

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

“ESTUDIO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA SUBESTACIÓN LAGO AGRIO DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD, EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBÍOS”.

Trabajo de Titulación bajo la modalidad Estudio Técnico

AUTOR

Jorge Fernando Proaño Vinueza

TUTOR

Ing. Leonardo Sánchez.

Ambato – Ecuador

2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de investigación, nombrado por el H. Consejo Superior de la Universidad Tecnológica Indoamérica.

CERTIFICO

Que el informe de Investigación Científica, “Estudio del proceso de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio de la Corporación Nacional de Electricidad, Empresa Pública Unidad de Negocios Sucumbíos”, presentado por el estudiante Jorge Fernando Proaño Vinueza, estudiante de la facultad de Ingeniería Industrial, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador que el H. Consejo de la Universidad Tecnológica Indoamérica designe.

Ambato, 31 de Marzo del 2017

TUTOR

Ing. Leonardo Sánchez.

C.I. 1803875770

AUTORIZACIÓN PARA CONSULTA

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Fernando Proaño Vinueza, declaro ser autor de la tesis titulada “Estudio del proceso de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio de la Corporación Nacional de Electricidad, Empresa Pública Unidad de Negocios Sucumbíos”, como requisito para optar al grado de “Ingeniero Industrial”, autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, que para con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI – UTI) .

Los usuarios del RDI – UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo acepto que los Derechos del Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidas entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramite la publicación de esta obra en ningún otro medio sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos específicos adicionales, donde acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 6 días del mes de abril del 2017, firmo conforme:

Autor: Jorge Fernando Proaño Vinueza.

Número de cédula: 1707214894

Correo Electrónico: jfproanio@yahoo.es

Teléfono: 0992267678

APROBACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR

El informe de investigación científica ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención de Título de Ingeniero Industrial por lo tanto autorizamos a los postulantes a la presentación efectos de su sustentación pública

Ambato, 31 de marzo del 2017.

EL JURADO

.....

Ing. Pedro Muzo

PRESIDENTE DEL JURADO

.....

Ing. Isabel Quinde

MIEMBRO DEL JURADO

.....

Ing. María Belén Ruales

MIEMBRO DEL JURADO

DEDICATORIA

A Dios, porque en la tormenta y en la oscuridad, eres mi protector y mi luz.

A Elizabeth, mi compañera, madre y mujer ejemplar, por su apoyo incondicional y perseverante.

A mis hijos e hijas como testimonio que en la adversidad y cuando se tiene objetivos en la vida si se los puede cumplir.

A la memoria de mi padre Ángel Enrique, que con su carácter, fuerza y valentía me enseñó a luchar y cumplir mis objetivos.

Jorge Fernando Proaño Vinuesa

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Tecnológica Indoamérica, por su misión de ofrecer una educación de calidad y formar profesionales líderes para el país.

A la CNEL EP UN-SUC por brindarme las facilidades para la realización del presente proyecto de investigación

De igual manera a todos los docentes, a todo el grupo de compañeros - amigos que fuimos parte de esta carrera que hemos concluido con éxito, aquellas personas que colaboraron en la realización de este proyecto, a quienes quedo eternamente agradecido.

Jorge Fernando Proaño Vinueza

TABLA DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORIZACIÓN PARA CONSULTA	iii
APROBACIÓN DEL JURADO EXAMINADOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN EJECUTIVO	x
SUMMARY	xi

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Antecedentes	2
Análisis Crítico	6
Justificación	6
Objetivos	7

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

Diseño de trabajo	13
Procedimientos para la obtención y análisis de datos	15
Aplicación de técnicas de recolección de información	16
Aplicación de instrumentos de recolección de información	16
Procesamiento y validación	17
Análisis e Interpretación de resultados	17
Hipótesis	17

CAPÍTULO III DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Modo Potencial de Fallo	24
Efecto Potencia de Fallo	25
Cálculo del nuevo IPR	33
Comparación de los IPR	34

Determinación de la disponibilidad.....	36
Tabla de clasificación de la OEE	37
Cálculo de los indicadores de nivel.....	43
Cálculo de la disponibilidad actual y de la disponibilidad con las acciones correctoras	45
Resultados de la Encuesta	49

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

Interpretación de resultados	59
Análisis del resultado obtenido con la herramienta AMEF	59
Análisis del resultado alcanzado con la herramienta OEE	59
Análisis del resultado del cálculo de la disponibilidad actual y la disponibilidad con las acciones correctivas.....	60
Análisis de la Encuesta	60
Contraste con otras investigaciones.....	61
Verificación de Hipótesis	62

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:.....	68
Recomendaciones:	69
LITERATURA CITADA	70
ANEXOS	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Árbol de problemas.....	5
Figura N° 2: Área Subestación Lago Agrio	21
Figura N° 3: Transformador de potencia 15/20/25 MVA.....	22
Figura N° 4: Interruptor de potencia 69 KV	23
Figura N° 5: Seccionador de 69 KV	23
Figura N° 6: Transformador de servicios axiliares.....	24
Figura N° 7: Descripción del proceso de operación de la Subestación Lago Agrio	27
Figura N° 8: Comparación de los IPR actual y recomendado	35
Figura N° 9: Cálculos de los tiempos interruptor 69 KV	41
Figura N° 10: Comparación de resultados.....	45
Figura N° 11: Disponibilidad actual y disponibilidad con las acciones recomendadas	48
Figura N° 12 – 21 Resultados encuestas	49
Figura N° 22: Cola derecha	65
Figura N° 23: Cola izquierda (Cuantil).....	66
Figura N° 24: Izquierda + cola derecha	66
Figura N° 25: Áreas (probabilidades)	67
Figura N° 26 - 29 Cálculos de equipos.....	81

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1: Conjunto de individuos.....	11
Tabla 2: Conjunto de equipos.....	12
Tabla 3: Variable independiente: Proceso del Mantenimiento preventivo... 	13
Tabla 4: Variable dependiente: Disponibilidad de equipos.....	14
Tabla 5: Tabla de recolección de información.....	15
Tabla 6: Índice de gravedad.....	28
Tabla 7: Índice de ocurrencia.....	29
Tabla 8: Índice de detección.....	29
Tabla 9: Criterio de valoración de gravedad.....	30
Tabla 10: Criterio de valoración de ocurrencia.....	30
Tabla 11: Criterio de valoración de detección.....	31
Tabla 12: Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).....	32
Tabla 13: Cálculo del nuevo IPR.....	33
Tabla 14: Comparación de los IPR.....	34
Tabla 15: Clasificación de la OEE.....	37
Tabla 16: Tiempo teórico de producción.....	38
Tabla 17: Tiempos de: Paradas planificadas, paradas no planificadas, fallas transitorias y fallas temporizadas.....	39
Tabla 18: Cálculos de tiempos.....	42
Tabla 19: Comparación de resultados.....	44
Tabla 20: Disponibilidad actual y disponibilidad con las acciones recomendadas.....	47
Tabla 21: Mantenimiento preventivo en subestaciones Lago Agrio.....	49
Tabla 22: Planificar de mejor manera el mantenimiento.....	50
Tabla 23: Las personas encargadas del mantenimiento tienen las herramientas necesarias para dar solución a los problemas.....	51
Tabla 24: El personal está capacitado para realizar el mantenimiento preventivo.....	52
Tabla 25: Calificación de la disponibilidad de los equipos.....	53
Tabla 26: Causas que afectan a la disponibilidad de los equipos.....	54

Tabla 27: El personal cuenta con la información documentada y actualizada de los equipos.....	55
Tabla 28: Se cuenta con equipos disponibles en caso que se declare la indisponibilidad de equipos.....	56
Tabla 29: Implementar un plan de mantenimiento aumentará la disponibilidad en los equipos.....	57
Tabla 30: Capacitación adecuada aumentará la disponibilidad en los equipos.....	58
Tabla 31: Cálculos para el t students.....	63
Tabla 32: Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas.....	65
Tabla 33: Colas t student's.....	65
Tabla 34: Áreas probabilidades.....	66

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOÁMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“ESTUDIO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA SUBESTACIÓN LAGO AGRIO DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD, EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBÍOS”.

Autor: Jorge Proaño

Tutor: Ing. Leonardo Sánchez.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo investigativo se lo realiza con el objetivo de estudiar el proceso de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio de la Corporación Nacional de Electricidad, empresa encargada de manejar las Subestaciones en las Provincias de Orellana y Sucumbíos.

Inicialmente se realizó una recopilación de los equipos que intervienen en el proceso de una subestación eléctrica, que son: Interruptores, Transformadores de Potencia, Seccionadores, y Transformador de Servicios Auxiliares, se recopiló información proporcionada por CNEL EP UN-SUC, posterior se aplicó los del método AMEF y OEE que ha permitido analizar, identificar, evaluar los fallos potenciales presentados en los equipos de la Subestación Lago Agrio así como la disponibilidad de los equipos, y finalmente se aplicó el método estadístico t Student para la verificación de la hipótesis planteada.

Descriptor: AMEF, Disponibilidad, Eficiencia, Mantenimiento, OEE, T student.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOÁMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“ESTUDIO DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SU
INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA
SUBESTACIÓN LAGO AGRIO DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE
ELECTRICIDAD, EMPRESA PÚBLICA UNIDAD DE NEGOCIOS
SUCUMBÍOS”.

Autor: Jorge Proaño

Tutor: Ing. Leonardo Sánchez.

SUMMARY

The present investigation is carried out with the objective of studying the preventive maintenance process and its incidence in the availability of the equipment of the Lago Agrio Substation of the Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocios Sucumbíos the company in charge of managing the Substations in the Provinces of Orellana and Sucumbíos.

Initially a compilation of the equipment involved in the process of an electrical substation, which were: Switches, Power Transformers, Disconnectors, and Transformer of Auxiliary Services, was compiled information provided by CNEL EP UN-SUC. Of the method AMEF and OEE that allowed to analyze, to identify, to evaluate the potential failures presented in the equipment of the Substation Lago Agrio as well as the availability of the equipment, and finally the statistical method Student t was applied for the verification of the hypothesis.

Key words: AMEF, Availability, Efficiency, Maintenance, OEE, T student.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La historia de las Subestaciones eléctricas nace con la necesidad de transportar la electricidad a grandes distancias, además de ser un componente de los sistemas eléctricos de potencia de alto costo económico (IRAZÚ RIVADENEYRA DÍAZ), del correcto mantenimiento de una Subestación y de su consiguiente reducción de fallas, depende la continuidad de servicio eléctrico y se establece como un elemento de gran importancia para las empresas en términos de, Confiabilidad y Calidad del servicio de Energía Eléctrica, la supervisión constante de los equipos, la realización adecuada y exitosa del mantenimiento preventivo minimizarán sus costos y maximizarán su eficiencia.

El sector eléctrico es considerado un área estratégica del estado Ecuatoriano y que hoy en día está atravesando el mejor momento en la historia del país. (Cristina, 2010) Tomando en cuenta que la constitución garantiza el Buen Vivir de sus habitantes se ha dado especial importancia a la energía eléctrica como un servicio y un derecho; se plantean garantizar que la provisión de electricidad responda en cuanto a obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. Por lo que se ha visto la necesidad de reforzar y dar el mantenimiento adecuado a las Subestaciones Eléctricas dentro de los estándares señalados.

Las Empresas Eléctricas que son las encargadas de manejar las Subestaciones para la distribución de energía eléctrica las cuales satisfacen parte de la demanda del mercado eléctrico ecuatoriano y se ven en la necesidad de mejorar y actualizar sus

planes de mantenimiento preventivo de acuerdo a lo que se especifica en las normas nacionales e internacionales para proporcionar un entorno seguro y funcional, mediante un mantenimiento adecuado de todos los equipos y espacios; y minimizar la cantidad de tiempo entre fallas de todos los equipos y espacios.

Antecedentes

Como antecedentes investigativos se ha puesto énfasis en tesis que mantienen cierta relación con la presente investigación. En tal virtud, se puede citar las siguientes tesis:

Albán W. y Pantoja G., 2011 “Programa de mantenimiento para la subestación de la torre de Cali”, de la Universidad Autónoma de Occidente previo al título de Ingeniero Electricista, concluye:

- Al desear implementar el programa de mantenimiento orientado en la confiabilidad debe contar que se deben definir las características del tipo de empresa, adicionar y aplicar las normas tales como la NTC2050, el anexo del retie, conjugadas con conocimientos en la normas ISO 9000 de manera inicial con tal de garantizar la aplicaciones de las planillas, bases de datos, matriz de riesgos y tramites a no conformidades con tal y llegar a establecer OLA’s (organization local agreement) acuerdos de servicios con áreas al interior de la compañía, así como SLA’s (service level agreement) acuerdos de nivel de servicios con terceros o contratistas. Ya al reunir todos los criterios se condensan como un sistema de calidad documentado el cual constara con:
 - Manual de Mantenimiento de calidad.
 - Procedimientos operativos tales como son: Rutinas preventivas.
- El área de mantenimiento no tiene un personal con las capacidades técnicas necesarias para enfrentar un problema a nivel correctivo sobre la subestación de la Torre de Cali, se define en este proyecto que personal debe de tenerse en el área de mantenimiento y además se le definen pautas para que puedan

implementar un plan de mantenimiento preventivo para lograr un alto índice de disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los activos de la subestación de la Torre de Cali.

Marlon Dennis Rodríguez Lizcano (Lizcano, 2009), para el periodo 2009. “Modelo de Gestión de Mantenimiento Preventivo y Predictivo para las subestaciones de la Empresa de Energía de Cundinamarca”. Universidad Industrial de Santander, concluye lo siguiente:

- El estudio teórico, recopilación de información, análisis de la condición actual del mantenimiento en la empresa ha permitido durante la investigación, que el profesional al mantenimiento de las subestaciones realizara un modelo que permitirá el inicio de la cultura del mantenimiento en proceso operativo ya que en la actualidad no le se da la importancia que se merece.
- El modelo de gestión de mantenimiento se ofrece al proceso Operación y Mantenimiento de la Empresa de energía de Cundinamarca como una herramienta indispensable en la conservación de las subestaciones, considerando los activos más relevantes de un sistema de distribución de energía, su implementación y ejecución será analizado por los directivos a cargo del proceso, quienes valoraran el contenido del proyecto y la efectividad y su aplicación. Posteriormente se avanzara hacia las técnicas y filosofías más modernas del mantenimiento de clase mundial.

El autor también recomienda:

- Someter a criterio de evaluación por parte de la subgerencia técnica de la empresa la implementación del Modelo de Mantenimiento preventivo y predictivo para las subestaciones.

- Crear un sistema de información de los activos con fichas técnicas y hojas de vida de los activos que hacen parte de la subestación lo cual permitirá el exitoso cumplimiento de la gestión de mantenimiento.
- Acudir a la tercerización del mantenimiento como método efectivo en el cumplimiento del modelo de mantenimiento ya que dentro de la programación actual quedan tareas sin cumplir lo cual genera demoras en las rutinas del mantenimiento. Además, la falta de personal profesional y herramientas tecnológicas son un agravante para el conocimiento del estado en que los equipos operan. Por lo tanto se desconoce cuáles son los índices de disponibilidad y confiabilidad.

Gondres I, Lajes s. y Del Castillo A., año 2007. “Nuevo enfoque sobre la gestión del mantenimiento en subestaciones eléctricas”, trabajos teóricos experimentales, energética volumen XVIII, sus conclusiones fueron:

- Se demuestra que hay muchas oportunidades de mejora en el mantenimiento en la Empresa Eléctrica, a pesar de existir viejas concepciones que deben ser cambiadas antes en el marco de la Revolución Energética.
- Optimizando el ciclo de mantenimiento del equipo se logra aumentar su vida útil, su disponibilidad y confiabilidad.
- Los estudios acertados de criticidad proporcionan una poderosa herramienta a la hora de tomar decisiones importantes, así como el uso de nuevas técnicas de avanzada en la concreción de cualquier tarea a ejecutar en el área del mantenimiento.

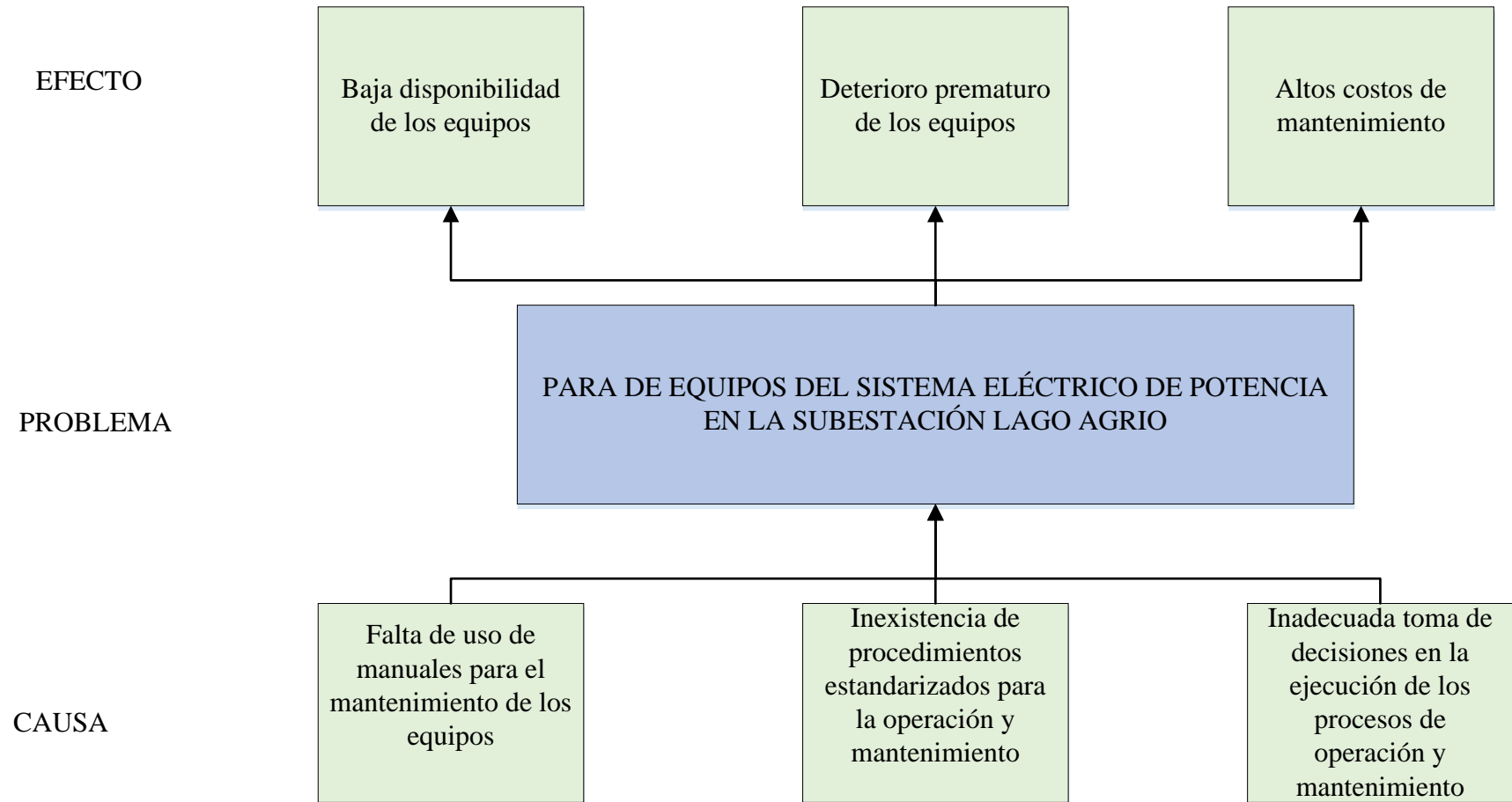


Figura N° 1: Árbol de Problemas

Elaborado por: Jorge Proaño

Análisis Crítico

El personal que realiza los mantenimientos de los equipos de la subestación eléctrica no observa las recomendaciones que dan los fabricantes, por lo que no han dado un adecuado mantenimiento de los equipos y de hecho el funcionamiento no ha sido óptimo y en poco tiempo se tendrá una baja disponibilidad de los equipos.

El desconocimiento de los procesos de operación y mantenimiento de los equipos de la subestación eléctrica ha generado un deterioro prematuro de los equipos; debido a malas ejecuciones en las actividades diarias, también ha provocado tiempos muertos, de tal manera que los tiempos muertos provocan pérdidas económicas tanto al usuario del servicio eléctrico como a la misma empresa.

Una inadecuada toma de decisiones en la ejecución de los procesos de operación y mantenimiento ha llegado a transformarse en factores de fallos en los equipos y ha debilita la posibilidad de optimizar el tiempo de trabajo; generando gastos innecesarios que se han traducido en pérdidas económicas y como consecuencia ha producido altos costos de mantenimiento.

Justificación

El presente estudio tiene como finalidad proporcionar a CNEL EP UN-SUC información, la cual permitirá manejar técnicamente el proceso del mantenimiento preventivo aplicado a los equipos de la subestación Lago Agrio, para aportar a la mantenibilidad, confiabilidad, estabilidad y calidad del servicio a sus abonados.

El mantenimiento preventivo a una subestación eléctrica es importante y fundamental para asegurar el correcto funcionamiento de las mismas y para detectar con anticipación posibles fallas que puedan presentarse, con esto se

asegura que la subestación estará funcionando normalmente libre de desperfectos e interrupciones inesperadas.

Las consecuencias que se tienen por la falta de mantenimiento son muy graves, porque pueden ocasionar el paro de todas las actividades de la empresa, abonados disconformes, baja calidad de servicio y también pueden provocar accidentes que pueden ser en ocasiones fatales.

El impacto de la investigación será relevante debido a que describirá las estrategias del mantenimiento encaminadas a garantizar la disponibilidad y eficacia requerida de las unidades, equipos e instalaciones, asegurando la duración de su vida útil y minimizando los costos de mantenimiento, dentro del marco de la seguridad y el medio ambiente.

Los beneficiarios del desarrollo del estudio, serán los usuarios del servicio eléctrico de la Provincia Sucumbíos al no presentarse cortes de energía; otro beneficiario es el estado porque minimizaría los costos destinados a reparaciones e indemnizaciones.

Objetivos

Objetivo General

Realizar el estudio del proceso del mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de equipos de la Subestación Lago Agrio de la Corporación Nacional de Electricidad, Empresa Pública Unidad de Negocios Sucumbíos

Objetivos Específicos

- Evaluar el Mantenimiento preventivo de los equipos de la Subestación Lago Agrio para la identificación de fallas, aplicando el método de Análisis de los Modos y Efectos de Fallas (AMEF).
- Determinar la disponibilidad de los equipos de la Subestación lago Agrio mediante la herramienta “OEE” (Overall Equipment Efficiency o Eficiencia General de los Equipos).
- Calcular la disponibilidad de los equipos en base a las acciones correctivas sugeridas en el proceso de mantenimiento

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Área de estudio

Delimitación del objeto de investigación

Dominio:	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación:	Empresarialidad y Productividad
Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Estudio del proceso de Mantenimiento Preventivo
Aspecto:	Disponibilidad
Objeto de estudio:	Mantenimiento Preventivo
Periodo de análisis:	Enero – Junio 2016

Enfoque de la investigación

El enfoque del presente proyecto de investigación está dentro del ámbito cualitativo-cuantitativo. El enfoque cualitativo “utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación” (R. Hernandez, 2006).

El enfoque cuantitativo “usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (R. Hernandez, 2006)

Justificación de la metodología

El propósito del presente trabajo de Investigación es el estudio del proceso de mantenimiento preventivo de los equipos de la subestación Lago Agrio de CNEL EP UN-SUC, en la búsqueda de mejorar la: mantenibilidad, confiabilidad, y eficacia.

Desde el punto de vista técnico y práctico, la presente investigación tiene como finalidad proporcionar a CNEL EP UN-SUC, información que permita manejar técnicamente los procesos de mantenimiento, mismos que aportarán a la mantenibilidad, confiabilidad, estabilidad y calidad del suministro eléctrico a los abonados de la provincia.

La metodología que se utilizará para el enfoque cuantitativo es el método de Análisis de Modo y Efectos de Fallos (AMEF) que es un conjunto de directrices para identificar problemas potenciales en un sistema; para priorizarlos y poder concentrar recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta (Solutions, Lean, 2013).

Además se aplicará la herramienta Overall Equipment Efficiency (OEE, Eficiencia General de los Equipos), esta herramienta permite identificar las pérdidas diferenciadas en los factores de: Disponibilidad, Rendimiento, y Calidad; además indica con cuánta efectividad las máquinas están siendo utilizadas en comparación con una máquina ideal.

Para el cálculo de disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio se aplicarán indicadores de mantenimiento como:

- Tiempo medio entre falla (TMEF).
- Tiempo medio para reparar (TMPR).

Población y muestra

Partiendo de las definiciones de población y muestra según (Wigodski, 2010):

Población.- Es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en un momento determinado.

Muestra.- La muestra es un subconjunto fielmente representativo de la población

Para el desarrollo de la presente investigación el conjunto de individuos está conformado por el personal del área de Subestaciones tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Conjunto de individuos

Descripción	Cantidad
Jefe de área	1
Supervisor	1
Técnico en ingeniería	1
Técnico mecánico	1
Técnico eléctrico	1
Tableristas	4
TOTAL	9

Elaborado por: Jorge Proaño

La Tabla 2 muestra el conjunto de equipos sobre los que se desarrollará el presente estudio.

Tabla 2: Conjunto de equipos

EQUIPOS	NÚMERO	DESCRIPCIÓN
Transformador de Potencia	2	Transformadores de potencia de capacidades 10/12 y 15/20/25 MVA, de 69/13.8 KV
Interruptores de potencia para intemperie	3	Interruptores de potencia, para 75 KV, medio aislante SF6, corriente nominal 1250 A.
Seccionadores	36	Seccionadores de barras para 72.5 KV, 800 A.
Transformador de Corriente	6	Voltaje nominal 72.5 KV, multirelación
Transformador de potencial inductivo	6	Voltaje nominal 72.5 KV, multirelación
Transformador de servicios auxiliares	2	Transformador de servicios auxiliares de capacidades 75 y 100 KVA, de 13.8/220 V
Interruptores de potencia encapsulados	13	Interruptores de potencia para 13.8 KV, medio aislante SF6, corriente nominal 1000 A.
TOTAL	68	

Elaborado por: Jorge Proaño

Fuente: CNEL EP UN-SUC

Técnicas de muestreo según el área de estudio

Se utilizará la técnica de la encuesta, con el instrumento cuestionario, dirigido a todo el personal que trabaja dentro del área, con preguntas cerradas, que facilitarán recoger la información de las variables objeto de la presente investigación.

Diseño de trabajo

Operacionalización de las variables

Tabla 3: Variable independiente: Proceso del Mantenimiento preventivo

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTALES
Actividades del Mantenimiento preventivo, destinadas a la conservación de los equipos en un estado de seguridad de operación para un correcto funcionamiento y fiabilidad.	Conjunto de actividades	<ul style="list-style-type: none">➤ Programas de mantenimiento➤ Adquisición de repuestos	¿Considera usted que el mantenimiento preventivo aplicado en la empresa es el adecuado?	T: Observación, Encuesta I: Cuestionario
	Fiabilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Disponibilidad➤ Rendimiento	¿Cuáles cree usted que son las principales causas que afectan la disponibilidad de los equipos?	T: Observación, Encuesta I.- Cuestionario

Elaborado por: Jorge Proaño

Tabla 4: Variable dependiente: Disponibilidad de equipos

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTALES
<p>Disponibilidad de equipos</p> <p>Es simplemente una manera de cuantificar el tiempo disponible que está el equipo funcionando satisfactoriamente es decir sin averías para desarrollar sus actividades.</p>	Tiempo disponible	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Disponibilidad ➤ Utilidad <p>Deficiencia de plan de mantenimiento por equipo</p>	¿Cuál considera usted que son las principales causas que producen fallas en un equipo?	<p>T: Observación, Visita de Campo</p> <p>I. Cuestionario</p> <p>I. Registro de fallos,</p> <p>I. Bitácora de paros</p>
	Averías	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Deficiencia en la planificación de las tareas de mantenimiento ➤ Stock de repuestos e insumos <p>Disponibilidad vs Producción</p>	<p>¿Cree usted que los paros imprevistos de los equipos afectan a la producción de la empresa?</p> <p>¿Considera usted que se tiene las herramientas adecuadas y necesarias para dar solución a los problemas en los equipos?</p>	

Elaborado por: Jorge Proaño

Procedimientos para la obtención y análisis de datos

Será necesario contar con suficiente información como se detalla a continuación:

Tabla 5: Tabla de recolección de información

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para investigar la percepción del personal respecto al mantenimiento preventivo
2. ¿De qué personas u objetos?	Jefe departamental, personal técnico, supervisor y tableristas.
3. ¿Sobre qué aspecto?	Estudio del proceso de mantenimiento preventivo y su incidencia en la disponibilidad de equipos de la Subestación Lago Agrio.
4. ¿Quién? ¿Quiénes?	Investigador
5. ¿Cuándo?	Junio 2016
6. ¿Dónde?	Subestación Eléctrica Lago Agrio
7. ¿Cuántas veces?	Una vez
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Observación documental
9. ¿Con qué?	Visita de campo y Bitácoras
10. ¿En qué situación?	Normal

Elaborado por: Jorge Proaño

Aplicación de técnicas de recolección de información

La presente investigación se basará en la técnica de la observación e investigación de campo, así como encuestas aplicadas a los tableristas, personal técnico, supervisor y jefe de área; las cuales representan una fuente importante para el claro establecimiento de la problemática y el planteamiento de posibles soluciones.

Aplicación de instrumentos de recolección de información

Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.

Repetición de la recolección, en casos para corregir fallas de contestación.

Manejo de la información estudio estadístico de datos para presentación de resultados.

Para la presente investigación se aplicará con el instrumento cuestionario aplicados a tableristas, personal técnico, supervisor y jefe de área, con preguntas cerradas, que facilitaran recoger la información de las variables objeto de esta investigación (Anexo 1).

Entre la información que la empresa proporcionará para el desarrollo del estudio están:

- Áreas que cuenta la empresa (Subestación Lago Agrio).
- Listado de personal
- Planos actuales de la Subestación Lago Agrio
- Detalle de los equipos.
- Registro de fallos.
- Bitácoras

Procesamiento y validación

Para el procesamiento de la información se seguirán varios procedimientos en base a criterios establecidos como:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir, limpieza de la información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos individuales, para corregir fallas de contestación.
- Tabulación o cuadros según variables de cada hipótesis: cuadros de una sola variable, cuadro con cruce de variables, etc.
- Manejo de información (mediante gráficos y diagramas que asocian a las variables y a los páramos involucrados, y utilizando también tablas explicativas) con el apoyo de herramientas informáticas.
- Estudio estadístico de los datos para la presentación de resultados.

Análisis e Interpretación de resultados

- Análisis de los resultados estadísticos, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretación de los resultados, en el aspecto pertinente.
- Comprobación de la hipótesis planteada.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones en base a los objetivos de la investigación

Hipótesis

Nula

El proceso de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio no influye sobre la disponibilidad en los equipos.

Alternativa

El proceso de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio influye sobre la disponibilidad en los equipos.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación primeramente se efectúa el estudio de la situación actual para conocer las fallas más frecuente de la subestación, así como también la causa probable de dichas fallas junto con los tiempos que los equipos se encuentran fuera de servicio.

Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- 1.- Reconocimiento de los equipos de la subestación mediante la técnica de observación de campo
- 2.- Análisis de fallas mediante herramienta AMEF que es una herramienta de análisis para la identificación, evaluación y prevención de los fallos potenciales que pueden aparecer en un producto, servicio o en un proceso. Con la detección temprana de los puntos débiles y la introducción de las medidas correctoras adecuadas se previenen los fallos potenciales, aumentando la fiabilidad. (Lopez, 2016).
- 3.- Determinar la disponibilidad de los equipos de la Subestación lago Agrio mediante la aplicación de la herramienta OEE (Overall Equipment Efficiency) que es un indicador que mide el rendimiento total al relacionar la disponibilidad de un proceso respecto a su productividad y calidad del producto (University, 2002).

4.- Se aplicara también para el cálculo de disponibilidad actual y la disponibilidad con las acciones correctora de los equipos de la Subestación Lago Agrio utilizando los indicadores de mantenimiento como:

- Tiempo medio entre falla (TMEF).
- Tiempo medio para reparar (TMPR).

5.- Para conocimiento general pero que no es relevante en el estudio se realizó una encuesta al personal relacionado con el mantenimiento preventivo de la subestación.

Reconocimiento de los equipos de la subestación

Para el reconocimiento de los equipos es necesario conocer las definiciones e identificar los equipos objeto de estudio:

Subestación Eléctrica.- Es una instalación destinada a la transferencia de energía eléctrica mediante la transformación o distribución de potencia, modificando y estableciendo los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para facilitar el transporte y su distribución.

La Figura N° 2 muestra el área de la Subestación Lago Agrio lugar donde se desarrolla el presente trabajo de investigación.

Figura N° 2: Área Subestación Lago Agrio



Elaborado por: Jorge Proaño

Transformador de potencia. - Es una máquina eléctrica que tiene la función de transferir potencia eléctrica del devanado primario al secundario, bajo el principio de inducción electromagnética conservando la frecuencia, sus circuitos eléctricos están enlazados magnéticamente y aislados eléctricamente.

La Figura N° 3 permite observar el transformador de potencia de capacidad 15/20/25 MVA

Figura N° 3: Transformador de potencia 15/20/25 MVA



Elaborado por: Jorge Proaño

Interruptores de potencia para intemperie.- Es un dispositivo que tiene la función de cerrar e interrumpir el flujo de corriente en un circuito eléctrico bajo condiciones de operaciones normales, de vacío y carga. Está diseñado y construido para soportar esfuerzos producidos por las corrientes de falla y cortocircuito.

En la Figura N° 4 se puede observar el Interruptor de potencia de 69 KV.

Figura N° 4: Interruptor de potencia 69 KV



Elaborado por: Jorge Proaño

Seccionadores. - El seccionador es un dispositivo de maniobra que abre en forma visible la continuidad de corriente en el circuito, opera por lo general sin carga o en vacío, y sin energía, su función es dar seguridad en el aislamiento físico y visible de los circuitos antes de realizar un trabajo sea de reparación o mantenimiento, sin la posibilidad de que se presenten falsos contactos o posiciones falsas.

La Figura N° 5 muestra los seccionadores de 69 KV.

Figura N° 5: Seccionador de 69 KV



Elaborado por: Jorge Proaño

Transformador de servicios auxiliares.- Se define como una máquina estática que transfiere energía desde un bobinado primario a un secundario mediante la inducción electromagnética, su función es suministrar energía para la operación de: motores- ventiladores del transformador, iluminación del patio de maniobras, alimentación de rectificadores, calefacción de tableros de control.

En la Figura N° 6 se puede observar el transformador de servicios auxiliares.

Figura N° 6: Transformador de servicios auxiliares



Elaborado por: Jorge Proaño

Análisis de fallas mediante herramienta AMEF

Para realizar este análisis es necesario conocer los siguientes conceptos:

Modo Potencial de Fallo

Un modo de fallo es la forma en que un producto o proceso pueda afectar el cumplimiento de las especificaciones, afectando al cliente, al colaborador o al proceso siguiente. (Lopez, 2016)

Efecto potencial de fallo

Un efecto puede considerarse como el impacto en el cliente o en proceso siguiente, cuando el modo falla se materializa (Lopez, 2016).

El procedimiento para Consecuencias Potenciales es aplicado para registrar consecuencias remotas o circunstanciales, a través de la identificación de modos de falla adicionales, el procedimiento es el siguiente:

- Describir el proceso al que se va a efectuar el análisis (representación gráfica del proceso).
- Desarrollar una tabla donde conste el modo potencial de fallo, efecto potencial de fallo, causa que provocó el fallo, método o herramienta por la cual se detectó la falla, para ello se recurre a los registros de reportes de fallas del periodo de estudio de enero a junio del 2016 proporcionado por CNEL EP UN-SUC. (ver Anexo 2).
- En base a las Tablas de ponderación de índices de gravedad, ocurrencia y detección se asigna los valores de acuerdo a los criterios que señala, .
- Multiplicar los tres valores (Gravedad, Ocurrencia y Detección) para obtener el Índice de Prioridad de Riesgo (IPR).

$$IPR = Gravedad \times Ocurrencia \times Detección$$

Proceso de operación de la Subestación Lago Agrio

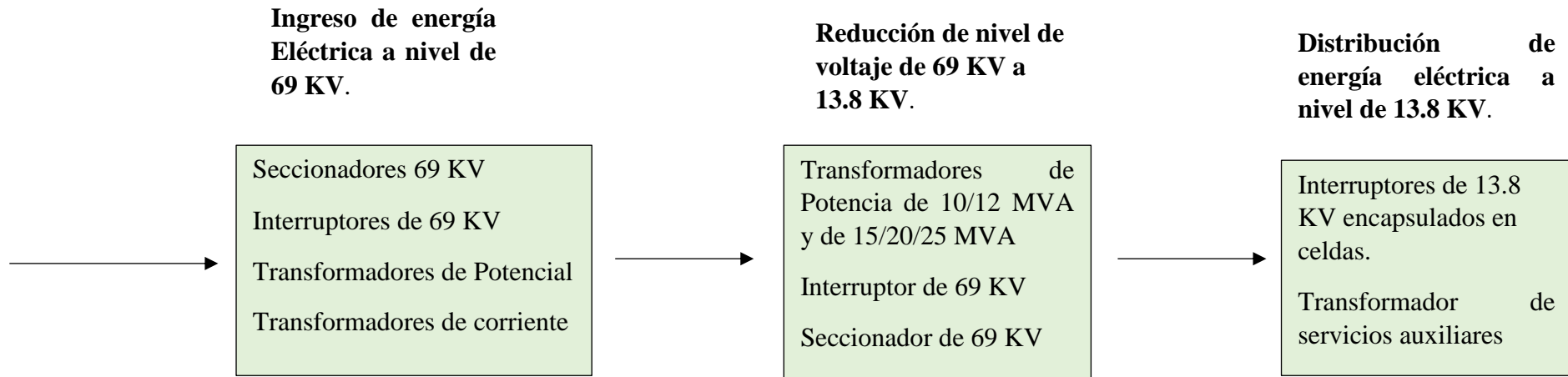
Primeramente, se desarrollará la descripción del proceso a analizar tal como se muestra en la Figura N° 7.

- El primer paso es el ingreso de la energía eléctrica a nivel de 69 KV mediante los siguientes equipos: Seccionadores de 69 KV, interruptor de potencia de 69KV, y los transformadores de corriente y potencial.

- El segundo paso es donde se transforma o transfiere la energía a través de un transformador de potencia de 15/20/25 MVA donde se reduce la tensión de 69 KV a 13.8 KV. Para la protección, maniobra y mantenimiento de este equipo se utilizan los seccionadores de 69 KV y un Interruptor de 69 KV.

- El tercer paso se lo conoce como la distribución de la energía mediante interruptores encapsulados a nivel de 13.8KV

Figura N° 7: Descripción del proceso de operación de la Subestación Lago Agrio



Elaborado por: Jorge Proaño

Para el cálculo del IPR se requiere la valoración de los índices de gravedad, ocurrencia y detección de fallas de los equipos de la Subestación Lago Agrio, la Tabla N° 6 muestra el criterio de valoración de la gravedad de las fallas según Álvaro Palacios en su libro Herramientas Learn Manufacturing (autoreseditores, 2011)

Tabla 6: Índice de gravedad

Gravedad	Criterio	Clasificación
Irrelevante	Irrazonable esperar que el fallo produjese un efecto perceptible en el rendimiento del producto o servicio. Probablemente, el usuario no podrá detectar la falla.	2
Baja	Baja gravedad debido a la escasa importancia de las consecuencias del fallo, que causarían en el usuario un ligero descontento	4
Moderada	Moderada gravedad de fallo que causaría en el usuario cierto descontento. Puede ocasionar <i>re trabajos</i>	6
Alta	Alta gravedad debido a la naturaleza del fallo, causando al usuario alto grado de insatisfacción, sin llegar a incumplir normas sobre seguridad o quebrantando leyes. Requiere <i>re trabajos</i> mayores.	8
Muy Alta	Muy grave, que origina total insatisfacción del usuario o puede llegar a suponer un riesgo para la seguridad o incumplir normas de seguridad.	10°

Fuente: Tomado de (autoreseditores, 2011)

Para la valoración de la Ocurrencia se utiliza como base el criterio de Álvaro Palacios en su libro Herramientas Learn Manufacturing (autoreseditores, 2011), el cual se muestra en la Tabla 7

Tabla 7: Índice de ocurrencia

Gravedad	Criterio	Clasificación
Remota	Remota probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable esperar que se produjera la falla	2
Baja	Baja probabilidad de ocurrencia. Ocasionalmente podría producirse un número relativamente bajo de fallos	4
Moderada	Moderada probabilidad de ocurrencia. Asociado a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones.	6
Alta	Alta probabilidad de ocurrencia. Los fallos se presentan con frecuencia.	8
Muy Alta	Muy alta probabilidad de ocurrencia. Se producirá el fallo casi con total seguridad	10

Fuente: Tomado de (autoreseditores, 2011)

En la Tabla 8 se muestra el criterio de, según Álvaro Palacios en su libro Herramientas Learn Manufacturing (autoreseditores, 2011) para la valoración de la detección.

Tabla 8: Índice de detección

Gravedad	Criterio	Clasificación
Remota	Casi completa fiabilidad de los controles, con remota probabilidad de que el defecto llegue al usuario	2
Baja	Baja probabilidad de que el defecto llegue al usuario, ya que de producirse, sería detectado por los controles o en fases posteriores del proceso.	4
Moderada	Moderada probabilidad de que el producto o servicio defectuosos llegue al usuario	6
Alta	Alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al usuario, debido a la baja fiabilidad de los controles existentes.	8
Muy Alta	Muy alta probabilidad de que el producto o servicio defectuoso llegue al usuario. Está latente y no se manifiesta en la fase de fabricación del producto	10

Fuente: Tomado de (autoreseditores, 2011)

En el presente estudio se evaluó la gravedad bajo las consideraciones que se muestran en la Tabla 9

Tabla 9: Criterio de valoración de gravedad

Valoración	Criterio
2	Sistema SCADA no obtiene lecturas de campo
4	Caídas de tensión al usuario
6	Continuas variaciones de tensión
8	Cortes de energía ocasionales , causando al usuario alto grado de insatisfacción
10	Cortes de energía recurrentes , Muy grave, que origina total insatisfacción del usuario o puede llegar a suponer un riesgo para la seguridad o incumplir normas de seguridad

Elaborado por: Jorge Proaño

De manera similar se presenta el criterio de valoración de la ocurrencia para el presente estudio, información que se muestra en la Tabla 10

Tabla 10: Criterio de valoración de ocurrencia

Valoración	Criterio
2	Se produce la falla una vez en seis meses.
4	Se produce la falla cuatro veces en seis meses.
6	Se produce la falla seis veces en seis meses.
8	Se produce la falla ocho veces en seis meses.
10	Se produce la falla diez veces en seis meses.

Elaborado por: Jorge Proaño

El criterio empleado para evaluar la detección en el presente estudio se muestra en la Tabla 11

Tabla 11: Criterio de valoración de detección

Valoración	Criterio
2	Los controles detectan la falla
4	Los controles detectan la falla antes que llegue al usuario
6	En ocasiones los controles no detectan la falla
8	Los controles no detectan la falla al cabo de 1 hora
10	Los controles no detectan la falla por más de 1 hora

Elaborado por: Jorge Proaño

En función de los datos de las Tablas 9, 10 y 11 se proceden a evaluar los indicadores de gravedad, ocurrencia y detección para los fallos de la subestación Lago Agrio y se calcula el IPR de cada uno de ellos; esta información se muestra en la Tabla 12, las acciones correctivas son tomadas del registro de fallas del anexo N° 2.

Tabla 12: Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF)

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLO (AMEF)									
PRODUCTO/SERVICIO: PROCESO:					RESPONSABLE DEL ANÁLISIS: FECHA DE APROBACIÓN: FECHA DE REVISIÓN:				
OPERACIÓN	MODO POTENCIAL DE FALLO	EFECTO POTENCIAL DE FALLO	CAUSA POTENCIAL DE FALLO	MÉTODO DE DETECCIÓN	GRAVEDAD	OCURRENCIA	DETECCIÓN	I.P.R	ACCIÓN RECOMENDADA
	Interruptor de 69 Kv posición bahía Lago – Jivino	No suministro de energía eléctrica.	Se abre el interruptor por falla en línea de subtransmisión, se queda bloqueado por bajo nivel de SF6	Reporte de fallas	8	2	10	160	Cambio de válvula y recarga SF6
	Interruptor 13.8 Kv, alimentador Vía Quito	No suministro de energía eléctrica.	Daño en bobina de apertura del interruptor	Reporte de fallas	10	2	10	200	Cambio de bobina
	Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	No suministro de energía eléctrica.	Falla en detector de gases (Calisto).	Reporte de fallas	10	2	10	200	Cambio de detector de gases
	Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	Falla control de instrumentos	Falla en breaker	Reporte de fallas	2	4	4	32	Cambio de breaker
	Seccionador de 69 KV posición bahía Lago - Jivino	No apertura de la línea de Sub transmisión	Daño en eje de transmisión	Reporte de fallas	10	2	4	80	Reparar mecanismo

Elaborado por: Jorge Proaño

Cálculo del nuevo IPR

Con las acciones correctivas que se indican en el reporte de fallas (Anexo 2) y con los criterios establecidos en las Tablas 9,10 y 11, se calcula el nuevo IPR en función de la valoración mejorada de la gravedad, ocurrencia y detección.

La valoración del indicador de gravedad y de ocurrencia se mantiene, debido a que puede volver a presentarse la falla (ocurrencia); y a que si se produce nuevamente la falla su nivel de afectación se mantiene constante

Los valores de detección disminuyen en un valor por cada acción correctiva tomada para solucionar la falla.

Como ejemplo se muestra la falla en el interruptor de 69 KV cuya ponderación inicial de detección fue de 10 (Tabla 12); se puede observar en dicha tabla que la acción correctiva es única por lo tanto la valoración después de efectuar las medidas correctivas para la detección disminuye a 4.

La valoración de gravedad, ocurrencia y detección luego de las acciones correctivas junto con el valor calculado del IPR para la misma situación se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13: Cálculo del nuevo IPR

Equipo	Acción Correctora	Gravedad	Ocurrencia	Detección	Nuevo IPR
Interruptor de 69 KV posición Bahía Lago - Jivino	Cambio de válvula y recarga de SF6	8	2	4	64
Interruptor de 13,8 KV Alimentador Vía Quito	Cambio de bobina	10	2	6	120
Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	Cambio de detector de gases	10	2	4	80
Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	Cambio de breaker	2	2	4	16
Seccionador 69 KV posición bahía Lago - Jivino	Reparar Mecanismo	10	2	4	80

Elaborado por: Jorge Proaño

Comparación de los IPR

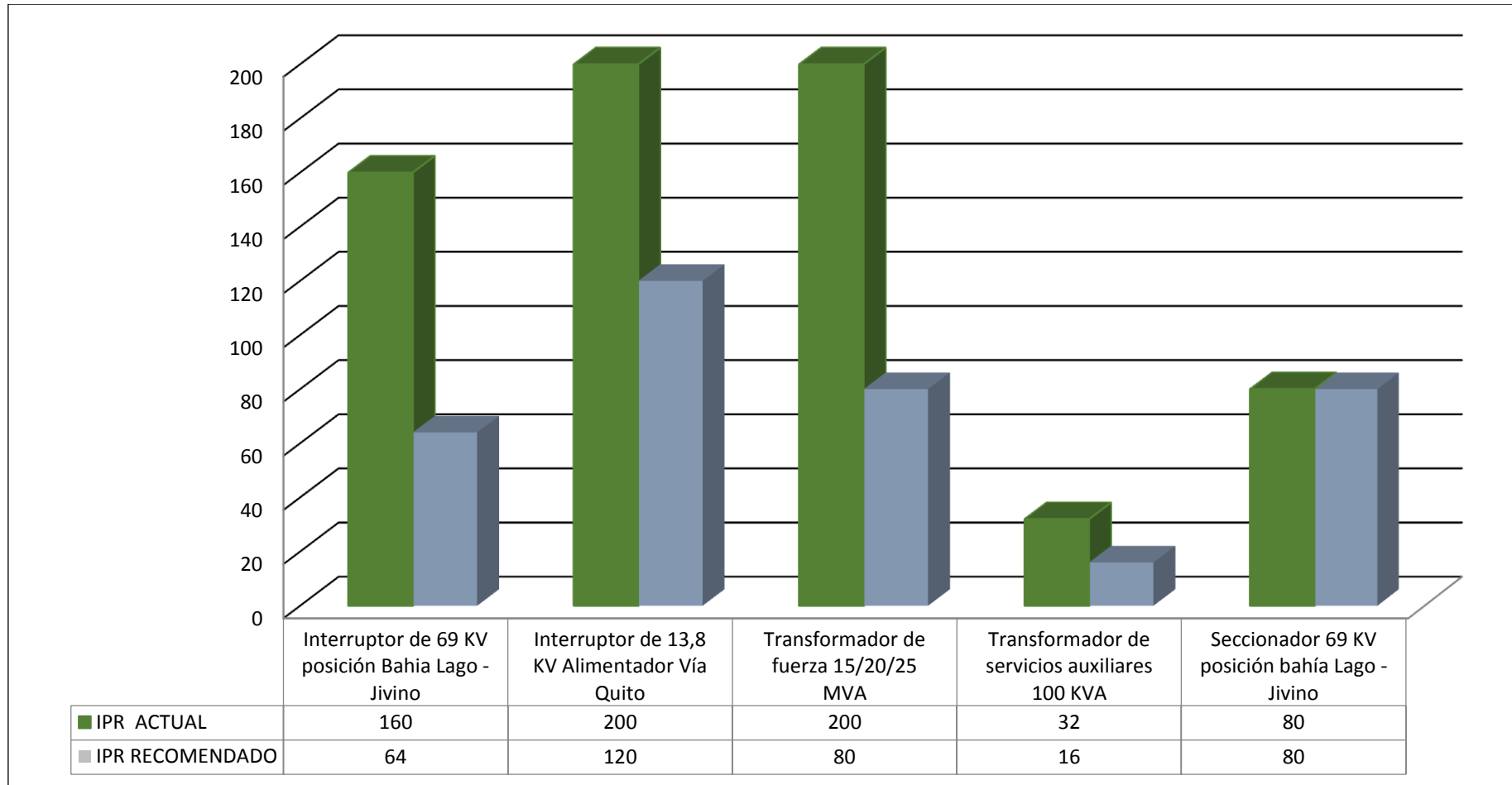
En la Tabla 14, se compara los valores del IPR de la Tabla 12 con los correspondientes valores de IPR de la Tabla 13.

Tabla 14: Comparación de los IPR

Equipo	IPR ACTUAL	IPR RECOMENDADO
Interruptor de 69 KV posición Bahía Lago - Jivino	160	64
Interruptor de 13,8 KV Alimentador Vía Quito	200	120
Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	200	80
Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	32	16
Seccionador 69 KV posición bahía Lago - Jivino	80	80

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 8: Comparación de los IPR actual y recomendado



Elaborado por: Jorge Proaño

Determinación de la disponibilidad

Para determinar la disponibilidad de los equipos de la subestación seguiremos los siguientes pasos:

- Definición de términos de la herramienta OEE.
- Elaboración de tabla de clasificación de la OEE
- Presentación de resultados

Definición de términos de la herramienta OEE

Efectividad Global de los Equipos

La Efectividad Global de los equipos (OOE) es un indicador que mide el rendimiento total al relacionar la disponibilidad de un proceso respecto a su productividad y calidad del producto (University, 2002).

En el caso de la subestación Lago Agrio, es necesario aplicar esta herramienta debido a que sus reportes de hojas de fallos de los equipos, es necesario conocer su porcentualidad en relación a la disponibilidad.

La OEE se obtiene mediante la multiplicación de tres factores, a saber, **disponibilidad, rendimiento y calidad.**

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

Disponibilidad

Es la medida como el cociente del Tiempo Bruto Productivo, entre el Tiempo Disponible, para un periodo de producción determinado.

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ Bruto\ Productivo}{Tiempo\ Disponible}$$

Rendimiento

Es la medida del cociente del Tiempo de Operación Neta, entre el Tiempo Bruto de Operación, para un periodo determinado.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Tiempo de Operación Neta}}{\text{Tiempo Bruto de Operación}}$$

Calidad

Es la medida del cociente de la Producción Buena (Tiempo Válido de Operación), entre la Producción Real (Tiempo de Operación Neta).

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Tiempo Valido de Operación}}{\text{Tiempo de Operación Neta}}$$

Tabla de clasificación de la OEE

La OEE permite clasificar una o más líneas, incluso toda una planta, respecto a otras consideradas excelentes, y proporciona una idea de cuáles son los factores a mejorar para escalar posiciones en esta clasificación, que muestra la Tabla 15.

Tabla 15: Clasificación de la OEE

OEE	Calificativo	Consecuencias
< 65 %	Inaceptable	Importantes pérdidas económicas. Baja competitividad
≥ 65% < 75%	Regular	Pérdidas económicas. Aceptable solo si está en proceso de mejora
≥ 75% < 85%	Aceptable	Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
≥ 85% < 95%	Buena	Buena competitividad. Entramos ya en valores considerados “World Class”.
≥ 95%	Excelente	Competitividad excelente.

Elaborado por: Jorge Proaño

Fuente: (Carrasco)

Presentación de Resultados

A continuación se presenta los resultados obtenidos del indicador OEE aplicados a los equipos de la Subestación Lago Agrio.

El periodo de estudio fue semestral y la unidad de tiempo aplicada es horas.

Tiempo Teórico de Producción (TTP)

El servicio del suministro de energía eléctrica es de 24 horas por día, de acuerdo al horario de trabajo se labora en dos turnos de 12 horas por lo tanto el tiempo disponible se calcula multiplicando el número de días del mes por las horas laboradas (24 horas):

$$\text{TTP} = \text{días laborados} * 24 \text{ horas}$$

Como ejemplo se muestra que en el mes de enero de 2016 se laboró los 31 días:

$$\text{TTP} = 31 * 24$$

$$\text{TTP} = 744$$

Los valores obtenidos de cada mes, se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16: Tiempo teórico de producción

Meses	Horas	Área
Enero	744	SUBESTACIÓN LAGO AGRIO
Febrero	696	
Marzo	744	
Abril	720	
Mayo	744	
Junio	720	
Total	4386	

Elaborado por: Jorge Proaño

Los datos proporcionados para la elaboración de la Tabla 17 se tomaron de los Reportes de Fallas (Anexo 2) para las paradas no planificadas, los datos de las paradas planificadas, fallas transitorias y temporizadas son reportes que la CNEL EP UN-SUC considera de no divulgación.

Tabla 17: Tiempos de: Paradas planificadas, paradas no planificadas, fallas transitorias y fallas temporizadas

Equipo	TIEMPOS			
	Paradas Planificadas	Paradas No Planificadas	Fallas Transitorias	Fallas Temporizadas
Interruptor de 69 KV posición Bahía Lago - Jivino	8	34,08	153,23	60,25
Interruptor de 13,8 KV Alimentador Vía Quito	8	13,08	153,25	60,25
Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	8	20,08	153,23	60,25
Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	8	8,08	153,25	60,25
Seccionador 69 KV posición bahía Lago - Jivino	8	18,08	153,25	60,25

Elaborado por: Jorge Proaño

Con los datos que se presentan en la Tabla 17 se procede a efectuar los cálculos para la obtención de:

Tiempo planificado de producción (TPP) = Tiempo teórico de producción (TTP) – Paradas planificadas.

Ejemplo:

Tiempo planificado de producción (TPP) = 4386 - 8

Tiempo planificado de producción (TPP) = 4378

Tiempo de operación (TO) = Tiempo planificado de producción (TPP) – Paradas No planificadas

Ejemplo:

$$\text{Tiempo de operación (TO)} = 4378 - 34.08$$

$$\text{Tiempo de operación (TO)} = 4343.92$$

Tiempo neto de operación (TNO) = Tiempo de operación (TO) – Fallas transitorias.

Ejemplo:

$$\text{Tiempo neto de operación (TNO)} = 4343.92 - 153.23$$

$$\text{Tiempo neto de operación (TNO)} = 4190.69$$

Tiempo valioso de operación (TVO) = Tiempo neto de operación (TNO) – Fallas temporizadas

Ejemplo:

$$\text{Tiempo valioso de operación (TVO)} = 4190.69 - 60.25$$

$$\text{Tiempo valioso de operación (TVO)} = 4130.44$$

Factor de planificación (Pf) = Tiempo planificado de producción (TPP)/ Tiempo teórico de producción (TTP).

Ejemplo:

$$\text{Factor de planificación (Pf)} = 4378/4386$$

$$\text{Factor de planificación (Pf)} = 0.99$$

Factor de disponibilidad (D) = Tiempo de operación (TO)/Tiempo planificado de producción

Ejemplo:

$$\text{Factor de disponibilidad} = 4343.92/4378$$

$$\text{Factor de disponibilidad} = 0.99$$

Factor de rendimiento (R) = Tiempo neto de operación/Tiempo de operación.

Ejemplo:

$$\text{Factor de rendimiento (R)} = 4190/4343.92$$

$$\text{Factor de rendimiento (R)} = 0.96.$$

Factor de calidad (C) = Tiempo valioso de operación (TVO)/Tiempo neto de operación (TNO)

Ejemplo:

Factor de calidad (C) = 4130.44/4343.92

Factor de calidad (C) = 0.98.

Los ejemplos realizados se muestran en la Figura N° 9

Figura N° 9: Cálculos de los tiempos interruptor 69 KV

Tiempo Teórico de Producción (TTP)		
4386		
Tiempo Planificado de Producción (TPP)	Paradas Planificadas	Factor de Planificación Pf = TPP/TTP
4378	8	0.99
Tiempo de Operación (TO)	Paradas No Planificadas	Factor de Disponibilidad D1 = TO/TPP
4343.92	34.08	0.99
Tiempo Neto de Operación (TNO)	Pérdidas de Velocidad (Fallas transitorias)	Factor de Rendimiento R1 = TNO/TO
4190.69	153.23	0.96
Tiempo Valioso de Operación (TVO)	Pérdidas de Calidad (Fallas temporizadas)	Factor de Calidad C1 = TVO/TNO
4130.44	60.25	0.98

Elaborado por: Jorge Proaño

Los cálculos efectuados para cada uno de los equipos se encuentran en el Anexo 3; la Tabla 18 presentan los cálculos indicados.

Tabla 18: Cálculos de tiempos

Se presentan los resultados de los cálculos de tiempo teórico de producción, tiempo planificado de producción, tiempo de operación, tiempo neto de operación, tiempo valioso de operación, factor de planificación, factor de disponibilidad, factor de rendimiento y factor de calidad

Equipo	TIEMPOS												
	Paradas Planificadas	Paradas No Planificadas	Fallas Transitorias	Fallas Temporizadas	Tiempo teórico de producción (TTP)	Tiempo planificado de producción (TPP)	Tiempo de operación (TO)	Tiempo neto de operación (TNO)	Tiempo valioso de operación (TVO)	Factor de planificación Pf=TPP/TTP	Factor de disponibilidad D=TO/TPP	Factor de rendimiento R=TNO/TNO	Factor de calidad C=TVO/TNO
Interruptor de 69 KV posición Bahía Lago - Jivino	8	34,08	153,23	60,25	4386	4378	4343,92	4190,69	4130,44	0,998	0,992	0,965	0,986
Interruptor de 13,8 KV Alimentador Vía Quito	8	13,08	153,25	60,25	4386	4378	4364,92	4211,67	4151,42	0,998	0,997	0,965	0,986
Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	8	20,08	153,23	60,25	4386	4378	4357,92	4204,69	4144,44	0,998	0,995	0,965	0,986
Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	8	8,08	153,25	60,25	4386	4378	4369,92	4216,67	4156,42	0,998	0,998	0,965	0,986
Seccionador 69 KV posición bahía Lago - Jivino	8	18,08	153,25	60,25	4386	4378	4359,92	4206,67	4146,42	0,998	0,996	0,965	0,986

Elaborado por: Jorge Proaño

Cálculo de los indicadores de nivel

Para el cálculo de los indicadores de nivel del proceso se utilizará la siguiente fórmula:

$$**OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad**$$

Dónde:

$$**Disponibilidad = D1 x D2 x D3 x D4 x D5**$$

D = factor de disponibilidad para cada equipo y se obtiene de la Tabla 18

$$Disponibilidad = 0.99 x 0.99 x 0.99 x 0.99 x 0.99$$

$$Disponibilidad = 0.95$$

$$Disponibilidad = 95\%$$

$$**Rendimiento = R1 x R2 x R3 x R4 x R5**$$

Dónde:

R = factor de rendimiento para cada equipo y se obtiene de la Tabla 18

$$Rendimiento = 0.96 x 0.96 x 0.96 x 0.96 x 0.96$$

$$Rendimiento = 0.81$$

$$Rendimiento = 81 \%$$

$$**Calidad = C1 x C2 x C3 x C4 x C5**$$

Dónde:

C = factor de calidad para cada equipo y se obtiene de la Tabla 18

$$Calidad = 0.98 x 0.98 x 0.98 x 0.98 x 0.98$$

$$Calidad = 0.90$$

$$Calidad = 90\%$$

Por lo tanto la OEE calculada es:

OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad

OEE = 95% x 81% x 90%

OEE = 69%

Comparación de resultados

La comparación de resultados se los realiza entre los calculados de Disponibilidad, Rendimiento, Calidad y OEE con los de la tabla 15, y se presentan en la siguiente Tabla 19:

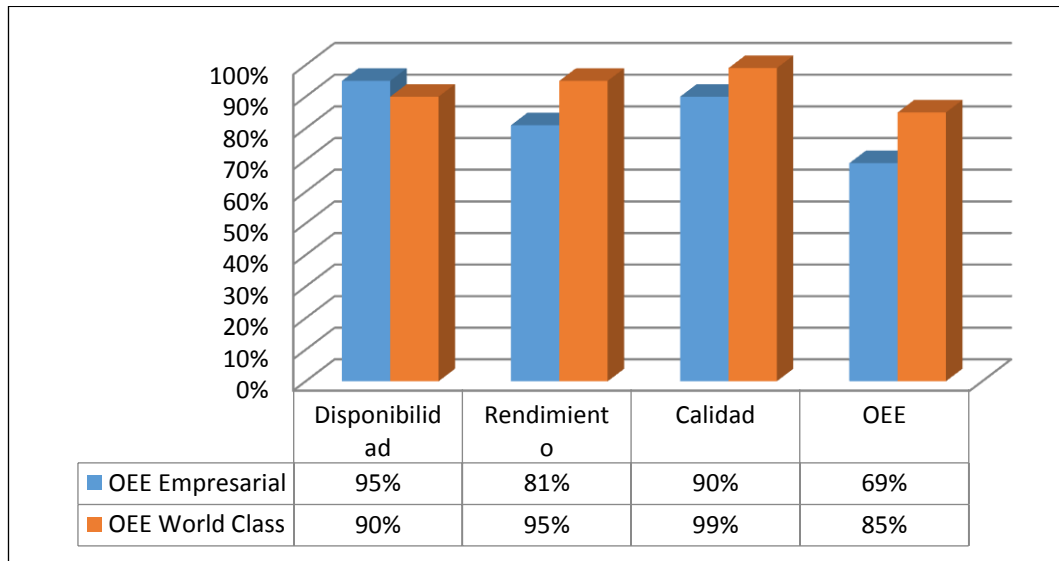
Tabla 19: Comparación de resultados

	OEE Empresarial	OEE World Class
Disponibilidad	95%	90%
Rendimiento	81%	95%
Calidad	90%	99%
OEE	69%	85%

Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura **N° 14;** se puede observar los valores de los componentes que integran la OEE y la OEE de la institución y los valores recomendados de la OEE World Class, determinándose que CNEL EP UN-SUCS se encuentra con valores de disponibilidad superiores al World Class, observamos que en cuanto al rendimiento se encuentra en un nivel más bajo a los valores aceptables, y respecto a la calidad está por debajo de lo recomendado, por último se observa que la OEE se encuentra en un nivel bajo.

Figura N° 10: Comparación de resultados



Elaborado por: Jorge Proaño

Calculo de la disponibilidad actual y de la disponibilidad con las acciones correctoras

Disponibilidad es simplemente una manera de cuantificar cuanto tiempo está su equipo funcionando como debe, dicho de otra manera; es un indicador que permite medir la eficiencia de una máquina o equipo y el tiempo real que estuvo disponible con respecto al tiempo total que debería estar en operación (University, 2002).

Para el cálculo de la disponibilidad actual y la disponibilidad con las acciones recomendadas se utilizará la siguiente fórmula:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

Dónde:

TMEF: Tiempo total disponible, dependiendo del tiempo estudiado puede ser diario, semanal o mensual (tiempo teórico de producción Tabla 16).

TMPR: Tiempo medio para reparar o suma de todas las intervenciones que se suscitaron durante el tiempo disponible del equipo (tiempos de: paradas planificadas, paradas no planificadas, fallas transitorias y fallas temporizadas Tabla 17)

Ejemplo:

La disponibilidad actual para el interruptor de 69 KV tenemos:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

$$D(t) = \frac{4386}{4386 + 8 + 34,08 + 153.23 + 60.25} \times 100\%$$

$$D(t) = 94.49\%$$

$$D(t) \cong 94,5 \%$$

La disponibilidad con las acciones correctivos para el interruptor de 69 KV tenemos:

$$D(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \times 100\%$$

$$D(t) = \frac{4386}{4386 + 8 + 153.23 + 60.25} \times 100\%$$

$$D(t) = 95.19\%$$

$$D(t) \cong 95,2 \%$$

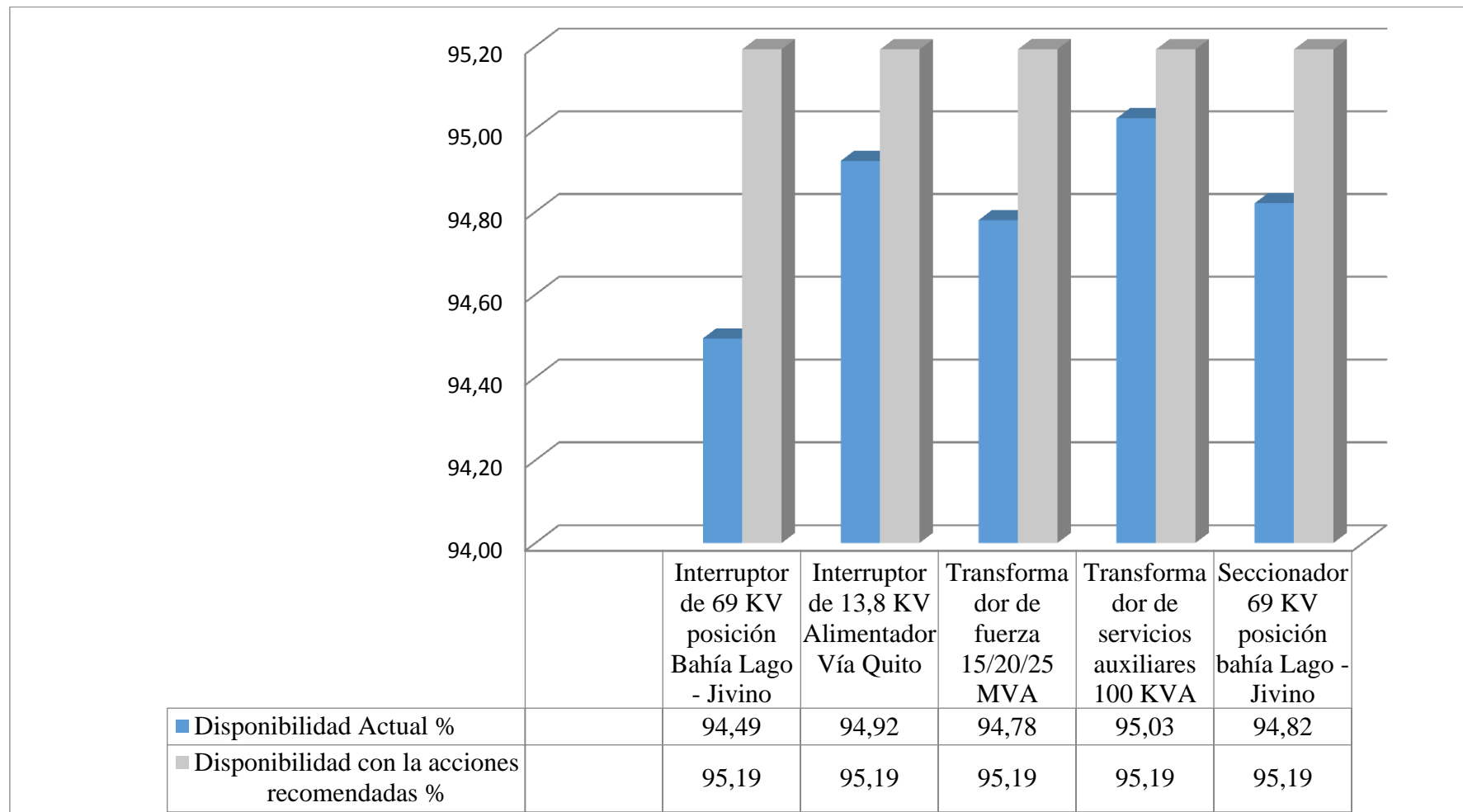
La comparación de resultados se presenta en la Tabla 20:

Tabla 20: Disponibilidad actual y disponibilidad con las acciones recomendadas

Equipo	Disponibilidad Actual %	Disponibilidad con las acciones correctivas %
Interruptor de 69 KV posición Bahía Lago - Jivino	94,49	95,19
Interruptor de 13,8 KV Alimentador Vía Quito	94,92	95,19
Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	94,78	95,19
Transformador de servicios auxiliares 100 KVA	95,03	95,19
Seccionador 69 KV posición bahía Lago - Jivino	94,82	95,19

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 11: Disponibilidad actual y disponibilidad con las acciones recomendadas



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 11, se observa que la disponibilidad de los equipos presenta una ligera mejora con las acciones correctivas.

Resultados de la Encuesta

Los resultados de la encuesta se detallan a continuación:

Pregunta N° 1.- ¿Considera usted que el mantenimiento preventivo aplicado en la Subestación Lago Agrio es el adecuado?

Tabla 21: Mantenimiento preventivo en subestaciones Lago Agrio

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	0	0
No	9	100
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 12: Mantenimiento preventivo en subestación Lago agrio



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 12 se observa que el 100% de los encuestados consideran que el mantenimiento preventivo en la Subestación no es el adecuado, lo que implica que la empresa deberá mejorar su plan de mantenimiento preventivo; esto permitirá incrementar la vida útil de los equipos y disminuir los costos por reparaciones.

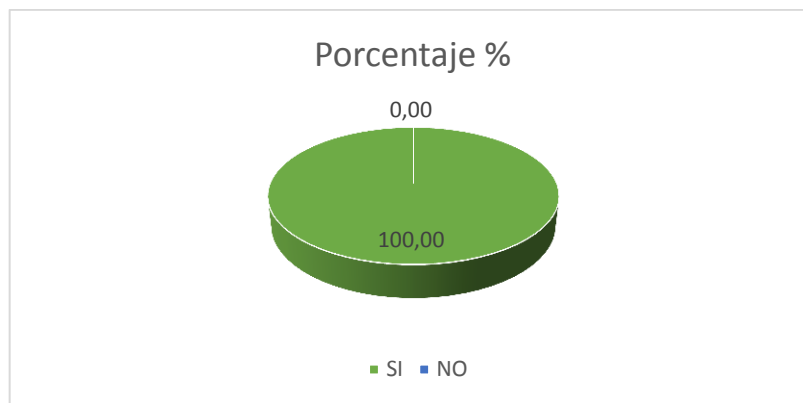
Pregunta N° 2.- ¿Considera usted que se debe planificar de mejor manera el mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio?

Tabla 22: Planificar de mejor manera el mantenimiento

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	9	100
No	0	0
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 13: Planificar de mejor manera el mantenimiento preventivo



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 13 se observa que el 100% de los encuestados considera que se debe mejorar el mantenimiento preventivo, lo que significa que el programa de mantenimiento preventivo debe ser mejorado, y determinar las causas mediante técnicas, métodos, herramientas de control e indicadores.

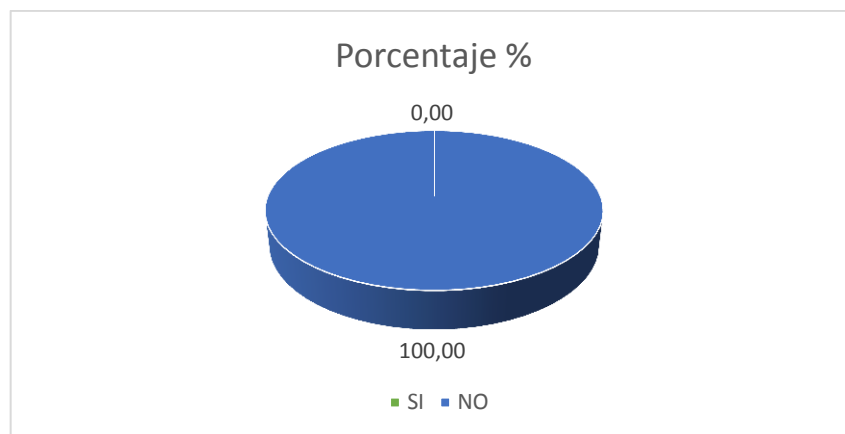
Pregunta N° 3.- ¿Considera usted que las personas encargadas del mantenimiento tienen las herramientas necesarias para dar solución a los problemas que se presentan en la Subestación Lago Agrio?

Tabla 23: Las personas encargadas del mantenimiento tienen las herramientas necesarias para dar solución a los problemas

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	0	0
No	9	100
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 14: Las personas encargadas del mantenimiento tienen las herramientas necesarias para dar solución a los problemas



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 14 se observa que el 100% de los encuestados indican que no disponen de las herramientas necesarias, si no se dispone de estas; difícilmente se podrá mejorar el mantenimiento preventivo, es importante que los Administradores, Jefes Departamentales y Personal de Mantenimiento; determinen los recursos necesarios para satisfacer la demanda, para dotar de las herramientas necesarias y puedan dar solución a los problemas que se presenten en la Subestación

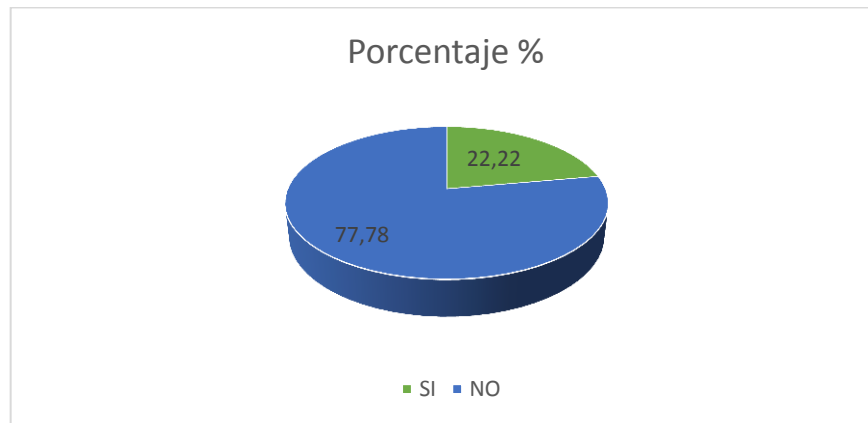
Pregunta N° 4.- ¿Considera usted que el personal está capacitado para realizar el mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio?

Tabla 24: El personal está capacitado para realizar el mantenimiento preventivo

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	2	22.22
No	7	77.78
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 15: El personal está capacitado para realizar el mantenimiento preventivo



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 15 se observa que el 22.22% de los encuestados manifiesta estar capacitado, mientras el 77.78% manifiesta no estar capacitado. Es necesario capacitar al personal de acuerdo a las necesidades de la empresa, por lo manifestado por los encuestados requieren de una capacitación, esta capacitación se deberá centrarse en un análisis de evaluación continua tomando en cuenta que en esta subestación en el año 2015 se montaron nuevos equipos y se realizaron varios trabajos de mejora.

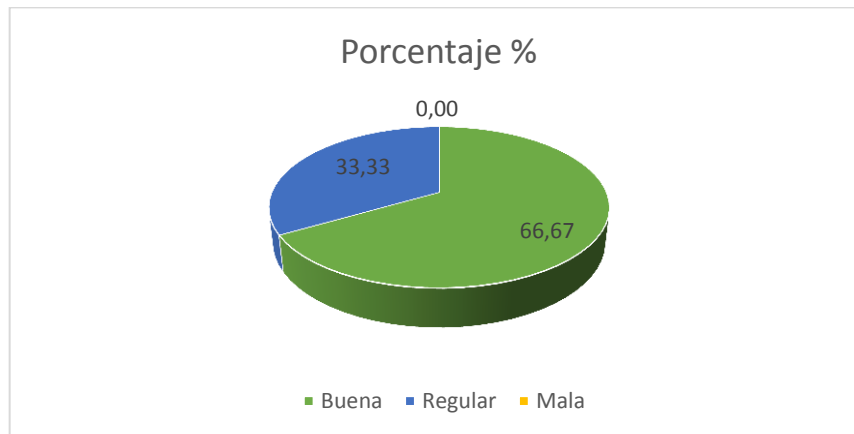
Pregunta N° 5.- ¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio?

Tabla 25: Calificación de la disponibilidad de los equipos.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Buena	6	66.67
Regular	3	33.33
Mala	0	0
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 16: Calificación de la disponibilidad de los equipos.



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 16 se observa que el 66.67% de los encuestados indica que hay una buena disponibilidad de los equipos, mientras el 33.33% manifiesta lo contrario. Se debe entender que la disponibilidad de los equipos no depende solo del mantenimiento sino también de la calidad del equipo y de una instalación adecuada.

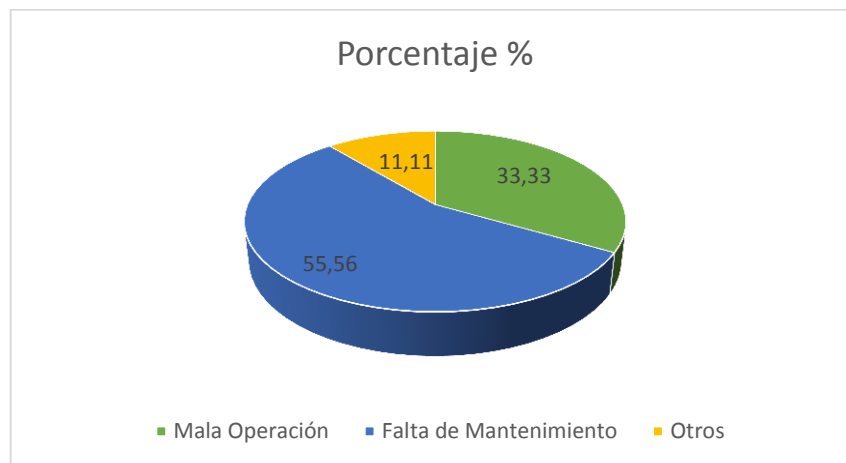
Pregunta N° 6.- ¿Cuáles cree usted que son las principales causas que afectan a la disponibilidad de los equipos de la Subestación?

Tabla 26: Causas que afectan a la disponibilidad de los equipos

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Mala Operación	3	33.33
Falta de mantenimiento	5	55.56
Otros	1	11.11
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 17: Causas que afectan a la disponibilidad de los equipos



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 17 se observa que el 33.33% de los encuestados manifiesta que existe mala operación, mientras que el 55.56% manifiesta que las causas que afectan la disponibilidad de los equipos es la falta de mantenimiento, solo el 11.11% manifiesta que existen otros factores que afectan a la disponibilidad de los equipos, estos factores se deben a orígenes externos como: la caída de un árbol sobre las líneas de sub transmisión que energizan a la Subestación Lago Agrio, la caída de un rayo, vientos huracanados, el choque de un vehículo contra un poste donde están ubicados los conductores de mediana tensión, y otros.

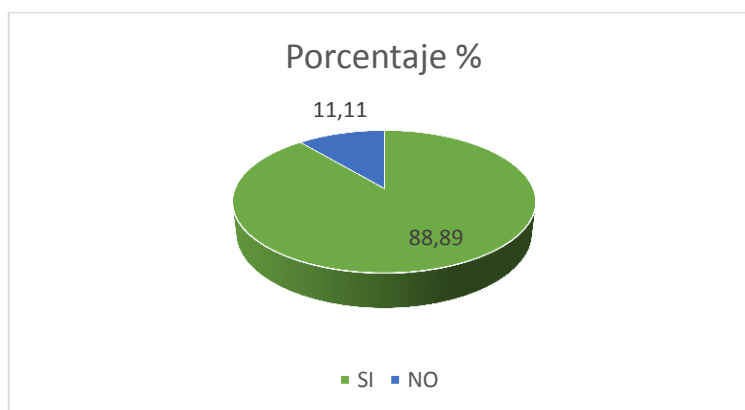
Pregunta N° 7.- ¿Cree usted que el personal cuenta con la información documentada y actualizada de los equipos instalados en la subestación?

Tabla 27: El personal cuenta con la información documentada y actualizada de los equipos.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	8	88.89
No	1	11.11
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 18: El personal cuenta con la información documentada y actualizada de los equipos.



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 18, se observa que el 88.89% de los encuestados manifiestan que no cuentan con la información documentada y actualizada de los equipos instalados, solo el 11.11% manifiesta que si poseen la información documentada y actualizada de los equipos. Esto se ha dado debido a que en el año 2014-2015 se instalaron equipos nuevos, los Administradores y Jefe Departamental no han dado a conocer la documentación e información técnica de los equipos, como: planos, manuales de: montaje, operación y mantenimiento) por lo que el personal

encargado del mantenimiento de la Subestación no podrá realizar su trabajo adecuadamente.

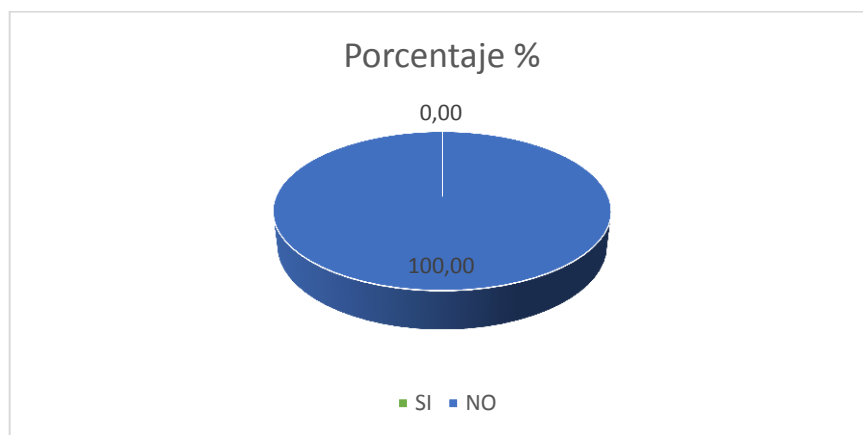
Pregunta N° 8.- En el caso que un equipo se declare indisponible; ¿existe otro equipo que pueda reemplazar la función de este?

Tabla 28: Se cuenta con equipos disponibles en caso que se declare la indisponibilidad de equipos.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	0	0
No	9	100
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 19: Se cuenta con equipos disponibles en caso que se declare la indisponibilidad de equipos.



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 19, se observa que el 100% de los encuestados manifiestan que no existe otro equipo que pueda reemplazar la función de este. Este punto se puede considerar crítico ya que al no tener equipos disponibles y peor aún otro que lo reemplazará, el servicio de energía eléctrica no podrá suministrarse; conllevando a que los usuarios manifiesten su inconformidad y además de causar pérdidas económicas tanto a la empresa como al consumidor.

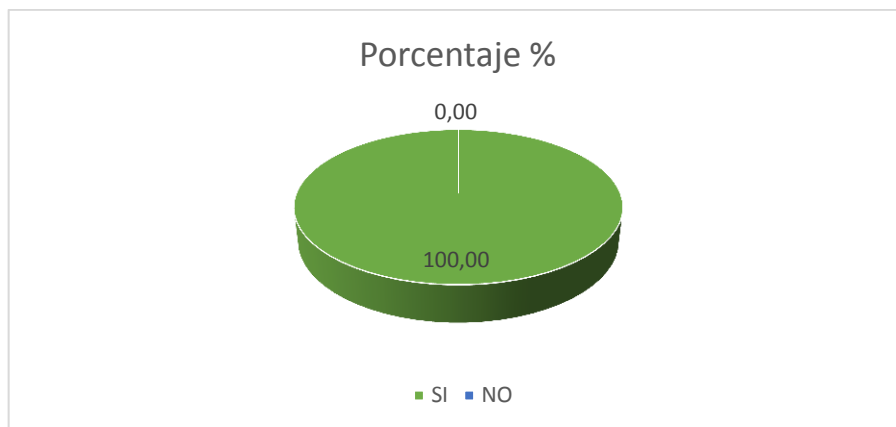
Pregunta N° 9.- ¿Cree usted que al implementar un plan de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio se aumentará la disponibilidad en los equipos?

Tabla 29: Implementar un plan de mantenimiento aumentará la disponibilidad en los equipos.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	9	100
No	0	0
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 20: Implementar un plan de mantenimiento aumentará la disponibilidad en los equipos.



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 20 se observa que el 100% de los encuestados considera que un plan de mantenimiento adecuado aumentará la disponibilidad en los equipos. Se debe indicar que un plan de mantenimiento se desarrolla con la idea de preveer anticipadamente los fallos en los equipos, con este contexto, es importante mejorar el plan de mantenimiento preventivo para lo cual se requiere de otros requisitos como: insumos, repuestos, personal capacitado y especialmente que el programa se aprobado por la Administración.

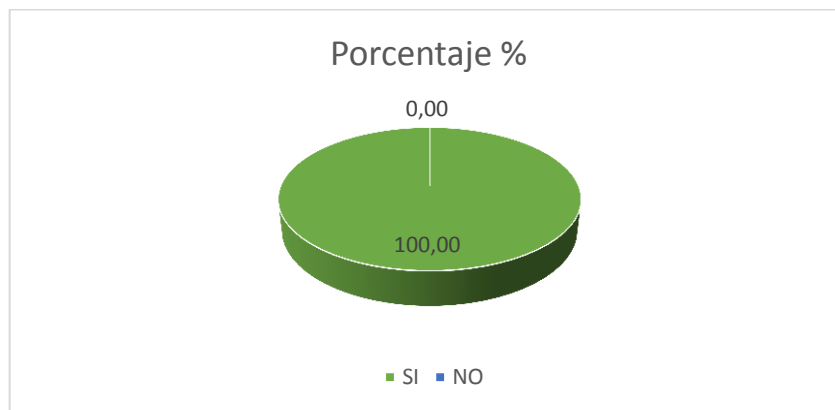
Pregunta N° 10.- ¿Considera usted que una capacitación adecuada al personal de Mantenimiento aumentará la disponibilidad en los equipos?

Tabla 30: Capacitación adecuada aumentará la disponibilidad en los equipos.

Descripción	Frecuencia	Porcentaje %
Si	9	100
No	0	0
Total	9	100

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 21: Capacitación adecuada aumentará la disponibilidad en los equipos.



Elaborado por: Jorge Proaño

En la Figura N° 21 se observa que el 100% de los encuestados manifiestan que una capacitación adecuada aumentará la disponibilidad en los equipos, se debe manifestar que capacitar al personal consiste en darles los conocimientos, actitudes y habilidades que requieren para lograr un buen desempeño, pero también se deberá centrarse en un análisis de evaluación continua; con esto se lograra dar un mantenimiento adecuado con lo cual permitirá aumentar la disponibilidad de los equipos

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

Interpretación de resultados

Análisis del resultado obtenido con la herramienta AMEF

Las directrices que enfocan la herramienta de análisis de modo y fallas (AMEF), permite identificar problemas potenciales y sus efectos, en el proceso de la Subestación Lago Agrio, desde el punto de vista de calidad de servicio y servicio continuo al usuario los efectos son muy altos ya que al dejar de suministrar la energía eléctrica ocasiona grandes perjuicios económicos, pero desde el enfoque que da la CNEL EP-UNSUC estos problemas no son graves ya que se pudieron solucionar con las acciones correctivas, como se puede observar en la Figura N° 10, se compara los Índices de Prioridad de Riesgo Actual y recomendado.

Análisis del resultado alcanzado con la herramienta OEE

La herramienta OEE (Overall Equipment Efficiency, o Eficiencia General de los Equipos) se pudo observar los tres componentes que integran esta herramienta, los resultados obtenidos como: la disponibilidad del 95%, el rendimiento del 81% y de la calidad del 90%, dando como resultado una OEE del 69 %, comparados estos resultados con la OEE Word Class existe una diferencia de 16 puntos, esto se puede observar en el Figura N° 10, la CNEL EP- UNSUC se encuentra en un nivel regular (pérdidas económicas aceptable solo si está en proceso de mejora).

Análisis del resultado del cálculo de la disponibilidad actual y la disponibilidad con las acciones correctivas

En la Figura N° 11 se observa que la disponibilidad con las acciones correctivas sufre un pequeño incremento del 94% al 95% aproximado, si bien se podría calificar como excelente se debe tomar muy en cuenta que el servicio de suministro de energía eléctrica es continuo, para incrementar la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio se deberá optar estrategias de mantenimiento con el cual se pueda prevenir la salida intempestiva de los equipos, o a su vez reducir los tiempos de mantenimiento, existen otras causas como las fallas transitorias y temporizadas que son de origen externo pero causan la salida de servicio de los equipos de la subestación.

Análisis de la Encuesta

Si bien está encuesta no es relevante en este estudio, es necesario conocer los argumentos del personal de CNEL EP UN-SUC por los cuales no cumplen en forma acertada el proceso de mantenimiento, de la encuesta realizada, analizaremos varios puntos importantes como:

- Se considera que el plan de mantenimiento y el mantenimiento preventivo debe ser mejorado y adecuado, que para su evaluación deberá utilizar herramientas de control de indicadores.
- Capacitar al personal y dotar al personal de las herramientas necesarias disminuirán los tiempos utilizados en el mantenimiento con lo que se logrará aumentar las horas de operación de los equipos.
- Actualizar y crear un sistema informático de: documentos, planos, información técnica, manuales de operación - mantenimiento de equipos, para llevar una estadística y control de los equipos instalados en la subestación.
- Al no tener equipos disponibles y peor aún otro que lo reemplazará, el servicio de energía eléctrica no podrá suministrarse; conllevando a que los

usuarios manifiesten su inconformidad y además causará pérdidas económicas tanto a la empresa como al consumidor.

- Es importante que al tomar en cuenta este análisis y al aplicarlo conllevará a aumentar la disponibilidad de equipos, pero se debe considerar también que la Disponibilidad depende también de otros factores como: la calidad y el montaje.

Contraste con otras investigaciones

Si bien las tesis que se tomaron como referencia para el desarrollo del presente estudio se refieren más a problemas de capacitaciones técnicas del personal para mejorar el mantenimiento preventivo, podríamos tomar varios criterios de la encuesta desarrollada que servirán a futuro en el proceso de mantenimiento de la Subestación Lago agrio, de esta manera se describe lo siguiente:

En la investigación de Albán W. y Pantoja G. manifiestan que el área de mantenimiento no tiene un personal con las capacidades técnicas necesarias para enfrentar un problema a nivel correctivo sobre la subestación de la Torre de Cali, criterio que este trabajo de investigación comparte ya que en la encuesta realizada el personal que realiza el mantenimiento de la Subestación Lago Agrio manifiesta no estar capacitado para realizar el mantenimiento preventivo.

Rodríguez M. manifiesta que se debe crear un sistema de información de los activos con fichas técnicas y hojas de vida de los activos que hacen parte de la subestación lo cual permitirá el exitoso cumplimiento de la gestión de mantenimiento, de la misma manera, de acuerdo a la encuesta realizada en el presente trabajo investigativo, el personal de mantenimiento indica que no posee la documentación actualizada de los equipos, por lo que es necesario crear un sistema de información de los activos con fichas técnicas y hojas de vida de los equipos.

Verificación de Hipótesis

Para la verificación de la hipótesis de la presente investigación se aplicara el método estadístico de una prueba t de Student, prueba que se realiza para comprobar si la hipótesis es nula o cierta.

Los datos que se tomarán en cuenta para este análisis son los: IPR actual y el IPR recomendado de la Tabla 14

Hipótesis Nula

El proceso de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio no influye en la disponibilidad en los equipos.

Hipótesis Alternativa

El proceso de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio si influye en la disponibilidad en los equipos.

Cálculos modelo matemático

En la Tabla 31 se muestra los cálculos para la prueba t student´s para medidas de dos muestras emparejadas.

Tabla 31: Cálculos para el t students

Nº	IPR ACTUAL	IPR RECOMENDADO	RANGO (d)	$(d - \bar{d})^2$
1	160	64	96	1128,96
2	200	120	80	309,76
3	200	80	120	3317,76
4	32	16	16	2152,96
5	80	80	0	3893,76
Sumatoria Σ			312	10803,2
\bar{d}			62,4	

Elaborado por: Jorge Proaño

Ejemplo de cálculos:

$$Rango (d) = IPR_{actual} - IPR_{recomendado}$$

$$Rango (d) = 160 - 64$$

$$Rango (d) = 96$$

Cálculo del promedio de rangos \bar{d} (Media aritmética)

$$\bar{d} = \frac{\Sigma Rango (d)}{n (observaciones)}$$

$$\bar{d} = \frac{96 + 80 + 120 + 16 + 0}{5}$$

$$\bar{d} = 62,4$$

Desviación estándar ϑd

$$\vartheta d = \sqrt{\frac{\sum(d - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

$$\vartheta d = \sqrt{\frac{10803,2}{5 - 1}}$$

$$\vartheta d = 51,96$$

Cálculo del t.

$$t = \frac{\bar{d}}{\frac{\vartheta d}{\sqrt{n}}}$$

$$t = \frac{62,4}{\frac{51,96}{\sqrt{5}}}$$

$$t = 2.6848$$

En la Tabla 32 se muestra los cálculos para la prueba t student's para medidas de dos muestras emparejadas resumido.

Tabla 32: Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas

	<i>IPR (actual)</i>	<i>IPR (Recomendado)</i>
Media	134,4	72
Varianza	5676,8	1408
Observaciones	5	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0,775331494	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2,684870724	
P(T<=t) una cola	0,027474922	
Valor crítico de t (una cola)	2,131846786	
P(T<=t) dos colas	0,054949844	
Valor crítico de t (dos colas)	2,776445105	

Elaborado por: Jorge Proaño

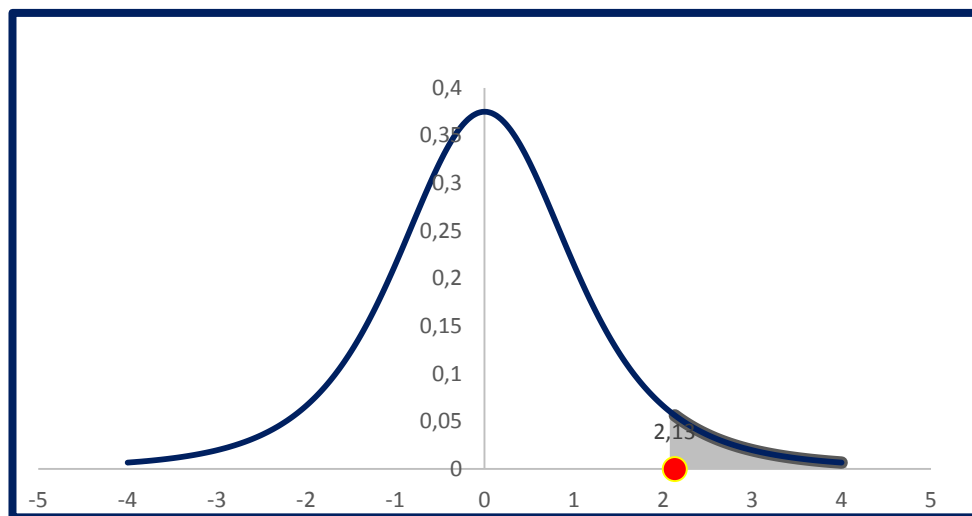
En la tabla 33 se muestran los datos para graficar las figuras de las colas t student's

Tabla 33: Colas t student's

df	4		
α (Cola Derecha)	0,05	Figure 22	2,1318
Cola Izquierda (Cuantil)	0,95	Figure 23	2,1318
α (Izquierda + Cola Derecha)	0,1	Figure 24	2,1318

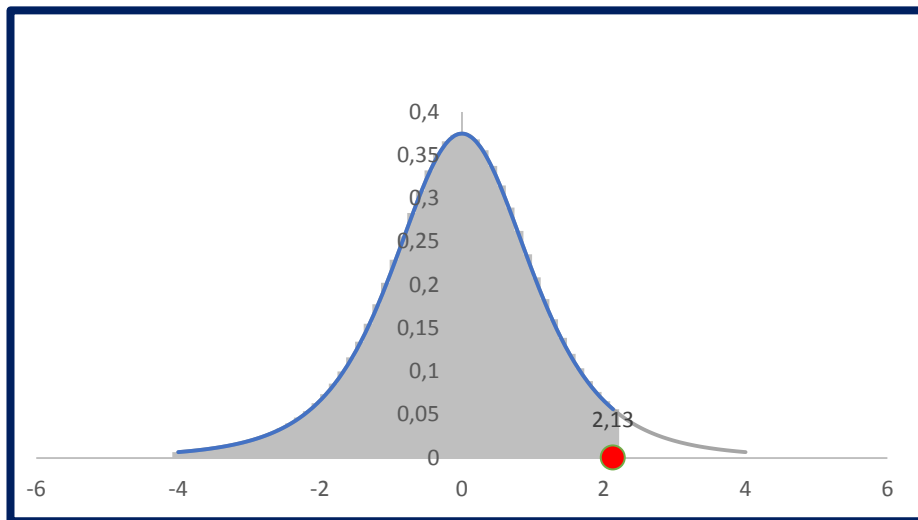
Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 22: Cola derecha



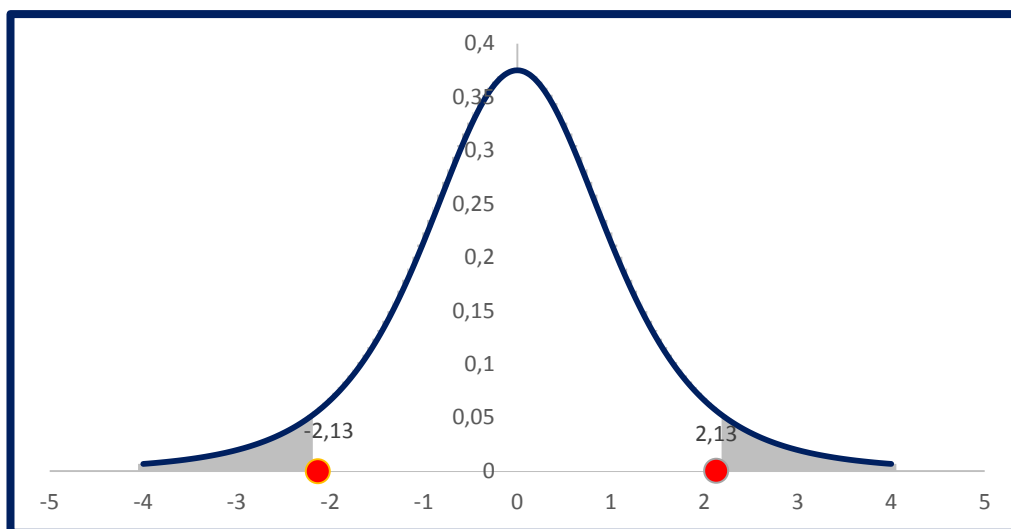
Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 23: Cola izquierda (Cuantil)



Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 24: Izquierda + cola derecha



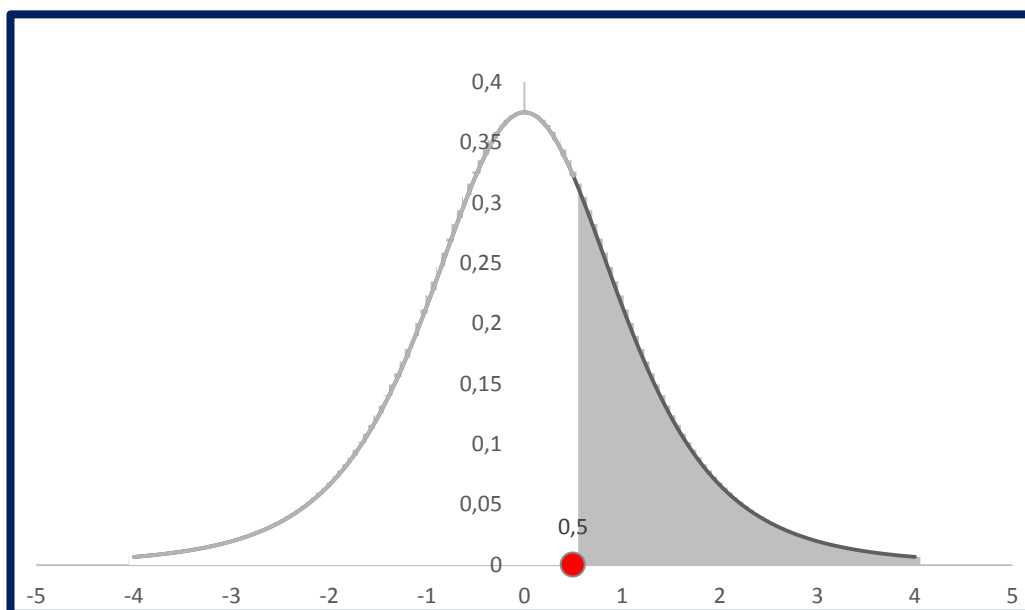
Elaborado por: Jorge Proaño

Tabla 34: Áreas probabilidades

t-valor	A la Derecha	A la Izquierda
0,5	0,3217	0,6783

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 25: Áreas (probabilidades)



Elaborado por: Jorge Proaño

Para $n - 1 = 4$ (grados de libertad)

$$P(t > 2,1318) = 0.05$$

$$P(t < - 2,1318) = 0.05$$

Valor estadístico $t >$ Valor Crítico t

$$2,6848 > 2,1318$$

Para la comprobación de los valores obtenidos nos ayudaremos de la tabla del anexo N° 4, obteniéndose el siguiente resultado:

El valor estadístico t calculado es de 2.6848, supero al valor de 95% de confianza con 4 grados de libertad que da 2.1318, por lo que se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, por lo que al implementar un estudio del proceso de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio se aumentará la disponibilidad presentadas en los equipos.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Para determinar la Disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio fue necesario la utilización de la herramienta de Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF) y además se determinó los tiempos TMEF y TMPR; obteniendo un resultado del 98%, considerado desde CNEL EP UN-SUC excelente, pero desde el usuario al cual el servicio de energía debe ser continuo lo califican como bueno, por cuanto el dejar de suministrar la energía eléctrica es sinónimo de pérdidas tanto para la empresa como para el usuario.

- Con la aplicación de la herramienta Efectividad Global de los Equipos (OEE); se pudo determinar los parámetros de: Disponibilidad, Rendimiento y Efectividad de los equipos de la subestación Lago Agrio, obteniéndose resultados de OEE aceptables para la empresa del 69%; considerándose que está se encuentra en un proceso de mejora.

- Al identificar los tiempos de fallas de los equipos se recomienda realizar un seguimiento del comportamiento de estos ya que al presentarse fallas continuas los equipos tienden a depreciarse o reducir su vida útil

- Para la comprobación de la hipótesis se aplicó la herramienta de Excel t Student y los Índices de Prioridad de Riesgo Actual y Recomendado de la herramienta AMEF; donde los cálculos estadísticos reflejaron que la hipótesis planteada es aceptada para implementar un plan de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio

Recomendaciones:

- La necesidad de organizar los procesos de mantenimiento preventivo más una capacitación adecuada al personal, optimizaran la disponibilidad de los equipos, con este contexto la Administración de CNEL EP UN-SUC deberá dotar de las herramientas e insumos necesarias para cumplir con dicho objetivo.
- Es necesario actualizar la documentación e información técnica de los equipos como: planos, manuales de: montaje, operación y mantenimiento para que el personal encargado que realiza el mantenimiento de la Subestación pueda realizar su trabajo adecuadamente.
- Es importante utilizar herramientas e indicadores de gestión como la AMEF y la OEE para el control de la frecuencia y tiempos de salida de salida de operación de los equipos lo cual conllevará a mejorar los índices de gestión del mantenimiento.

LITERATURA CITADA

Cristina, Roblez Durazno Adela. 2010. Modelo de gestión comercial de energía eléctrica en el Ecuador. *Modelo de gestión comercial de energía eléctrica en el Ecuador*. [En línea] 2010. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2599>.

IRAZÚ RIVADENEYRA DÍAZ. Generación y transporte de electricidad. *Generación y transporte de electricidad*. [En línea] <http://www.monografias.com/trabajos13/genytran/genytran.shtml>.

Lizcano, Marlon Dennis Rodríguez. 2009. Modelo de gestión del mantenimiento preventivo y predictivo para las subestaciones de la empresa de energía de Cundinamarca. *Modelo de gestión del mantenimiento preventivo y predictivo para las subestaciones de la empresa de energía de Cundinamarca*. [En línea] 2009.

Lopez, Ing. Bryan Salazar. 2016. Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). *Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)*. [En línea] 2016. <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>.

R. Hernandez, C. Fernandez, P. Baptista. 2006. Metodología de la investigación. *Metodología de la investigación*. [En línea] 2006. file:///C:/Users/USER/Downloads/1033525612-mtis_sampieri_unidad_1-1.pdf.

Sierra, José Isacc. abrilmarzo-1.2Generación de corriente eléctrica. *abrilmarzo-1.2Generación de corriente eléctrica*. [En línea] abrilmarzo.wikispaces.com/1.2%20Generacion%20de%20corriente%20electronica.

Solutions, Lean. Lean Solutions. *Lean Solutions*. [En línea]

<http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>.

University, Plant Web. 2002. Disponibilidad. *Disponibilidad*. [En línea] 2002. http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE_102es.pdf.

—. 2002. Introducción General a la Efectividad General del Equipo (OEE). *Introducción General a la Efectividad General del Equipo (OEE)*. [En línea] 2002.

http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE_101es.pdf.

Wigodski, Jacqueline. 2010. Metodología de la Investigación. *Metodología de la Investigación*. [En línea] 14 de Julio de 2010. <http://metodologiaeninvestigacion.blogspot.com/2010/07/poblacion-y-muestra.html>.

ANEXOS

Anexo 1: Cuestionario.

ENCUESTA

Encuesta dirigida al personal administrativo, Mantenimiento y Operación de la Subestación lago Agrio.

Lugar: Oficina central de CNEL EP UN-SUC y Subestación Lago Agrio
Hora: 9H00
Fecha: 27/09/2016

Pregunta N° 1.- ¿Considera usted que el mantenimiento preventivo aplicado en la Subestación Lago Agrio es el adecuado?

SI	NO

Pregunta N° 2.- ¿Considera usted que se debe planificar de mejor manera el mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio?

SI	NO

Pregunta N° 3.- ¿Considera usted que las personas encargadas del mantenimiento tienen las herramientas necesarias para dar solución a los problemas que se presentan en la Subestación Lago Agrio?

SI	NO

Pregunta N° 4.- ¿Considera usted que el personal está capacitado para realizar el mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio?

SI	NO

Pregunta N° 5.- ¿Cómo calificaría usted la disponibilidad de los equipos de la Subestación Lago Agrio?

Buena	
Regular	
Mala	

Pregunta N° 6.- ¿Cuáles cree usted que son las principales causas que afectan a la disponibilidad de los equipos de la Subestación?

Mala Operación	
Falta de mantenimiento	
Otros	

Pregunta N° 7.- ¿Cree usted que el personal cuenta con la información documentada y actualizada de los equipos instalados en la subestación?

SI	NO

Pregunta N° 8.- En el caso que un equipo se declare indisponible; ¿existe otro equipo que pueda reemplazar la función de este?

SI	NO


Pregunta N° 9.- ¿Cree usted que al implementar un plan de mantenimiento preventivo en la Subestación Lago Agrio se aumentará la disponibilidad en los equipos?

SI	NO

Pregunta N° 10.- ¿Considera usted que una capacitación adecuada al personal de Mantenimiento aumentará la disponibilidad en los equipos?

SI	NO

Anexo 2. Reportes de Fallas de los meses de Enero a Junio 2016

		CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBIOS				
REPORTE DE FALLAS 2016						
SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO						
MES: ENERO			AÑO: 2016			
FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES	
05/01/2016	Interrupcion 13.8 Kv, alimentador Via Quito	03:18	10:35	7:53	Daño en bobina de apertura del interruptor, se cambia bobina y se habilita interruptor	
17 - 18/01/2016	Interrupcion de 69 Kv posición bahia Lago - Jivino	14:20	10:45	20:25	Se abre el interruptor por falla en línea de subtransmisión, se queda bloqueado por bajo nivel de SF6, se carga SF6 Y NUEVAMENTE ENTRA EN OPERACIÓN	
27/01/2016	Interrupcion de 69 Kv posición bahia Lago - Jivino	15:35	18:45	3:10	Se bloquea el interruptor por bajo nivel de SF6, se carga SF6 Y NUEVAMENTE ENTRA EN OPERACIÓN, se detecta fuga de SF6 por válvula de carga.	

Fuente: CNEL EP UN-SUC



CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBOS



REPORTE DE FALLAS 2016

SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO

MES: FEBRERO

AÑO: 2016

FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES
08/02/2016	Interruptor de 69 Kv posición bahía Lago – Jivino.	02:00	07:30	5:30	Cambio de válvula y carga de gas SF6
17/02/2016	Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	10:25	12:30	2:05	Sale de servicio por falla en detector de gases (Calisto).
18/02/2016	Transformador de fuerza 15/20/25 MVA	02:00	7:20	5:20	Cambio de detector de gases.

Fuente: CNEL EP UN-SUC



CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBIOS



REPORTE DE FALLAS 2016

SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO

MES: MARZO

AÑO: 2016

FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES
05/03/2016	Transformador de servicios auxiliares	15:35	19:10	3:35	Falla en breaker principal de transformador de servicios auxiliares de 100 KVA se conecta directo la alimentación sin protección

Fuente: CNEL EP UN-SUC



CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBIOS



REPORTE DE FALLAS 2016

SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO

MES: ABRIL

AÑO: 2016

FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES
12/04/2016	Transformador de 15/20/25 MVA	7:05	9:15	2:20	Bloqueo de transformador presenta alarma de alta temperatura de bobinados se resetea y entra en funcionamiento
12/04/2016	Transformador de 15/20/25 MVA	11:35	15:45	5:20	Bloqueo de transformador presenta alarma de alta temperatura de bobinados, se detecta falla en termómetro, se aísla este elemento y entra en operación

Fuente: CNEL EP UN-SUC



CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBIOS



REPORTE DE FALLAS 2016

SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO

MES: MAYO

AÑO: 2016

FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES
14/05/2016	Interruptor de 69 KV posición bahía Lago - Jivino	02:00	07:00	5:00	Mantenimiento y pruebas de disparo y conexión
14/05/2016	Transformador de 15/20/25 MVA	02:00	07:00	5:00	Mantenimiento y cambio de termómetro de señal de bobinados
14/05/2016	Interruptor 13.8 Kv, alimentador Via Quito	02:00	07:00	5:00	Mantenimiento
14/05/2016	Seccionador de 69 KV posición bahía Lago - Jivino	02:00	07:00	5:00	Mantenimiento y reparación de eje de transmisión
14/05/2016	Transformador de servicios auxiliares	02:00	07:00	5:00	Mantenimiento e instalación de nuevo breaker

Fuente: CNEL EP UN-SUC



CORPORACION NACIONAL DE ELECTRICIDAD
UNIDAD DE NEGOCIOS SUCUMBOS



REPORTE DE FALLAS 2016

SUBESTACIÓN: LAGO AGRIO

MES: JUNIO

AÑO: 2016

FECHA	EQUIPO	HORA DE INICIO INTERRUPCIÓN (H:Min)	HORA FINAL INTERRUPCIÓN (H:Min)	DURACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN (H:Min)	OBSERVACIONES
23/06/2016	Interruptor 13.8 Kv, alimentador Via Quito	9:55	15:15	5:10	Falla en motor de accionamiento de resorte de carga y descarga del interruptor.

Fuente: CNEL EP UN-SUC

ANEXO 3 Cálculos de tiempos: Teórico de producción, planificado de producción, de operación, neto de operación, Valioso de operación

Figura N° 26: Cálculos de tiempos Interruptor 13.8 KV

Tiempo Teórico de Producción (TTP)		
4386		
Tiempo Planificado de Producción (TPP)	Paradas Planificadas	Factor de Planificación $Pf = TPP/TTP$
4378	8	0.99
Tiempo de Operación (TO)	Paradas No Planificadas	Factor de Disponibilidad $D2 = TO/TPP$
4364.92	13.08	0.99
Tiempo Neto de Operación (TNO)	Pérdidas de Velocidad (Fallas Transitorias)	Factor de Rendimiento $R2 = TNO/TO$
4211.67	153.25	0.96
Tiempo Valioso de Operación (TVO)	Pérdidas de Calidad (Fallas temporizadas)	Factor de Calidad $C2 = TVO/TNO$
4151.42	60.25	0.98

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 27: Cálculos del transformador de 15/20/25 MVA

Tiempo Teórico de Producción (TTP)		
4386		
Tiempo Planificado de Producción (TPP)	Paradas Planificadas	Factor de Planificación $Pf = TPP/TTP$
4378	8	0.99
Tiempo de Operación (TO)	Paradas No Planificadas	Factor de Disponibilidad $D3 = TO/TPP$
4357.92	20.08	0.99
Tiempo Neto de Operación (TNO)	Pérdidas de Velocidad(Fallas Transitorias)	Factor de Rendimiento $R3 = TNO/TO$
4204.69	153.23	0.96
Tiempo Valioso de Operación (TVO)	Pérdidas de Calidad (Fallas temporizadas)	Factor de Calidad $C3 = TVO/TNO$
4144.42	60.266	0.98

Elaborado por: Jorge Proaño

Figura N° 28: Cálculos de tiempos Transformador de Servicios Auxiliares

Tiempo Teórico de Producción (TTP)		
4386		
Tiempo Planificado de Producción (TPP)	Paradas Planificadas	Factor de Planificación Pf = TPP/TTP
4378	8	0.99
Tiempo de Operación (TO)	Paradas No Planificadas	Factor de Disponibilidad D4 = TO/TPP
4369.92	8.08	0.99
Tiempo Neto de Operación (TNO)	Pérdidas de Velocidad (Fallas Transitorias)	Factor de Rendimiento R4 = TNO/TO
4216.67	153.25	0.96
Tiempo Valioso de Operación (TVO)	Pérdidas de Calidad (Fallas Temporizadas)	Factor de Calidad C4 = TVO/TNO
4156.42	60.25	0.98

Elaborado por: Jorge Proaño

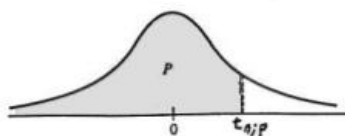
Figura N° 29: Cálculos de tiempos Seccionador 69 KV

Tiempo Teórico de Producción (TTP)		
4386		
Tiempo Planificado de Producción (TPP)	Paradas Planificadas	Factor de Planificación $Pf = TPP/TTP$
4378	8	0.99
Tiempo de Operación (TO)	Paradas No Planificadas	Factor de Disponibilidad $D5 = TO/TPP$
4359.92	18.08	0.99
Tiempo Neto de Operación (TNO)	Pérdidas de Velocidad (Fallas Transitorias)	Factor de Rendimiento $R5 = TNO/TO$
4206.67	153.25	0.96
Tiempo Valioso de Operación (TVO)	Pérdidas de Calidad (Fallas Temporizadas)	Factor de Calidad $C5 = TVO/TNO$
4146.42	60.25	0.98

Elaborado por: Jorge Proaño

Anexo 4: Tabla t Students

Distribución *t* de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n;p}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n;p}) = p.$$

<i>n</i>	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución *t* de Student.