425	0,046335329
15	0,026149425	0,233318247
	<b>0,392241375</b>	<b>4,483435186</b>

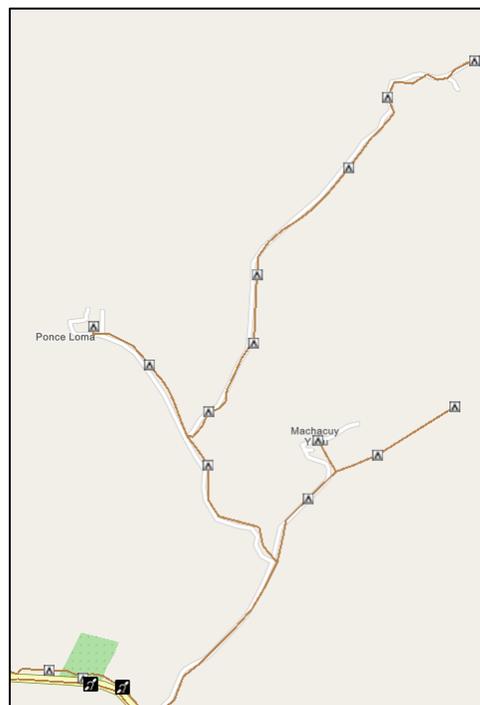
Fuente: Incidencias EEASA 2023

Tal cual como se muestra en la tabla 9, solo en un tramo monofásico de red desnuda, hay casi medio punto de influencia directo en el indicador FMIK, mientras que para el indicador TTIK, la suma total de ese tramo es de cuatro puntos y medio, dando a entender de que el uso e implementación del cable desnudo en zonas con gran vegetación como el sector de Yuralpa-Kompade, afecta de gran manera en los indicadores del Alimentador Misahualli.

### 7.1.5 Tramo Monofásico Comunidad Ponce Loma

De la misma manera, se analiza un tramo o extensión de red ejecutado con cable ecológico con una longitud 23.7km dentro del mismo alimentador, el cual se muestra a continuación:

Figura 5. Tramo Monofásico Comunidad Ponce Loma



Fuente: GIS EEASA 2024

En contraparte de este sector, el número de desconexiones generadas por temas de descargas atmosféricas o vegetación fuera del desbroce es mucho más bajo por el uso del cable ecológico, lo cual se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 10. Desconexiones en el Tramo Monofásico Ponce Loma

CAUSAS DE APERTURA	CANTIDAD
MANTENIMIENTO PROGRAMADO	3
DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	2
VEGETACIÓN	0

Fuente: Incidencias EEASA 2023

Como es evidente, con el uso del cable ecológico el número de incidencias provocadas por temas de descargas atmosféricas o vegetación se ve casi anulado. Por lo cual, en este tramo se obtuvo los siguientes valores relacionados al FMIK y TTIK.

Tabla 11, Aporte de los Indicadores FMIK y TTIK en el Tramo Ponce Loma

N°	APORTE FMIK	APORTE TTIK
1	0.035402299	0.138265645
2	0.035402299	0.458754789
3	0.035402299	0.252408557
4	0.035402299	0.317214432
5	0.035402299	0.152849425
	0.177011494	0.470063857

Fuente: Incidencias EEASA 2023

De la misma manera, con la implementación del cable ecológico se ve una reducción notoria de los valores por incidencia en la suma de final en los indicadores.

## 7.2 Criterio Económico

En el apartado económico es necesario tener la certeza de que los proyectos de electrificación con cableado aéreo ecológico son mucho más costosos que un proyecto con red desnuda. La

evaluación y comparación correspondiente se la realiza en base a los rubros actualizados que se emplean al momento de iniciar la planificación y ejecución de un proyecto.

Tanto la red desnuda como la red ecológica cuentan con costos distintos en temas de tendido del cable, armado de estructuras y mano de obra en general. En base a las tablas 2 y 3, los datos reunidos de ambos proyectos próximos a ejecutarse muestran que el precio total por ejecución de diseños con red ecológica es superior por casi un 10% del total de una red desnuda. Con eso, podemos avanzar y desarrollar una comparativa en la cual podemos realizar los cálculos económicos referidos a los respectivos temas de mantenimiento requeridos en todos los primarios, siendo el principal tema, el costo por desbroce.

### 7.2.1 Desbroce en Redes Aéreas

El desbroce de vegetación, como se mencionó, es una acción requerida para todo tipo de redes de distribución, subtransmisión y transmisión aérea de energía eléctrica [17]. El realizarlo, ayuda en la reducción de incidencias causados principalmente, por caída de ramas o árboles provocando con ello corto circuitos y de igual forma, desconexiones de conductores y ruptura de líneas.

La provincia del Napo, por su ubicación y factores climáticos, es una zona en donde la realización de desbroce es necesaria dentro de un lapso establecido por parte de la EEASA hacia el personal contratado. El precio por kilómetro es de \$113, 23 [18], precio el cual está establecido en el catálogo digital de la empresa.

Ejecutar este requerimiento es distinto para cada tipo de conductor que se haya

utilizado en un proyecto de electrificación. En el caso de los conductores desnudos, el trabajo de desbroce se lo realiza en promedio, entre tres a seis meses. Mientras que, en el caso de redes ecológicas, la ejecución de contratos por desbroces varía entre diez a doce meses con el fin de evitar caídas de árboles que podrían provocar la ruptura de alguna línea de media tensión, más no, por provocar un corto o falla por mantenerse tendida en la red aérea.

Por ende, si tomamos en cuenta los datos proporcionados para estos actuales proyectos, es viable el poder calcular cuánto dinero se va a aumentar por temas de mantenimiento en las redes si se utiliza el conductor desnudo o el conductor semiaislado realizando una proyección a una década después. El total de kilómetros de red de media tensión en el proyecto, Comunidad de Israel es de 2.7 km, mientras que, para el proyecto, Selva Amazónica – Plataforma, es de 3.1 km. Empezando con el análisis para el caso del conductor desnudo el total es el siguiente teniendo en cuenta el precio establecido en el catálogo electrónico, se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 5. Costo por Desbroce

$$C_{TD} = C_D * km$$

$C_{TD}$  = Costo total por Desbroce  
 $C_D$  = Costo de Desbroce por km  
 $km$  = Longitud del Proyecto

Tabla 12. Costo por Desbroce en los Proyectos

Proyecto	Precio	Longitud	Total
<b>Proyecto Comunidad Israel</b>	113,23	2,7	305,21

<b>Proyecto Selva Amazónica - Plataforma</b>	113,23	3,1	351,01
--	--------	-----	--------

El mismo precio debe ser multiplicado por el tiempo aproximado de duración que tiene un contrato anual de desbroce destinado únicamente para la ubicación de los proyectos que se van a ejecutar:

Ecuación 6. Costo de Contrato Anual por Desbroce

$$C_{TA} = C_{TD} * t$$

$C_{TA}$  = Costo Total Anual  
 $C_{TD}$  = Costo total por Desbroce  
 $t$  = Tiempo de duración de contrato

Tabla 13. Costo Anual por Desbroce Red Desnuda

Proyecto	Total	Tiempo	Total (\$)
<b>Proyecto Comunidad Israel</b>	305,21	4	1220,84
<b>Proyecto Selva Amazónica - Plataforma</b>	351,01	4	1404,04

Así mismo, es importante tener en cuenta que la provincia del Napo, cuenta con un clima favorable en temas de crecimiento de vegetación, puesto que la flora en esta provincia puede llegar a crecer a una gran velocidad y, por ende, es obligatorio el realizar y mantener contratos de desbroce para evitar cortos por cercanía o caída de ramas a las redes aéreas. Si se hace una proyección en el periodo de veinte años, que es el tiempo de vida mínima del conductor [19], como se mencionó,

tenemos que el costo total agregado anual para cada uno de los proyectos es de:

Ecuación 7. Costo de Contrato Projectado

$$C_{TP} = C_{TA} * t$$

$C_{TP}$  = Costo Total Projectado

$C_{TA}$  = Costo total por Desbroce

$t$  = Tiempo projectado

Tabla 14. Costo Projectado por Desbroce Red Desnuda

Proyecto	Precio	Tiempo	Total (\$)
Proyecto Comunidad Israel	305,21	20	6104,2
Proyecto Selva Amazónica - Plataforma	351,01	20	7020,2

En el caso del cable ecológico, la principal diferencia que tiene el contrato para este tipo de conductor radica en que su periodo de duración es equivalente a una cuarta parte del tiempo establecido en el contrato por conductor desnudo, es decir, durante un mes, dando como resultado la proyección y cálculos son los siguientes:

Tabla 15. Costo Anual Por Desbroce Red Ecológica

Proyecto	Total	Tiempo	Total
Proyecto Comunidad Israel	305,21	1 mes	305,21
Proyecto Selva Amazónica - Plataforma	351,01	1 mes	351,01

Con su correcta proyección de veinte años, se logra obtener:

Tabla 16. Costo Anual Por Desbroce Red Ecológica

Proyecto	Precio	Tiempo	Total (\$)
Proyecto Comunidad Israel	305,21	20	6104,2
Proyecto Selva Amazónica - Plataforma	351,01	20	7020,2

Con la misma proyección de tiempo mencionada, se adjunta a continuación los valores finales correspondientes a la ejecución, sumados con el valor total agregado por temas de desbroce, tanto en el proyecto Selva Amazónica – Plataforma como en el proyecto Comunidad de Israel. Dichos datos cuentan con la característica de estar desglosados de tal manera que es posible evidenciar su variación año tras año de forma óptima, lo cual se refleja en las siguientes tablas:

Tabla 17. Proyección de Presupuesto Desbroce Selva Amazónica - Plataforma

Proyecto Selva Amazónica - Plataforma		
Años	Cable Desnudo	Cable Ecológico
1	\$59.677,84	\$66.573,24
2	\$60.900,72	\$66.878,96
3	\$62.123,61	\$67.184,68
4	\$63.346,49	\$67.490,40
5	\$64.569,38	\$67.796,12
6	\$65.792,26	\$68.101,85
7	\$67.015,14	\$68.407,57

8	\$68.238,03	\$68.713,29
9	\$69.460,91	\$69.019,01
10	\$70.683,80	\$69.324,73
11	\$71.906,68	\$69.630,45
12	\$73.129,56	\$69.936,17
13	\$74.352,45	\$70.241,89
14	\$75.575,33	\$70.547,61
15	\$76.798,22	\$70.853,33
16	\$78.021,10	\$71.159,06
17	\$79.243,98	\$71.464,78
18	\$80.466,87	\$71.770,50
19	\$81.689,75	\$72.076,22
20	\$82.912,64	\$72.381,94

Tabla 18. Proyección de Presupuesto Desbroce Comunidad de Israel

Proyecto Comunidad Israel		
Años	Cable Desnudo	Cable Ecológico
1	\$53.569,52	\$60.222,52
2	\$54.973,57	\$60.573,53
3	\$56.377,62	\$60.924,55
4	\$57.781,68	\$61.275,56
5	\$59.185,73	\$61.626,57
6	\$60.589,78	\$61.977,59
7	\$61.993,83	\$62.328,60
8	\$63.397,88	\$62.679,61
9	\$64.801,94	\$63.030,62
10	\$66.205,99	\$63.381,64
11	\$67.610,04	\$63.732,65
12	\$69.014,09	\$64.083,66
13	\$70.418,14	\$64.434,68
14	\$71.822,20	\$64.785,69
15	\$73.226,25	\$65.136,70
16	\$74.630,30	\$65.487,72
17	\$76.034,35	\$65.838,73
18	\$77.438,40	\$66.189,74
19	\$78.842,46	\$66.540,75
20	\$80.246,51	\$66.891,77

## 7.2.2 Costo de movilización de grupos de mano de obra

Dentro del criterio económico es conveniente el mencionar que para ambos conductores existe un costo compartido referente acerca de la movilización de los grupos técnicos que tiene la empresa para la solución de incidencias del tipo no programadas. Este valor es establecido año con año en los rubros de precios unitarios correspondientes a la mano de obra referente a la construcción y desmantelamiento de las redes eléctricas [20]. El precio para el año 2024 es el siguiente:

Figura 1. Rubros Mano de Obra (Movilización) 2024

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	US\$/HORA
1	Pequeño, 2 personas y Camioneta	U	37,47
2	Pequeño, 3 personas y Camioneta	U	49,07
3	Pequeño, 4 personas y Camioneta	U	60,68
4	Pequeño, 2 personas y Carro Canasta	U	42,00
5	Pequeño, 3 personas y Carro Canasta	U	53,60
6	Pequeño, 4 personas y Carro Canasta	U	65,21
7	Grande, 4 personas y Carro grúa	U	80,77
8	Grande, 5 personas y Carro grúa	U	92,37
9	Grande, 6 personas y Carro grúa	U	103,97

Fuente: Rubros 2024 EEASA

El que se utilice el conductor ecológico no implica que las fallas van a desaparecer totalmente, como se evidenció en el análisis del criterio técnico, por lo cual la movilización es un factor importante de tener en cuenta. Puesto que el tamaño de la movilización está relacionado directamente con el tamaño de la incidencia, se puede tomar uno de los valores como referencia.

El valor más recurrido es el ítem 1 de la tabla 11, puesto que, en la mayor parte de los casos de incidencias, es necesario únicamente dos personas para poder solventar dicha desconexión, por lo cual, relacionando al análisis, se puede determinar el valor total de una movilización en base al número de

incidencias que han ocurrido en los tramos seleccionados, obteniendo lo siguiente para el caso de incidencias en proyectos con conductor desnudo:

Tabla 19. Precios Referenciales por Movilización con Conductor Desnudo

N°	Tiempo de Desconexión	Precio de Movilización	Valor total
1	1.82	\$37.47	<b>\$68.32</b>
2	7.43	\$37.47	<b>\$278.28</b>
3	5.91	\$37.47	<b>\$221.45</b>
4	1.98	\$37.47	<b>\$74.32</b>
5	7.00	\$37.47	<b>\$262.17</b>
6	2.80	\$37.47	<b>\$104.79</b>
7	2.48	\$37.47	<b>\$92.80</b>
8	6.83	\$37.47	<b>\$255.80</b>
9	0.31	\$37.47	<b>\$11.62</b>
10	7.49	\$37.47	<b>\$280.78</b>
11	1.55	\$37.47	<b>\$58.08</b>
12	1.30	\$37.47	<b>\$48.71</b>
13	6.70	\$37.47	<b>\$250.92</b>
14	0.59	\$37.47	<b>\$22.11</b>
15	2.97	\$37.47	<b>\$111.41</b>
		<b>Total</b>	<b>\$2,141.54</b>

Fuente: Incidencias rubros Mano de Obra 2024

En el Alimentador Misahualli, ubicado en el cantón Tena, se evidencia que, por el total de las desconexiones en un tramo de red desnuda monofásica, se puede llegar a realizar un gasto de \$2141.54 para la solución de incidencias. Mientras que, para un tramo por red ecológica referido a los casos de estudio, es lo siguiente:

Tabla 20. Precios Referenciales por Movilización con Conductor Ecológico

N°	Tiempo de Desconexión	Precio de Movilización	Valor total
1	1.30	\$37.47	<b>\$48.84</b>

2	4.32	\$37.47	<b>\$161.87</b>
3	2.38	\$37.47	<b>\$89.05</b>
4	2.99	\$37.47	<b>\$111.91</b>
5	1.44	\$37.47	<b>\$53.96</b>
			<b>\$465.63</b>

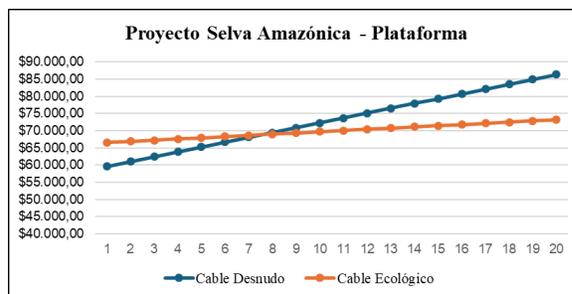
Fuente: Incidencias rubros Mano de Obra 2024

Este precio es referencial al número de incidencias que se han suscitado en tramos con conductor ecológico. Al generarse únicamente seis desconexiones con un precio de \$465.63 evidencia una reducción significativa en el gasto referente a las movilizaciones para solucionar incidencias con el uso de ese tipo de cables en proyectos de electrificación.

## 8 Análisis de Resultados

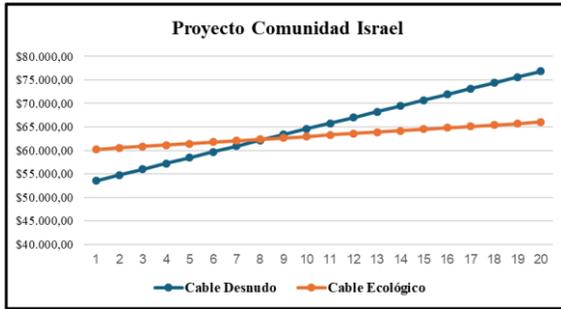
Relacionando de manera correcta los criterios técnicos y económicos analizados en cada uno de los apartados, es evidente que a pesar de la implementación del cable desnudo es mucho más factible al inicio de su ejecución; el cable ecológico tiende a responder de mejor manera técnica – económica con el paso de los años. Esta afirmación puede ser visible si lo representamos en los gráficos a continuación:

Ilustración 6. Presupuestos Selva Amazónica – Plataforma Proyectado a 20 Años



Fuente: Estudios EEASA 2024

Ilustración 7. Comparación del Presupuesto Comunidad Israel Projectado a 20 Años



Fuente: Estudios EEASA 2024

Por los datos mostrados en las gráficas referentes a las proyecciones realizadas sobre los presupuestos; se evidencia que el costo total por la ejecución mediante la utilización del cable desnudo es mucho más económico en su inicio, pero con el paso de los años, por la realización de actividades que buscan mantener o evitar un incremento en los índices de calidad, crece de manera lineal gracias a temas de desbroce. Las movilizaciones del personal pueden tomarse como despreciables.

Por otro lado, si se opta por una ejecución con cable ecológico, el presupuesto en su inicio es mayor con más de un 10%, pero, a través de los años su valor total no tiende a incrementar por verse influido gracias a las características antes mencionadas, con base a eso, se puede argumentar tanto las ventajas y las desventajas de su implementación.

### 8.1 Ventajas del uso del cable ecológico

Como se detalla en cada parte de los apartados, tras el análisis y la evaluación de los datos recopilados, se evidencia que el uso del cable ecológico en proyectos de electrificación nuevos y futuros puede disminuir significativamente el número de incidencias relacionadas a temas de descargas eléctricas o vegetación gracias a las propiedades del material aislante

con el que es fabricado; y con ello se resalta su reducción y mejora en el impacto que tiene su uso en los indicadores.

Asimismo, con la utilización del cable ecológico, se genera una reducción significativa en los gastos referentes al tema de costos anuales por desbroce en las líneas de distribución de medio voltaje en donde; y a su vez, se logra evitar los costos por movilización de los grupos de técnicos para dar solución a las incidencias que se podrían provocar con la implementación del conductor desnudo en dichos proyectos.

Dando a entender, que, de esta manera, la implementación del conductor ecológico llega a sacar no una, sino algunas ventajas ante el uso del cable desnudo en temas técnicos-económicos.

### 8.2 Desventajas del uso del cable ecológico

La principal desventaja que cuenta la implementación del cable ecológico ante la utilización del cable desnudo radica en su costo inicial elevado, puesto que, al iniciar la ejecución de un proyecto, se opta por la opción más económica pero que cumpla con los apartados técnicos y en comparación con el cable ecológico, comúnmente se elige al conductor desnudo.

## 9 Conclusiones

Finalmente, posterior al análisis realizado durante el desarrollo de este artículo, se llega a las siguientes conclusiones:

1. La implementación del cable ecológico junto a sus estructuras adecuadas dentro del cantón Tena como única opción para proyectos de electrificación trae consigo una mejora con relación

al costo/beneficio. Puesto que, al no tener gastos extras mayores por temas de movilización y desbroce, su utilización permitiría que la EEASA recupere en menor tiempo la inversión hecha para la ejecución de los proyectos destinados a zonas alejadas y con gran vegetación.

2. El uso del cable ecológico de la misma manera ayuda a que la EEASA pueda mejorar los valores de sus indicadores, puesto que, si se empieza a utilizar el cable para futuros proyectos, estos reducirán sus incidencias lo que permitirá que la empresa pueda empezar con una remodelación total de su alimentador para que se reduzcan en gran manera las desconexiones generadas por temas de vegetación en líneas y descargas atmosféricas.
3. A pesar de que la implementación del cable ecológico es mucho más costosa para su ejecución inicial, traerá consigo una mejor imagen para la empresa cumpliendo sus indicadores de calidad de servicio técnico sin problema y no con la mínima diferencia, de la misma manera, su implementación mejora la misma imagen al evitar casi al 100% las desconexiones del servicio para los usuarios conectados y con ello, lograr que el alimentador Misahualli en el cantón Tena, ya no sea uno de los que sufren más incidencias y sea considerado como uno de los eficientes.

## 9.1 Trabajos futuros

Con base al análisis mostrado, como trabajos futuros se puede realizar una investigación y desarrollo del cambio que tiene el cable ecológico en los índices SAIFI, SAIDI Y CADI dentro del cantón Tena.

## 10 Referencias

- [1] N. A. Aucapiña Espinosa and R. S. Zhindón Guzmán, “Análisis Técnico y Económico Para la Utilización de Conductores Semiaslados en Redes Aéreas de Media Tensión en los Sistemas de Distribución,” 2023, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/41409>
- [2] ELECTROCABLES, “Conductor desnudo de aluminio AA ( 1350-H19 ) reforzado con acero,” pp. 1–2, [Online]. Available: <http://www.electrocable.com/uploads/product/ficha-acsr.pdf>
- [3] J. A. Gaitán, “Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingeniería,” *Univ. San Carlos Guatemala*, vol. 4, pp. 1–75, 2016, [Online]. Available: <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/wp-content/subidas/6ARTÍCULO-III-INDESA-SIE.pdf>
- [4] M. Armando and G. Gaona, “Especializacion En Diseño Y Construccion De Redes De Energia,” pp. 1–37, 2019.
- [5] CONELSA, “CATÁLOGO MEDIA TENSIÓN,” p. 39, 2015, [Online]. Available: <https://conelsa.com.ec/wp-content/uploads/2022/11/catalogo-de-productos-Media-tension.pdf>
- [6] CENTELSA and Nexans, “Cable

- Premium Nexans Potencia Media Tensión Aluminio XLPE-TR/PE 15kV 133% N=1/3 CONTACTO,” pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: [www.nexans.co](http://www.nexans.co)
- [7] Prysmian, “CABLE MONOCONDUCTOR XLPE-TR,” vol. 20, no. 24, pp. 12–13, 2020, [Online]. Available: <https://latam.prysmian.com>
- [8] G. Cable, “CABLE SEMIAISLADO PARA LINEAS AEREAS 38 kV XLP,” pp. 1–51, [Online]. Available: <https://viakon.com/producto/cable-semiaislado-15-25-35-kv>
- [9] M. de energía y recursos naturales no Renovables, “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y EQUIPOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN,” pp. 1–19, 2019.
- [10] C. S.A, “Redes Aéreas Compactas,” p. 19, 2019, [Online]. Available: [www.coideasa.com](http://www.coideasa.com)
- [11] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, “Regulación Nro. ARCERNR 002/20 (Codificada),” vol. 20, pp. 1–35, 2023, [Online]. Available: [www.controlrecursosyenergia.gob.ec](http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec)
- [12] J. Balseca Pachar and L. Morejón Gómez, “Análisis aplicado de la calidad del servicio técnico en empresa eléctrica distribuidora,” 2023. [Online]. Available: <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58160>
- [13] M. Neira and R. Quintanilla, “La Calidad del Servicio Técnico de Electricidad,” pp. 60–67, 2011, [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/189/181>
- [14] O. Cruz, “Determinación De Precios Unitarios Para La Construcción De Líneas Y Redes Eléctricas De Distribución Rural En Ecuador,” pp. 1–164, 1998, [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5581/1/T1398.pdf>
- [15] J. Martínez, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA LINEA DE SUBTRANSMISION TRIFÁSICA DE 46 kV S/E 19 - S/E LOS BANCOS. TRAMO ‘C’ ZONA ECOLÓGICA,” Escuela Politécnic, 2003. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8795>
- [16] J. L. Razo, “ESTUDIO DE LOS ÍNDICES DE CONFIABILIDAD TTIK Y FMIK DE LA EMPRESA ELEPCO S.A. EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI EN EL AÑO 2020.,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7860>
- [17] K. Vargas, “Redes Eléctricas Aéreas De Distribución En El Ecuador,” 2015, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [18] E. E. A. R. C. Norte, “Catálogo Electrónico,” pp. 1–7, 2024, [Online]. Available: <https://www.eeasa.com.ec/content/uploads/2024/03/RESUMEN-CATALOGO-ELECTRONICO-AL-28-DE-FEBRERO-DE-2024.pdf>

- [19] E. E. A. R. C. Norte, “Guías de Diseño 3,” pp. 1–49, 2021, [Online]. Available: <https://www.eeasa.com.ec/content/uploads/2021/06/GUIA-2021-PARTE-3.pdf>
- [20] Empresa Electrica Ambato Regional Centro Norte, “RUBROS MANO DE OBRA GRUPO EEASA 2024,” 2024. [Online]. Available: <https://www.eeasa.com.ec/content/uploads/2020/09/DESCRIPCION-DE-RUBROS-Y-ESPECIFICACIONES1.pdf>