



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

‘‘ Estudio de la aplicación del recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión en la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao L -1118/138kv para mejorar la confiabilidad’’

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Giles Cotera, Ronald Daniel (ORCID: 0000-0002-5156-7897)

ASESOR:

Mg. Paredes Rosario, Raúl Rosoli (ORCID: 0000-0002-3032-3527)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación y Distribución de Energía

TRUJILLO – PERÚ

2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que han compartido conmigo su tiempo y comprensión. En especial y con todo cariño a mi familia, muchas gracias por su apoyo.

A mis hijas Keila y Sofía, por ser el motivo por el cual continúo superándome cada día más y más.

Agradecimiento

A mi madre Sirena Coterá, por su amor y apoyo incondicional. Usted ha sido el pilar de los pequeños y grandes logros que mis hermanos y yo hemos tenido. Por tus consejos sabios, por tu amor y cariño, por enseñarme en base a ejemplos el valor del esfuerzo, por su preocupación constante, por no soltar jamás mi mano en los momentos en lo que lo necesité y por el hecho de hacer de mí lo que soy hoy y lo que seré mañana...

Gracias mamá!

A mis hermanos y a mis primos, por su amor y apoyo incondicional en los momentos más difíciles, a ellos dedico este trabajo.

Gracias hermanos!

A mi amigo Luis Ferré, por apoyarme para que este trabajo se haga realidad y las enseñanzas que me diste que nunca olvidare.

Gracias Luchito!

Página del Jurado

Declaratoria de Autenticidad

Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de Autenticidad	v
Índice	vi
Índice de tablas	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática	1
1.2 Trabajos previos.....	3
1.3 Teorías relacionadas al tema.....	10
1.4 Formulación del Problema.....	14
1.5 Justificación del Estudio	15
1.6 Hipótesis	15
1.7 Objetivos.....	16
II. MÉTODO	17
2.1. Tipo y diseño de investigación	17
2.2. Operacionalización de variables	19
2.3. Población, muestra y muestreo	19
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	20
2.5. Procedimiento	21
2.6. Métodos de análisis de datos.....	21
2.7. Aspectos éticos	22
III. RESULTADOS	23
3.1 Diagnosticar la situación actual de la performance de los aisladores en alta tensión: tiempos de operación continua, causas de fallas, cuantificar las fallas, en tiempo y en valor económico, confiabilidad y disponibilidad actual de la línea eléctrica.	23
3.2 Cálculo de indicadores de fiabilidad, SAIDI y SAIFI	30
3.3 Medidas técnicas a aplicar para mejorar la confiabilidad.....	36
3.4 Estimación de la disponibilidad de línea por mejora en mantenimiento	43

3.5 Estimar la confiabilidad de la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao con la aplicación del material propuesto.	44
IV. DISCUSIÓN	45
V. CONCLUSIONES	47
VI. RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS	55
ANEXOS	58
Anexo 1: Recubrimiento de silicón para aisladores de redes de AT y MT.	58
Anexo 2: Recubrimiento 570TM - HVIC.....	59
Anexo 3: Evaluación de desempeño de aisladores	60
Anexo 4: Aisladores Poliméricos para líneas aéreas de Alta Tensión.....	61
Anexo 5: Aisladores de media y alta tensión. Fuente Silicón Technology	61
Anexo 6: Aisladores Poliméricos Line Post	62
Anexo 7: Aplicación de revestimiento dieléctrico con silicona.....	62
Anexo 8: Aislante de silicona para alta tensión	63
Anexo 9: Circuito de prueba de aisladores de alta tensión	63
Anexo 10: Circuito divisor de tensión resistivo para probar aisladores de alta tensión ..	64
Anexo 11: Circuito Electrónico para Evaluar Aisladores.....	64
Anexo 12: Instalación de Aisladores con Recubrimiento Silgar. Fuente R Giles	65
Anexo 13: Mantenimiento de Aisladores de Alta Tensión.....	65
Anexo 14: Resistividad de Materiales Eléctricos	66
Anexo 15: Cadena de Aisladores	67
Anexo 16: Fotos de Trabajo de Campo. Fuente R. Giles	67
Anexo 17: La validez de los instrumentos se realizo atravez del juicio de expertos, realizados por tres profesionales expertos en el tema. Fuente Elaboracion propia.	72
Anexo 18. Acta de Aprobación de Originalidad de Tesis	77
Anexo19. Reporte de Turniti.	78
Anexo 20: Autorización de Publicación de Tesis en Repertorio Institucional UCV.....	79
.....	80

Índice de tablas

Tabla N° 1: Operacionalización de las variables de investigación. Elaboración propia.....	19
Tabla N° 2: Técnicas e instrumentos de evaluación en la investigación. Elaboración propia	20
Tabla N° 3: Parámetros de operación línea de transmisión L-1118/138 Kv. Elaboración Propia.....	23
Tabla N° 4: Cuantificación de la energía eléctrica dejada de transmitir por fallas en la línea de transmisión L -1118/138 Kv. Elaboración propia. Fuente: Hidrandina S.A	24
Tabla N° 5: Cuantificación económica anual por interrupción de venta de energía eléctrica debido a fallas en Línea 1118/138 Kv. Elaboración propia. Fuente: Hidrandina S.A	26
Tabla N° 6: Valores de resistencia de aisladores con y sin recubrimiento dieléctrico. Elaboración propia.....	35
Tabla N° 7: Valores medidos de resistencia en aisladores de porcelana. Elaboración propia	36

RESUMEN

Se presenta el estudio de la aplicación del recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión en la línea de Transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao L-1118/138 kv para mejorar la confiabilidad.

Se realizó un diagnóstico del trabajo de aisladores eléctricos en alta tensión: tiempos de operación continua, causas de fallas, cuantificar las fallas, en tiempo y en valor económico, determinando que la disponibilidad puede aumentar hasta alcanzar el 100%, y la confiabilidad desde 0.67 hasta 13.22 % anual, 19 veces.

Se midió los parámetros de resistencia, a 23.77 °C promedio, siendo la resistencia media del aislador, sin recubrimiento: 199.2 GOhm, la resistencia media del aislador contaminado en 1 año, con recubrimiento de silicona: 204.52 GOhm y la resistencia media de cadena de 10 aisladores, con recubrimiento dieléctrico silgar: 6.988 TOhm.

Se determinaron los coeficientes de calidad del servicio de suministro de energía, el SAIFI varía desde 3 a 6 fallas/ (usuario-año), el SAIDI, varía desde 10.99 hasta 27.74 h/ (cliente-año) y el ENS (energía no suministrada), de 138,474 hasta los 258,675 kw-h/año.

En el trabajo se definen las mejoras a aplicar para aumentar la disponibilidad de los aisladores mediante la selección y aplicación de un recubrimiento dieléctrico y la aplicación de un mantenimiento preventivo basado en técnicas predictivas, es decir, en base a la condición de los aisladores eléctricos

El análisis económico de implementación del estudio de mejora de disponibilidad de aisladores en alta tensión de 138 Kv línea Trujillo Norte – Santiago de Cao, arroja como Presupuesto: 175,950 soles, Beneficios económicos netos: 83,903 soles/año y un retorno de la inversión de 2.09 años.

Se concluye que el estudio es factible, siempre y cuando se apoye en una mejora del mantenimiento, para sostener los resultados.

Palabras clave: Confiabilidad, Disponibilidad, Recubrimiento Dieléctrico

ABSTRACT

The study of the application of the dielectric coating in high voltage insulators in the Trujillo Norte - Santiago de Cao 1 -1118/138 kv transmission line to improve reliability is presented.

A diagnosis is made of the work of high voltage electrical insulators: continuous operation times, causes of failures, quantify failures, in time and in economic value, determine what availability can increase to reach 100%, and reliability from 0.67 to 13.22% annual, 19 times.

The resistance parameters were measured, at an average 23.77 ° C, the average resistance of the insulator being uncoated: 199.2 GOhm, the average resistance of the contaminated insulator in 1 year, with silicone coating: 204.52 GOhm and the average chain resistance of 10 insulators, with liquid fat dielectric coating: 6,988 TOhm.

The quality coefficients of the energy supply service were determined, the SIFI changed from 3 to 6 failures / (user-year), the SAIDI, modified from 10.99 to 27.74 h / (customer-year) and the ENS (energy not supplied), from 138,474 to 258,675 kWh / year.

The work will determine the improvements to be applied to increase the availability of the insulators through the selection and application of a dielectric coating and the application of preventive maintenance based on predictive techniques, that is, based on the condition of the electrical insulators

The economic analysis of implementation of the study of improvement of availability of insulators in high voltage of 138 Kv Trujillo Norte line - Santiago de Cao yields as Budget: 175,950 soles, net economic benefits: 83,903 soles / year and a return on investment of 2.09 years.

It is concluded that this study is feasible, as long as it relies on an improvement in maintenance, to sustain the results.

Keywords: Reliability, Availability, Dielectric Coatin

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

Los aisladores eléctricos se emplean en líneas de transmisión y distribución; dando distancias de seguridad y soporte mecánico a conductores energizados, trabajando a la intemperie y bajo condiciones ambientales severas, sufriendo contaminación ambiental, industrial y biológica (Amín y Salman, 2006).

Ciertas investigaciones muestran que el desarrollo microbiano sobre aisladores eléctricos aprovecha las condiciones ambientales de zonas tropicales como: intensa radiación solar, largos periodos de lluvias, alta humedad relativa y elevadas temperaturas (Amin y Salman, 2006; Atarijabarzadeh et al., 2011; Fernando y Gubanski, 2010; Meijer et al., 2011; Rojas et al., 2015; Sylvestre et al., 2002). Como la contaminación microbiana no se limita a una región determinada del planeta, varía según el tipo de microorganismo, y se desarrolla bajo diversas condiciones ambientales, el impacto del crecimiento de microorganismos en el desempeño de los aisladores eléctricos aún no se conoce por completo.

El hongo blanco de la podredumbre *Phanerochaete chrysosporium* y el hongo filamentoso *Penicillium Sp.* son microorganismos de forma avanzada, en comparación con las bacterias, presentes en el aire y en todo el planeta. Estos hongos, con otras comunidades microbianas descomponen la materia orgánica de su entorno y forman parte importante del ciclo de nutrientes en ecosistemas complejos como bosques o selvas (Effron et al., 2012). Bajo ciertas condiciones climáticas y la disposición de ciertos nutrientes del ambiente, los hongos degradan materiales aislantes sintéticos como los polímeros y las siliconas (Bennet et al., 2002; Iiyoshi et al., 1998). Aunque estos estudios evidencian la afectación que sufren algunos materiales aislantes por el crecimiento de hongos en su superficie, a nivel regional (Centro y Suramérica) no hay pruebas del impacto que la colonización microbiana puede causar en aisladores eléctricos.

En la actualidad mundial se han efectuado muchos estudios relevantes a la capacidad y eficiencia de los aisladores de características no cerámicos aplicados a líneas de transmisión [Black & Veatch International, 1995].

En el Perú, en la región de la costa se presentan parámetros agresivos referidos a la contaminación inducida por aisladores y velocidad de corrosión de metales. Según Red Eléctrica Peruana (REP), los aisladores poliméricos presentan graves daños en las estructuras de tipo anclaje, causando interrupción en los servicios eléctricos.

En el 2010, se realizaron el 99.40% de los cambios de factibilidad de los aisladores convencionales por los aisladores poliméricos, presentando un 98.90% en seguridad. REP detalla que el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, limita el uso continuo de los aisladores por demoras en autorizar los trabajos necesarios.

Según REP el aseguramiento del conductor con anclaje tipo aparejo, da mayor seguridad al personal de operación. Se debe coordinar con el COES-SEIN, para seguir con los planes de cambio de aisladores poliméricos con la finalidad de garantizar un servicio eléctrico constante y continuo en la zona norte del Perú, incrementando los recursos económicos debido a reducción de cortes de energía en clientes mayores.

REP considera que es imperativo inspeccionar y evaluar el desempeño de los aisladores poliméricos para dar relevancia preventiva para cambiar los averiados. Asimismo, la REP sugiere capacitar en legalización en TcT al personal técnico que carece de estos temas, logrando de esta manera rotar el personal y reducir las cargas por fatiga.

El Departamento de Transmisión Norte es el más crítico de los 4 Departamentos de la RED, ya que cuenta con 15 líneas en el Perú con una longitud de 1760 Km, a lo largo de lugares de alta contaminación, con 4715 estructuras y 16578 sucesiones de aisladores. En 2004 se presentaron averías y fracturas de aisladores poliméricos por resistencia a la fragilidad en la estructura de anclaje.

Los aisladores poliméricos tienen mejor seguridad de manejo e integridad de los sistemas de instalaciones con mayor continuidad con el servicio.

A nivel local, en la línea de transmisión de alta tensión Trujillo Norte– Santiago de Cao, existen problemas de interrupción del suministro de energía eléctrica, debido a fallas en aisladores eléctricos, en alta tensión.

La causa de falla es un poco compleja, tiene diversos componentes, pero en principal se puede indicar que es por reducción del potencial de ruptura, es decir por pérdida de su capacidad dieléctrica en la superficie de los aisladores, que conectan y protegen a los cables de alta tensión. Se observa formación de óxidos por la corrosión atmosférica, sobre todo en horas de la mañana y de hongos de diverso tipo.

Al aumentar las corrientes de fugas debido a las sobretensiones y en algunos casos, de corto circuito, se producen los accionamientos de los dispositivos de corte de la energía, de protección de los circuitos en alta tensión, causando la interrupción del suministro eléctrico con el malestar de los clientes, siendo la empresa distribuidora pasible de penalidades, por no cumplir el suministro permanente.

El problema se vuelve más acuciante pues entre el momento de corte y la reposición en servicio, luego de las necesarias reparaciones y reemplazos de elementos deteriorados, transcurren entre dos a seis horas, dependiendo de la distancia y magnitud de los daños, esto ocasionando reducción de los ingresos por venta de energía eléctrica por más de 30,000 soles por año y reducción de la disponibilidad del servicio eléctrico.

Debido a lo antes señalado, se propone realizar un estudio de recubrimiento de los aisladores eléctricos actuales, de porcelana, con mejores materiales protectores que aseguren más seguridad, menos costo operacional y aumento de la disponibilidad, considerando los factores que reducen las propiedades aislantes y reducción de su resistencia de ruptura, en la zona de alta tensión Trujillo Norte - Santiago de Cao.

1.2 Trabajos previos

Como antecedentes de la presente investigación, se tiene el estudio de Silva Pacheco (2018), que acota que la contaminación de aisladores en alta tensión, realizó un plan de mantenimiento en las líneas de alta tensión el norte de Chile, recorren largas distancias para conectar los distintos consumos eléctricos del país. Las distancias y las características ambientales, como la alta concentración salina y de otros agentes contaminantes producidos

por el clima desértico, la cercanía al mar y la nula presencia de lluvias, generan un desafío para el mantenimiento de los distintos componentes del sistema de transmisión nortino. La autora realizó el plan en particular donde los aisladores deben ser lavados constantemente para asegurar su correcto funcionamiento y evitar descargas a tierra. En la línea de 220 kv Córdores – Parinacota, propiedad de Transelec, una falla como esta en cualquiera de las 524 estructuras a lo largo de sus 222 km, significa desconectar del consumo regulado a toda la ciudad de Arica al no contar con redundancia en paralelo.

Concluye que se ha cumplido con proponer un modelo de servicio para los aisladores de la línea 220kV Córdores - Parinacota. Basándose en los datos y en una adaptación del modelo de cálculo de intervalos de inspección se ha logrado encontrar una frecuencia general de inspección que, gracias a los datos de mantenimiento entre los años 2012 y 2017, se tradujo a frecuencias por tipo de mantenimiento y por sección de la línea para tener un plan de mantenimiento anual completo, costos incluidos.

Oscar Ramiro Sánchez Rodas (2005), en su trabajo de tesis sobre los efectos de la contaminación salina en las componentes de línea aéreas de mayor tensión, muestra la contaminación cercana a la costa, por lo que se realiza el estudio de los componentes necesarios en la construcción y características de las mismas. Donde la contaminación salina afecta a los diferentes elementos de una línea aérea de alta tensión y sus consecuencias. Una vez hecho el estudio se aplicará a la línea ENRON 230KV, describiendo las condiciones de la línea, evaluando el nivel de contaminación mediante el método NSDD y ESDD.

Sánchez Rodas señala que, en la línea de alta tensión 230KV ENRON el H/G y los cables de tensión AAAC no presentan hasta ahora ninguna afección severa debido a que la pureza de sus materiales de fabricación presenta resistencia a la contaminación salina y esfuerzos mecánicos.

Los aisladores tipo poste utilizados en la línea 230KV ENRON, presentan por diseño, una buena respuesta a la contaminación ambiental, y en especial a la contaminación salina, debido a su estructura robusta que facilita el lavado de los mismos por medio de la lluvia, además de que los polímeros con los que son construidos presentan una gran ventaja contra la corrosión electrolítica.

Sánchez Rodas concluye que la zona cercana a la orilla del mar, estructuras de la 92 a la 200, tiende a salir de servicio por la generación de partículas contaminantes en aisladores y en general en todos sus componentes, es por ello que se deben realizar revisiones y si es necesario mantenimientos constantes en esta porción de la línea, para evitar repercusiones en el futuro.

Por su parte, Gary Frank Onofre Apaza, (2006) en su trabajo de investigación sobre factibilidad del uso de aisladores poliméricos en las redes de luz del sur consigna que, actualmente no existe un gran nivel de normalización a nivel internacional (normas IEEE/ANSI, IEC) para aisladores poliméricos, por tanto, el diseño de estos puede variar entre fabricantes. Para aisladores de porcelana y vidrio las reglas para el diseño y selección son idénticas y están establecidas en normas internacionales.

Onofre Apaza, señala que existen pruebas para el control de calidad comprendidas en normas internacionales para aisladores poliméricos que cubren los componentes (núcleo, envoltura, herrajes) así como a los aisladores completos. Una gran mayoría de estas pruebas desarrolladas para aisladores poliméricos han sido adaptadas de las normas para aisladores de porcelana y vidrio, así como varias pruebas nuevas fueron necesarias por las diferencias en los aspectos constructivos de los aisladores poliméricos cuando se comparan con la porcelana y el vidrio.

Las condiciones ambientales de servicio como la temperatura, humedad, contaminación, altitud varían en un amplio rango. Por tanto, los fabricantes de aisladores deberán considerar para el diseño todos estos esfuerzos en cantidad y criticidad, garantizando la buena performance del aislador por muchos años.

El autor indica que, actualmente una de las mejores guías para seleccionar distancias de dispersión en aisladores bajo varias condiciones de contaminación es la Publicación 815 de la IEC, "Guía de selección de Aisladores respecto a condiciones de polución". Esta guía es sólo para aisladores de porcelana y vidrio.

Un procedimiento adecuado para establecer los requerimientos mínimos que debe cumplir un aislador para su buen desempeño en condiciones de contaminación es medir

primero los niveles de contaminación tomando muestras cuantitativas a través de un largo periodo; luego someter a los aisladores a pruebas en laboratorios observando su desempeño en descargas bajo contaminación con aislamientos alternativo, estableciendo así los requerimientos mínimos para el desempeño del aislador en condiciones de contaminación; finalmente se deberá probar en campo siendo la experiencia en el uso la que determine si el aislamiento seleccionado fue adecuado para el desempeño del aislador en condiciones de contaminación.

El investigador señala que, en la evaluación económica, para el escenario N° 1, el que se asume un reemplazo total de aisladores de porcelana por poliméricos y el uso exclusivo de aisladores poliméricos para nuevos proyectos, se tiene un TIR de 99,12% y un VAN de US\$. 7.025.841,38 para un financiamiento de 15 años; el PRI es de 2 años.

La evaluación económica, para el escenario N°2, en el que se asume mantener el parque actual de aisladores de porcelana y utilizar aisladores poliméricos para nuevos proyectos, se tiene una rentabilidad en la tasa interna de retorno (TIR) demasiado elevada debido a que no se requiere de inversión alguna y un valor actual neto (VAN) de US\$. 622.092,92 para un periodo de evaluación de 15 años, siendo el periodo de recupero de la inversión de 1 año.

Saguay y Torres (2011), realizaron un trabajo de investigación sobre la influencia de los dieléctricos en la prueba sometidos a altas tensiones en el servicio, señalan que todo el equipo en instalaciones eléctricas es sometido a sobre tensiones, que afectan su aislamiento.

Los autores reportan que aisladores de porcelana con daños en la superficie, no tiene el nivel de voltaje de flameo en AC o al impulso, pues perdieron parte de sus características eléctricas y mecánicas, afectando directamente la operación. También señalan los autores que el nivel de tensión de impulso y flameo que se obtiene en los aisladores de porcelana, están por debajo de los valores recomendados por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Saguay y Torres establecen que en la práctica se les aplica a los aisladores una diferencia de potencial alterna inferior al 90% de la diferencia potencial de flameo resultado del ensayo a frecuencia en seco en una prueba de una durabilidad de 30 minutos, encontrando

el valor de la tensión a la cual no ocurrirán perforaciones ni descargas variadas, asimismo no exceder la temperatura de 20°C del cuerpo del aislador.

Saguay y Torres concluyen que los aisladores poliméricos, la diferencia potencial que origina el efecto corona, se lleva a cabo mediante cuatro ensayos con rangos máximos y mínimos, no llegando a la ruptura dieléctrica.

Bismarck Antonio Vigo Espino(2010), en su trabajo de tesis sobre diseño de aisladores sintéticos rígidos en base a resinas epóxicas, para media y baja tensión, basa en experiencias tomadas de trabajos realizados en una empresa fabricante de aisladores sintéticos diversos, para baja y media tensión y de servicios conexos de encapsulado de transformadores de medida; para ello se hacía uso de materiales plásticos rígidos, principalmente de resinas epóxicas, tanto para uso interior como para uso exterior.

Vigo Espino compila las propiedades de los materiales aislantes, profundizando en aquellos que tienen relación con el tema central, que es el diseño de aisladores soporte, haciendo uso de materiales sintéticos rígidos, según estándares internacionales.

El autor presenta los modelos comerciales vigentes de los aisladores soporte, tanto en baja como en media tensión y expone los criterios de diseño mecánicos eléctricos de estos dispositivos.

Vigo Espino concluye que los materiales sintéticos tienen desventajas; la más obvia es al ser de origen orgánico tienen una temperatura a la cual ocurre una descomposición química y en el extremo de los casos, el aislador se quema. También concluye que el flameo producido por un arco eléctrico, sin llegar a temperaturas de descomposición del aislador, produce erosión en su superficie. Es importante recalcar que la principal manera de limitar las corrientes superficiales es con el perfil y la mejor línea de fuga que se pueda obtener con el diseño y las resinas epóxicas se prestan para lograr geometrías con estas características. Según Vigo Espino no existe un organismo estatal ni privado encargado de velar por implementar estándares que permitan un adecuado control de calidad de la producción nacional.

José Luis Blas Ángeles ejecutó en 2017 un plan de gestión de mantenimiento preventivo en la línea de transmisión de 60Kv. L-717 Zapallal – IPEN, para reducir el elevado número de horas de fuera de servicio por fallas en el sistema de transmisión eléctrica.

Blas Ángeles realizó el estudio en el área de servicios internos, del Centro Nuclear de Huarangal. Esta área se encarga de supervisar y mantener en condiciones operativas los servicios básicos para el desarrollo del Reactor Nuclear RP-10.

En el caso específico del sistema eléctrico, y después de una evaluación, Blas Ángeles propuso las mejoras correspondientes; además de las buenas prácticas de una gestión de mantenimiento, en tal sentido nació el interés de poder aplicar la propuesta para mejorar para obtener una disponibilidad del servicio eléctrico.

El autor concluye que el resultado de esta investigación, se puede reducir los costos por fallas recurrentes, en este caso; los costos totales de mantenimientos preventivos y correctivos programados. Blas Ángeles también concluye que, a partir de una inversión en mantenimiento preventivo, se llega a generar un beneficio económico por reducción de fallas. Para llegar a este objetivo es necesario determinar otras estrategias con la finalidad de llegar a renovar el equipamiento.

Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas (2017) en su trabajo de investigación presentan un estudio sobre el comportamiento dieléctrico de aisladores tipo cerámicos (ANSI 52-2 y ANSI 55-1) y poliméricos (ANSI 4S-15) usados en sistemas eléctricos de media tensión (entre 7kV y 35 kv) ante el crecimiento de hongos *Phanerochaete chrysosporium* y *Penicillium Sp.* en su superficie.

Rojas y Rojas señalan que la contaminación biológica de aisladores eléctricos es una problemática reportada en áreas tropicales de Europa, Asia y Oceanía y puede reducir la confiabilidad de los sistemas eléctricos de potencia.

Rojas y Rojas indican que el experimento de biocontaminación se realizó en Bogotá, Colombia por 50 días consecutivos (para cada microorganismo) con una cámara que controla la luz, la humedad y la temperatura, figura 4a y 4b. Durante los experimentos se realizaron ensayos de diferencia de potencial de flameo y corrientes de fuga.

Rojas y Rojas reportan que, luego de la biocontaminación se produjeron reducciones en tensiones de flameo de 21% y 8% para aisladores cerámicos y poliméricos, respectivamente; las corrientes de fuga aumentaron más del 20%.

Los autores concluyen que en las pruebas experimentales el desarrollo fúngico sobre la superficie de todos los aisladores biocontaminados reducen las tensiones de flameo a frecuencia industrial y aumentan las corrientes de fuga. Las pruebas de laboratorio muestran que, en aisladores cerámicos se deterioran más en su desempeño eléctrico en comparación con los aisladores poliméricos. También concluyen que, luego del primer ciclo de contaminación la colonización microbiana en aisladores la realizan los hongos *Phanerochaete chrysosporium* y *Penicillium Sp.* los que muestran una relación poblacional de 23:1 a favor del hongo de la podredumbre blanca.

También llegaron a las conclusiones siguientes: El mecanismo de biocontaminación en reducción media en tensiones de flameo de 14% en aisladores cerámicos, en aisladores poliméricos la reducción máxima fue de 8%. Para aisladores contaminados con *Penicillium Sp.* (segundo ciclo de contaminación) la tensión de flameo se redujo entre 13% y 21% en aisladores cerámicos y alcanzó un 10% en los poliméricos. Los aisladores contaminados con el hongo *Penicillium Sp.* tienen mayores afectaciones en sus tensiones de flameo que los contaminados con el hongo *Phanerochaete chrysosporium*.

Víctor Tejada, Dominique Plée (2016); en su trabajo de investigación sobre formulaciones cerámicas para aisladores eléctricos, muestra que la compañía peruana Cerartec, fabrica aisladores dieléctricos cerámicos ANSI 53-2 de carrete, para aplicaciones de líneas de media tensión.

Tejada y Plée indican que la porosidad residual tiene una relación directa con módulo de rotura en flexión, evidenciando la firmeza dieléctrica de los aisladores en fase húmeda y seca.

Tejada y Plée concluyen que las características mecánicas son necesarias para el resultado final y que están relacionadas a la porosidad mediante la metodología lineal, donde se considera que las propiedades eléctricas son óptimas mientras no supere el valor de < 0,5% de absorción de agua

Corre, Velilla, Echeverría y Castaño (2013), realizaron su investigación sobre la eficiencia de los aisladores de porcelana cubiertos de películas de dióxido de titanio, reduciendo de esta manera la contaminación, donde indica que los aisladores expuestos a la media ambiente es una gran problemática para el sistema eléctrico ya que en ellos se acumula

material orgánico e inorgánico generando el deterioro de los aisladores que limitan su desempeño y vida útil.

Los autores concluyen, también, que comparando los resultados de los ensayos eléctricos las corrientes o flujos de flujo se reducen en los aisladores recubiertos pero la diferencia potencial de flameo incrementa, en similitud a los aisladores sin recubrimiento.

Pérez, Cibele, Castro, Guedes y Dantas (2012), en su análisis de investigación sobre el nono sílice aplicado a cargas RTV que son usadas para recubrir aisladores, demuestran la importancia de agregar este elemento en la goma de silicona a condiciones de temperatura ambiente, la cual se emplea para recubrir aisladores de vidrio. En la investigación se observó la dispersión del elemento nano sílice en la goma de silicona, cuantificando la permisividad con su uso y sin su uso, en la resistencia a la corrosión.

1.3 Teorías relacionadas al tema

En cuanto a las teorías relacionadas al tema de investigación, los aisladores en líneas eléctricas son los componentes que sujetan mecánicamente a los conductores, manteniéndolos aislados de tierra y de otros cables. (Enríquez, 1990).

1.3.1 Aisladores

Los elementos aisladores cumplen la función de soportar las fuerzas mecánicas que el conductor conlleva al apoyo mediante ellos (Silva Pacheco, 2018)

Las características de aisladores son el voltaje de perforación, que tiene que poseer buena resistencia eléctrica para que el diferencial de potencial sea el mayor posible (Enríquez, 1990), la tensión de contorneamiento; se debe a la disposición adecuada para que no se conduzcan a presencia de descarga de conductores y su apoyo. Debe tener elevada resistencia a los esfuerzos combinados eléctricos y de carga mecánica y ausencia de envejecimiento en el transcurso de su vida útil, además de elevada resistencia a temperaturas elevadas.

Los materiales de los aisladores más utilizados son el vidrio y porcelana, pero a partir de 1980 se diseñó aisladores de diferentes materiales compuestos (Enríquez, 1990), por lo consiguiente, un aislador debe tener buena resistividad y elevada resistencia mecánica.

Los Aisladores de porcelana son resistentes a las cargas de compresión, y es ampliamente utilizado en los sistemas eléctricos donde existen elevadas cargas de compresión mecánica.

Los Aisladores de vidrio tienen una mayor dureza, equilibrio ante elevadas temperatura y variaciones, además de poseer buena resistencia mecánica. Cabe indicar que su precio es inferior a los aisladores de material de porcelana.

Los aisladores compuestos son una mezcla de los aisladores de vidrio y cerámico, y son fiables técnica y económicamente.

Los tipos de aisladores más comunes son los de barra y campana (Silva Pacheco, 2018) También se utiliza los aisladores de campana, en sistemas eléctricos de baja tensión o de media tensión, están contruidos de porcelana o vidrio. Estos no se encuentran de forma aislada, por el contrario, se encuentran formando una cadena.

Los aisladores de barra se utilizan en sistemas eléctricos con altas tensiones ya que son resistentes a grandes esfuerzos flexionantes y de compresión, estos son fabricados de porcelana o mixtos.

La elección de aisladores bajo contaminación ambiental es en la actualidad los aisladores están fabricados para que se auto limpien mediante las lluvias y vientos, dónde bajo estándares normales ambientales el polvo no los afecta (Enríquez, 1990)

Las instalaciones de aisladores se clasifican según su grado de contaminación y depende del grado de polución de la zona, el cual se puede asegurar con un correcto factor de seguridad (J. Hall, and T. Orbeck; 1988)

Las áreas generales se colocan en zonas rurales, evitando su uso por lugares industriales donde se utilizan abonos químicos que en conjunto con el polvo, se depositan

en el aislador. Cabe indicar que en condiciones atmosféricas secas no varía la tensión de flameo, pero si hay presencias de lluvias la tensión de flameo disminuye.

Áreas de mediana contaminación, pero con niebla frecuente.

Aplicado a zonas con niebla constante con reducida precipitación, que permiten la auto limpieza del aislador, pero en este caso el material en contaminación es por la húmeda originando incrustaciones.

Las zonas industriales de alta contaminación son lugares donde existe elevado polvo y este se agrega a los aisladores en forma de películas originando capas adherentes.

Las zonas costeras, están cerca al mar, dónde los depósitos de sal en estado seco afectan directamente el desempeño y vida útil de los aisladores.

Los depósitos contaminantes sobre el aislador se originan cuando el aislador está cubierto por una capa de baja resistividad, originando el flameo por contaminación en atmosfera seca y polvo de concentraciones de óxidos metálicos (J. Hall, and T. Orbeck; 1988)

La excesiva corriente de fuga en el aislador se produce al aumentar la humedad en el aislador, se reduce su tenacidad y aparece un flujo de fuga intermitente. La disipación de energía aumenta la temperatura, reduciendo la capacidad eléctrica del aislador, causando pérdidas por baja capacidad.

El fenómeno de flameos continuos por contaminación se fundamenta en tres casos, el primero por presencia de voltaje normal debido la húmeda, el segundo por presencia de voltaje transitorio debido a la húmeda ambiental y el tercero, por presencia de lluvias.

El fenómeno de perforación es debido a la elevada temperatura local por excesivo flujo de corriente, causando daños como la reducción de la resistencia eléctrica del conductor y la disipación de energía.

La corrosión es debido a los efectos eléctricos de la corriente de fuga, por la carencia de la capa de zinc y la presencia de ácido nítrico que genera el efecto corona y el sobrecalentamiento. La radio interferencia se debe a las descargas variables aplicadas a lo aisladores conllevando a interferencias, cabe indicar que las cargas no siempre originan cargas excesivas.

Para minimizar o contrarrestar, se planean las siguientes soluciones como el sobre aislamiento es un modo eficaz de prevenir problemas de flameo en zonas de alta contaminación, es aumentar la distancia de línea de fuga sobre el área del aislador y aisladores de diseño especial, tienen la finalidad de evitar la contaminación ambiental, han generado formas y perfiles aerodinámicos, para su aplicación en diferentes tipos de zonas, diseñando aisladores con distancias incrementadas en la línea de fuga.

La Limpieza y lavado de los aisladores de modo periódico es la solución para minimizar la problemática de flameo ambiental, así mismo es el método más habitual para la limpieza de un aislador (J. Hall, and T. Orbeck; 1988)

La Limpieza manual de aisladores se origina cuando los depósitos de partículas contaminantes sobre el área del aislador se endurecen haciendo difícil la labor de remover por lavado a presión, siendo necesario la limpieza manual. Los recubrimientos superficiales de los aisladores se usan para impedir la formación de las partículas de agua en el aislador, se utilizan recubrimientos con grasas de silicona, para que el aislador trabaje exitosamente en condiciones de lluvias y niebla (J. Hall, and T. Orbeck; 1988).

En ese sentido, las siliconas permiten que a una temperatura en el intervalo de -50°C a 200°C , mantenga su consistencia y viscosidad, la que hacen que es muy utilizada, está compuesta por Si, O₂ y C. Las Grasas a base de hidrocarburos son la combinación de grasas del gasóleo y aceites, estos materiales reducen la viscosidad en forma que aumenta la temperatura alcanzando el punto de fusión.

Los aisladores con depósito de aceite aseguran una adecuada superficie de aceite, óptima en la anti-contaminación ambiental, dado que la superficie de aceite resiste grandes cargas de corriente y repelen el agua, además de absorber cualquier sustancia sólida (J. Hall, and T. Orbeck; 1988)

Las funciones de los esmaltes son proporcionar un buen parámetro superficial. El esmalte se mantiene fácilmente libre de polvo o suciedades residuales causadas por la contaminación ambiental, por medio del lavado natural con lluvias. Por medio del esmalte se le puede dar al aislador el color que más convenga, de acuerdo a las exigencias del medio donde se vaya a instalar. Las propiedades que se originan en la porcelana, generan una buena rigidez eléctrica y evitando la nula porosidad. (A. Cano, 2006)

Los esmaltes de compresión se originan cuando el esmalte es sometido a un esfuerzo de aplastamiento, existiendo una diferencia en los coeficientes de expansión térmica del esmalte y porcelana. El proceso de contaminación del aislamiento eléctrico externo, en el que los aisladores bajo condiciones de explotación son sometidos a las condiciones del medio en que se encuentran situados, las que varían ampliamente de un lugar a otro, dependiendo de las características de la zona. (A. Cano, 2006)

La forma del aislador interviene en el modo en que dicho contaminante se va a acumular a lo largo de su superficie, en el campo existen tres tipos de contaminación: marina, industrial y desértica. La lluvia es un factor de mayor incidencia en la no uniformidad de la capa de contaminante, por su efecto de lavado. Los contaminantes tienen dos porciones importantes: una eléctricamente inerte que al humedecerse no se disocia en iones, y que no es conductora, su función es darle a la capa sus características adhesivas y absorbentes, y una parte eléctricamente activa que al humedecerse se disocia y presenta por tanto características conductoras.

Para que se produzca una descarga total existen requisitos mínimos a cumplirse, como la formación de la capa de contaminante, el humedecimiento de la capa de contaminante y aumento de su conductividad y de la corriente de filtración y el secado de la capa de contaminante en las regiones de mayor densidad de corriente (A. Cano, 2006)

La selección del nivel de aislamiento necesario para asegurar una explotación eficiente del mismo en las instalaciones eléctricas que operan bajo los diferentes ambientes que de una región determinada, involucra tres aspectos: Sobre la superficie de los aisladores sometidos a los efectos de la contaminación se producen tres tipos diferentes de descargas eléctricas: descarga tipo arco, descarga incandescente (“glow”) y descarga por efluvios (“streamer”).

1.4 Formulación del Problema

De acuerdo a lo observado del problema de pérdida de propiedades de aisladores en alta tensión, se formula el problema de investigación: ¿En qué medida la aplicación de recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión en la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao de 138 kv permitirá mejorar la confiabilidad?

1.5 Justificación del estudio

Justificación Tecnológica

La justificación de la investigación se basa en cuatro componentes, la justificación tecnológica, pues se establecerán medidas técnicas para mejorar la confiabilidad anual de la línea de alta tensión, desde cambio de insumos, hasta materiales de aisladores e incluso tipos de los mismos.

Justificación Social

También se tiene la justificación social, pues; al aplicar nuevas alternativas como el recubrimiento dieléctrico se reducirá la cantidad y número de horas por corte de energía eléctrica para trabajos de mantenimiento, asimismo, el incremento de confiabilidad reducirá el riesgo de desconexiones no programadas (fallas); incidirá en mayor grado de satisfacción de los clientes y poblaciones, con menos cortes de suministro eléctrico.

Justificación Económica

Justificación económica, pues; al implementar los resultados del estudio se obtendrá mayor duración de las propiedades aislantes de los materiales que recubren los aisladores, permitiendo mayor tiempo de operación continua, por lo tanto mayores ingresos económicos por venta de energía eléctrica.

Justificación Ambiental

Al trabajar con nuevos insumos como el recubrimiento dieléctrico cuya duración y efectividad según fabricantes es de 8-10 años se evita el consumo de materiales convencionales como trapos industriales, grasas siliconas, solventes dieléctricos, alcohol industrial, grasas industriales y otros que representan contaminación y formación de residuos peligrosos con alto impacto al medio ambiente.

1.6 Hipótesis

El estudio de recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión en la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao de 138 kv permitirá mejorar la confiabilidad.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Realizar el estudio de la aplicación del recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión de la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao de 138 kv y establecer las medidas técnicas para mejorar la confiabilidad del servicio.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de la performance de los aisladores en alta tensión: tiempos de operación continua, causas de fallas.
- Cuantificar las fallas, en tiempo y en valor económico, confiabilidad y disponibilidad actual de la línea eléctrica.
- Establecer las medidas técnicas a aplicar para mejorar la confiabilidad: selección del recubrimiento protector de los aisladores para mejorar sus propiedades dieléctricas en el tiempo,
- Estimar la confiabilidad de la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao con la aplicación del material propuesto.
- Realizar un análisis económico de implementación de la mejora de confiabilidad de aisladores en alta tensión de 138 Kv línea Trujillo Norte – Santiago de Cao: Presupuesto, beneficios económicos bruto y neto.
- Finalmente se incluye como objetivo específico el realizar un análisis financiero de la aplicación de la mejora de confiabilidad de la línea de 138 Kv: VAN, TIR, PRI.

II. MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de investigación

a. Tipo de investigación

- Según el tipo de objetivo: Investigación aplicada, trata de resolver un problema industrial, aumentar la disponibilidad de una línea de transmisión de energía eléctrica afectada por las fallas de aisladores debido a la contaminación
- Según los datos empleados: Investigación cuantitativa, se aplicarán técnicas matemáticas para analizar el proceso de reducción del aislamiento eléctrico debido a la contaminación y proponer soluciones
- Según el conocimiento que se tiene del objeto de estudio: Investigación descriptiva, pues se describe las características del proceso de reducción de la propiedad de aislamiento eléctrico de los aisladores de alta tensión
- Según el grado de manipulación de variables: Investigación no experimental, pues no se manipulará ninguna de las variables del proceso de pérdida de aislamiento eléctrico de los aisladores de alta tensión en línea de transmisión de energía
- Según el momento/tiempo de estudio: transversal, pues se reúne datos en un momento del proceso de pérdida de capacidad de aislamiento eléctrico de los aisladores, que permite describir las variables del proceso, estudiar su impacto y la interdependencia en el sistema de protección eléctrica a mejorar.

b. Diseño de la investigación

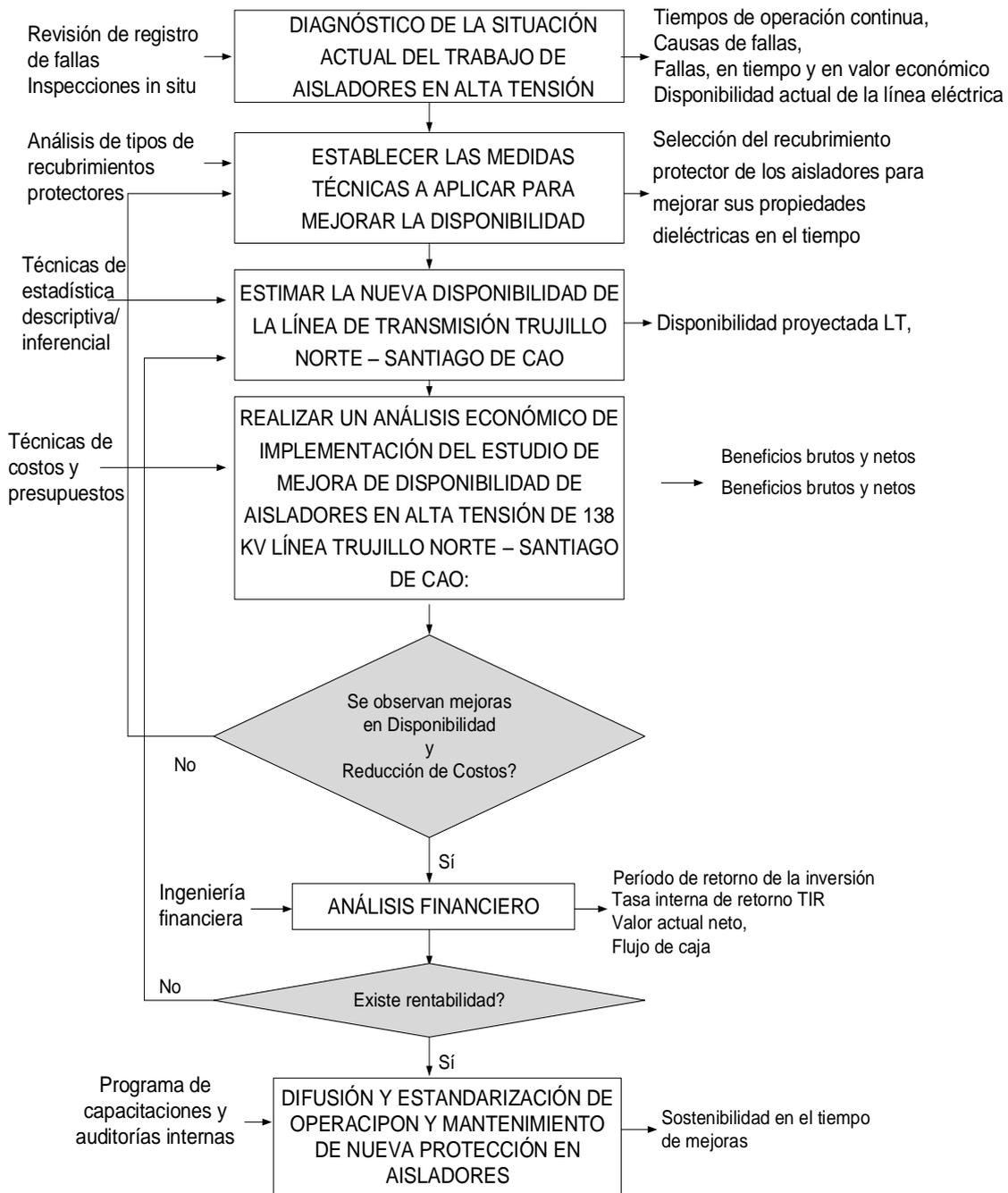


Figura N° 1: Diseño de ejecución de la investigación. Elaboración propia

2.2. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente1 : Estudio de recubrimiento dieléctrico	Análisis de comportamiento de aisladores eléctricos a los fenómenos de contaminación que reducen su capacidad dieléctrica	Determinación de causas de fallas de aisladores eléctricos de AT y determinación del recubrimiento dieléctrico adecuado	Estudio Completo parcial	De razón
Variable dependiente 1: Recubrimiento dieléctrico para aislador de AT	Es la capa aislante de alta tensión de silicona, previene descargas disruptivas por corrientes de fuga en ambientes contaminados.	Recubrimiento resistente a rayos ultravioletas, temperatura, corrosión y muy repelentes del agua. Solución duradera para protección contra descargas disruptivas	Rendimiento: Bajo Mediano Elevado	De razón, mm 0..0.5 0.5...1.5 1.5...2
Variable dependiente 2: Disponibilidad	Transmisión de potencia a plena capacidad en momento preciso en que el consumidor se lo demande.	Probabilidad que una línea de transmisión esté disponible para entrar en operación en un período de tiempo dado	Disponibilidad Bajo Medio Alto	De razón, % anual < 90 90<D<95 >95
Variable interviniente 1: Contaminación medio ambiental	Es los elementos que limitan la vida y operación de una línea de transmisión, por efectos físicos, biológicos y químicos.	Características del medio ambiente de los aisladores eléctricos que reducen su capacidad dieléctrica y reducen su vida útil.	Contaminación Elevada Moderada baja	De razón >2 % 2%<D<3 >3%
Variable interviniente 2 : Variación de humedad del aire ambiente	Es el contenido de las partículas del vapor de agua en el aire, el cual es menor para saturar completamente el aire.	La fracción porcentual de húmeda, se determina en función a la densidad del vapor de saturación.	Humedad del aire Baja Media elevada	De razón %: 60..70 70...75 75...100

Tabla N° 1: Operacionalización de las variables de investigación. Elaboración propia

2.3. Población, muestra y muestreo

2.3.1. Población: Líneas de transmisión de electricidad en Alta Tensión del Departamento La Libertad.

2.3.2. Muestra: Línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao en Alta Tensión

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnica	Instrumento	Objeto	Objetivos
Observación	Fichas de observación de procesos y sistemas	Línea de transmisión en alta tensión Trujillo Norte – Santiago de Cao	Conocer las instalaciones de la línea de transmisión y los componentes del sistema de protección así como los fenómenos que la afectan
Entrevistas	Fichas de consultas	Personal de operación y de mantenimiento de Línea de transmisión en AT	Definir aspectos de operación y de mantenimiento, así como escuchar propuestas de mejoras
Encuestas	Fichas de encuestas	Personal ejecutivo de Línea de transmisión en AT	Definir prioridades y su proyección en seguridad operacional, ver tecnologías maduras de recubrimiento
Mediciones	Fichas de mediciones	Línea de transmisión en alta tensión Trujillo Norte – Santiago de Cao	Determinar la reducción del aislamiento dieléctrico y proyectar su duración
Análisis registro de datos	Fichas de registro de datos	Línea de transmisión en alta tensión Trujillo Norte – Santiago de Cao	Determinar variación de parámetros en el tiempo y su intensidad para determinar la disponibilidad actual y proyectada de la línea de transmisión en AT
Análisis documental	Fichas bibliográficas	Literatura de especialidad sobre aisladores de alta tensión y sus recubrimientos protectores	Definir metodologías, materiales y fórmulas a utilizar para los aisladores de alta tensión

Tabla N° 2: Técnicas e instrumentos de evaluación en la investigación. Elaboración propia

2.5. Procedimiento

Con las fichas de observación se realizará la inspección visual de los aisladores de alta tensión, para definir su estado, modo de operación, las variables del proceso de protección.

Con las fichas de referencias, se investigarán en tesis previas para determinar los métodos aplicados y analizar las conclusiones y recomendaciones, que puedan servir como guía en la aplicación de criterios técnicos y metodológicos en la investigación.

Con la ayuda de las fichas bibliográficas se investigará en la literatura de especialidad, libros y artículos científicos, para seleccionar las fórmulas necesarias a ser aplicadas, así como el método más eficaz para establecer una solución al problema de investigación, de definir el adecuado recubrimiento dieléctrico de aisladores de alta tensión.

Con las fichas de registro de datos se realizará el análisis de ingeniería, desarrollando los objetivos de la investigación, para determinar las propiedades y el tipo de recubrimiento dieléctrico en aisladores de alta tensión.

Aplicando la guía metodológica se hará la discusión de resultados, interpretando sus valores, su modo de aplicación, tendencias, precisión, confiabilidad y precisión, además de la dependencia de las variables de proceso, también se establecerán las conclusiones del desarrollo de cada objetivo específico y las recomendaciones correspondientes.

2.6. Métodos de análisis de datos

Se harán análisis descriptivos y analíticos del comportamiento de la Línea de Transmisión en AT, aplicando los conceptos y fórmulas para Líneas eléctricas y las causas, efectos, duración de fallas, así como utilizar técnicas estadísticas descriptiva e inferencial.

Se harán análisis de reducción de protección dieléctrica en aisladores

Se efectuarán mediciones de espesor de aislamiento

Se determinará el efecto de reducción de aislamiento dieléctrico y su fallas

Se determinará la disponibilidad de la línea de transmisión actual y proyectada

Se seleccionará el recubrimiento dieléctrico en base a la tensión de ruptura del aislante y la vida útil proyectada, con técnicas de sistemas de protección eléctrica

Análisis económico financiero

Se preparan los presupuestos de inversión, se estiman los beneficios económicos brutos y netos, el valor actual neto (VAN); el período de retorno de la inversión (PRI). En base a un flujo de caja económico financiero, considerando la tasa de interés respectiva, para determinar la rentabilidad.

2.7. Aspectos éticos

La investigación es propia, pertenece al autor, que hace un trabajo de campo en la zona de estudio, recopilando datos y sugerencias, aplicando las técnicas de ingeniería eléctrica para establecer la mejor solución para asegurar el aislamiento dieléctrico de los aisladores en el tiempo. No hay plagio de ningún tipo

III. RESULTADOS

3.1 Diagnosticar la situación actual de la performance de los aisladores en alta tensión: tiempos de operación continua, causas de fallas, cuantificar las fallas, en tiempo y en valor económico, confiabilidad y disponibilidad actual de la línea eléctrica.

Se utilizará las fichas de registro de datos de fallas operacionales en la línea de transmisión L-1118/138 Kv, suministrada por Hidrandina S.A

3.1.1. Tiempo de operación continua de la línea de transmisión L-1118/138 Kv

Según los datos suministrados por la empresa de distribución de energía, el tiempo acumulado de desconexión por fallas en la línea de transmisión L-1118/138 Kv,

Año 2019:

- Número de fallas: 5
- Tiempo duración de fallas: 10.99 h/año
- Tiempo total de operación anual: 8749.01 h
- Tiempo de operación continua, hasta la falla: 1749.80 h

Los datos de los años 2019, hasta el 2015 se presentan en la siguiente tabla:

	Tiempo total perdido por falla	Tiempo total de operación	Número de fallas anuales	Tiempo promedio continuo de operación hasta la falla
	h	h		h
2019	10.99	8749.01	5	1,749.80
2018	27.74	8732.26	4	2,183.07
2017	25.92	8734.08	3	2,911.36
2016	19.46	8740.54	3	2,913.51
2015	21.08	8738.92	6	1,456.49

Tabla N° 3: Parámetros de operación línea de transmisión L-1118/138 Kv. Elaboración Propia.

Desde enero 2015 hasta septiembre 2019 el tiempo acumulado de desconexión de la línea de transmisión por fallas es de 318.6 h.

3.1.2. Causas de fallas en línea de transmisión L-138/138 Kv

- Descarga a tierra por falla de aisladores debido a contaminación

- Hurto de accesorios eléctricos
- Desconexión por sobrecargas

3.1.3. Cuantificación de fallas de línea de transmisión L- 1118/138 Kv

3.1.3.1. Cuantificación técnica: Energía eléctrica dejada de vender por desconexión de la línea L-1118/138 Kv por fallas:

La energía eléctrica anual (EE), dejada de vender en la línea 1118/138 Kv, por fallas se calcula con la siguiente ecuación:

$$EE_{anual} \left(\frac{kw - h}{año} \right) = \sum_{i=1}^n P_i(kw) * T_{poi} \left(\frac{h}{vez} \right)$$

Y cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Fecha de ocurrencia de falla	Tiempo de duración de la falla, h	Potencia en línea, Mw	Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h	Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año	Año
22/09/2019 09:45	0.23	9.5	2,185.00	83,141.00	2019
10/07/2019 09:12	1.24	8.3	10,292.00		
18/06/2019 08:26	0.06	22	1,320.00		
10/03/2019 09:57	0.14	16	2,240.00		
27/01/2019 08:00	9.32	7.2	67,104.00		
22/07/2018 08:00	9.85	6	59,100.00	245,854.00	2018
27/02/2018 18:13	1.73	0	0.00		
18/02/2018 13:50	12.58	8.3	104,414.00		
26/01/2018 16:23	3.58	23	82,340.00		
11/08/2017 20:25	6.49	8.68	56,333.20	212,586.00	2017
9/07/2017 09:34	9.61	6	57,660.00		
29/01/2017 13:55	9.82	10.04	98,592.80		
24/07/2016 10:09	9.54	9	85,860.00	148,802.80	2016
9/06/2016 18:02	0.43	13.96	6,002.80		
31/01/2016 15:52	9.49	6	56,940.00		
20/11/2015 18:04	0.27	9.2	2,484.00	95,636.00	2015
14/07/2015 17:35	0.23	0	0.00		
12/07/2015 12:15	10.2	2.2	22,440.00		
19/06/2015 17:36	0.42	19.6	8,232.00		
19/06/2015 15:20	0.2	19.6	3,920.00		
11/01/2015 13:12	9.76	6	58,560.00		

Tabla N° 4: Cuantificación de la energía eléctrica dejada de transmitir por fallas en la línea de transmisión L -1118/138 Kv. Elaboración propia. Fuente: Hidrandina S.A

3.1.3.2. Cuantificación económica de la energía eléctrica dejada de vender por fallas en la línea de transmisión L-1118/138 Kv.

Se determina el impacto económico negativo por dejar de vender energía eléctrica en la línea de 138 Kv por fallas en el sistema.

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{econ} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{año}} \right) = EE_{anual} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{año}} \right) * P_{v-unit-EE} \left(\frac{\text{Soles}}{\text{kw-h}} \right)$$

Siendo Pv-unit-EE = Precio unitario de venta de la energía eléctrica: 0.18 soles/kw-h

Año 2019:

- Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año: 83,141 kw-h/año
- Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año:
 $0.18 \text{ soles/kw-h} * 83,141 \text{ kw-h/año} = 14,965.38 \text{ soles/año}$

Año 2018:

- Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año: 245,854.00 kw-h/año
- Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año:
 $0.18 \text{ soles/kw-h} * 245,854 \text{ kw-h/año} = 44,253.72 \text{ soles/año}$

Año 2017:

- Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año: 212,586.00 kw-h/año
- Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año:
 $0.18 \text{ soles/kw-h} * 212,586.00 \text{ kw-h/año} = 38,265.48 \text{ soles/año}$

Año 2016:

- Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año: 148,802.80 kw-h/año
- Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año:
 $0.18 \text{ soles/kw-h} * 148,802.80 \text{ kw-h/año} = 26,784.50 \text{ soles/año}$

Año 2015:

- Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año: 95,636.00 kw-h/año
- Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año:

$$0.18 \text{ soles/kw-h} * 95,636.00 \text{ kw-h/año} = 17,214.48 \text{ soles/año}$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Fecha y hora de ocurrencia de falla	Tiempo de duración de la falla, h	Potencia en línea, Mw	Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h	Energía eléctrica dejada de transmitir, Kw-h/año	Precio unitario de venta de EE, soles/kw-h	Pérdida económica anual por dejar de vender EE, soles/año	Año
22/09/2019 09:45	0.23	9.5	2,185.00	83,141.00	0.18	14,965.38	2019
10/07/2019 09:12	1.24	8.3	10,292.00				
18/06/2019 08:26	0.06	22	1,320.00				
10/03/2019 09:57	0.14	16	2,240.00				
27/01/2019 08:00	9.32	7.2	67,104.00				
22/07/2018 08:00	9.85	6	59,100.00	245,854.00	0.18	44,253.72	2018
27/02/2018 18:13	1.73	0	0.00				
18/02/2018 13:50	12.58	8.3	104,414.00				
26/01/2018 16:23	3.58	23	82,340.00				
11/08/2017 20:25	6.49	8.68	56,333.20	212,586.00	0.18	38,265.48	2017
9/07/2017 09:34	9.61	6	57,660.00				
29/01/2017 13:55	9.82	10.04	98,592.80				
24/07/2016 10:09	9.54	9	85,860.00	148,802.80	0.18	26,784.50	2016
9/06/2016 18:02	0.43	13.96	6,002.80				
31/01/2016 15:52	9.49	6	56,940.00				
20/11/2015 18:04	0.27	9.2	2,484.00	95,636.00	0.18	17,214.48	2015
14/07/2015 17:35	0.23	0	0.00				
12/07/2015 12:15	10.2	2.2	22,440.00				
19/06/2015 17:36	0.42	19.6	8,232.00				
19/06/2015 15:20	0.2	19.6	3,920.00				
11/01/2015 13:12	9.76	6	58,560.00				

Tabla N° 5: Cuantificación económica anual por interrupción de venta de energía eléctrica debido a fallas en Línea 1118/138 Kv. Elaboración propia. Fuente: Hidrandina S.A

3.1.4. Confiabilidad de línea de transmisión L-1118/138 Kv

Se determina la confiabilidad de la línea de transmisión en base a un año de operación, es decir, a 8760 h, como tiempo base. Se considera que la línea de transmisión se encuentra en el período de vida útil, y la confiabilidad (Posibilidad que el sistema opere sin falla en un período de tiempo t).

Año 2019:

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF: 1749.80 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/1749.80 = 5.72 \cdot 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760 h} = e^{-\lambda \cdot T} = e^{-5.72 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = \mathbf{0.67 \%}$$

Año 2018:

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF: 2183.07 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/2183.07 = 4.58 \cdot 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760 h} = e^{-\lambda \cdot T} = e^{-4.58 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = \mathbf{1.81 \%}$$

Año 2017:

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF: 2,911.36 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/2,911.36 = 3.44 \cdot 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760 h} = e^{-\lambda \cdot T} = e^{-3.44 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = \mathbf{4.93 \%}$$

Año 2016:

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF: 2,913.51 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/2,913.51 = 3.43 \cdot 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760 h} = e^{-\lambda \cdot T} = e^{-3.43 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = \mathbf{4.94 \%}$$

Año 2015:

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF: 1,456.49 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/1,456.49 = 6.86 \cdot 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760 h} = e^{-\lambda \cdot T} = e^{-6.86 \cdot 10^{-4} \cdot 8760} = \mathbf{0.24 \%}$$

Las confiabilidades actuales anuales, son muy bajas

3.1.5. Disponibilidad de línea de transmisión de L-1118/138 Kv

Año 2019:

Tiempo calendario, h: 8,760 h

Tiempo neto anual de operación: 8,749.01 h

Disponibilidad anual:

$$D_{2019} = \frac{T_{po\ neto-oper}}{T_{po\ calend}} = \frac{8,749.01}{8,760} * 100 = 99.87 \%$$

Año 2018:

Tiempo calendario, h: 8,760 h

Tiempo neto anual de operación: 8,732.26 h

Disponibilidad anual:

$$D_{2018} = \frac{T_{po\ neto-oper}}{T_{po\ calend}} = \frac{8,732.26}{8,760} * 100 = 99.68 \%$$

Año 2017:

Tiempo calendario, h: 8,760 h

Tiempo neto anual de operación: 8,734.08 h

Disponibilidad anual:

$$D_{2017} = \frac{T_{po\ neto-oper}}{T_{po\ calend}} = \frac{8,734.08}{8,760} * 100 = 99.704 \%$$

Año 2016:

Tiempo calendario, h: 8,760 h

Tiempo neto anual de operación: 8,740.54 h

Disponibilidad anual:

$$D_{2016} = \frac{T_{po\ neto-oper}}{T_{po\ calend}} = \frac{8,740.54}{8,760} * 100 = 99.77 \%$$

Año 2015:

Tiempo calendario, h: 8,760 h

Tiempo neto anual de operación: 8,738.92 h

Disponibilidad anual:

$$D_{2015} = \frac{T_{po\ neto-oper}}{T_{po\ calend}} = \frac{8,738.92}{8,760} * 100 = 99.76 \%$$

La disponibilidad anual en la línea de transmisión L-1118/138 Kv, desde 2015 hasta 2019 es bastante buena, superior al 99 %

Llegada de la línea L-1118/138 kv a la SE de Potencia Santiago de cao, para alimentar de servicio eléctrico a la Provincia de Acope, mediante la transformación de un nivel de tensión de 138kv a 34.5/13.2 kv

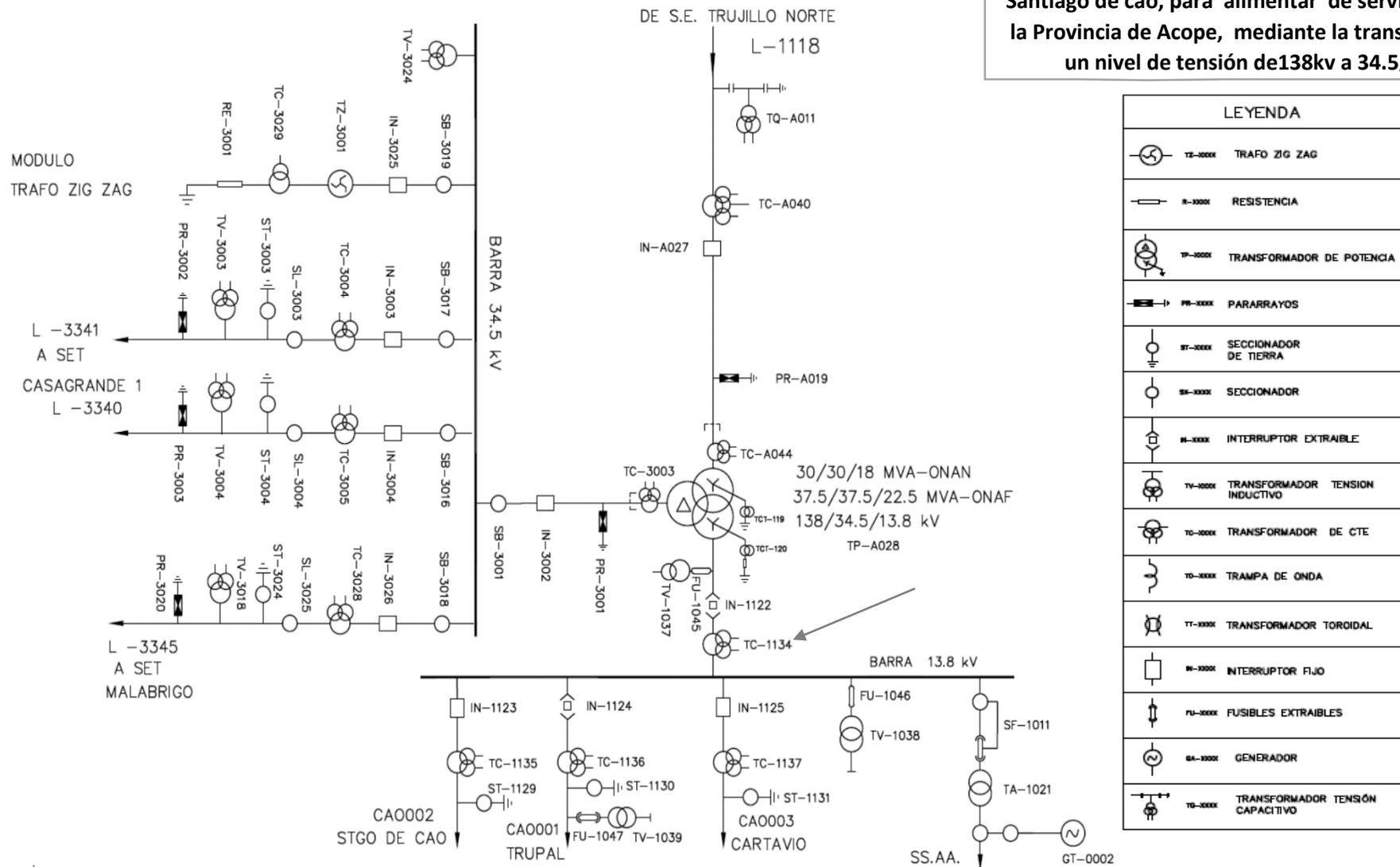


Figura N° 2: Diagrama unifilar Línea de transmisión en AT. 138 Kv, Santiago de Cao. Fuente: Hidrandina S.A

3.2 Cálculo de indicadores de fiabilidad, SAIDI y SAIFI

Para reflejar la severidad o significancia de una interrupción, se utilizan los indicadores SAIFI y SAIDI, que son los más utilizados en las evaluaciones de confiabilidad de un sistema eléctrico

3.2.1 Cálculo del SAIFI de la línea 1118/138 kv

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Número de interrupciones de clientes}}{\text{Número de clientes}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

En la cual:

λ : Tasa de fallas, o tasa de interrupciones, veces/año

N_i : Número de clientes afectados

En el presente caso, se considera un solo consumidor, que sería la Línea de 138 kv
La evaluación sería por año.

- **SAIFI en año 2019**
- Número de fallas: 5
- Número de clientes afectados: 1 (Línea 138 KV)

$$\text{SAIFI}_{\text{Línea 138 kV-2019}} = \frac{5 * 1}{1} = 5 \frac{\text{Fallas}}{\text{usuario - año}}$$

- **SAIFI en año 2018**
- Número de fallas: 4
- Número de clientes afectados: 1 (Línea 138 kV)

$$\text{SAIFI}_{\text{Línea 138 kV-2018}} = \frac{4 * 1}{1} = 4 \frac{\text{Fallas}}{\text{usuario - año}}$$

- **SAIFI en año 2017**
- Número de fallas: 3
- Número de clientes afectados: 1 (Línea 138 kV)

$$\text{SAIFI}_{\text{Línea 138 kV-2017}} = \frac{3 * 1}{1} = 3 \frac{\text{Fallas}}{\text{usuario - año}}$$

- **SAIFI en año 2016**
- Número de fallas: 3
- Número de clientes afectados: 1 (Línea 138 kv)

$$\text{SAIFI}_{\text{Línea 138 kV-2016}} = \frac{3 * 1}{1} = 3 \frac{\text{Fallas}}{\text{usuario - año}}$$

- **SAIFI en año 2015**
- Número de fallas: 6
- Número de clientes afectados: 1 (Línea 138 kv)

$$\text{SAIFI}_{\text{Línea 138 kV-2015}} = \frac{6 * 1}{1} = 6 \frac{\text{Fallas}}{\text{usuario - año}}$$

3.2.2 Cálculo del SAIDI en línea 1118/138 kv

$$\text{SAIDI: } \frac{\text{Duración de interrupciones de clientes}}{\text{Número de clientes}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

ri: duración de fallas, horas/falla

λ: Tasa de fallas, o tasa de interrupciones, veces/año

Ni: Número de clientes afectados

En el presente caso, se considera un solo consumidor, que sería la Línea de 138 kv

La evaluación se hace por año.

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2019

Tasa de fallas: 5 fallas por año

Duración de falla: 2.198 h/falla

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{Línea 138 kV-2019}} &= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{5 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 2.198 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 1 \text{ cliente}}{1 \text{ cliente}} \\ &= 10.99 \frac{\text{h}}{\text{cliente - año}} \end{aligned}$$

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2018

Tasa de fallas: 4 fallas por año

Duración de falla: 6.935 h/falla

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{Línea 138 kV-2018}} &:= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{4 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 6.935 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 1 \text{ cliente}}{1 \text{ cliente}} \\ &= 27.74 \frac{\text{h}}{\text{cliente} - \text{año}} \end{aligned}$$

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2017

Tasa de fallas: 3 fallas por año

Duración de falla: 8.64 h/falla

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{Línea 138 kV-2017}} &:= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{3 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 8.64 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 1 \text{ cliente}}{1 \text{ cliente}} \\ &= 25.92 \frac{\text{h}}{\text{cliente} - \text{año}} \end{aligned}$$

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2016

Tasa de fallas: 3 fallas por año

Duración de falla: 6.486 h/falla

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{Línea 138 kV-2016}} &:= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{3 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 6.486 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 1 \text{ cliente}}{1 \text{ cliente}} \\ &= 19.458 \frac{\text{h}}{\text{cliente} - \text{año}} \end{aligned}$$

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2015

Tasa de fallas: 6 fallas por año

Duración de falla: 3.513 h/falla

$$\begin{aligned} \text{SAIDI}_{\text{Línea 138 kV-2015}} &:= \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{6 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 3.513 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 1 \text{ cliente}}{1 \text{ cliente}} \\ &= 21.078 \frac{\text{h}}{\text{cliente} - \text{año}} \end{aligned}$$

3.2.3 Cálculo del indicador ENS (Energía no suministrada)

Es un indicador orientado a la energía como la Energía no Suministrada (ENS).

Se determina con la siguiente ecuación:

$$ENS = \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i$$

- P_i : Potencia media demandada en el componente i , kw
- Para su aplicación se utilizarán los datos de la tabla nr. 3.

ENS de línea 1118/138 kv en año 2019

Tasa de fallas: 5 fallas por año

Duración de falla: 2.198 h/falla

Potencia media en el componente: 12,600 kw

$$\begin{aligned} ENS_{\text{Línea 138 kv-2019}} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i = 5 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 2.198 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 12,600 \frac{\text{kw}}{\text{falla}} \\ &= 138,474 \frac{\text{kw} \cdot \text{h}}{\text{año}} \end{aligned}$$

ENS de línea 1118/138 kv en año 2018

Tasa de fallas: 4 fallas por año

Duración de falla: 6.935 h/falla

Potencia media en el componente: 9325 kw

$$\begin{aligned} ENS_{\text{Línea 138 kv-2018}} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i = 4 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 6.935 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 9325 \frac{\text{kw}}{\text{falla}} \\ &= 258,675.5 \frac{\text{kw} \cdot \text{h}}{\text{año}} \end{aligned}$$

ENS de línea 1118/138 kv en año 2017

Tasa de fallas: 3 fallas por año

Duración de falla: 8.64 h/falla

Potencia media en el componente: 8,240 kw

$$\begin{aligned} \text{ENS}_{\text{Línea 138 kV-2017}} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i = 3 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 8.64 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 8,240 \frac{\text{kw}}{\text{falla}} \\ &= 213,580.8 \frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{año}} \end{aligned}$$

ENS de línea 1118/138 kv en año 2016

Tasa de fallas: 3 fallas por año

Duración de falla: 6.486 h/falla

Potencia media en el componente: 9,653.33 kw

$$\begin{aligned} \text{ENS}_{\text{Línea 138 kV-2016}} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i = 3 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 6.486 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 9,653.33 \frac{\text{kw}}{\text{falla}} \\ &= 187,834.49 \frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{año}} \end{aligned}$$

ENS de línea 1118/138 kv en año 2015

Tasa de fallas: 6 fallas por año

Duración de falla: 3.513 h/falla

Potencia media en el componente: 9,433.33 kw

$$\begin{aligned} \text{ENS}_{\text{Línea 138 kV-2015}} &= \sum_{i=1}^n \lambda_i * r_i * P_i = 3 \frac{\text{fallas}}{\text{año}} * 6.486 \frac{\text{h}}{\text{falla}} * 9,433.33 \frac{\text{kw}}{\text{falla}} \\ &= 183,553.73 \frac{\text{kw} - \text{h}}{\text{año}} \end{aligned}$$

Promedio de energía eléctrica perdida por fallas en línea de 138 kv

$$\begin{aligned} E_m &= \frac{138,474 + 258,675.5 + 213,580.8 + 187,834.49 + 183,553.73}{5} \\ &= 196,423 \frac{\text{soles}}{\text{año}} \end{aligned}$$

3.2.4 Mediciones eléctricas en aisladores

3.2.4.1 Mediciones en aisladores de vidrio

Objetivo:

Determinar el valor de resistencia del aislador con y sin recubrimiento dieléctrico silgar

Instrumento utilizado: Megóhmetro Digital

Tiempos: desde 1 hasta 10 minutos

Medición de resistencia de aisladores electricos de 432 mm de linea de fuga				
Tiempo de medida minutos	Temperatura Ambiente °C	Aisaldor de Vidrio sin recubrimiento	Aislador de vidrio con recubrimiento Silgar	Cadena de 10 Aisladores con recubrimiento silgar
1 min	22.4	206 G.ohm	629 G .ohm	5.15 T.ohm
2 min	23.1	194 G. ohm	649 G. ohm	7.24 T.ohm
3 min	23.3	158 G. ohm	579 G. ohm	7.79 T. ohm
4 min	23.7	144 G.ohm	541 G. ohm	7.77 T. ohm
5 min	23.8	173 G. ohm	896 G. ohm	7.67 T. ohm
6 min	23.4	264 G. ohm	1.05 Tohm	8.58 T. ohm
7 min	23.9	286 G. ohm	1.15 T- ohm	7.82 T. ohm
8 min	24.4	291 G. ohm	1.18 T. ohm	8.65 T. ohm
9 min	25.6	300 G. ohm	1.2 T. ohm	8.51 T. ohm
10 min	24.1	302 G.ohm	1.21 T. ohm	10.7 T. ohm
Giga:	1,000,000,000			
Tera:	1,000,000,000,000			

Tabla N° 6: Valores de resistencia de aisladores con y sin recubrimiento dieléctrico. Elaboración propia.

- Temperatura promedio: 23.77 °C
- Resistencia media del aislador, sin recubrimiento: 231.8 G-Ohm
- Resistencia media del aislador contaminado en 1 año, con recubrimiento de silicona: 329.979 G-Ohm
- Resistencia media de cadena de 10 aisladores, con recubrimiento dieléctrico silgar: 7.988 T-Ohm

3.2.4.2 Mediciones de resistencia en aisladores de porcelana

Objetivo:

Determinar el valor de resistencia del aislador con y sin recubrimiento dieléctrico silgar

Instrumento utilizado: Megóhmetro Digital

Tiempos: desde 1 hasta 10 minutos

Medición de resistencia de aisladores eléctricos de 432 mm de línea de fuga				
Tiempo de medida minutos	Temperatura Ambiente	Aislador de Porcelana sin recubrimiento	Aislador de porcelana contaminado en 1 año (con recubrimiento de grasa licona)	Cadena de 10 Aisladores con recubrimiento grasa licona
	°C	Gohm	Gohm	Tohm
1 min	22.4	148	187	5.15
2 min	23.1	149	328	6.24
3 min	23.3	132	415	6.79
4 min	23.7	123	466	6.77
5 min	23.8	190	195	6.67
6 min	23.4	222	184	6.58
7 min	23.9	255	97.4	6.82
8 min	24.4	263	84	7.65
9 min	25.6	246	49.4	7.51
10 min	24.1	264	39.4	9.7
Giga:	1,000,000,000			
Tera:	1,000,000,000,000			

Tabla N° 7: Valores medidos de resistencia en aisladores de porcelana. Elaboración propia

- Temperatura promedio: 23.77 °C
- Resistencia media del aislador, sin recubrimiento: 199.2 G-Ohm
- Resistencia media del aislador contaminado en 1 año, con recubrimiento de silicona: 204.52 G-Ohm
- Resistencia media de cadena de 10 aisladores, con recubrimiento dieléctrico grasa silicona: 6.988 T-Ohm

3.3 Medidas técnicas a aplicar para mejorar la confiabilidad

3.3.1 Selección del recubrimiento dieléctrico para el aislador

Debe cumplir la condición de protección contra descargas disruptivas, los flashovers en escenarios de contaminación por:

1. Sal
2. Polvo de Carbón.
3. Polvo de cemento.
4. Carbón de Caña de Azúcar.
5. Cenizas.
6. Excremento de aves.
7. Humedad producida por torres de enfriamiento.

Debe cumplir con las siguientes condiciones:

Resistencia dieléctrica.....	35.9 kv/mm
Constante dieléctrica @ 100 Hz.....	3.85
Contenido solido.....	75% del volumen
Viscosidad.....	3500-5500 CPS
Rango de temperatura de aplicación.....	32–120° F (0-50°C)
Rango de temperatura de uso	-40–300° F (-40-148°C)
Color.....	Gris o Blanco
Tiempo y temperatura de almacenamiento.....	1 año y < 77°F (25°C) *



Figura N° 3: Aplicación de recubrimiento dieléctrico para aisladores de AT. Fuente Midsun 570™ HVIC

3.3.2 Estimar frecuencia de aplicación de recubrimiento dieléctrico

Se hará en función de las pruebas de resistividad de los aisladores

3.3.3 Pruebas de resistividad de los aisladores con recubrimiento dieléctrico

Se utilizará un circuito eléctrico electrónico diseñado para pruebas de aisladores.

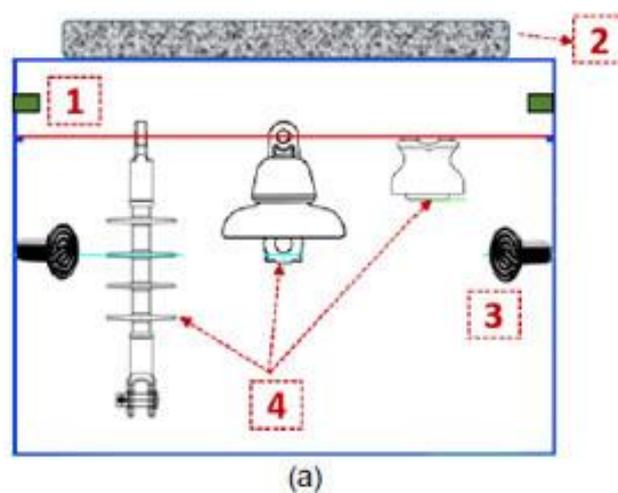
Se utilizará el método y cámara de ambiente controlado y desarrollo biológico, diseñados por Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas. La cámara es de policarbonato transparente con dimensiones, para tener un espacio suficiente para instalar hasta nueve aisladores por ciclo de contaminación.

Se usan dos lámparas cerámicas de 40 w para mantener la temperatura entre 23°C y 28°C y dos boquillas de rocío para garantizar humedad relativa superior a 80%.

Las condiciones de iluminación se ajustarán con periodos de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad mediante el uso de dos lámparas fluorescentes, con potencia de 20 W y emiten luz en el espectro visible con longitudes de onda entre 380 [nm] y 640 [nm].

La información proveniente de los sensores se registra en el micro controlador cada 30 segundos y es comparada con los valores de referencia. Luego de evaluar los datos, el micro controlador envía una señal digital a un relé que activa o desactiva las bombillas cerámicas, el sistema de rocío de alta presión o el sistema de iluminación ultravioleta. Así, se mantienen estables las condiciones ambientales necesarias para el crecimiento de los hongos *Phanerochaete chrysosporium* y *Penicillium Sp.*

Un esquema general del sistema que controla la temperatura y la humedad en el interior de la cámara se muestra en la [7\(b\)](#)



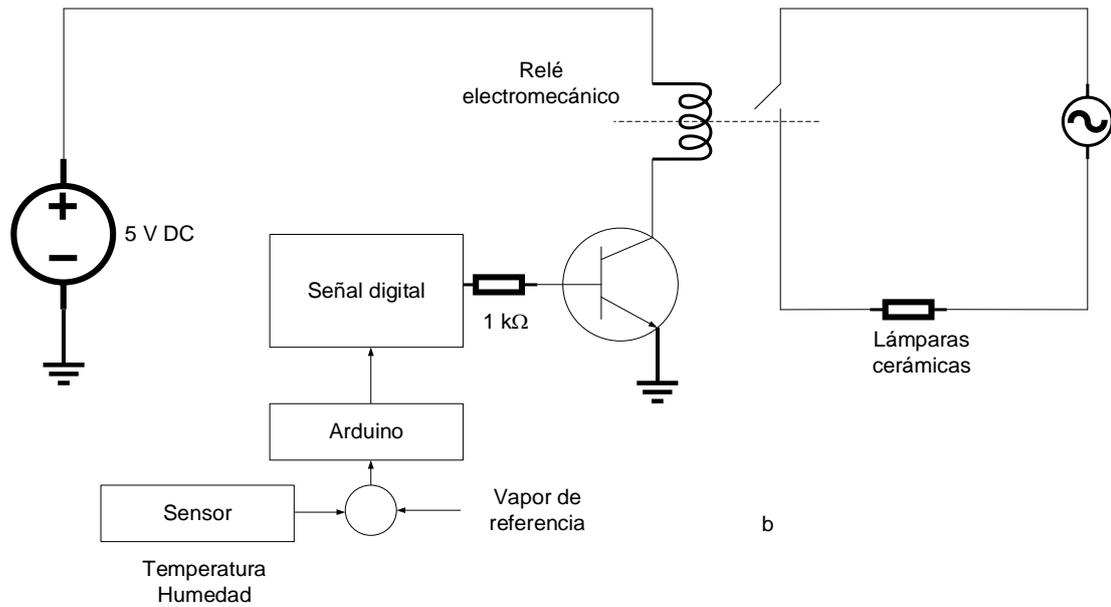


Figura N° 4: Cámara de ambiente controlado (CAC) para test de aisladores de alta tensión (a) Diagrama esquemático; (b) Esquema general de control. Fuente Rojas y Rojas

- (1) Boquillas de rocío;
- (2) Sistema de iluminación;
- (3) Lámparas de temperatura;
- (4) Aisladores de A.T.

Los valores de prueba y los admisibles serán los que determinan las normas internacionales, en este caso las normas ANSI, de la figura nr. 5, aplicando 5...30 kv a cada aislador y medir la intensidad de corriente, verificando la resistencia del aislador.

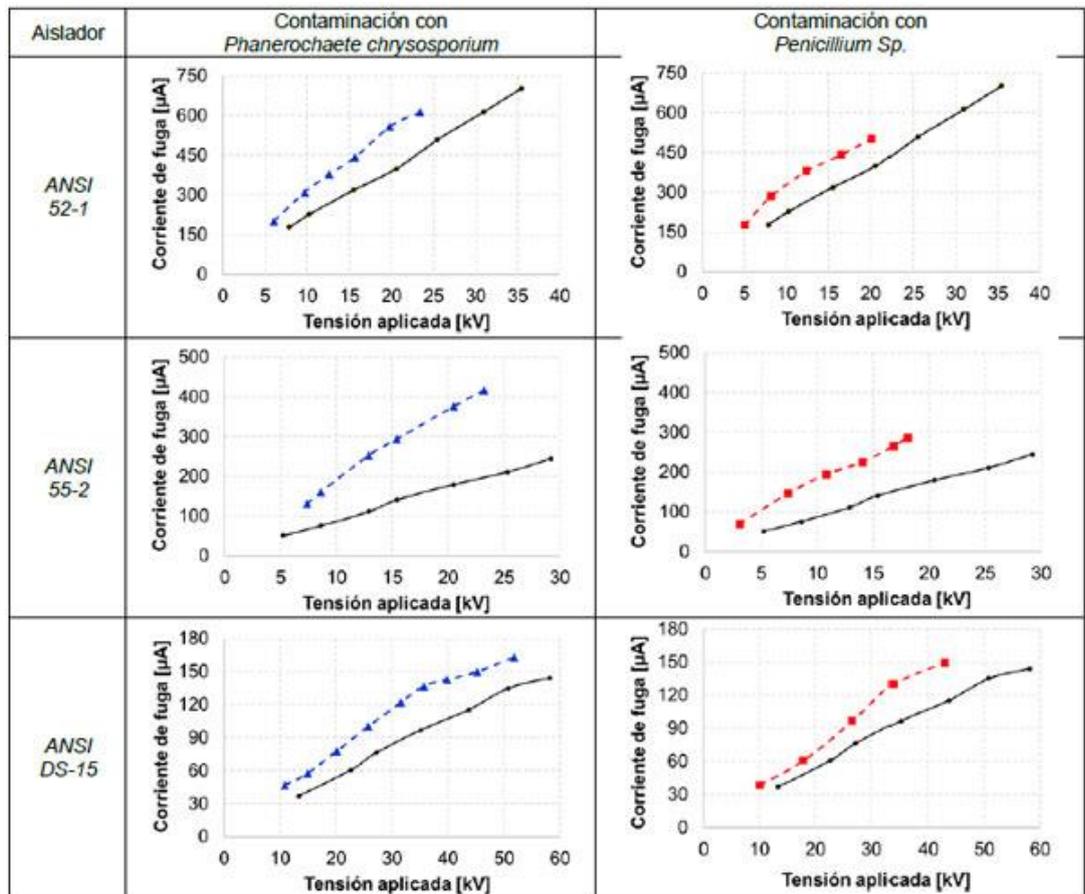


Figura N° 5: Resistividad de aisladores eléctricos en AT, según Norma ANSI. Fuente Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas (2017)

3.3.4 Plan de Mantenimiento de aisladores de Alta tensión

Tiene por objetivo el aplicar medidas con la frecuencia adecuada para asegurar el tiempo medio entre fallas lo más elevado posible y, así tener mejores indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI, así como de confiabilidad en el tiempo.

Actualmente se realiza un proceso de mantenimiento programado a los aisladores con una frecuencia de 8 horas semestral, es decir, de 16 horas por año.

La línea de alta tensión, L-1118/138 kv tiene una longitud de 27 km, a lo largo de la misma, se han dispuesto 85 postes, los cuales, a su vez, disponen de tres cadenas de aisladores, con 10 aisladores cerámicos por cadena.

Cantidad de aisladores cerámicos en la línea de 138 kV:

$$N_{r\text{ aislad-Línea } 138\text{ kV}} = N_{r\text{-postes}} * N_{r\text{-cadenas } x\text{ poste}} * N_{r\text{-aislad } x\text{ cadena}}$$

$$N_{r\text{ aislad-Línea } 138\text{ kV}} = 85\text{ postes} * 3 \frac{\text{cadenas}}{\text{poste}} * 10 \frac{\text{aisladores}}{\text{cadena}} = 2550\text{ aisladores}$$

Trabajos de mantenimiento programado que se realizan en línea 1118/138 kV:

El mantenimiento de los aisladores de alta tensión se hace en caliente, es decir, con línea energizada

a) Hidrolavado, con agua a alta presión.

- Frecuencia: una vez cada tres meses
- Duración: 8 horas/vez
- Modo de ejecución: Manual, con sistema de bombeo de alta presión: 0-500 psi, agua fría (agua desmineralizada)

b) Limpieza y aplicación manual de silicona dieléctrica

- Frecuencia: semestral
- Duración: 8 horas/vez
- Modo de ejecución: manual, la silicona se aplica en modo de recubrimiento, con la mano.

Nota: En este tipo de mantenimiento de los aisladores no se realiza un análisis del estado de los mismos, es decir, cómo varía su rigidez dieléctrica con la contaminación medio ambiental, al final, se aplica mantenimiento correctivo, cuando se produce la falla final, en ese momento se realiza el cambio de las cadenas de aisladores que fallaron.

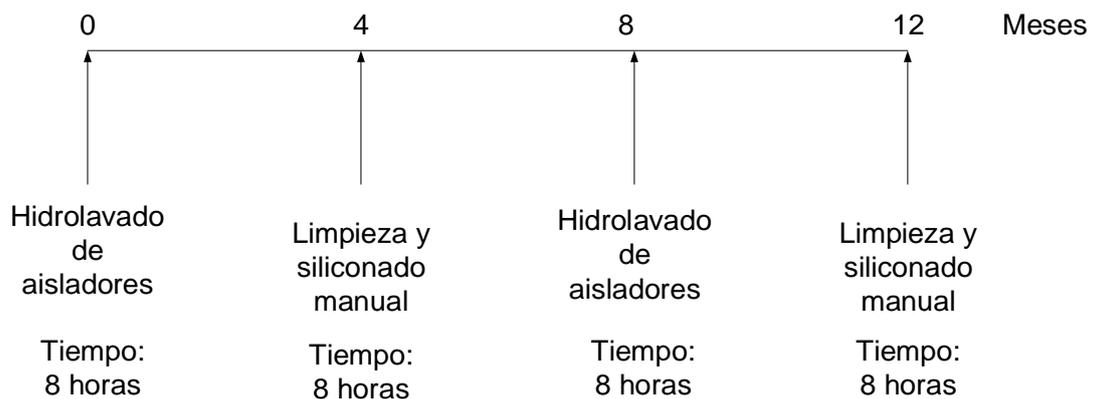


Figura N° 6: Mantenimiento programado de aisladores en la línea 1118/138kv. Elaboración propia

Se observa que existen 16 horas de mantenimiento programado anual, que reducen la disponibilidad de la línea, además de las paradas por reemplazo de aisladores debido a la contaminación ambiental.

Debido a los problemas descritos, que se traducen en pérdida de ingresos y malestar en los usuarios, se puede indicar que el sistema actual de mantenimiento no asegura alta confiabilidad ni disponibilidad de la línea, además de generar pérdidas de ingresos y deterioro de la imagen empresarial.

Se plantea la necesidad de realizar una mejora en el mantenimiento, del siguiente modo:

Cambio del modo de aplicar revestimiento dieléctrico a los aisladores, se cambiará el modo actual, de aplicación manual, tipo grasa por aplicación con pintura de silicona dieléctrica, para un mayor agarre de las capas de silicona, de alto valor dieléctrico.

Tipo de mantenimiento planteado para la Línea 138 kv:

Preventivo, asistido por técnicas predictivas

Método:

Al inicio

- Limpieza de aislador con agua a presión
- Aplicación de dos capas de pintura de silicona, con pistola de pintado neumática, asegurando una capa total de 10...15 μm sobre el aislador.
- Medición de la rigidez dieléctrica
- Entrega en servicio
- Tiempo estimado: 8 horas por poste.

A los seis meses de operación:

- Corte del servicio eléctrico por 2.5 h
- Cambio de 5 cadenas de 10 aisladores cada una, en zona de desierto
- Análisis de aisladores en laboratorio, determinando la variación de la rigidez dieléctrica debido a la contaminación ambiental. En seis meses no debe reducirse más de 2% la rigidez dieléctrica.
- Evacuación de informe del estado de aisladores
- Programación de mantenimiento preventivo en base a informe:

Tiempo de mantenimiento preventivo: 16 h/año

Tiempo estimado de corte por falla: 0 horas/año

Tiempo neto anual de operación: $8,760 - 16 = 8744\text{h}$

Disponibilidad anual:

$$D_{2019} = \frac{T_{\text{po neto-oper}}}{T_{\text{po calend}}} = \frac{8744}{8,760} * 100 = 99.8 \%$$

3.5 Estimar la confiabilidad de la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao con la aplicación del material propuesto.

- Tiempo medio de operación hasta la falla, MTTF2: 4320 h/f
- Tasa promedio de fallas: $1/4320 = 2.31 * 10^{-4}$ fallas/h = λ

Confiabilidad de operación anual (T = 8760 h)

$$R_{t=8760\text{ h}} = e^{-\lambda * T} = e^{-2.31 * 10^{-4} * 8760} = 13.22 \%$$

Se observa que la confiabilidad aumentaría desde 0.67 % hasta 13.22 %, es decir, 19.73 veces.

Nota: se considera el tiempo promedio hasta la falla igual a 4320 horas, correspondientes a seis meses de operación continua, pero no significa que falla, pues es mantenimiento preventivo predictivo

Se hizo un análisis económico de implementación de la mejora de confiabilidad de aisladores en alta tensión de 138 Kv línea Trujillo Norte – Santiago de Cao

Inversiones a realizar: 175,950 soles

Beneficio total por mejora de mantenimiento de aisladores: 83,903.24 soles/año

Período de retorno de la inversión en mejora de mantenimiento de aisladores, PRI: 2.09 años

Nota: se estima que el tiempo de vida útil de los aisladores con protección dieléctrica no es menor de 15 años

Relación beneficio neto – costo luego de recuperar la inversión:

12.79 soles beneficio/ (soles – costo mantenimiento).

IV. DISCUSIÓN

Las mediciones eléctricas en aisladores se realizaron con ayuda de un megóhmetro, con los aisladores fuera de servicio, en laboratorio, se comparó el comportamiento de aisladores de vidrio y los de porcelana, ambos recubiertos con diferentes capas protectoras. Se observó que el mejor comportamiento es en los aisladores de porcelana, con recubrimiento dieléctrico de silgar, el que tiene una resistencia residual promedio de 736.8 G-Ohm.

No se tienen los valores iniciales de la resistencia de aisladores con recubrimiento dieléctrico, pues aún no se aplicaba este método, para determinar la reducción porcentual, lo que deberá hacerse en el futuro.

Las pruebas de resistividad de los aisladores con recubrimiento dieléctrico se realizaron en un circuito eléctrico electrónico para pruebas de aisladores en laboratorio, el ambiente controlado y desarrollo biológico, diseñados por Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas, garantizando una humedad relativa de 80%. Se puede aplicar otro método, pero que sea fiable y reconocido

Para sostener los resultados a ser obtenidos, se plantea implementar un plan de mantenimiento preventivo, asistido por técnicas predictivas, que servirá de base para una futura implementación de mantenimiento basado en la confiabilidad, con la idea de establecer, antes de cumplir el tiempo medio de operación para una confiabilidad no menor a 36%, que se realice el mantenimiento preventivo, si la resistencia tiene una reducción despreciable se planteará un intervalo de tiempo entre mantenimiento superior en un 10 %, y seguir evaluando.

Es necesario indicar que el análisis se ha hecho para valores promedio, pero en la práctica se deberá diferenciar, para los aisladores que trabajan en zonas costeras, campos de cultivo y de alta velocidad de vientos y otros con lluvia frecuente, para establecer mejor el número de capas a ser aplicadas para obtener una resistencia adecuada

Nota: En este tipo de mantenimiento de los aisladores no se realiza un análisis del estado de los mismos, es decir, cómo varía su rigidez dieléctrica con la contaminación medio ambiental, al final, se aplica mantenimiento correctivo, cuando

se produce la falla final, en ese momento se realiza el cambio de las cadenas de aisladores que fallaron. Debido a los problemas descritos, que se traducen en pérdida de ingresos y malestar en los usuarios, se puede indicar que el sistema actual de mantenimiento no asegura alta confiabilidad ni disponibilidad de la línea, además de generar pérdidas de ingresos y deterioro de la imagen empresarial.

La estimación de la disponibilidad de línea por mejora en mantenimiento se hizo en base al método de tiempo calendario, tiempo neto de operación y tiempo dedicado a mantenimiento, resultando que, a pesar que el sistema tiene muy baja confiabilidad, menor al 5 % anual, tiene alta disponibilidad, menos de 80 horas de parada por año debido a fallas en aisladores, un valor bajo en relación al tiempo calendario, de 8760 horas, la disponibilidad actual supera el 99% y la proyectada alcanza el 100%, pues se dispondrá de cadenas de aisladores en stock.

En la estimación de la confiabilidad anual de la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao aplicando recubrimiento dieléctrico, se utilizó el método de tasa constante de fallas en período de vida útil de los aisladores, resultando en la actualidad entre 0.61 hasta 4.75%, debiendo ser, como mínimo de 36%, cuando el tiempo de evaluación alcance el valor del tiempo de operación hasta la falla, es inaceptable, se puede decir que el sistema no tiene confiabilidad.

El análisis económico de implementación de la mejora de confiabilidad de aisladores en alta tensión de 138 Kv línea Trujillo Norte – Santiago de Cao, arroja como resultado que, para una inversión de 175,950 soles, se obtendría un Beneficio económico total de 83,903.24 soles/año y un Período de retorno de la inversión en mejora de mantenimiento de aisladores, de 2.09 años, para el caso se estima que el tiempo de vida útil de los aisladores con protección dieléctrica no es menor de 20 años. Debido al poco monto de inversión, no es necesario hacer un análisis financiero, se puede hacer la inversión con recursos propios.

V. CONCLUSIONES

Utilizando las fichas de registro de datos de fallas operacionales en la línea Santiago de Cao, L-1118/138 Kv, suministrada por Hidrandina S A, se determinó el Tiempo de operación continua línea de transmisión 138 Kv, con los siguientes resultados:

Año 2019: 1749.80 h, Año 2018: 2,183.07 h; Año 2017: 2911.36 h, Año 2016: 2913.51 h y Año 2015: 1456.49 h. Tiempo medio de operación hasta la falla: 2188.85 h, en relación al tiempo estimado hasta la falla, de 4,500, se observa que, en promedio, el tiempo medio de operación de los aisladores hasta la falla es del 48.64 % del tiempo proyectado. Se concluye que no se cumple el mantenimiento preventivo, debido a la poca continuidad de servicio de los aisladores, menor lo programado, causando que se aplique mantenimiento correctivo en aisladores.

Se determinaron las causas de fallas en línea de transmisión L-1118/ 138 Kv, siendo las principales: Descarga a tierra por falla de aisladores debido a contaminación, Hurtos de accesorios eléctricos, Desconexión por sobrecargas

Se realizó la cuantificación de fallas de línea de transmisión L-1118/138 Kv, siendo de gran importancia las cantidades de fallas por año.

Cuantificación técnica: Energía eléctrica dejada de vender por desconexión de la línea de 138 Kv por fallas: obteniendo según los reportes obtenidos en la base de datos de la empresa Hidrandina S.A, en el Año 2019: 83,141.00 kw-h/año (enero a septiembre), en el Año 2018: 245,854.00 kw-h/año, en el Año 2017: 212,586.00 kw-h/año, en el Año 2016: 148,802.80 kw-h/año y en el Año 2015: 95,636.00 kw-h/año.

La energía activa total dejada de suministrar por fallas en aisladores de línea 1118/138 kv, debido a contaminación: 786,019.8 kw-h

Se concluye que la energía dejada de suministrar es considerable, representa 85 horas en el período analizado, cinco años

Se realizó la cuantificación económica de la energía eléctrica dejada de vender por fallas en la línea de transmisión L-1118/138 Kv.

Siendo $P_{v-unit-EE}$ = Precio unitario de venta de la energía eléctrica: 0.18 soles/kw-h, en el Año 2019: 14,965.38 soles/año, en el Año 2018: 44,253.72 soles/año, Año 2017: 38,265.48 soles/año, en el Año 2016: 26,784.50 soles/año y en el Año 2015: 17,214.48 soles/año, son Pérdidas económicas por fallas en los aisladores de la línea 1118/138 kv en el período de evaluación, 5 años: 141,483.56 soles/período

Se determinó la confiabilidad de línea de Transmisión L-1118/138 Kv, en base a un año de operación, 8760 h, como tiempo base. La línea de transmisión se encuentra en el período de vida útil, y la confiabilidad (Posibilidad que el sistema opere sin falla en un período de tiempo t). En el Año 2019: 0.67 %, en el Año 2018: 1.81 %, en el Año 2017: 4.93 %, en el Año 2016: 4.94 % y Año 2015: 0.24 %.

Se concluye que la confiabilidad anual del sistema de aislamiento en AT es muy baja, no supera el 5%, debiendo ser, como mínimo de 36%, cuando el tiempo de evaluación alcance el valor del tiempo de operación hasta la falla

Se determinó la disponibilidad de línea de Transmisión L-1118/138 Kv

Siendo esta de vital importancia para determinar la disponibilidad de la línea en estudio, en el Año 2019: 99.87 %, en el Año 2018: 99.68 %, en el Año 2017: 99.704 %, en el Año 2016: 99.77 %, en el Año 2015: 99.76 %.

Concluyendo que la disponibilidad anual en la línea de transmisión L- 1118/en 138 kv, desde 2015 hasta 2019 es bastante buena, superior al 99 %.

Cálculo de los indicadores de fiabilidad, SAIDI y SAIFI de la línea L-1118/138 kv

Se realizó el cálculo de los indicadores en los últimos 5 años, teniendo un resultado de: SAIFI en el año 2019: 5 fallas/(usuario-año), SAIFI en el año 2018: 4 fallas/(usuario-año), SAIFI en el año 2017: 3 fallas/(usuario-año), SAIFI en el año 2016: 3 fallas/(usuario-año) y SAIFI en el año 2015: 6 fallas/(usuario-año), donde el SAIFI promedio en período de evaluación: 4.2 fallas/(usuario-año). Debido a que todas las fallas ocurren antes del MTTF mínimo aceptado, de 4500 h/año, se concluye que el SAIFI de la línea 138 kv es elevado, en el período.

Se calculó el SAIDI en línea 1118/138 kv

SAIDI de línea 1118/138 kv en año 2019: 10.99 h/(cliente-año), SAIDI de línea 1118/138 kv en el año 2018: 27.74 h/(cliente-año), SAIDI de línea 1118/138 kv en el año 2017: 25.92 h/(cliente-año), SAIDI de la línea 1118/138 kv en el año 2016: 19.46 h/(cliente-año), SAIDI de la línea 1118/138 kv en el año 2015: 21.078 h/(cliente-año), donde el SAIDI promedio en el período de evaluación es de : 21.04 h/(cliente-año). Se concluye que el SAIDI es elevado, pues supera el SAIDI estimado, de 10 h/ (cliente -año).

Se realizó el cálculo del indicador ENS (Energía no suministrada)

El cálculo de la energía no suministrada en los últimos 5 años es lo siguiente: ENS de la línea 1118/138 kv en el año 2019: 138,474 kw-h/año, ENS de la línea 1118/138 kv en el año 2018: 258,675.5 kw-h/año, ENS de la línea 1118/138 kv en el año 2017: 231,580.8 kw-h/año, ENS de la línea 1118/138 kv en año 2016: 187,834.49 kw-h/año y ENS de la línea 1118/138 kv en el año 2015: 183,553.73 kw-h/año, donde el promedio de energía eléctrica perdida por fallas en línea 1118/138 kv, en el período de evaluación: 196,423 kw-h/año, es elevado.

Se realizaron mediciones eléctricas en aisladores

Mediciones en aisladores de vidrio para determinar el valor de resistencia con y sin recubrimiento dieléctrico silgar, con Megóhmetro, desde 1 hasta 10 minutos.

- Temperatura promedio: 23.77 °C
- Resistencia media del aislador, sin recubrimiento: 231.8 G-Ohm
- Resistencia media del aislador contaminado en 1 año, con recubrimiento de silicona: 329.979 G-Ohm
- Resistencia media de cadena de 10 aisladores, con recubrimiento dieléctrico silgar: 7.988 T-Ohm

Se concluye que, en 1 año, la resistencia del aislador de vidrio, con recubrimiento de silgar es superior a la resistencia sin recubrimiento: 329.979 G-Ohm contra 231.8 G-Ohm, es decir, superior en 98.179 G-Ohm, en promedio

Mediciones de resistencia en aisladores de porcelana

- Temperatura promedio: 23.77 °C
- Resistencia media del aislador, sin recubrimiento: 199.2 G-Ohm
- Resistencia media del aislador contaminado en 1 año, con recubrimiento de silicona: 204.52 G-Ohm
- Resistencia media de cadena de 10 aisladores, con recubrimiento dieléctrico grasa silicona: 6.988 T-Ohm

Se concluye que, en 1 año, la resistencia del aislador de vidrio, con recubrimiento de grasa silicona es superior a la resistencia sin recubrimiento: 204.52 G-Ohm contra 199.2 G-Ohm, es decir, superior en 5.32 G-Ohm, en promedio.

Se concluye el recubrimiento contra la contaminación ambiental, de los aisladores en alta tensión es superior en el caso de utilizar recubrimiento dieléctrico silgar, que el recubrimiento de grasa silicona, pues aseguran una resistencia residual, luego de un año de trabajo de 98.179 G-Ohm, contra solamente 5.32 G-Ohm, respectivamente, es decir, se debe usar recubrimiento dieléctrico silgar o superior.

Se elaboraron medidas técnicas a aplicar para mejorar la confiabilidad

La selección del recubrimiento dieléctrico para el aislador se hace teniendo en cuenta que debe proteger contra descargas disruptivas, los flashovers en escenarios de contaminación por Sal, Polvo de Carbón, Polvo de cemento, Carbón de Caña de Azúcar, Cenizas, Excremento de aves, Humedad producida por torres de enfriamiento. Debe tener:

Resistencia dieléctrica.....	35.9 kv mm
Rango de temperatura de aplicación.....	32–120° F (0-50°C)
Rango de temperatura de uso.....	-40–300° F (-40-148°C)

Para las pruebas de resistividad de los aisladores con recubrimiento dieléctrico se utilizará un circuito eléctrico electrónico diseñado para pruebas de aisladores, el método y cámara de ambiente controlado y desarrollo biológico, diseñados por Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas. La cámara es de policarbonato transparente con dimensiones, para tener un espacio suficiente para instalar hasta nueve aisladores por ciclo de contaminación. Se usan dos lámparas cerámicas de 40 w

para mantener la temperatura entre 23°C y 28°C y dos boquillas de rocío para garantizar humedad relativa superior a 80%.

Se preparó un Plan de Mantenimiento de aisladores de Alta tensión

Tiene por objetivo el aplicar medidas con la frecuencia adecuada para asegurar el tiempo medio entre fallas lo más elevado posible y, así tener mejores indicadores de confiabilidad SAIDI y SAIFI, así como de confiabilidad en el tiempo. Cantidad de aisladores cerámicos en la línea de 138 kv: 2550 piezas

Tipo de mantenimiento planteado para la Línea 138 kv: **Preventivo, asistido por técnicas predictivas. Método:**

Al inicio

- Limpieza de aislador con agua a presión
- Secado con aire comprimido del aislador
- Aplicación de dos capas de pintura de silicona, con pistola de pintado neumática, asegurando una capa total de 10...15 μm sobre el aislador.

- Medición de la rigidez dieléctrica
- Entrega en servicio
- Tiempo estimado: 8 horas por poste.

A los seis meses de operación:

- Corte del servicio eléctrico por 2.5 h
- Cambio de 5 cadenas de 10 aisladores cada una, en zona de desierto
- Análisis de aisladores en laboratorio, determinando la variación de la rigidez dieléctrica debido a la contaminación ambiental. En seis meses no debe reducirse más de 2% la rigidez dieléctrica.

- Evacuación de informe del estado de aisladores
- Programación de mantenimiento preventivo en base a informe:

Si rigidez dieléctrica no se redujo más de 2%, se hará mantenimiento preventivo luego de seis meses

Se reinstalarán las 5 cadenas con aisladores, luego de haberseles aplicado limpieza y, de ser el caso, recubrimiento con capa dieléctrica.

Si rigidez dieléctrica se redujo más de 2% se hará un mantenimiento luego de seis meses, por ocho horas, realizando hidrolavado y aplicación de capa de 10 milésimas de mm de silicona dieléctrica.

correspondientes a seis meses de operación continua, pero no significa que falla, pues es mantenimiento preventivo predictivo.

Se realizó un análisis económico de implementación de la mejora de confiabilidad de aisladores en alta tensión de 138 Kv línea Trujillo Norte – Santiago de Cao

Inversiones a realizar: 175,950 soles

Beneficio total por mejora de mantenimiento de aisladores: 83,903.24

soles/año

Período de retorno de la inversión en mejora de mantenimiento de aisladores,

PRI: 2.09 años

Nota: se estima que el tiempo de vida útil de los aisladores con protección dieléctrica no es menor de 15 años

Relación beneficio neto – costo luego de recuperar la inversión:

12.79 soles beneficio/ (soles – costo mantenimiento)

VI. RECOMENDACIONES:

- Se recomienda aplicar el estudio presentado, pues se demuestra que es viable, tanto desde el punto de vista técnico, como económico, el período de retorno de la inversión es de dos años, y la vida útil de los aisladores, con recubrimiento dieléctrico se estima en 20 años, contra 6, sin recubrimiento dieléctrico.
- Es necesario adquirir los instrumentos de medida considerados, tanto para medir la resistencia de los aisladores y su variación, debiendo tener la precisión adecuada.
- Al implementar el plan de mantenimiento preventivo en base a técnicas predictivas, se debe capacitar al personal que hará las mediciones y elaborará los informes.
- Se recomienda hacer un estudio de mantenimiento basado en confiabilidad, para el sistema de aisladores en alta tensión, elaborando el árbol de fallas respectivo y definiendo la confiabilidad más débil, dependiendo de las condiciones de contaminación ambiental.
- Se debe hacer un análisis de auditoría interna anual, determinando si se respeta estrictamente los procedimientos establecidos en cuanto al proceso de recubrimiento dieléctrico, así como la validación de los resultados y verificando si se realiza la retroalimentación respectiva.
- El circuito de medidas de la resistencia de aislamiento, así como de verificación del sistema de protección, deberá ser calibrado anualmente, para dar la seguridad necesaria en cuanto a la validez de los resultados.
- Se debe establecer el SAIDI, el SAIFI y el SEN en modo mensual, para determinar la gestión del sistema de distribución de energía.
- Estandarizar los tipos de aisladores en AT, se recomienda que sean del tipo de porcelana, con recubrimiento dieléctrico con poliuretano

REFERENCIAS

- CIBA- GEIG, Instruction Sheet for Araldite B (CT 200) and Hardner HT 901, Publ. Nro. 33266/e, Switzerland 1976
- BINAME, Aisladores para baja y alta tensión, Bélgica- 2008
- Cho YS, Yoon KH. Dielectric ceramics. En Nalwa HS. Editor. Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices. New York: Academic Press. 2001.
- Equipos Eléctricos CORE s.a., Boletín técnico: Aisladores soporte para baja y media tensión, México 2009
- Enríquez Harper - LIMUSA, Elementos de diseño de subestaciones eléctricas, Segunda Edición, México 2005
- Enríquez, Harper G. Técnicas de las altas tensiones, México: Limusa, 1990
- Fierro-Chávez, J.L., I. Ramírez, J. Estrada y J. Encinas, "Aplicación de aisladores no cerámicos en líneas de transmisión. Parte II: experiencia en campo, en IEEE RVP-97-AIS-11, Acapulco, México, 1997.
- Fierro-Chávez, J.L., I. Ramírez y J.C. Corona, "Evaluación en campo y laboratorio de aislamiento sintético para líneas de transmisión", en IEEE RVP-98-AIS-07, Acapulco, México, 1998.
- G. Aisladores, Guía para la limpieza de aisladores según Norma IEEE STD 957-1995 PARTE 2 no. 67, 1995.
- "Guía para la aplicación, mantenimiento y evaluación de recubrimiento de goma siliconica vulcanizada (RTV) para aisladores de cerámica tipo exterior según norma IEEE 1523-2002.
- Goudle J. Silicone rubber for electrical insulators. [en línea]. DOW Corning; 1998. [accesado 08 de diciembre del 2014]. Disponible en: http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/rubber_tech98.pdf
- Hans Von Beeren, Técnica de la alta tensión, 7ma. Reimpresión, España 1973
- Huamani Choquehuanca, Diego Armando, Salcedo Pérez, Luis Enrique. Análisis del fenómeno efecto corona en la cadena de aisladores de la línea de transmisión I- 1001 Machupicchu – Cachimayo. Tesis Ingeniero electricista. Cusco, Perú, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de ingeniería eléctrica, electrónica, Mecánica y Minas, 2015. 288 p.

- IEC 60587. Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions. 2007.
- Onofre Apaza, Gary Frank. Factibilidad del uso de aisladores Poliméricos en las redes de luz del sur. Tesis (Ingeniero Mecánico Electricista). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2006. 153 p.
- J. Zhou, B. Gao, Q. Wang, and Q. Zhang, “Leakage Current Pattern for Diagnosing the Contaminated Degree of Ceramic Insulators under Different Humidity,” 2009 Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf., pp. 1–4, Mar. 2009.
- Ramírez Vásquez, José. Materiales electrotécnicos, 2da. Edición, España 1980
- Revista de la Asociación Electrotécnica Peruana Nro. 105, Abril -2005.
- Roula A, Boudeghdegh K, Boufafa N. Improving usual and dielectric properties of ceramic high voltage insulators. Cerámica. 2009.
- Sangawar SR, H.H. Kumar HH. Alumina-based ceramic material for high-voltage ceramic substrate. Def Sci J. 2006.

- Silva Pacheco (2018) en su investigación sobre “Modelo de mantenimiento para aisladores contaminados en la línea de 220 kv Cóncores – Parinacota” en la Universidad Técnica Federico Santa María.
- Oscar Ramiro Sánchez Rodas (2005), en su trabajo de tesis sobre los efectos de la contaminación salina en las componentes de línea aéreas de mayor tensión
- Gary Frank Onofre Apaza, (2006) en su trabajo de investigación sobre factibilidad del uso de aisladores poliméricos en las redes de luz del sur
- Saguay y Torres (2011), realizaron un trabajo de investigación sobre la influencia de los dieléctricos en la prueba sometidos a altas tensiones en el servicio
- Bismarck Antonio Vigo Espino(2010), en su trabajo de tesis sobre diseño de aisladores sintéticos rígidos en base a resinas epóxicas, para media y baja tensión
- José Luis Blas Ángeles (2017). En su tesis “Implementación de un Plan de Mantenimiento efectivo para el sistema de Transmisión Eléctrica de 60 kv. 1 – 717 Zapallal – Ipen” en la Universidad Privada del Norte.
- Herbert E. Rojas y Harvey D. Rojas (2017) en su trabajo de investigación presentan un estudio sobre el comportamiento dieléctrico de aisladores tipo cerámicos (ANSI 52-2 y ANSI 55-1) y poliméricos (ANSI 4S-15) usados en sistemas eléctricos de media tensión (entre 7kV y 35 kv)
- Víctor Tejada, Dominique Plée (2016); en su trabajo de investigación sobre formulaciones cerámicas para aisladores eléctricos

- Corre, Velilla, Echeverría y Castaño (2013), realizaron su investigación sobre la eficiencia de los aisladores de porcelana cubiertos de películas de dióxido de titanio
- Pérez, Cibele, Castro, Guedes y Dantas (2012), en su análisis de investigación sobre el nono sílice aplicado a cargas RTV que son usadas para recubrir aisladores

ANEXOS

Anexo 1: Recubrimiento de silicón para aisladores de redes de AT y MT.

Midsun 570™ HVIC es un recubrimiento aislante de alta tensión de silicona RTV, que previene descargas disruptivas (flashovers) debido a corrientes de fuga en ambientes contaminados. Es altamente resistente a los rayos ultravioletas (UV), temperatura, ambientes corrosivos y es altamente repelente del agua. Es una solución de largo plazo como protección de flashovers.

Este producto puede aplicarse en línea energizada mediante herramientas especiales para dicho fin, procedimientos de trabajo seguro y personal capacitado.

Protege contra flashovers en escenarios de contaminación por:

1. Sal
2. Polvo de Carbón.
3. Polvo de cemento.
4. Carbón de Caña de Azúcar.
5. Cenizas.
6. Excremento de aves.
7. Humedad producida por torres de enfriamiento.



El recubrimiento con MIDSUN 570™ HVIC eliminará o reducirá los frecuentes trabajos de:

1. Lavado de aisladores.
2. Aplicación periódica de grasa.
3. Mantenimientos para cambio de aisladores dañados por descargas disruptivas.

Resistencia dieléctrica.....	35.9 kv/mm
Constante dieléctrica @ 100 Hz	3.85
Contenido solido.....	75% del volumen
Viscosidad.....	3500-5500 CPS
Rango de temperatura de aplicación.....	32–120° F (0-50°C)
Rango de temperatura de uso	-40–300° F (-40-148°C)
Color.....	Gris o Blanco
Tiempo y temperatura de almacenamiento.....	1 año y < 77°F (25°C) *

* Almacenar adecuadamente fuera del sol, en ambiente seco, lejos de fuentes de calor.

Anexo 2: Recubrimiento 570TM - HVIC

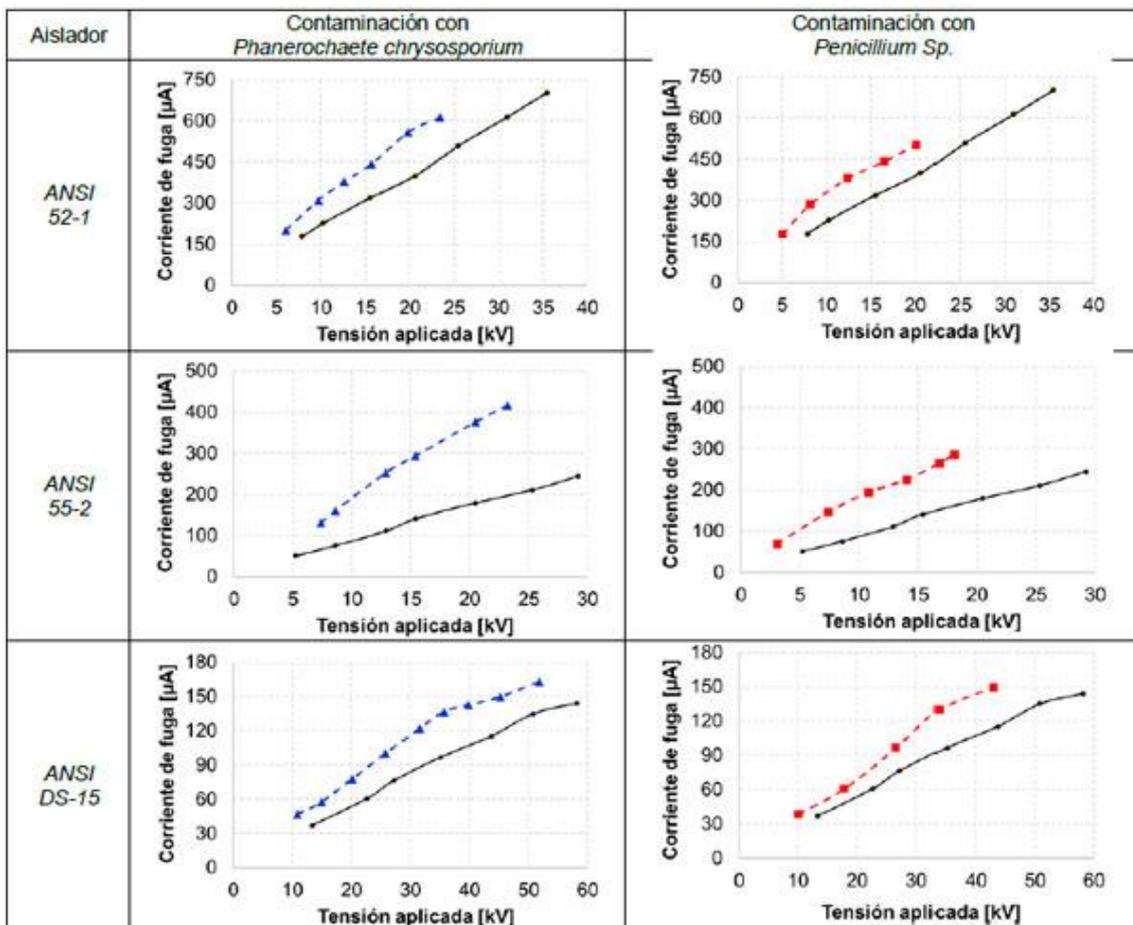
El 570TM HVIC para aisladores de A.T. es un revestimiento RTV(vulcanizado a temperatura ambiente) a base de silicona, no requiere mantenimiento y puede evitar que se produzcan corrientes de fuga, saltos de corriente (flashover) o descargas disruptivas debido a contaminación superficial. Se aplica el producto sin corte de servicio con un tiempo de vida que puede superar los 10 años.

Este producto permitirá proteger equipos y elementos de subestaciones o líneas de transmisión/distribución eléctrica de los elementos atmosféricos, ahorrándole miles de dólares en costos de mantenimiento y reparación.

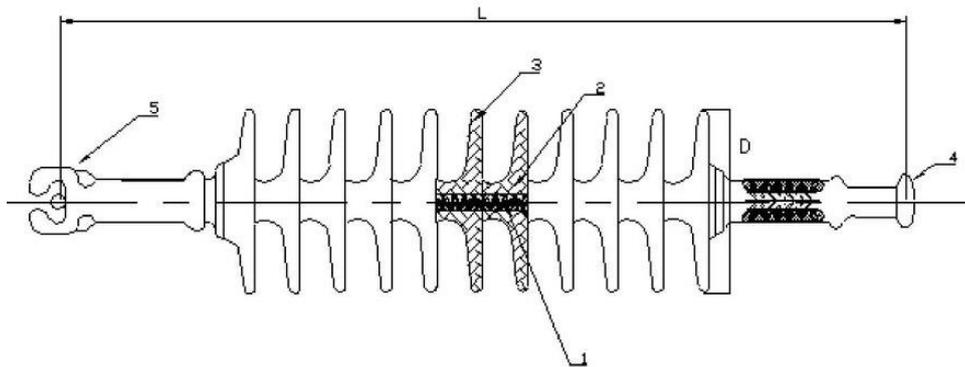




Anexo 3: Evaluación de desempeño de aisladores



Anexo 4: Aisladores Poliméricos para líneas aéreas de Alta Tensión

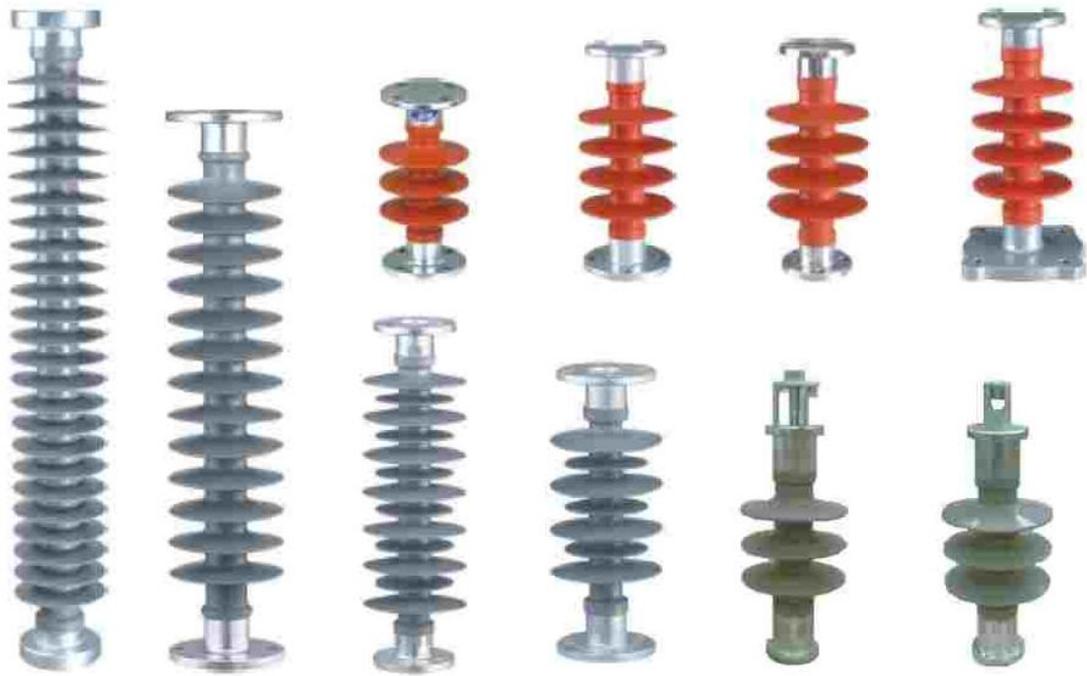


- 1: Núcleo en fibra de vidrio
- 2: cubierta o revestimiento polimérico
- 3: Campanas o faldones
- 4: Acople metálico lado de conductor
- 5: Acople metálico lado de estructura

Anexo 5: Aisladores de media y alta tensión. Fuente Silicón Technology



Anexo 6: Aisladores Poliméricos Line Post



Anexo 7: Aplicación de revestimiento dieléctrico con silicona



Anexo 8: Aislante de silicona para alta tensión



Anexo 9: Circuito de prueba de aisladores de alta tensión

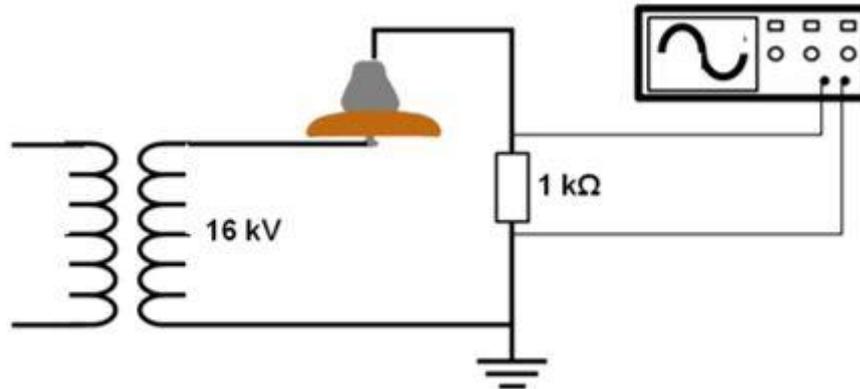
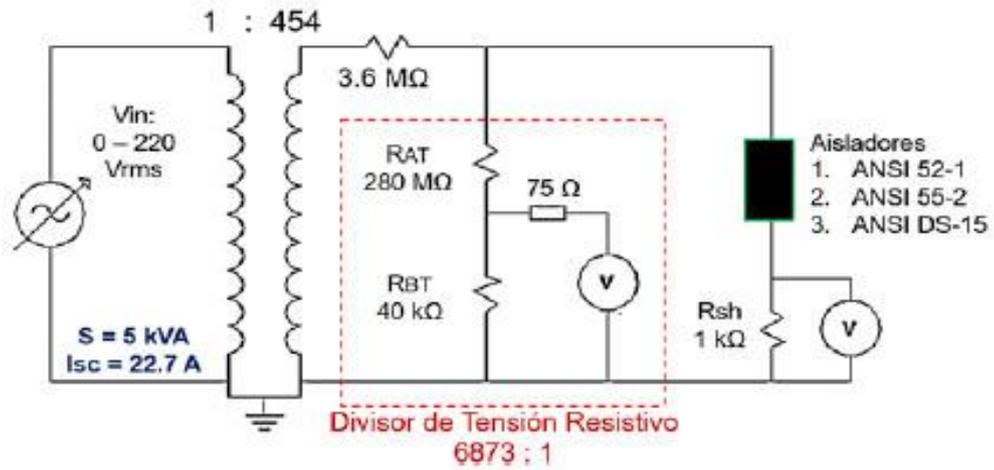
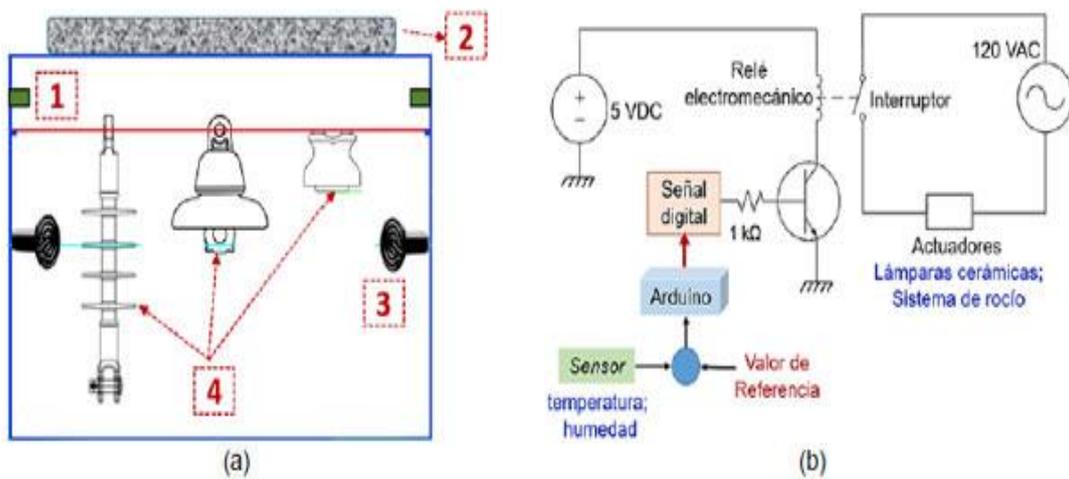


Fig. 2. Esquema de medición de la corriente de fuga.

Anexo 10: Circuito divisor de tensión resistivo para probar aisladores de alta tensión



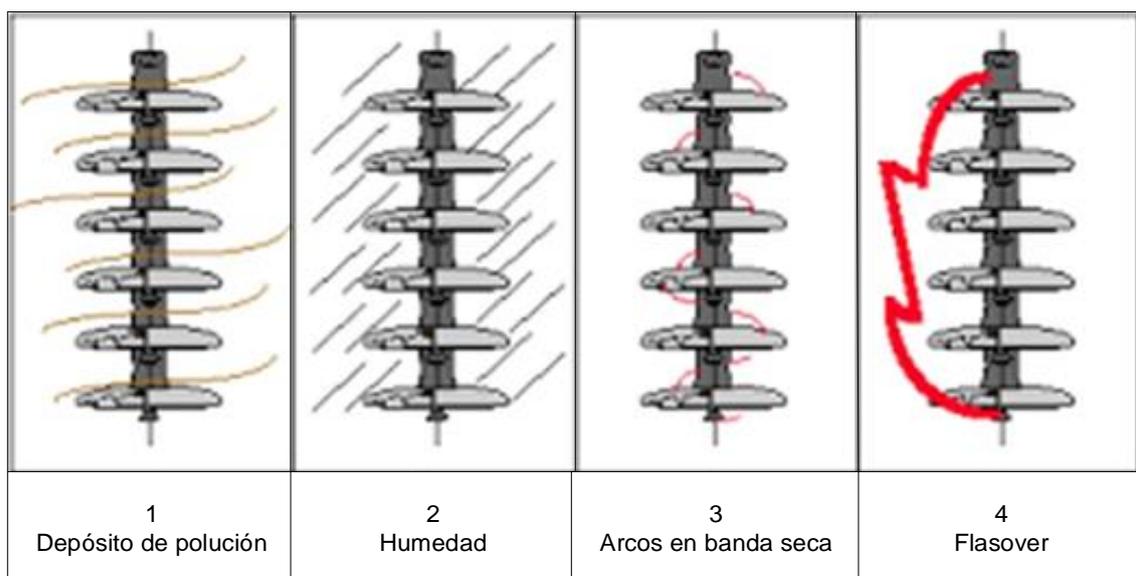
Anexo 11: Circuito Electrónico para Evaluar Aisladores



Anexo 12: Instalación de Aisladores con Recubrimiento Silgar. Fuente R Giles



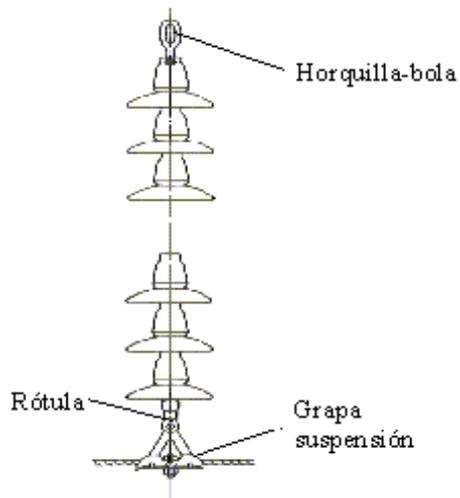
Anexo 13: Mantenimiento de Aisladores de Alta Tensión



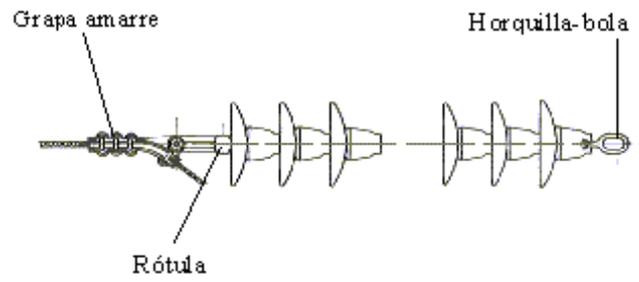
Anexo 14: Resistividad de Materiales Eléctricos

MATERIAL	CONDICIONES	RESISTIVIDAD $\Omega \cdot m$
Aceite de transformador	Líquido (20°C-25 °C)	1×10^{16}
Baquelita	(20°C-25 °C)	5.1×10^{10}
Caucho	Silicona	1×10^{11}
Celuloide	(20°C-25 °C)	2.1×10^{10}
Cuarzo	(20°C-25 °C)	$1.1 \times 10^{19} - 7.5 \times 10^{17}$
Ebonita	(20°C-25 °C)	1.5×10^{15}
Madera	Solido (20°C-25 °C)	$4.1 \times 10^{10} - 1 \times 10^{11}$
Mármol	(20°C-25 °C)	1.1×10^{10}
Mica	Mineral (20°C-25 °C)	$2.1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{11}$
Neopreno	(20°C-25 °C)	1×10^{10}
Nylon	Poliamidas	1×10^{10}
Papel	Impregnado (200C)	1×10^7
Polietileno	(20°C-25 °C)	1×10^{16}
Porcelana	(20°C-25 °C)	$7 \times 10^{12} - 1 \times 10^{20}$
PVC	(20°C-25 °C)	$10^{13} - 10^{13}$
Teflón		1×10^{13}
Vidrio	(20°C-25 °C)	5.1×10^{14}
LDPE& HDPE (polietileno reticulado)	-----	1×10^{14}

Anexo 15: Cadena de Aisladores



Aislador en cadena de suspensión



Aislador en cadena de amarre

Anexo 16: Fotos de Trabajo de Campo. Fuente R. Giles











Anexo 17: La validez de los instrumentos se realizo atravez del juicio de expertos, realizados por tres profesionales expertos en el tema. Fuente Elaboracion propia.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	✓		✓		✓		
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					✓		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					✓		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					✓		
VALIDEZ							
APLICABLE				✓	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *Arboleda Juarez Luis Alberto*

Profesión : *Ing. Mecánico Electricista*

Especialidad : *Alt. Líneas Transmision y SET'S*

Luis Alberto Arboleda Juarez
 ING. MECÁNICO ELECTRICISTA
 C.I.P. 86093

Firma del experto

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

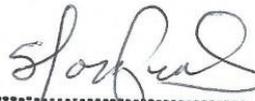
¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *Pongo Pomas Samuel Francisco*
 Profesión : *Ingeniero*
 Especialidad : *Eléctrica*



Samuel F. Pongo Pomas
 ING. ELECTRICISTA '1
 R. CIP 103671

Firma del experto

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
Aspectos Generales					Sí	No	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario.					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y nombres : *Alber Rojas Marrufo*

Profesión : *ing. mecánico electricista*

Especialidad : *líneas de transmisión*


Alber Rojas Marrufo
 Ing. Mecánico Electricista
 CIP. N° 444443

Firma del experto

Instrumento de evaluación nr.1:

HOJA DE ENCUESTA

Apellidos y nombres:

Fecha:

Escuela de Mecánica eléctrica, facultad de Ingeniería

1; Considera que en la línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv es necesario mejorar las protección dieléctrica de aisladores de alta tensión?

a) Sí b) No

Explicar la razón

2. Considera que al reducir el consumo de energía eléctrica contribuye a aumentar la seguridad operacional y se obtienen beneficios económicos para transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

a) Sí b) No

Explicar la razón

3. Considera que es importante implementar planes de protección eléctrica en transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

a) Sí, b) No

4. Conoce áreas o equipos críticos en los cuales sea necesario mejorar el sistema eléctrico en transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

Sí No

5) ¿Ha recibido capacitación en seguridad eléctrica de aisladores en alta tensión en el último año?

Sí No

6) Considera que se hace un buen mantenimiento preventivo a los componentes de aislamiento de línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

Sí No

7) Considera que la iluminación eléctrica es la adecuada en transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

Sí No

8) ¿Ha participado en pruebas de capacidad dieléctrica de aisladores en alta tensión?

Sí No

9) Tiene conocimiento de realización de auditorías eléctricas en transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 kv?

Sí No

10) Está satisfecho con los rendimientos de los actuales aisladores de alta tensión?

Sí No

Instrumento de evaluación nr. 2: Toma y registro de datos

Línea de transmisión Trujillo Norte – Santiago de Cao 1118/138 KV								
Proceso:	Protección eléctrica con aisladores de alta tensión							
Empresa:	Hidrandina S. A.							
Responsable:	Giles Cotera, Ronald Daniel							
Ítem	Horas programadas	Horas Mantto preventivo	Horas Falla	Horas netas operativas	UM	Disponibilidad mensual	Fecha	Observaciones
Ene-18	744	6	3	735	%	98.79%	25/11/19	
Feb-18	672	10	4	658	%	97.92%	25/11/19	
Mar-18	930	6	2.5	921.5	%	99.09%	25/11/19	
Abr-18	720	6	6	708	%	98.33%	25/11/19	
May-18	744	12	5	727	%	97.72%	25/11/19	
Jun-18	720	4	4	712	%	98.89%	25/11/19	
Jul-18	744	6	12	726	%	97.58%	25/11/19	
Ago-18	720	4	12	704	%	97.78%	25/11/19	
Set-18	720	3	16	701	%	97.36%	25/11/19	
Oct-18	744	4	14	726	%	97.58%	25/11/19	
Nov-18	720	5	10	705	%	97.92%	25/11/19	
Ene-19	744	10	8	726	%	97.58%	25/11/19	
Feb-19	672	6	12	654	%	97.32%	25/11/19	
Mar-19	744	10	16	718	%	96.51%	25/11/19	
Abr-19	720	10	12	698	%	96.94%	25/11/19	
Parámetros estadísticos descriptivos								
		Disponibilidad mensual						
Media aritmética de la serie		97.82%						
Mediana de la serie		97.72%						
Moda de la serie de datos		0.975806452						
Rango de la serie de datos		(96.51%; 99.09%)						
Desviación estándar de la serie de datos		0.007125264						