

## Methodology for the Planning and Control of the Execution of Preventive and Corrective Maintenance of Subtransmission Lines

### Metodología para la Planificación y Control de la Ejecución de Mantenimientos Preventivos y Correctivos de Líneas de Subtransmisión

C.A. López<sup>1</sup>

G. B. Salazar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador  
E-mail: christian.lopez@epn.edu.ec; gabriel.salazar@epn.edu.ec

#### Abstract

The present article proposes a methodology for the planning and control of the execution of preventive and corrective maintenance of subtransmission lines through the implementation of the method of Gravity, Urgency and Trend "GUT" that will allow to define priorities for the attention of problems caused in subtransmission lines

The proposal of the types of maintenance in subtransmission lines is also shown, according to the information available from the ARCONEL, the infrastructure of the electricity sector referring to subtransmission lines and a catalog of causes of interruptions are identified, the responsibilities of the operation and maintenance of subtransmission lines both in the Quito Electric Company and in the Central North Regional Electric Company as well as the maintenance activities carried out in the subtransmission lines.

**Index terms**— Maintenance, subtransmission lines, GUT method, planning, control, preventive, corrective.

#### Resumen

El presente artículo propone una metodología para la planificación y control de la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos de líneas de subtransmisión a través de la implementación del método de Gravedad, Urgencia y Tendencia "GUT" que permitirá definir prioridades para la atención de problemas ocasionados en líneas de subtransmisión.

Se muestra además la propuesta de los tipos de mantenimiento en líneas de subtransmisión, se señala de acuerdo a la información disponible de la ARCONEL la infraestructura del sector eléctrico referente a líneas de subtransmisión y un catálogo de causas de interrupciones, se identifican también las responsabilidades de la operación y mantenimiento de líneas de subtransmisión tanto en la Empresa Eléctrica Quito como en la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte así como las actividades de mantenimientos que se realizan en las líneas de subtransmisión.

**Palabras clave**— Mantenimiento, líneas de subtransmisión, método GUT, planificación, control, preventivo, correctivo.

Recibido: 30-10-2019, Aprobado tras revisión: 20-01-2020

Forma sugerida de citación: López, C.; Salazar, G. (2020). "Metodología para la Planificación y Control de la Ejecución de Mantenimientos Preventivos y Correctivos de Líneas de Subtransmisión". Revista Técnica "energía". No. 16, Issue II, Pp. 135-147

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2020 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



## 1. INTRODUCCIÓN

El párrafo tercero del artículo 7 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), publicada el 16 de enero de 2015, establece que el Gobierno Central es el responsable de la toma de decisiones en torno a la planificación, construcción e instalación de sistemas eléctricos para entregar energía a los usuarios finales, así como también el mantenimiento, operación y desarrollo sustentable del sector eléctrico, a fin de satisfacer las necesidades del servicio público de energía eléctrica [1].

En el artículo 15 de la Ley *ibídem* se establece como una atribución de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), regular los aspectos técnicos-económicos y operativos de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, controlar el cumplimiento de la normativa y las obligaciones constantes en los títulos habilitantes [1].

Con respecto, a la gestión de mantenimientos en los sistemas de distribución esta Agencia no ha emitido una regulación o procedimiento específico para esta actividad, sin embargo, el proceso de control se ha venido implementando de forma paulatina, con acciones subsecuentes a los resultados de la evaluación de la calidad del servicio técnico de distribución, pero aún sin una base normativa que le permita definir claramente las responsabilidades de cada uno de los involucrados, así como los plazos de ejecución y demás lineamientos que deben observar las empresas eléctricas de distribución para elaborar sus Planes Anuales de Mantenimiento.

Por otra parte, el CENACE en el mes de junio de 2016 emitió la tercera versión del “Procedimiento para la Coordinación de Mantenimientos en el Sistema Nacional Interconectado”, el cual tiene por objetivo definir un procedimiento y lineamientos, con base en las políticas establecidas en el sector eléctrico ecuatoriano, aplicables a las empresas de generación, distribución y transmisión, para la coordinación y ejecución de mantenimientos de las instalaciones del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y sistemas de distribución [2].

Finalmente, la ARCONEL, dentro de su planificación correspondiente al año 2019, tiene previsto elaborar un Instructivo de Control de los Planes de Mantenimiento de las empresas eléctricas de distribución, como un compromiso registrado en la plataforma GPR (Gobierno Por Resultado), el cual podrá considerar la propuesta de metodología para la planificación y control de la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos de líneas de subtransmisión, desarrollada en el presente artículo.

Para el caso de la etapa funcional de distribución no se han definido lineamientos homologados para la programación y control de la ejecución del mantenimiento de los bienes afectos al servicio público de energía, tal como las líneas de subtransmisión, que deben ser cumplidos por las empresas eléctricas dedicadas a las actividades de distribución, así como por el Operador CENACE [1].

Por esta razón los planes anuales de mantenimientos presentados a la ARCONEL son elaborados de diferente manera, de acuerdo a las experiencias y recursos que cada distribuidora dispone, por lo que, la aplicación de la metodología propuesta en el presente artículo permitirá mejorar la gestión de mantenimientos, en base a la integración de las mejores prácticas realizadas a nivel nacional, para priorizar las acciones de mantenimiento en las instalaciones que presenten mayor tiempo y frecuencia de interrupción.

## 2. DESARROLLO DE CONTENIDOS

La metodología que se propone a continuación tiene por objetivo elaborar una guía para desarrollar el Plan Anual de Mantenimiento (PAM) de las líneas de subtransmisión de propiedad de las empresas eléctricas de distribución, mediante la aplicación del Método de Gravedad, Urgencia, Tendencia “GUT” que consiste en establecer criterios para priorizar las actividades de mantenimiento.

Previamente se muestra la propuesta de los tipos de mantenimiento que pueden ser considerados y tomados en cuenta por la ARCONEL cuando esta Agencia emita una Regulación referente a la planificación, ejecución y control de mantenimientos en líneas de subtransmisión y que posteriormente deberán ser acatados por las empresas distribuidoras de energía eléctrica y unidades de negocio existentes en el país.

A continuación, se señala la infraestructura del sector eléctrico ecuatoriano en lo que respecta a las líneas tanto de transmisión y subtransmisión que posee cada empresa distribuidora de energía eléctrica; así como su longitud y niveles de voltaje en base a las estadísticas disponibles presentadas por ARCONEL en el año 2017.

Se identificaron los responsables en la planificación de la ejecución de los mantenimientos en líneas de subtransmisión por parte de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA).

Estas actividades son sometidas a los criterios de priorización según el Método “GUT”, considerando que las actividades de gravedad “G” señalan lo relacionado con la seguridad e integridad de las personas, así como del equipo e instalación; entre ellas podemos mencionar las franjas de servidumbre, zonas de peligro, etc., las actividades de urgencia “U” señalan lo concerniente con los índices de calidad de energía eléctrica (FMIK, TTIK) y las actividades de tendencia “T” están totalmente relacionadas los factores externos tal como los ambientales que pueden desarrollar o degenerarse con el tiempo dependiendo de la ubicación geográfica de las líneas de subtransmisión [3].

### 2.1. Propuesta: Clasificación de tipos de mantenimiento en líneas de subtransmisión

De acuerdo con lo analizado anteriormente y en base a las mejores prácticas de las empresas distribuidoras de energía eléctrica a nivel nacional e internacional, se

estableció una clasificación de los tipos de mantenimiento que pueden ser aplicadas a líneas de subtransmisión, estos son:

**Mantenimiento preventivo:** Consiste en la ejecución de diferentes actividades tales como: inspecciones, pruebas y servicios de rutina para así poder identificar, mitigar o eliminar cualquier tipo de falla que esté próxima a suceder [4]; dichas actividades se fundamentan en la recomendación de los fabricantes, experiencia del personal técnico y procedimientos técnicos [5].

**Mantenimiento correctivo:** Consiste en identificar y corregir un problema o falla; recuperando su disponibilidad de forma inmediata y al menor costo posible [5], la ejecución de este mantenimiento se lo realiza bajo consignación local o nacional.

## 2.2. Infraestructura del sector eléctrico ecuatoriano – líneas de transmisión y subtransmisión

Las diferentes empresas a nivel nacional poseen un determinado número de kilómetros tanto de líneas de transmisión y subtransmisión de simple y doble circuito, incluyendo además las interconexiones con Perú y Colombia en lo que respecta a la transmisión, estos valores se muestran en la Tabla 1 [6]:

Tabla 1: Longitud en Kilómetros de las Líneas por Tipo de Empresa

Tipo de Empresa	Longitud (km)	
	Simple Circuito	Doble Circuito
Generador	170,65	89,42
Autogenerador	637,62	1,40
Transmisor	3234,18	2249,68
Distribuidor	5058,16	117,04
<b>Total</b>	<b>9100,61</b>	<b>2457,54</b>

## 2.3. Líneas de transmisión y subtransmisión de empresas distribuidoras de energía eléctrica

La Tabla 2 muestra los niveles de voltaje y longitud en kilómetros de las líneas tanto de transmisión como de subtransmisión por cada empresa distribuidora de energía eléctrica.

Tabla 2: Nivel de Voltaje y Longitud en Kilómetros de las Líneas por cada Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica

Tipo de circuito	Empresa	Nivel de voltaje (kV)	Longitud (km)
Simple	CNEL-Manabí	69	423,47
	CNEL-Guayas Los Ríos	69	427,89
	CNEL-Esmeraldas	69	376,35
	CNEL-Guayaquil	69	271,36
	CNEL-El Oro	69	240,84
	CNEL-Milagro	69	228,87

	CNEL-Sto. Domingo	69	277,61
	CNEL-Sta. Elena	69	204,79
	CNEL-Los Ríos	69	165,20
	CNEL-Sucumbíos	69	184,60
	CNEL-Bolívar	69	132,59
	<b>Total CNEL EP</b>		2933,57
	E.E. Sur	69	482,39
		22	17,00
	E.E. Centro Sur	69	269,09
		22	28,25
	E.E. Norte	69	256,11
		34,5	17,59
	E.E. Riobamba	69	173,48
	E.E. Ambato	69	146,44
	E.E. Cotopaxi	69	79,35
		22	9,46
		13,8	7,65
	E.E. Quito	138	253,16
		69	52,00
		46	233,53
	E.E. Galápagos	34,5	50,00
		13,2	12,00
		13,8	10,21
	E.E. Azogues	69	26,88
	<b>Total Empresas Eléctricas</b>		2124,59
<b>Total Simple Circuito</b>			5058,16
Doble	CNEL-El Oro	69	39,17
	CNEL-Manabí	69	27,66
	<b>Total CNEL EP</b>		66,83
	CNEL-Sucumbíos	69	5,00
	E.E. Quito	46	11,76
	E.E. Cotopaxi	69	32,66
	E.E. Sur	69	0,79
	<b>Total Empresas Eléctricas</b>		50,21
<b>Total Doble Circuito</b>			117,04

## 2.4. Causas para la indisponibilidad del servicio eléctrico

En esta sección se muestra un catálogo acerca de las diferentes causas de interrupciones que se pueden llegar a presentar en los sistemas eléctricos; este catálogo es tomado del trabajo de investigación "Procedimiento para el Control de la Calidad del Servicio Técnico de Distribución de Energía Eléctrica en el Ecuador" [7], que hace referencia además al Formulario CAL 060.

El Formulario CAL 060 muestra en la Tabla III lo siguiente:

Tabla 3: Causas del Número de Interrupciones

Número de interrupciones	
Internas	Externas
Programadas	Transmisor
	Generador
	Restricción de carga
No Programadas	Baja Frecuencia
	Otras

## 2.5. Catálogo de causas de interrupciones

Según [7] el catálogo de causas de interrupciones es el siguiente:

- Viento fuerte.
- Corrosión/sulfatación.
- Inundación.
- Árboles (sin incluir podas).
- Radiación solar.
- Descargas atmosféricas (rayos).
- Incendios no ocasionados por fallas eléctricas.
- Animales en la red.
- Lluvia.
- Niebla o humedad.
- Deslizamiento de tierra.
- Daño o interferencia intencional.
- Choque de vehículos
- Falla humana
- Diseño, instalación, protección
- Falla en operación de equipamientos
- Por trabajos en líneas energizadas
- Nieve o granizo
- Contaminación salina
- Movimientos telúricos
- Materiales llevados por el viento (cometas, ramas, plásticos, etc.)
- Interferencia accidental (contactos, daños) por personal de la empresa o contratistas de las empresas.
- Daño o interferencia accidental por trabajos de otras empresas de servicios o sus contratistas.
- Operaciones sin voltaje por seguridad característica restrictiva del equipamiento.
- Alteraciones técnicas en voltaje, corriente o frecuencia (sobrecarga, oscilación de potencia y variaciones de voltaje).
- Falla en equipamiento y/o instalaciones de consumidores de otros concesionarios.
- Maniobras para localización de fallas y/o tentativas de restablecimiento de servicio.
- Protección, medición, supervisión y control.
- Falla de equipamiento, materiales y accesorios.
- Programas para mantenimiento preventivo.
- Programadas para transferencia de carga.
- Programadas para ampliaciones.
- Programas para mantenimiento correctivo.
- Programadas por cambio de nivel de voltaje.
- Programadas por mejoras o remodelaciones de las redes.

## 2.6. Evaluación de la calidad del servicio técnico

La Regulación Nro. ARCONEL 005/18 establece que esta Agencia supervisará y controlará mensualmente el valor de los índices de calidad de servicio técnico a través del ADMS (Advanced Distribution Management System), la ARCONEL podrá solicitar cuando el caso lo amerite informes mensuales a cada una de las distribuidoras [8].

La ARCONEL controlará el cumplimiento de los indicadores de calidad de servicio técnico a través del ADMS y en el caso de que se encuentre irregularidades o inconformidades podrá ejecutar acciones y sanciones que establezcan la normativa vigente [8].

Con la información que se encuentra en el ADMS si se podría evaluar los índices de calidad (FMIK, TTIK) para líneas de subtransmisión, sin embargo, la Regulación Nro. ARCONEL 005/18 calcula los índices para alimentadores de medio voltaje, así como para la red total de cada distribuidora; de tal manera que se debe identificar si la falla ocurrió o no en la línea de subtransmisión que suministra de energía a los alimentadores.

## 2.7. Responsabilidades de operación y mantenimiento en líneas de subtransmisión

Con la disponibilidad de la información proporcionada por la ARCONEL, en lo referente a los índices de calidad de energía eléctrica (FMIK, TTIK) se identificó que existen empresas cuyos indicadores están por debajo de los límites establecidos por la Regulación Nro. ARCONEL 005/18 [8]; entre ellas se puede mencionar la Empresa Eléctrica Quito y la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

### Caso 1: Empresa Eléctrica Quito (EEQ)

En la Empresa Eléctrica Quito el responsable de la planificación de mantenimientos en líneas de subtransmisión es el Departamento de Operación y Mantenimiento de Líneas y Subestaciones, este departamento se encuentra conformado por la Jefatura de Líneas y la Jefatura de Subestaciones; cada jefatura está constituida por 15 trabajadores los cuales están encargados de la ejecución de los mantenimientos, dentro de este grupo se designa un responsable principal y un responsable secundario, cuyas actividades se rotan cada 6 meses dentro de los miembros de este grupo de trabajo.

Los mantenimientos en líneas de subtransmisión son planificados con una frecuencia semanal para lo cual se realizan recorridos los días miércoles, jueves y viernes en base a los resultados de las visitas o inspecciones visuales que se llevan a cabo en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito, estas visitas son realizadas en función del Plan Anual de Mantenimientos que realiza la EEQ el cual tiene como meta o propósito realizar mantenimientos 2 o 3 veces al año de cada línea de subtransmisión.

A continuación, se muestra en la Fig. 1 el área de

concesión de la Empresa Eléctrica Quito.



Figura 1: Área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito

La Jefatura de líneas manifiesta que los mantenimientos realizados en líneas de subtransmisión son preventivos y correctivos cuyos significados no tienen una definición homologada oficial, no obstante, señalan que dichos conceptos son acogidos de acuerdo a las mejores prácticas y experiencia de ingeniería.

El mantenimiento se lo realiza en todo el conductor de la línea desde que parte de la subestación de salida hasta la subestación de recepción o llegada, el nombre de la línea va en referencia a estas 2 subestaciones mencionadas, ejemplo: línea de subtransmisión S/E 37 Santa Rosa – S/E 34 Machachi.

Los mantenimientos ejecutados anteriormente eran presentados a la ARCONEL cada 6 meses, en la actualidad estos informes son solicitados y presentados trimestralmente, solamente un porcentaje de las actividades de mantenimientos es cumplido a cabalidad, las razones por las cuales no se llega a cumplir con los objetivos planteados se debe a diferentes causas como son: el requerimiento de inspecciones por parte de clientes en la concesión de la EEQ, falta de personal para realizar mantenimientos, fallas fortuitas o inesperadas, etc.

Al finalizar los trabajos de mantenimiento el personal realiza un informe el cual consta de un registro fotográfico con sus respectivas conclusiones el mismo es revisado por la Jefatura de Líneas y aprobado por el Departamento de Operación y Mantenimiento de Líneas y Subestaciones.

Caso 2: Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA)

En la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. el responsable en la planificación de mantenimientos de líneas de subtransmisión es el Departamento de Subtransmisión, este departamento está conformado por la Jefatura de Operación y Mantenimiento, esta jefatura está constituida a su vez por 4 personas; este grupo está formado por un responsable de la unidad y 3 electricistas los cuales van a realizar la tarea de ejecución de los mantenimientos.

Los mantenimientos en líneas de subtransmisión son planificados de acuerdo a una frecuencia semanal realizando inspecciones visuales para determinar el estado

de la línea, los recorridos para la ejecución de los mantenimientos se los realiza 2 veces al año en cada una de las líneas que forman parte del área de concesión de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

El área de concesión de la EEASA es de aproximadamente 41787,3 km<sup>2</sup>.

A continuación, se muestra en la Fig. 2 el área de concesión de la EEASA.

La Jefatura de Operación y Mantenimiento manifiesta que los mantenimientos que se realizan en líneas de subtransmisión son en su mayoría preventivos y correctivos, sin embargo en los últimos años señalan que se están realizando mantenimiento predictivos; estos tipos de mantenimientos no tienen una normativa o disposición por parte de autoridades que rigen el sector eléctrico ecuatoriano, por lo tanto el concepto o definición de los tipos de mantenimiento son acogidos de acuerdo a cursos de mantenimiento, capacitaciones, además de la experiencia de ingeniería en mantenimientos.



Figura 2: Área de concesión de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA)

Al igual que en el caso anterior el mantenimiento se lo realiza en todo el conductor de la línea, señalando que el nombre de la línea va desde la subestación de salida hasta la subestación de llegada, por ejemplo: S/E Oriente – S/E Loreto.

Para realizar las labores de mantenimiento el personal de mantenimiento debe tener una orden de trabajo la cual debe ser firmada y autorizada por el Departamento de Subtransmisión; una vez finalizados los trabajos de mantenimiento el grupo debe presentar un informe detallando lo realizado con el respectivo anexo fotográfico y conclusiones.

Hasta el mes de mayo de 2019 la EEASA no ha presentado a la ARCONEL ningún reporte de los mantenimientos ejecutados, manifestando además que los mismos aún no han sido solicitados.

Es sustancial mencionar que el Departamento de Subtransmisión conjuntamente con la Jefatura de Operación y Mantenimiento recomienda que se implemente un programa de “Gestión de Mantenimiento de Activos” para que en el mismo se encuentre la información detallada de cada línea de subtransmisión es decir cuántas veces al año se realizó el respectivo mantenimiento para de esta manera poder trabajar

posteriormente de manera estadística; la EEASA se encuentra desarrollando este programa pero aún no se lo ha implementado.

## 2.8. Clasificación de las actividades de mantenimientos preventivos realizadas en la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA)

### Caso 1: Empresa Eléctrica Quito (EEQ)

En la Tabla 4 se muestra el tipo de mantenimiento y la actividad que se realiza en líneas de subtransmisión por parte de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).

Tabla 4: Mantenimientos Preventivos Realizados en la E.E.Q.

Mantenimiento Preventivo	Actividad
Revisión e inspección visual	Recorridos semanales
Revisión con drones	Tomar fotos y grabar videos
Termografía	Identificar puntos calientes
Desbroce/ poda de árboles	Eliminar exceso de vegetación (dos veces al año)
Mejorar sistema de puesta a tierra	Ajustar/ Mejorar/ Repotenciar las tierras
Identificar aisladores en mal estado	Cambiar/Retirar aislador
Identificar conductores en mal estado	Cambiar conductor aéreo
Identificar pararrayos en mal estado	Cambiar/ Instalar pararrayos
Mitigar descargas atmosféricas	Instalar/ Cambio drenadores

### Caso 2: Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA)

En la Tabla 5 se muestra el tipo de mantenimiento y la actividad que se realiza en líneas de subtransmisión por parte de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA).

Tabla 5: Mantenimientos Preventivos Realizados en la EEASA

Mantenimiento Preventivo	Actividad
Inspección visual	Recorridos semanales
Revisión con drones	Tomar fotos y grabar videos
Termografía	Identificar puntos calientes
Desbroce	Eliminar exceso de vegetación (dos veces al año)
Poda de árboles	Eliminar exceso de

	vegetación (limpieza de franjas de servidumbre)
Mejorar sistema de puesta a tierra	Repotenciar las tierras (cambio a fibra óptica)
Identificar aisladores en mal estado	Cambiar aislador
Identificar conductores en mal estado	Cambiar conductor aéreo
Identificar pararrayos en mal estado	Cambiar pararrayos
Identificar equipos con servicio mayor a 30 años	Cambiar equipos

## 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

### 3.1. Planificación de la ejecución de mantenimientos de líneas de subtransmisión

#### 3.1.1. Metodología para priorizar la ejecución de mantenimientos en líneas de subtransmisión

A continuación, se muestra un esquema de diagrama de bloques Fig. 3., donde se encuentra explicado y detallado los pasos para priorizar la ejecución de mantenimientos en líneas de subtransmisión.

De acuerdo a la bibliografía revisada en lo referente a gestión de mantenimientos, el método denominado "GUT" por sus siglas de Gravedad, Urgencia y Tendencia es una técnica que permite definir prioridades para la atención de problemas; es importante mencionar que se la está implementado con mayor énfasis en los sistemas eléctricos de Brasil.

El método "GUT" es una herramienta de utilidad y de beneficio para gestionar el mantenimiento de activos de las empresas; además ayudaría a las empresas a cumplir con sus objetivos y lograr sus metas que previamente son planificadas ya que se basa principalmente en las modernas y mejores prácticas de mantenimientos.

Para el desarrollo de la metodología se escogió el método "GUT" ya que puede ser utilizado por las empresas eléctricas de distribución para que puedan priorizar la atención de problemas que están provocando la interrupción del servicio ocasionados en líneas de subtransmisión a través de la ejecución de trabajos de mantenimiento de una manera estratégica debido a que los recursos destinados para la ejecución de los mantenimientos son limitados y la infraestructura de las empresas es amplia; de esta manera ayudaría a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico para posteriormente cumplir con los límites de los índices de calidad establecidos en la Regulación Nro. ARCONEL 005/18.

Para la definición de prioridades, esta herramienta de gestión plantea tres criterios generales:

**Gravedad:** Este criterio tiene como alcance identificar si el problema o la ocurrencia del problema pueden

perjudicar al equipo o instalación, o peor aún colocar en riesgo vidas humanas o al medio ambiente.

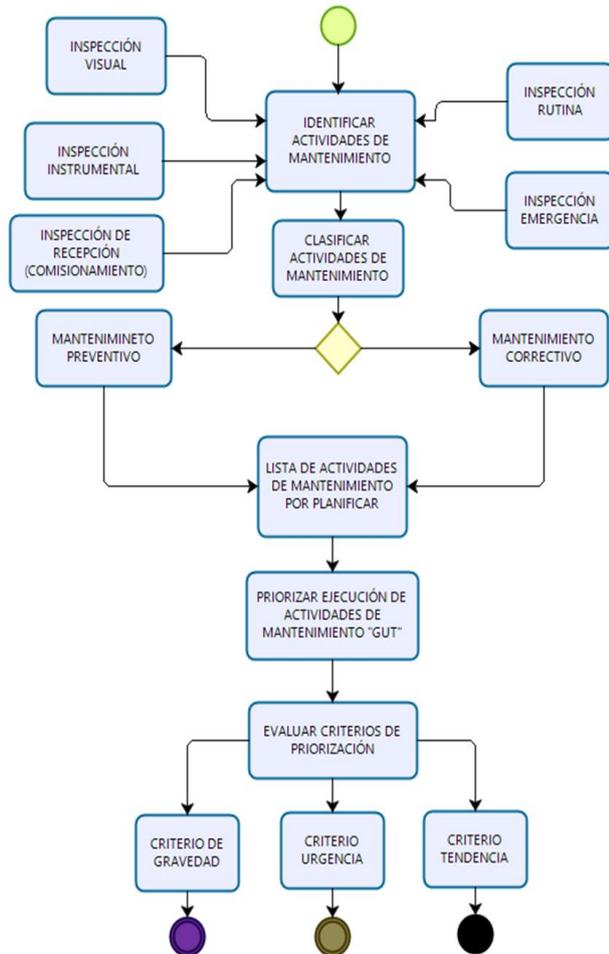
**Urgencia:** Este criterio tiene como objetivo determinar si el problema puede generar perjuicios al servicio, en los aspectos de plazo, costos y calidad que estén afectando a las empresas.

**Tendencia:** El objetivo principal de este criterio es identificar si los problemas pueden desarrollar o degenerarse con el tiempo.

la actividad de mantenimiento o la gente de zona que es la encargada de realizar los mantenimientos.

Los evaluadores mientras más involucrados estén en cada una de las áreas que abarcan los diferentes criterios pueden llegar a tener una mejor evaluación, en caso de no disponer especialistas en cada una de estas áreas, se recomienda realizarlo en base a la estructura organizacional que cada empresa disponga.

Para evaluar se requieren a su vez criterios de ponderación, estos criterios son para los casos de gravedad, urgencia y tendencia respectivamente; los mismos que van a ser evaluados en un grado del 1 al 5, estos criterios se encuentran en las Tablas VI, VII y VIII.



**Figura 3:** Esquema de diagrama de bloques de la metodología para priorizar la ejecución de mantenimientos en líneas de subtransmisión

Este método consiste en evaluar cada una de las actividades de mantenimiento bajo estos tres criterios de priorización para cuyo efecto se debe elaborar una matriz que se denomina “GUT”; en esta matriz se va a registrar cada una de las actividades de mantenimiento y adicionalmente el personal que realizará la evaluación.

Se recomienda que el personal que evalúe el criterio de gravedad lo realice la persona encargada de los procesos de seguridad por su conocimiento en la identificación de los riesgos, para el criterio de urgencia de acuerdo a su concepto se recomienda que lo realice la persona o el funcionario que evalúe la calidad de la energía eléctrica o a su vez un representante de la parte operativa, para el criterio de tendencia se recomienda que lo realice un delegado que anteriormente ya ha realizado

**Tabla 6:** Criterios de ponderación para la gravedad

1	Sin Gravedad
2	Poco Grave
3	Grave
4	Muy Grave
5	Extremadamente Grave

**Tabla 7:** Criterios de Ponderación para la Urgencia

1	Sin prisa
2	Puede esperar
3	Lo más rápido posible
4	Con urgencia
5	Acción inmediata

**Tabla 8:** Criterios de Ponderación para la Tendencia

1	No va a empeorar
2	Va a empeorar a corto plazo
3	Va a empeorar a medio plazo
4	Va a empeorar a largo plazo
5	Va a empeorar rápidamente

Una vez obtenido el grado de ponderación de cada uno de los criterios de gravedad, urgencia y tendencia respectivamente estos valores serán multiplicados teniendo como resultado el orden de prioridad de cada una de las actividades.

Dependiendo del tipo de actividad para cada uno de los criterios tanto de gravedad, urgencia y tendencia se consideran variables de análisis, cada una de estas variables contienen hipótesis, estas hipótesis son planteadas por los especialistas en cada una de las áreas, las cuales van a ser evaluadas en un grado del 1 al 5.

La Fig. 4 muestra un esquema de bloques considerando el criterio de gravedad para la actividad de mantenimiento de poda y desbroce de árboles.

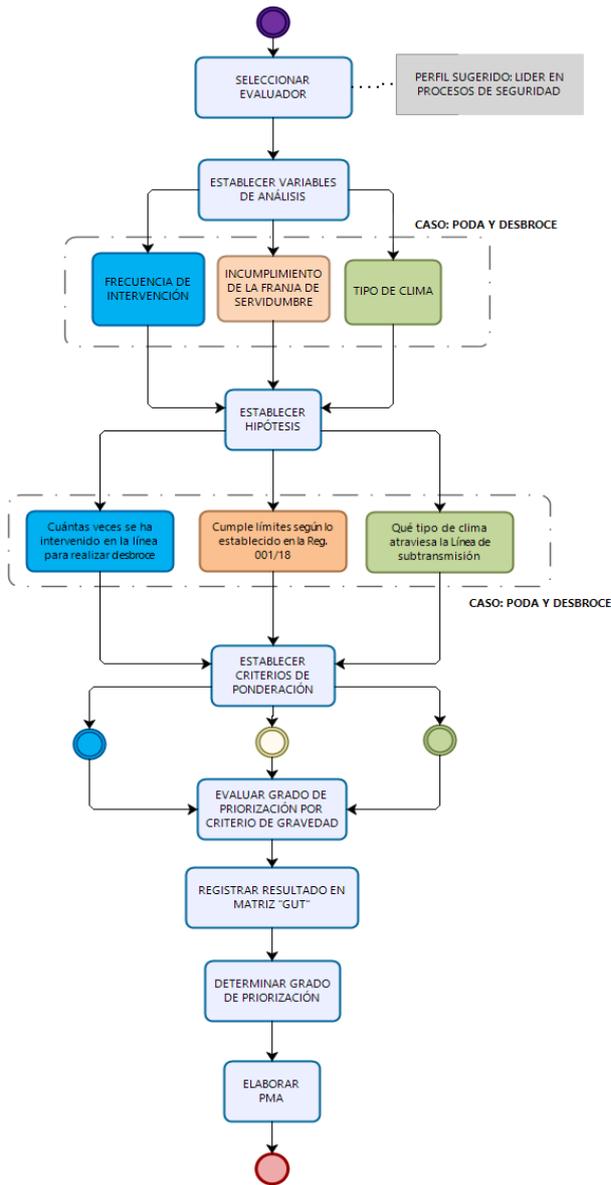


Figura 4: Esquema de diagrama de bloques Criterio de Gravedad

Las Figs. 5, 6, 7 muestran un esquema de bloques considerando cada una de las hipótesis del criterio de gravedad para de esta manera poder establecer el grado de ponderación.

La Fig. 8 muestra un esquema de bloques considerando el criterio de urgencia para la actividad de mantenimiento de poda y desbroce de árboles.

Las Figs. 9, 10, 11 muestran un esquema de bloques considerando cada una de las hipótesis del criterio de urgencia para de esta manera poder establecer el grado de ponderación.

La Fig. 12 muestra un esquema de bloques considerando el criterio de tendencia para la actividad de mantenimiento de poda y desbroce de árboles.

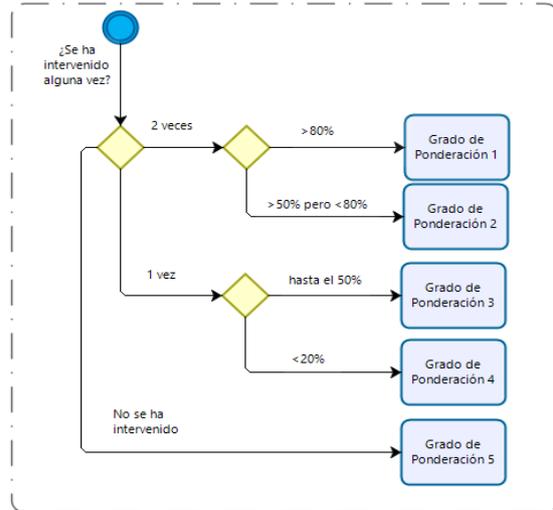


Figura 5: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: intervenciones en la línea de subtransmisión

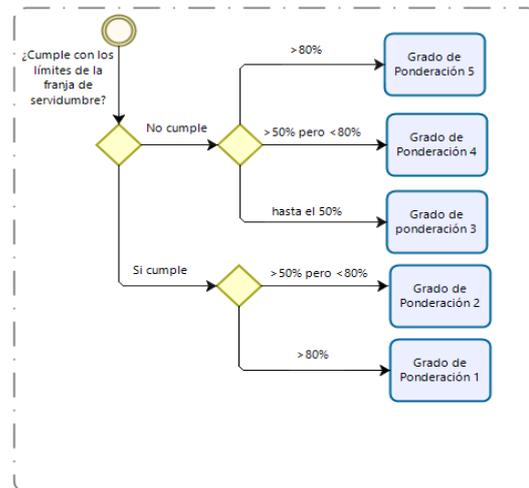


Figura 6: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: cumplimiento de los límites de la franja de servidumbre

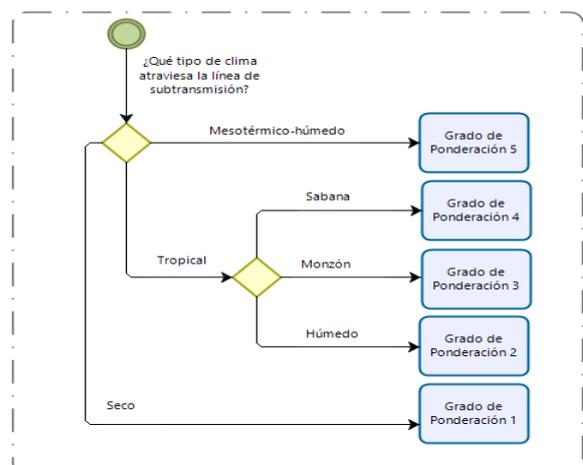


Figura 7: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: qué tipo de clima atraviesa la línea de subtransmisión

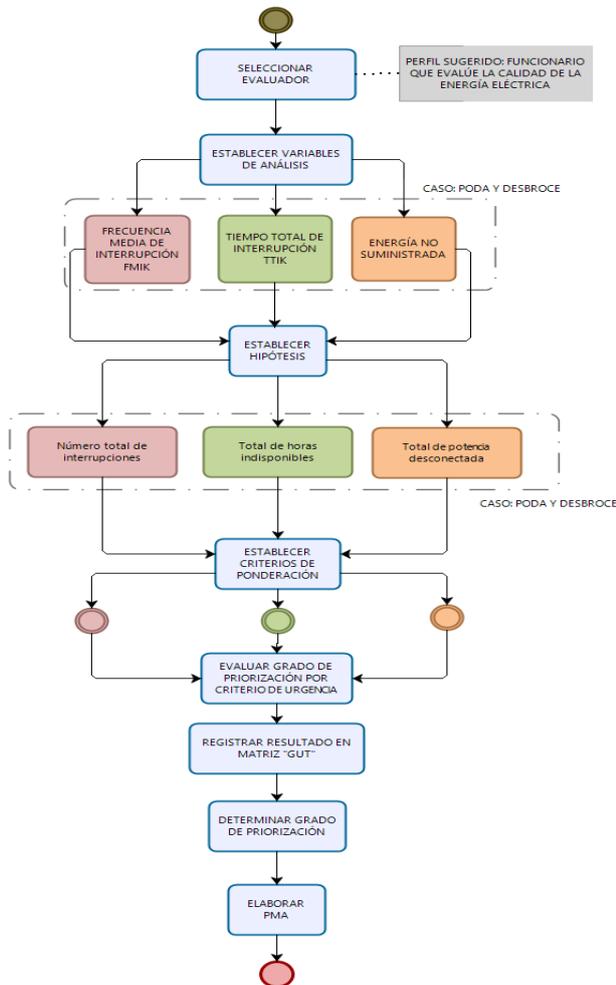


Figura 8: Esquema de diagrama de bloques Criterio de Urgencia

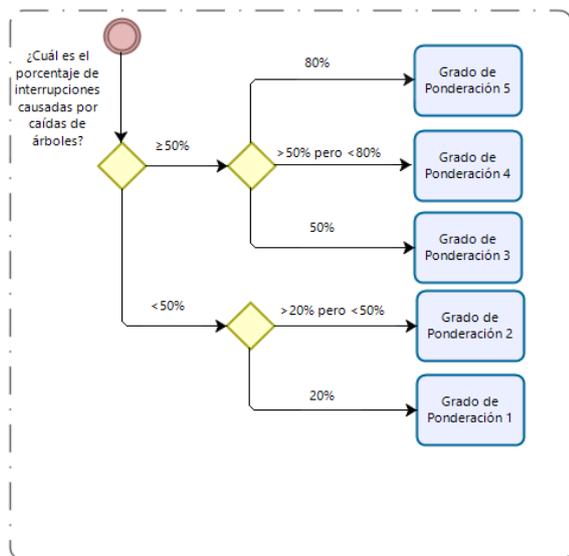


Figura 9: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: frecuencia media de interrupción (FMIK)

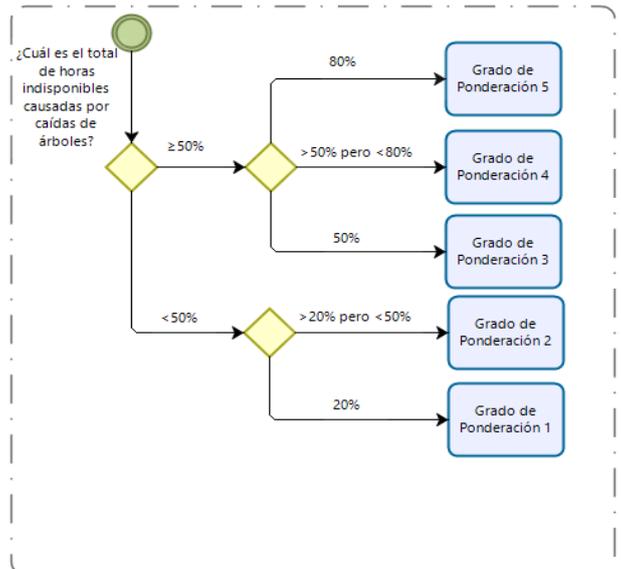


Figura 10: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: tiempo total de interrupción (TTIK)

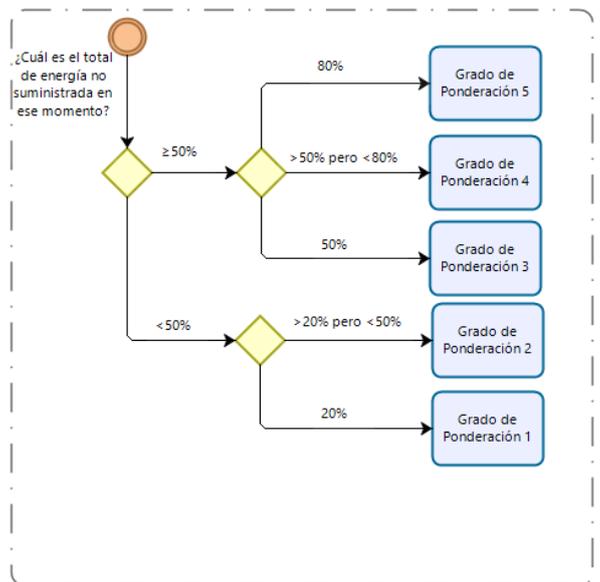


Figura 11: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: potencia desconectada o energía no suministrada

La Fig. 13 muestra un esquema de bloques considerando la hipótesis del criterio de tendencia para de esta manera poder establecer el grado de ponderación.

### 3.1.2. Control de la ejecución de los mantenimientos preventivos y correctivos de líneas de subtransmisión

Previamente se señala que hasta el momento no existe una Regulación emitida por parte de la ARCONEL para la planificación, coordinación, ejecución y control de los planes anuales de mantenimiento los cuales son realizados por las empresas eléctricas de distribución a su mejor criterio.

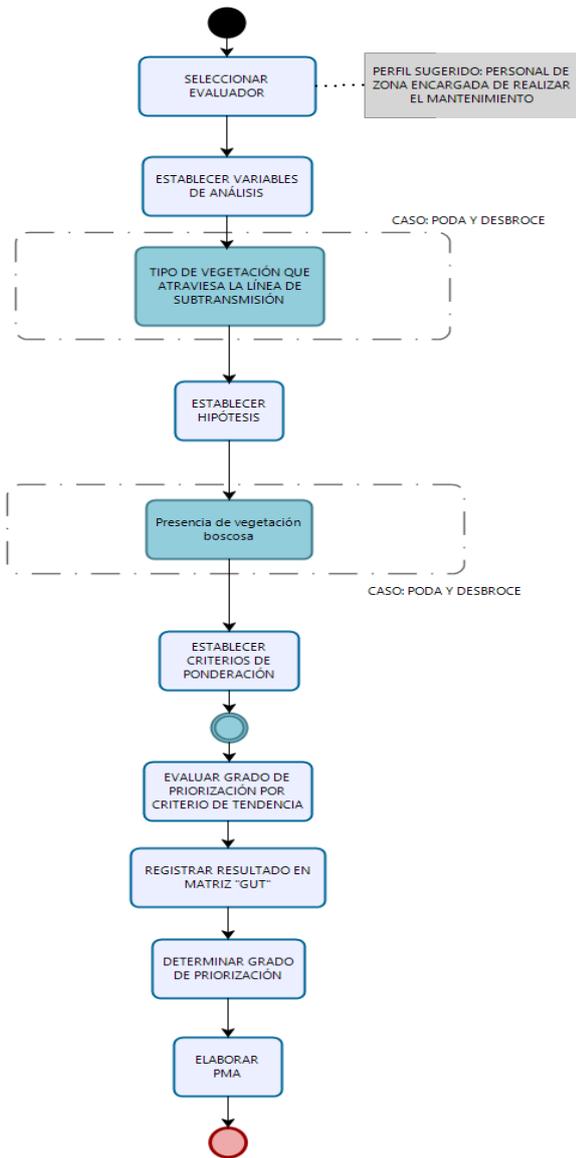


Figura 12: Esquema de diagrama de bloques Criterio de Tendencia

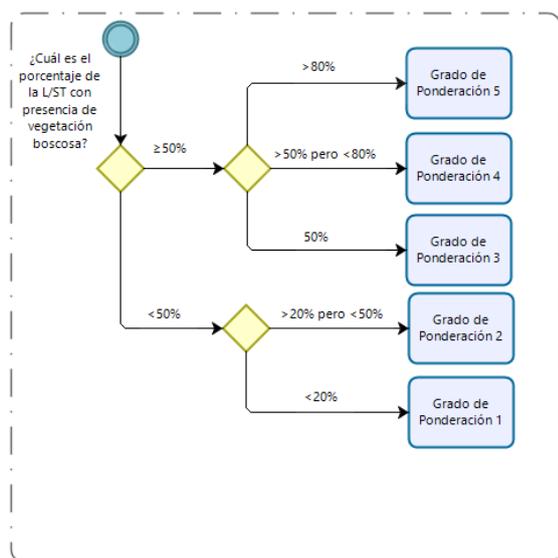


Figura 13: Esquema de diagrama de bloques considerando la variable de análisis: porcentaje de la línea de subtransmisión con presencia de vegetación boscosa

El control de la gestión de mantenimientos se lo realizará en base al Plan Anual de Mantenimientos para lo cual se evaluará los índices de calidad tanto del agente transmisor como los índices de la empresa distribuidora de energía eléctrica para poder de esta manera identificar si algunas de las fallas fueron ocurridas en líneas de subtransmisión, ya que los indicadores no son evaluados a nivel de subtransmisión.

El artículo 68, letra c) de la LOSPEE, considera como una infracción grave, el “incumplimiento de los programas de mantenimiento que afecten la seguridad de las personas, así como la seguridad y confiabilidad de los sistemas”.

Esta sección tiene por objetivo recomendar como controlar las actividades de mantenimientos que han sido ejecutados en las líneas de subtransmisión, verificar el estado de situación operativa de las instalaciones correspondientes al área de concesión de cada una de las empresas eléctricas de distribución evaluando la calidad del servicio, controlar la ejecución de los recursos económicos destinados a las empresas distribuidoras por parte de la ARCONEL, evaluar los índices de gestión de mantenimiento y por último imponer las sanciones correspondientes en caso de incumplimiento conforme a lo establecido en la LOSPEE y normativa conexas.

La Fig. 14 muestra un esquema de bloques para el control de la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos de líneas de subtransmisión.

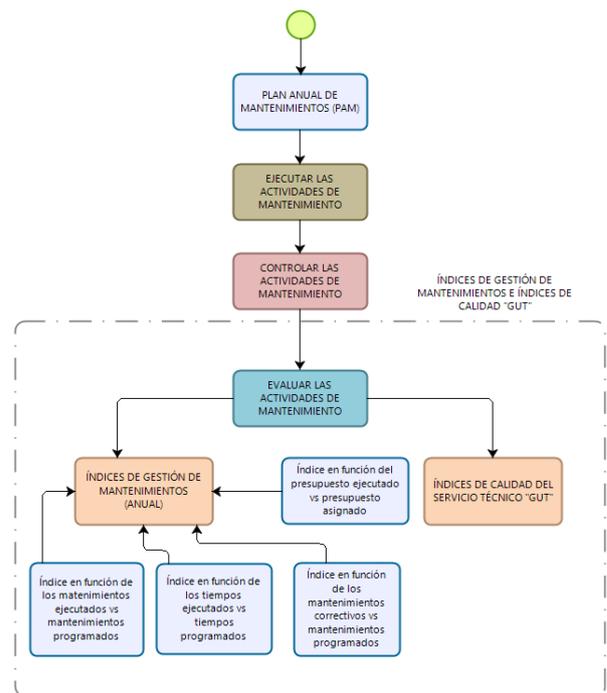


Figura 14: Esquema de diagrama de bloques de la metodología para controlar las actividades de mantenimientos en líneas de subtransmisión

En el “Sistema de Gestión de Mantenimientos” debe constar por lo mínimo la siguiente información:

- Mantenimientos ejecutados
- Mantenimientos no ejecutados

- Mantenimientos programados (actividades preventivas)
- Mantenimientos correctivos

Se plantea que para realizar el control de la ejecución de los mantenimientos las empresas permitan el ingreso de servidores de la ARCONEL a las instalaciones y observar su “Sistema de Gestión de Mantenimientos”, para efectos de control de planes de mantenimientos coordinados, índices de gestión de mantenimientos para lo cual se debe analizar las causas y efectos de las fallas, identificar si los problemas son recurrentes y a la información de respaldo para el cálculo de éstos índices; esta información debe ser entregada a la ARCONEL cuando esta agencia lo requiera.

#### 4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los casos de estudio, se identificó que tanto la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) como la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA) no cuentan con una normativa internacional o definición homologada oficial para establecer los conceptos de los tipos de mantenimientos que son realizados y ejecutados en las líneas de subtransmisión, dichas definiciones son acogidas acordes a las mejores prácticas de ingeniería.

La Jefatura de subtransmisión de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) manifiesta que los mantenimientos ejecutados anteriormente eran presentados a la ARCONEL cada seis meses, en la actualidad estos informes son solicitados y presentados trimestralmente, solamente un porcentaje de las actividades de mantenimientos planificadas es cumplido a cabalidad, las razones por las cuales no se llega a cumplir con los objetivos planteados de debe a diferentes causas como son: el requerimiento de inspecciones por parte de clientes en la concesión de la (EEQ), falta de personal para realizar mantenimientos, fallas fortuitas o inesperadas, etc.

Tanto la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) como la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA) planifican los mantenimientos preventivos en base a las inspecciones visuales, el cual tiene como meta o propósito realizar el mantenimiento mínimo dos veces al año en cada línea de subtransmisión.

La Empresa Eléctrica Quito (EEQ) y la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte (EEASA) manifiestan que lo imprevisto siempre va a superar lo planificado; de tal manera que el objetivo en lo concerniente a la planificación de mantenimientos no se llega a cumplir a cabalidad.

En Chile desde el año 2017 se hace hincapié en realizar los mantenimientos en líneas vivas o energizadas, ya que en años anteriores no tenía mayor relevancia; los especialistas explican que de esta forma se garantiza la seguridad en el Sistema Eléctrico Nacional ya que se podrían reducir las interrupciones del servicio eléctrico, se menciona además que resulta muy caro para todo el sistema de energía eléctrica desconectar la línea del sistema.

El método denominado “GUT” por sus siglas de Gravedad, Urgencia y Tendencia es una técnica que permite definir prioridades para la atención de problemas, es una herramienta de utilidad y de beneficio para gestionar el mantenimiento de activos de las empresas basándose principalmente en las modernas y mejores prácticas; es importante mencionar que este método se lo está implementado con mayor énfasis en los sistemas eléctricos de Brasil.

El método “GUT” aplicado en el presente artículo sirve también como una herramienta para la planificación de la priorización de actividades en diversas áreas no solamente de la Ingeniería, determinando mediante evaluaciones una lista de actividades las cuales van a ser realizadas y ejecutadas de acuerdo al grado de prioridad.

El presente artículo emplea el método “GUT” ya que puede ser utilizado por las empresas eléctricas de distribución para que puedan priorizar la atención de problemas que están provocando la interrupción del servicio ocasionados en líneas de subtransmisión a través de la ejecución de trabajos de mantenimiento de una manera estratégica debido a que los recursos destinados para la ejecución de los mantenimientos son limitados y la infraestructura de las empresas es amplia; de esta manera ayudaría a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico para posteriormente cumplir con los límites de los índices de calidad establecidos en la Regulación Nro. ARCONEL 005/18.

Dependiendo del tipo de actividad para cada uno de los criterios tanto de gravedad, urgencia y tendencia se consideran variables de análisis, cada una de estas variables contienen hipótesis, estas hipótesis son planteadas por los especialistas en cada una de las áreas, las cuales van a ser evaluadas en un grado del 1 al 5.

Es importante señalar que por lo menos debe haber una variable de análisis para cada criterio, mientras más variables de análisis existan más precisa es la evaluación.

En base al informe “Análisis y Determinación del Costo del Servicio Público de Energía Eléctrica” emitido por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) en el cual existen diferentes rubros asignados a cada empresa distribuidora de energía eléctrica tales como administración, operación, mantenimiento y comercialización para el área de subtransmisión; se puede identificar que los recursos son limitados de tal manera que la aplicación de la metodología desarrollada en el presente artículo sirve para definir prioridades y enfocarse en las líneas que requieran que efectivamente se realice el mantenimiento.

#### 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) cuando emita una regulación oficial referente a la planificación, ejecución y control de mantenimientos en líneas de subtransmisión considerar la propuesta de los tipos de mantenimientos señalados en el presente artículo para de esta manera

poder tener una definición homologada donde todas las empresas distribuidoras de energía eléctrica manejen las mismas definiciones.

Se recomienda a la ARCONEL que al momento de evaluar los índices de gestión de mantenimientos de cada una de las empresas distribuidoras se lo realice de una manera más discriminada es decir que los índices sean evaluados por tipo de actividad de mantenimiento para así poder llevar un mejor control.

Se recomienda realizar un trabajo de investigación acerca de cómo se manejan los presupuestos para los diferentes rubros en lo referente a la ejecución de mantenimientos en líneas de subtransmisión que son aprobados por la ARCONEL en el informe "Análisis y Determinación del costo del Servicio Público de Energía Eléctrica" para cada empresa distribuidora de energía eléctrica y poder determinar de esta manera si los presupuestos son ejecutados de acuerdo con lo aprobado en el informe mencionado.

Se recomienda que el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables conjuntamente con la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) elaboren instrumentos regulatorios donde se encuentre detallado todo lo que se debe tener en cuenta para la planificación y control de la ejecución de mantenimientos en líneas de subtransmisión ya que en la actualidad no existe ninguna regulación.

Se recomienda a las empresas distribuidoras de energía eléctrica existentes en el país que implementen un programa de "Gestión de Mantenimiento de Activos" para que en el mismo se encuentre la información detallada de cada línea de subtransmisión es decir cuántas veces al año se realizó el respectivo mantenimiento para de esta manera poder trabajar posteriormente de manera estadística.

Se recomienda a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) al momento de emitir una regulación oficial referente a la planificación, ejecución y control de mantenimientos considerar que los indicadores de calidad de energía eléctrica sean evaluados a nivel de subtransmisión ya que los indicadores analizados corresponden a fallas en alimentadores, de manera que se debe tomar en cuenta la línea de subtransmisión asociada al alimentador que incumplió con los índices de calidad para identificar si la falla ocurrió en la línea de subtransmisión.

Se recomienda desde el punto de vista técnico realizar el tipo de inspección total el cual hace referencia a observar cada una de los postes y estructuras que componen la red de la línea de subtransmisión para de esta manera poder llegar a tener datos más cercanos a la realidad.

Se recomienda que el personal que evalúe los criterios del método "GUT" sean en base a lo siguiente: el criterio de gravedad lo realice la persona encargada de los procesos de seguridad por su conocimiento en la identificación de los riesgos, para el criterio de urgencia de acuerdo a su concepto se recomienda que lo realice la

persona o el funcionario que evalúe la calidad de la energía eléctrica o a su vez un representante de la parte operativa, para el criterio de tendencia se recomienda que lo realice un delegado que anteriormente ya ha realizado la actividad de mantenimiento o la gente de zona que es la encargada de realizar los mantenimientos, los evaluadores mientras más involucrados estén en cada una de las áreas que abarcan los diferentes criterios pueden llegar a tener una mejor evaluación, en caso de no disponer especialistas en cada una de estas áreas, se recomienda realizarlo en base a la estructura organizacional que cada empresa disponga.

Se recomienda tanto al agente transmisor como a las empresas eléctricas de distribución implementar un "Sistema de Gestión de Mantenimientos" la cual es una herramienta informática que permite la planificación, coordinación y ejecución de los mantenimientos que se llevan a cabo en los sistemas de transmisión y distribución respectivamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asamblea Nacional, «Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica,» Quito, 2015.
- [2] CENACE, «Procedimiento para la Coordinación de Mantenimientos en el Sistema Nacional Interconectado,» Quito, 2016.
- [3] L. A. Tavares, Administración Moderna de Mantenimiento, Brasil: Publicaciones Novo Polo, 1996.
- [4] Y. B. -. I. S. 902-1998, «IEEE Guide for Maintenance, Operation, and Safety of Industrial and Commercial Power Systems,» IEEE-SA Standards Board, New York, 1998.
- [5] C. D. García Esparza, "Modelo de Gestión de Mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el Departamento de alta tensión de STC Metro de la ciudad de México", Proyecto previo a la obtención de Máster en Ingeniería Industrial, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F., 2015.
- [6] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, «Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano,» Quito, 2017.
- [7] P. López, "Procedimiento para el control de la calidad del servicio técnico de distribución de energía eléctrica en el Ecuador", Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [8] Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica,» Quito, 2018.



**Christian López Ortiz**, Nació en Ambato en el año de 1993. Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio “Tecnológico Superior Bolívar” en Ambato. Obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en 2019.

Sus áreas de investigación son: la Eficiencia Energética y Energías Renovables.



**Gabriel Salazar Yépez**, Nació en Quito, recibió su título de Ingeniero Eléctrico en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2000; y de Doctor en Ingeniería Eléctrica del Instituto de Energía Eléctrica de la Universidad Nacional de San Juan, Argentina en el 2005. Se desempeñó

como Coordinador del Área de Investigación y Desarrollo del CENACE, Director de las Direcciones de Tarifas y Regulación del CONELEC, Director Ejecutivo de la ARCONEL, Coordinador Internacional de Electricidad en OLADE, Subsecretario de Eficiencia Energética y Energías Renovables del MEER, Director del Programa de Doctorado en Ingeniería Eléctrica de la EPN, Docente de la EPN. Sus áreas de investigación son Mercados Eléctricos, Transacciones Internacionales de Electricidad, Tarifación del Transporte de Electricidad, Teoría Económica de Regulación, Confiabilidad, Energías Renovables. Actualmente se desempeña como Docente Titular a Tiempo Completo en la Facultad de la Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional.