



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS EN AISLADORES INSPECCIÓN VISUAL, EFECTO CORONA Y TERMOGRAFÍA EN LÍNEAS DE SUBTRANSMISIÓN DE LA ZONA COSTERA DEL PAÍS PARA ESTABLECER UN PLAN DE MANTENIMIENTO Y EVALUACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORES: CALUÑA TERREROS, ERIKA KATIUSHKA
LÓPEZ CARRASCO, DAYSY VALERIA**

DIRECTOR: ING. MULLO, ÁLVARO

2019

VERSIÓN: 1.0



Planteamiento del Problema

El sistema eléctrico interconectado del Ecuador, es un sistema de barra infinita que provee de energía eléctrica sin cortes a todo el país. Pero en las líneas de Subtransmisión en zona costera por la salinidad, las condiciones ambientales como temperatura y humedad son muy elevadas disminuyen considerablemente la resistencia dieléctrica de los aisladores, y con esto provocan diferentes tipos de fallas que pueden conllevar a cortes y pérdidas de energía de la línea.



Objetivo General

Aplicar técnicas predictivas en las líneas de subtransmisión mediante el uso de equipos de inspección visual, termografía y efecto corona en aisladores en la zona costera del país para establecer un plan de mantenimiento y la evaluación técnica-económica.



Objetivos Específicos

- Investigar el estado del arte de las técnicas predictivas existentes para realizar un modelo de mantenimiento para de aisladores en alto voltaje.
- Definir una muestra de las líneas de Subtransmisión de la zona costera para analizar las anomalías relevantes asociadas a la contaminación de los aisladores.
- Diseñar un modelo aplicable al mantenimiento de aisladores en líneas de subtransmisión de 69KV, para mejorar la logística y reducir costos en las pérdidas utilizando datos históricos de CNEL-EP Sto. Domingo.



Hipótesis

Con la aplicación de técnicas predictivas en aisladores se podrá realizar un plan de mantenimiento y evaluación técnica-económica en líneas de SubTransmisión

Variables de Investigación

- ➔ **Variable Independiente:** Técnicas predictivas: inspección visual, termografía, efecto corona.
- ➔ **Variable dependiente:** Plan de mantenimiento con una evaluación técnica –económica



Técnicas predictivas

Inspección visual

Ventajas

- Es un tipo de inspección de muy bajo costo.
- También entrega información sobre otros elementos de la línea.

Desventajas

- Se debe realizar este tipo de inspección por personas que tengan experiencias y tenga la capacidad de analizar el estado del aislador de manera visual.
- No entrega datos certeros ni comparables.
- Incluso con visión aumentada es difícil detectar daños severos en un aislador con simple vista como puntos calientes o efecto corona. (Silva C. , 2018).



Introducción

Número y orden de capturas de imágenes

Se debe tomar de derecha hacia la izquierda, si al fotografiar existe aisladores de suspensión se debe considerar que el ángulo de disparo del dron será 30°.

ítem	69kV	N. de fotos
Suspensión o pasante (Aislador cadena)		
1	Foto panorámica horizontal	1
2	Línea de guarda	1
3	Cadena de aisladores por la parte superior	3
4	Cadena de aisladores por la parte inferior	6
5	si se observa anomalía crítica o importante	hasta 3
Suspensión o pasante (Aislador line post)		
1	Foto panorámica horizontal	1
2	Línea de guarda	1
3	Cadena de aisladores por la parte superior	3
4	Cadena de aisladores por la parte inferior	3
5	si se observa anomalía crítica o importante	hasta 3



Introducción

- ***Termografía***

Existen pérdidas en todas las máquinas y sistemas eléctricos, donde el paso de corriente, cargas elevadas, vibraciones, fatiga de materiales, condiciones ambientales, hacen que esa energía se transforme en calor, el cual provoca el deterioro de las superficies y fallas en los sistemas eléctricos o mecánicos. Pero este tipo de anomalías pueden ser detectadas por termografía infrarroja que visualiza los puntos de alto riesgo de falla



Introducción

Clasificación

- Termografía cualitativa

Mediante la inspección por medio de termografía infrarroja, se detecta las anomalías térmicas que dependen del tipo de trabajo pueden ser puntos calientes o fríos, que poseen temperaturas diferentes a las de condiciones normales de trabajo.

- Termografía cuantitativa

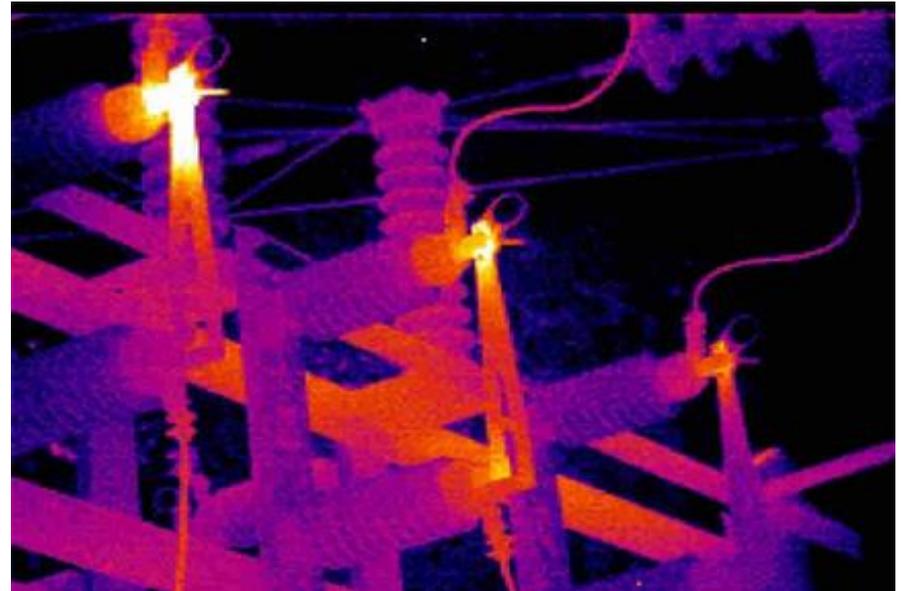
Una vez identificada la anomalía térmica, se procede a medir la temperatura, con estos datos se puede realizar un histórico para determinar si hay un incremento de temperatura, y anticiparse a la falla (Valenzuela, 2006).



Introducción

Cámara infrarroja

La energía infrarroja es el resultado de la vibración y rotación de átomos de cuerpos, y la como resultado un aumento de temperatura, siendo únicamente por la cámara infrarroja (figura 12) ya que el ojo humano solo puede ver radiación visible (Valenzuela, 2006).



Introducción

- **Funcionamiento básico**

La cámara infrarroja tiene como señal de entrada la radiación infrarroja del cuerpo para generar la imagen térmica con un espectro de colores, según la escala la temperatura es más elevada cuando se puede divisar un color blanco. La cámara toma la fotografía térmica y luego calcula e indica la temperatura de cualquier punto dentro de la imagen, ya que la radiación térmica es función de la temperatura de superficie de los objetos (Valenzuela, 2006).



Introducción

Tipos de cámaras

- **Cámaras de onda corta**

Son cámaras extremadamente sensibles que utilizan un segmento del espectro electromagnético de 0,8 a 2,5 μm (Valenzuela, 2006).

- **Cámaras de onda media**

Detectan longitudes de onda entre 2,5 – 5,5 μm , con este tipo de cámaras se puede hacer inspección en el exterior durante la noche, ya que en el día la cámara detecta una gran cantidad de reflexiones de sol, con lo cual se tiene imágenes térmicas erróneas. (Valenzuela, 2006).

- **Cámaras de onda larga**

Detectan ondas de energía en un rango de 7,5 - 14 μm , son menos sensibles y es más difícil ver reflexiones del sol en inspecciones al exterior, por lo que pueden ser utilizadas en el día y en la noche obteniendo resultados precisos, se puede aplicar en inspección de líneas de transmisión, inspección en subestaciones, inspecciones aéreas, mantenimiento industrial.



Introducción

Efecto Corona

El efecto corona se manifiesta por luminiscencia alrededor de los aisladores debido a la ionización del aire que circula por el conductor a causa de los altos niveles de voltaje, estos iones son repelidos y atraídos por el conductor a velocidades muy grandes, produciendo iones por colisión, esto ocurre cuando la diferencia de potencial supera a 30kV/cm que es conocido como voltaje crítico disruptivo en el cual el aire se ioniza (Sánchez, 2016)

Cuanto mayor sea el nivel de voltaje de la línea mayor será el gradiente eléctrico en la superficie de los cables, por lo tanto, el efecto corona será mayor. Existen otros factores que contribuyen al efecto corona como la humedad, impurezas, rugosidades, irregularidades entre otros.

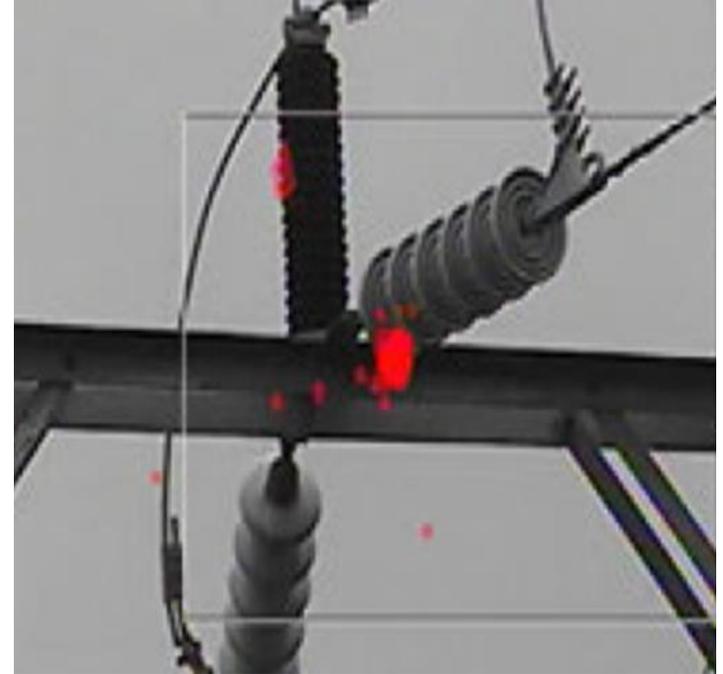


Introducción

- ***El efecto corona en cadena de aisladores***

Los aisladores no solo deben tener resistencia eléctrica suficiente para evitar el paso de la corriente a tierra, sino también para soportar condiciones mecánicas muy severas, descargas atmosféricas.

Las pérdidas unitarias por cada aislador en condiciones de buen tiempo, oscila entre 3w y 5w por disco, y en condiciones de humedad y lluvia se encuentra entre 8w y los 20w por disco, (Luis Salcedo, 2015).



Introducción

Cámara coronográfica

- La cámara CoroCAM 6D(UVICO) está diseñada para realizar inspección con luz solar, donde sus principales aplicaciones son:
- Inspección en líneas de transmisión y distribución.
- Inspección en subestaciones.
- Inspección en componentes de alta tensión.
- Inspección en generadores y motores.



Datos técnicos

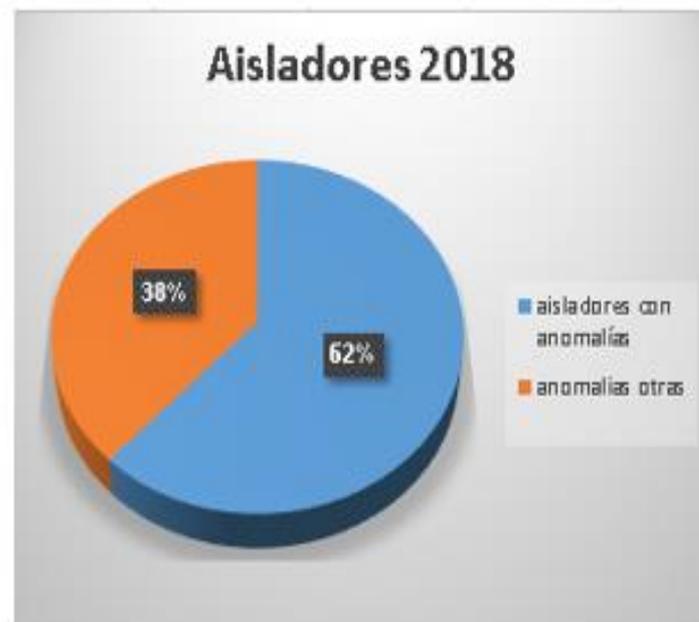
- Emisiones de UVC a $2,05 \times 10^{-18}$ / cm², esto permite la detección de las descargas pequeñas de efecto corona.
- **Cámara de video a color de alta sensibilidad** con una resolución de 768 x 675 píxeles.



Resultados de la investigación

Inspección Visual 2018

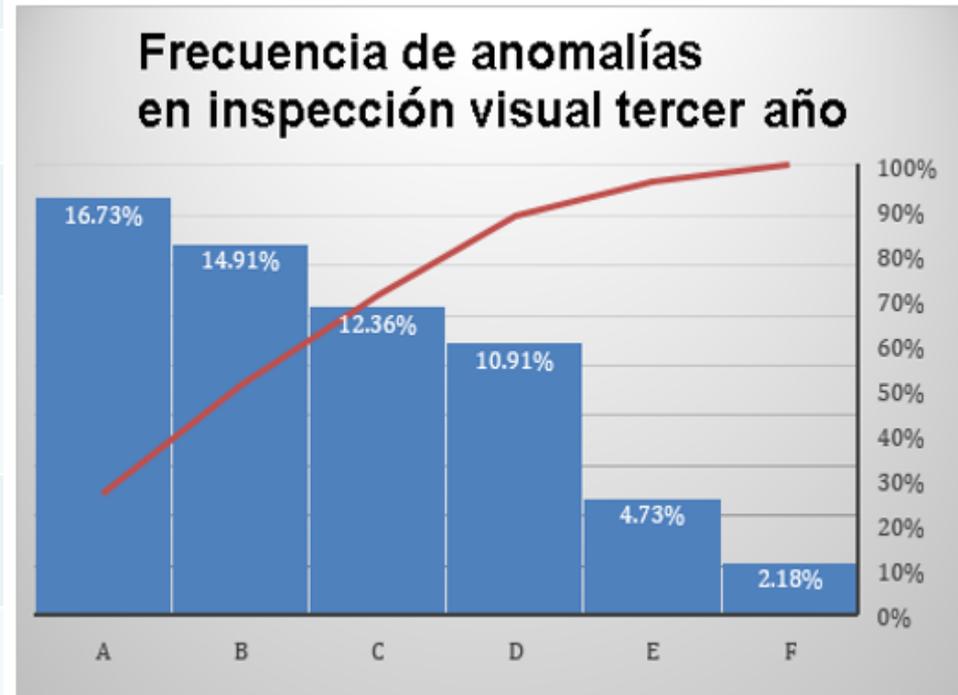
Total de puntos de inspección	Puntos con anomalías	Normales	Aisladores con anomalías	Anomalías otras
287	275	12	170	195
100%	96%	4%	62%	38%



Resultados de la investigación

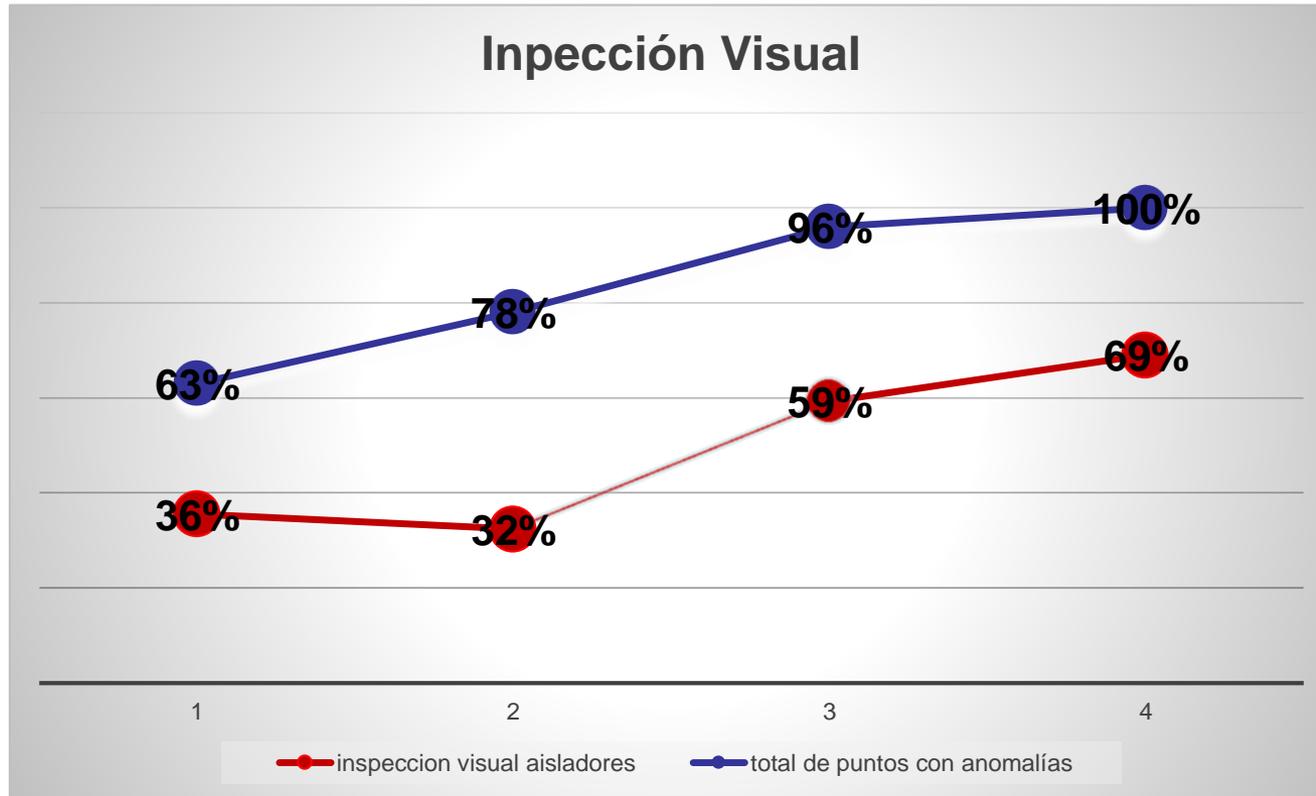
Inspección Visual 2018

Anomalías	N. de anomalías	Frecuencias
Aislador cadena desalineado (A)	46	16.73%
Aislador cadena/suspensión/vástago deteriorado (B)	41	14.91%
Aislador cadena pasador flojo, oxidado o faltante (C)	34	12.36%
Aislador cadena/suspensión/sopORTE vástago o caperuza oxidado (D)	30	10.91%
Aislador cadena/suspensión/sopORTE polución(E)	13	4.73%
aislador cadena/suspensión/sopORTE roto(F)	6	2.18%
Total	170	61.82%



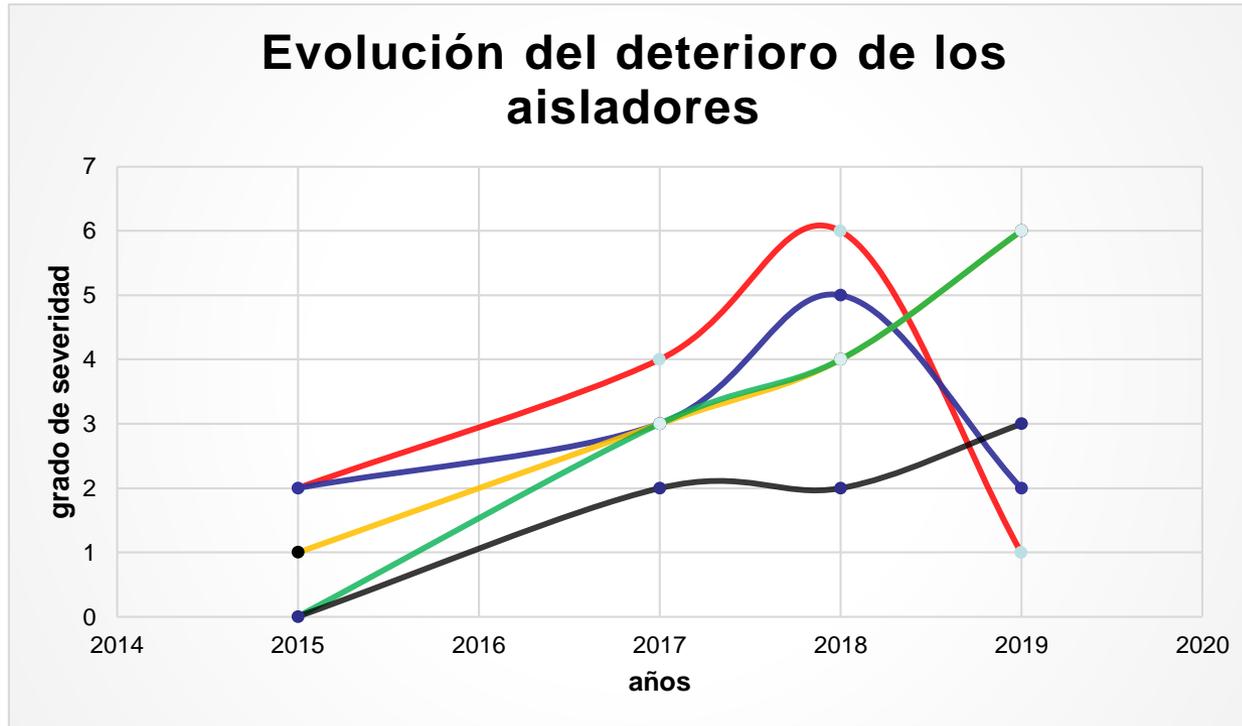
Resultados de la investigación

Comportamiento de anomalías



Resultados de la investigación

Deterioro de los aisladores

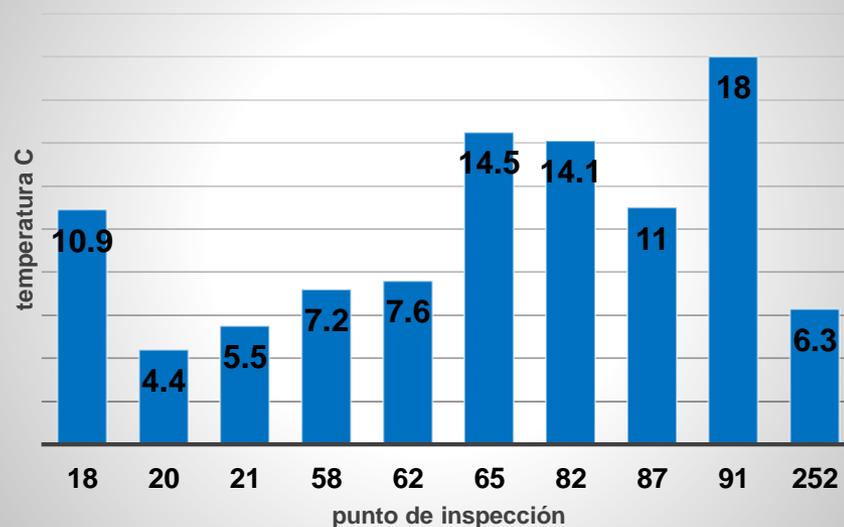


Resultados de la investigación

Inspección termográfica 2018

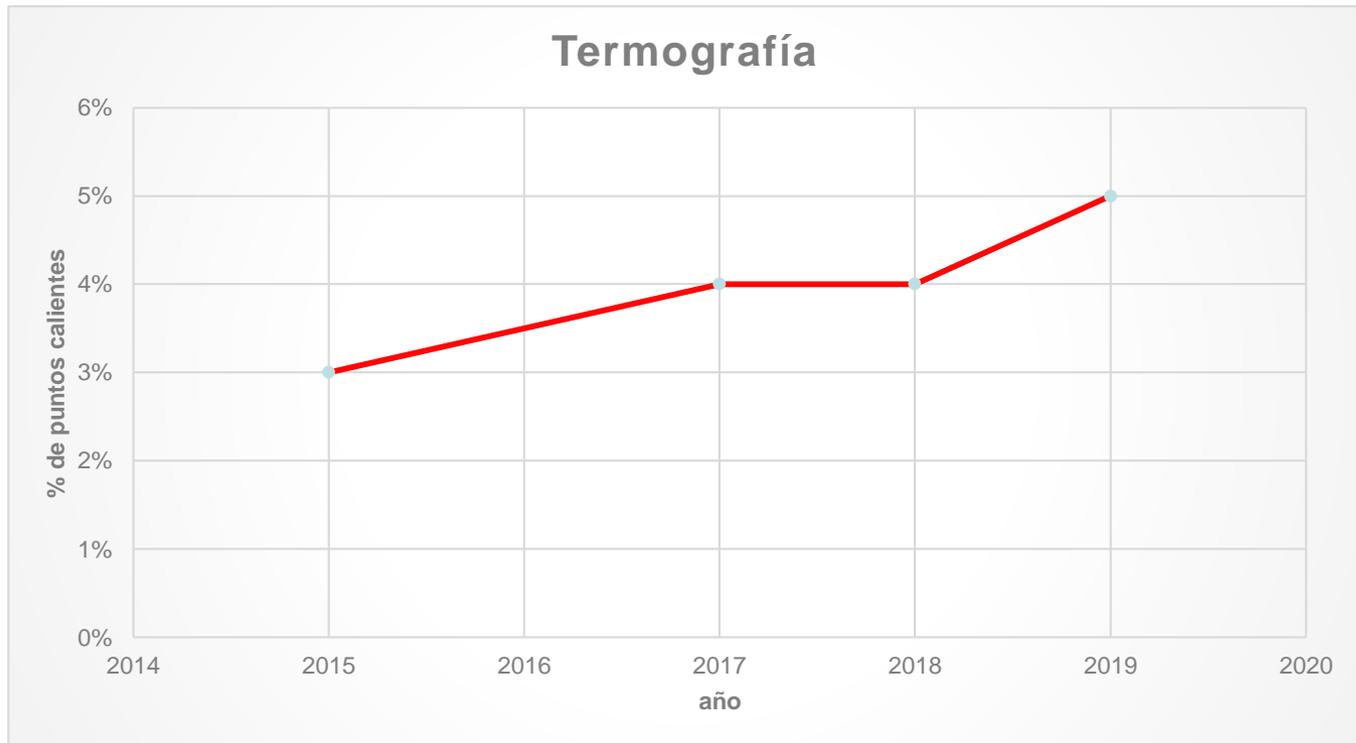
Punto de Inspección	Delta térmico en C	Grado de severidad	Medidas correctivas
18	10,9	3	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
20	4,4	4	Se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento
21	5,5	4	Se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento
58	7,2	4	Se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento
62	7,6	4	Se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento
65	14,5	3	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
82	14,1	3	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
87	11	3	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
91	18	3	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
252	6,3	4	se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento

Delta térmico 2018



Resultados de la investigación

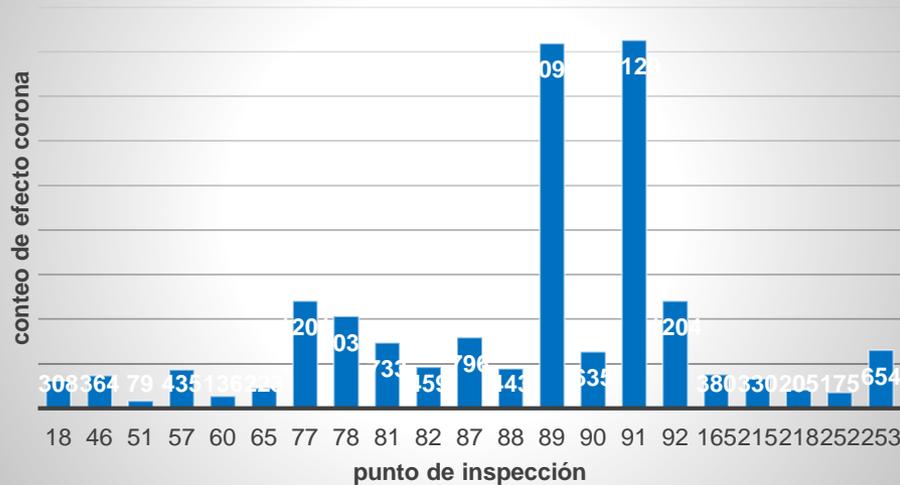
Termografía



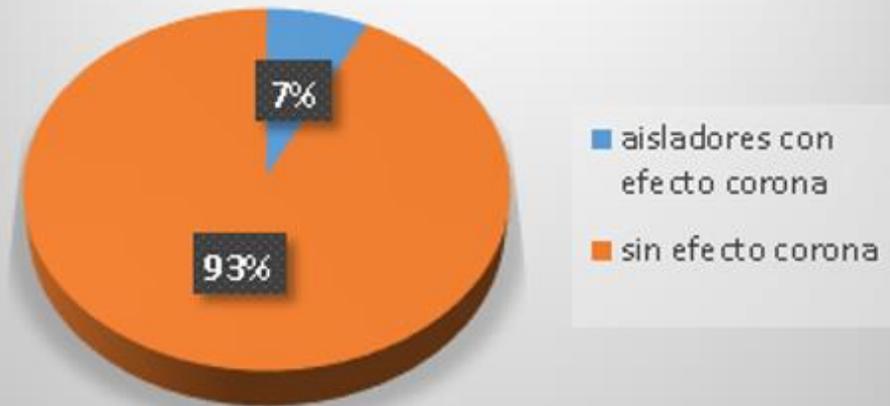
Resultados de la investigación

Efecto corona 2018

Efecto corona 2018

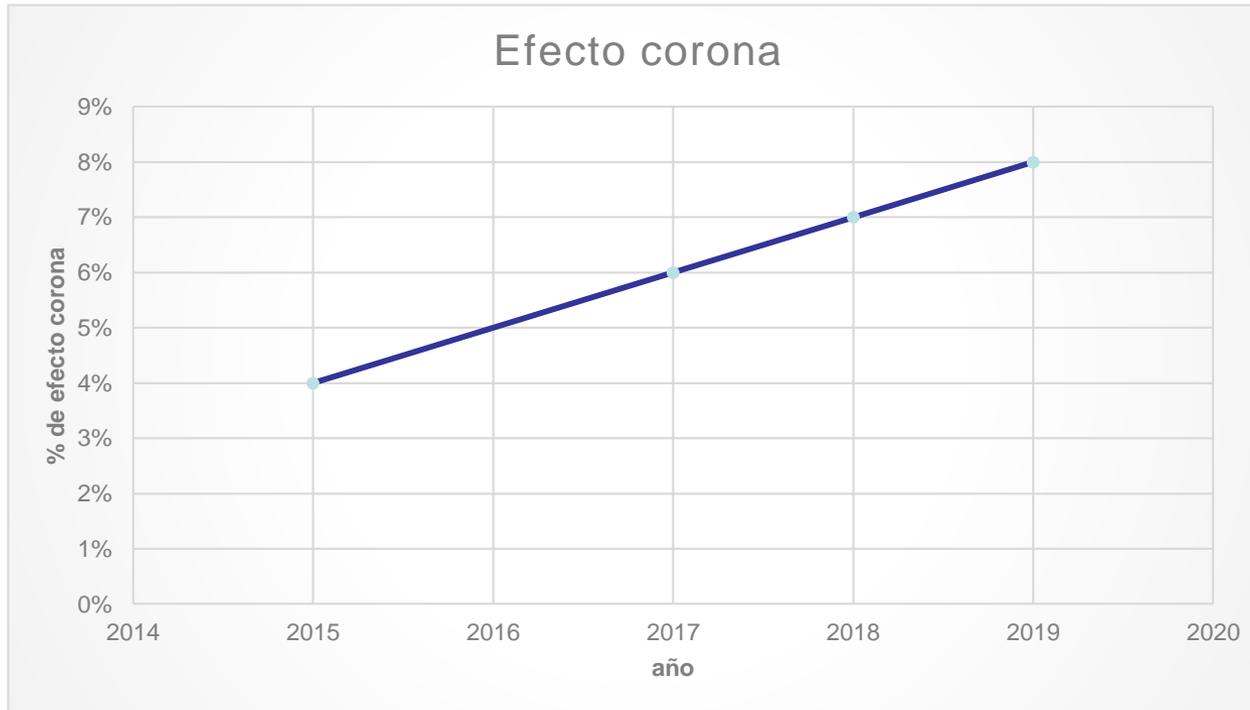


Efecto corona en aisladores 2018



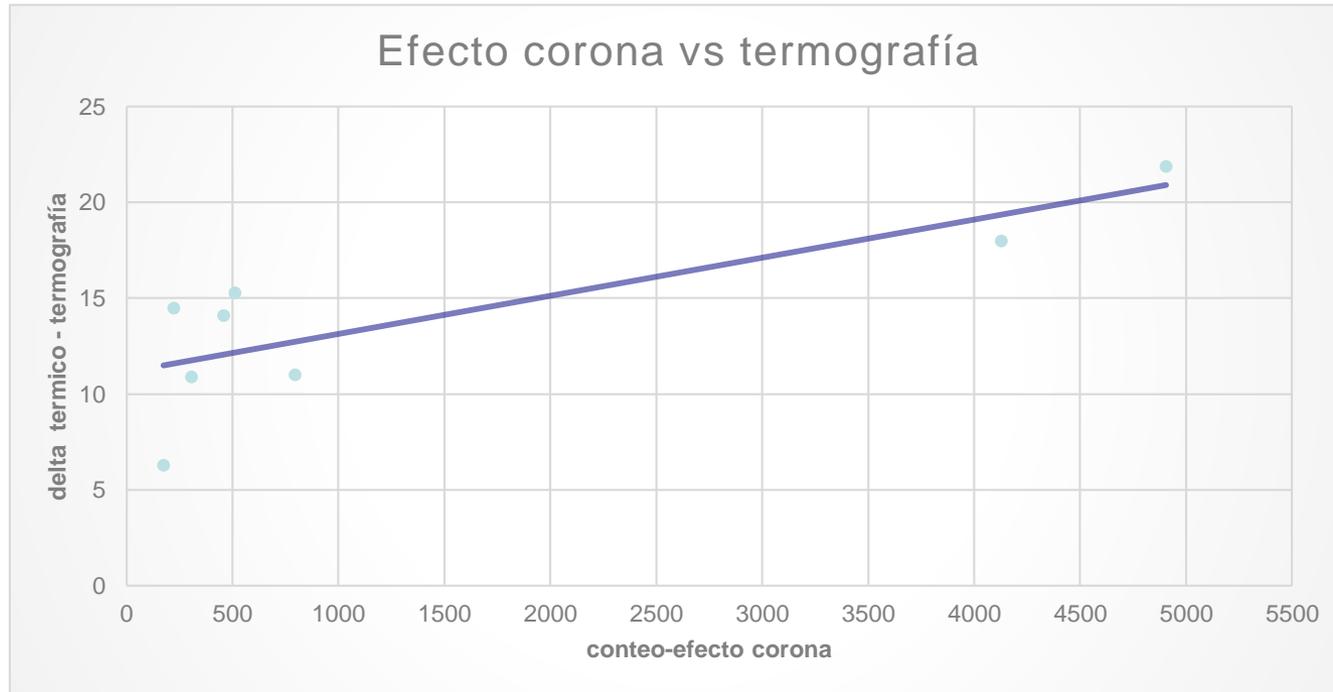
Resultados de la investigación

Progreso del efecto corona en la línea



Resultados de la investigación

Efecto corona VS. Termografía



Resultados de la investigación

Cálculo de pérdidas por efecto corona

$$P_{\text{efecto corona}} = \frac{\text{número total de discos} * P_{\text{en cada disco}}}{1000}$$

$$P_{\text{efecto corona real}} = P_{\text{efecto corona}} * \%_{\text{aisladores con efecto corona}}$$

Cálculo de la pérdida de potencia en buen tiempo

$$P_{\text{efecto corona buen tiempo}} = \frac{12201 * 5}{1000} = 61.005kW$$

$$P_{\text{efecto corona real buen tiempo}} = 61.005 * 4\% = 2.44kW$$

Calculo de la pérdida de energía en mal tiempo

$$P_{\text{efecto corona mal tiempo}} = \frac{12201 * 14}{1000} = 170.814kW$$

$$P_{\text{efecto corona real mal tiempo}} = 61.005 * 4\% = 6.83kW$$



Resultados de la investigación

- La pérdida por efecto corona en buen tiempo en el año 2018 es de 37,408266 MWh , multiplicado por el valor del costo del MWh de 1,2 USD, las pérdidas económicas es de 44.,88 USD que se considera despreciable para las pérdidas económicas totales de 56.459,19 USD que se presentaron en el mismo año.

Año	2015	2017	2018
Horas	8760	8760	8760
Pérdida/ buen tiempo MWh	21.376152	32.064228	37.408266
Pérdidas/mal tiempo MWh	59.8532256	89.7798384	104.743145
Energía entrega por la empresa distribuidora GWh	485	533	559
Pérdidas de energía en buen tiempo%	0.0044	0.0060	0.0067
Pérdidas de energía en mal tiempo%	0.0123	0.0168	0.0187
Pérdidas técnicas %	8.23	7.74	7.49



Resultados de la investigación

Cálculo del efecto corona por la fórmula de F. W. PEEK

$$U_C = \frac{29.8}{\sqrt{2}} * \sqrt{3} * m_C * m_T * \delta * r * \ln\left(\frac{D}{r}\right)$$

Corrección de la densidad del aire

$$\delta = \frac{2.921 * h}{273 + \theta}$$
$$\delta = \frac{2.921 * 760}{273 + 29} = 9.867$$

Distancia media geométrica

$$\sqrt[3]{d_{RS} * d_{ST} * d_{RT}}$$
$$\sqrt[3]{1.25 * 1.25 * 2.50} = 3.9 = 390.6cm$$

Calculo de tensión crítica disruptiva

$$U_C = \frac{29.8}{\sqrt{2}} * \sqrt{3} * m_C * m_T * \delta * r * \ln\left(\frac{D}{r}\right)$$
$$U_C = \frac{29.8}{\sqrt{2}} * \sqrt{3} * 0.85 * 0.8 * 0.9867 * 1.03 * \ln\left(\frac{390.6}{1.03}\right)$$

$$U_C = 149.77$$

$$U_C = 149.77kV > 69kV$$



Plan de Mantenimiento

PLAN ESTRATÉGICO DE MANTENIMIENTO

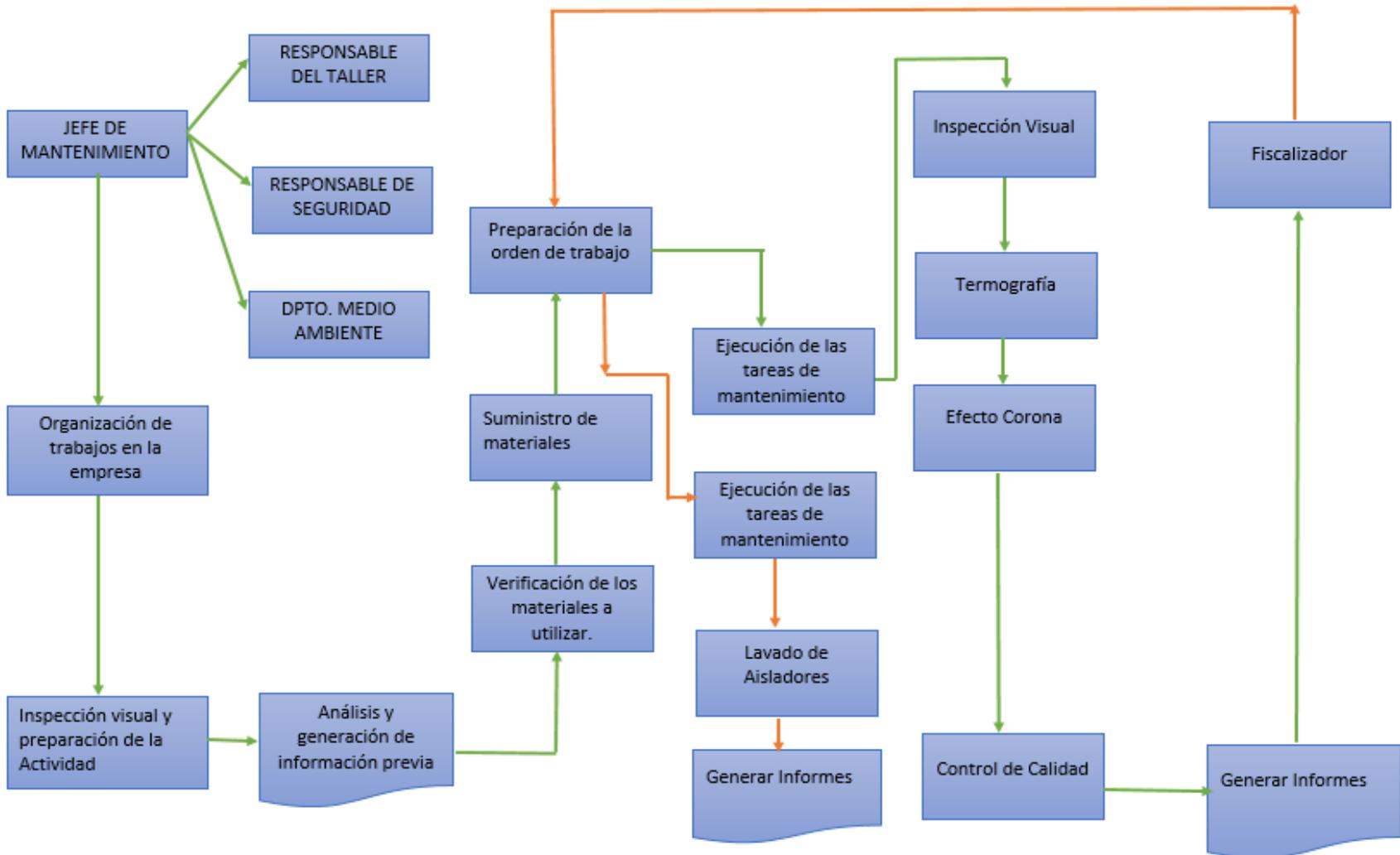
Unidad de negocio: CNEL Sto. Domingo

Activo: Línea de subtransmisión San Vicente – Jama 69 Kv.

Unidad responsable: Unidad de mantenimiento



Plan de Mantenimiento



Plan de Mantenimiento

- **Responsabilidades y calificación del personal.**

Ingeniero NDT en Termografía Nivel I: Ejecutar un paneo a los componentes a inspeccionar verificando las imágenes térmicas registradas a través de la cámara infrarroja, de todos sus componentes. Analizar y grabar los termogramas, tomar los respectivos registros fotográficos y diligenciar los formatos de registro.

El personal debe estar certificado y calificado en nivel I, II, III según la norma ISO 9712:2015 para realizar las inspecciones termográficas, evaluación y finalmente la realización del reporte de resultados según corresponda el nivel de certificación.



Procedimiento para realizar Inspección visual

- **Objetivo**

Establecer requisitos y métodos para realizar la inspección visual en los aisladores en líneas de alta tensión.

- **Alcance**

Este procedimiento describe el método para la inspección visual remota de líneas de Subtransmisión.

- **Requisitos del personal**

El personal a cargo de realizar la inspección visual debe estar certificado y calificado en nivel I, II, III según la norma ISO 9712:2015 para realizar las inspecciones, evaluación y finalmente la realización del reporte de resultados según corresponda el nivel de certificación.



Plan de Mantenimiento

- **Distancias de seguridad**

Para realizar trabajos en alta tensión se debe considerar las distancias de seguridad establecidas de 1, 50 para niveles de voltaje de 66 kV – 132 kV.

- **Criterios de Aceptación**

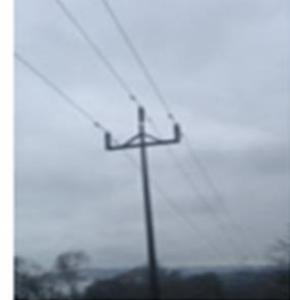
Anomalías	Tipo	Grado de severidad	Acción a tomar	
Aislador cadena vástago deteriorado	A	6	cambio inmediato	
Aislador suspensión vástago deteriorado				
Aislador cadena polución	B	2	lavado de aislador	
Aislador soporte polución				
Aislador suspensión polución				
Aislador cadena vástago oxidado	C	4	cambio o lavado	
Aislador suspensión vástago oxidado				
Aislador de suspensión desalineado	D	1	corrección	
Aislador soporte desalineado				
Aislador cadena desalineada				
Aislador cadena roto o flameado	E	5	cambio inmediato	
Aislador soporte roto o flameado				
Aislador suspensión roto o flameado				
Aislador suspensión pasador	Flojo, faltante	F	3	cambio, reemplazo o ajuste
Aislador cadena pasador	oxidado			
Aislador cadena pasador				



Plan de Mantenimiento

- Reporte de inspección**

El reporte de la inspección visual remota deber ser realizado por el especialista, en el formato que debe contener todos los detalles necesarios como, localización, fotografía de la falla y de la localización, descripción de la falla, grado de severidad. Acción a tomar.

		Fecha de Inspección 28/10/2015	
		Hora de Inspección 10:49	
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL			
COMPañIA	CNEL-EP Santo Domingo		
TÉCNICOS	Ing. Francisco Areyuna		
TÉCNICO A CARGO	Ing. Álvaro Tapia		
A SUNTO:	Reporte Visual de Aisladores		
DESCRIPCIÓN:	Punto de Inspección N° 70		
IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA			
UBICACIÓN	TIPO DE ESTRUCTURA	IRREGULARIDAD	ELEMENTO AFECTADO
S/E San Vicente	Suspensión	Roto	Aislador
			
INFORMACIÓN SOBRE LA INSPECCIÓN VISUAL		HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN	
Procedimiento N	50	Cámara fotográfica	
Norma	E-2	Dron	
Métodos de Inspección	Telefotográfico		
Distancia Máxima al sitio	1.50m		
Coordenadas UTM	17M5617199945963		
FECHA	CIRCUITO: Jama	CARGA: 69kV	
INFORMACIONES COMPLEMENTARIAS			
El aislador se encuentra roto por lo que se requiere medidas de lavado o cambio.			
TABLA DE SEVERIDAD			
Aislador cadena roto			
Aislador soporte roto			
Aislador suspensión roto	E		2

Procedimiento de inspección termográfica bajo el Estándar ASTM E 1934-99

- **Objetivo.**

Establecer las actividades necesarias para ejecutar una inspección por termografía infrarroja, de los aisladores de la línea de Subtransmisión, con el fin de detectar anomalías que afecten el funcionamiento de la línea.

- **Alcance.**

Con base en el valor de criticidad obtenido, la facilidad de acceso físico al componente y los parámetros de seguridad.



Plan de Mantenimiento

- **Criterios de Aceptación (ANSI/NEMA/IEEE)**

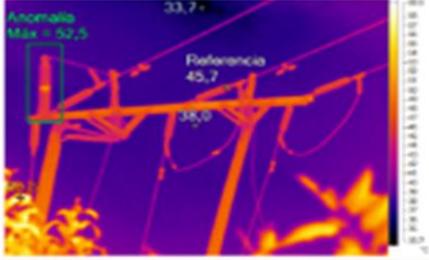
GRADO	PRIORIDAD	MEDIDAS CORRECTIVAS
1	$\Delta t > 40^{\circ}\text{C}$	Se requiere medidas correctivas inmediatas
2	$40^{\circ}\text{C} > \Delta t > 20^{\circ}\text{C}$	Se requiere medidas correctivas tan pronto sea posible, dependiendo del tipo de carga que alimente y la severidad de la sobre temperatura en este rango.
3	$20^{\circ}\text{C} > \Delta t > 10^{\circ}\text{C}$	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita
4	$10^{\circ}\text{C} > \Delta t > 0^{\circ}\text{C}$	se debe tomar medidas correctivas en el próximo periodo de mantenimiento



Plan de Mantenimiento

- Reporte de inspección

El reporte de la inspección termográfica deber ser realizado en el formato que debe contener todos los detalles necesarios como, localización, fotografía de la falla y de la localización, descripción de la falla, grado de severidad. Acción a tomar

		Fecha de Inspección 18/05/2018	
		Hora de Inspección 8:33	
REPORTE TERMOGRÁFICO			
COMPANÍA	CNEL-EP Santo Domingo		
TÉCNICOS	Ing. Francisco Areyuna		
TÉCNICO A CARGO	Ing. Álvaro Tapia		
A S U N T O:	Reporte termográfico de Aisladores		
DE SCRIPCIÓN:	Punto de inspección 65		
IDENTIFICACIÓN DEL AREA			
UBICACIÓN	TIPO DE ESTRUCTURA	IRREGULARIDAD	ELEMENTO AFECTADO
Circuito Jama	Angular	Aislador Fase T	Aislador
			
TABLA DE VALORES		DETALLE	
T. Referencia °C	38	Descripción del equipo o componente Numero de Poste: s/n UTM: 17M561861 9944766	
T. Max °C	52.5		
T. Ambiente °C	29		
Delta Térmico °C	14.5		
Emissividad	0.85		
Nivel de Tensión KV	69KV		
Velocidad del viento (m/s)	0.2		
Humedad Relativa (%)	65		
INFORMACIONES COMPLEMENTARIAS			
GRADO DE SEVERIDAD: 3			
POSIBLES CAUSAS DE LA FALLA: Aislador deteriorado			
RECOMENDACIONES: Cambio o limpieza de aislador			
TABLA DE SEVERIDAD			
3	20°C > Δt > 10°C	Se requiere medidas correctivas en cuanto el programa de mantenimiento lo permita	

Plan de Mantenimiento

Procedimiento de inspección utilizando Efecto Corona

Objetivo.

Establecer las actividades necesarias para ejecutar una inspección coronográfica, de los aisladores de la línea de Subtransmisión. Con el fin de detectar anomalías que afecten el funcionamiento de la línea.

Alcance.

Con base en el valor de criticidad obtenido, la facilidad de acceso físico al componente y los parámetros de seguridad, se eligen los siguientes componentes para inspección:

- Aisladores cadena
- Aisladores soporte
- Aisladores suspensión



Plan de Mantenimiento

- **Criterios de Aceptación**

Criterios de Aceptación según el fabricante de la cámara

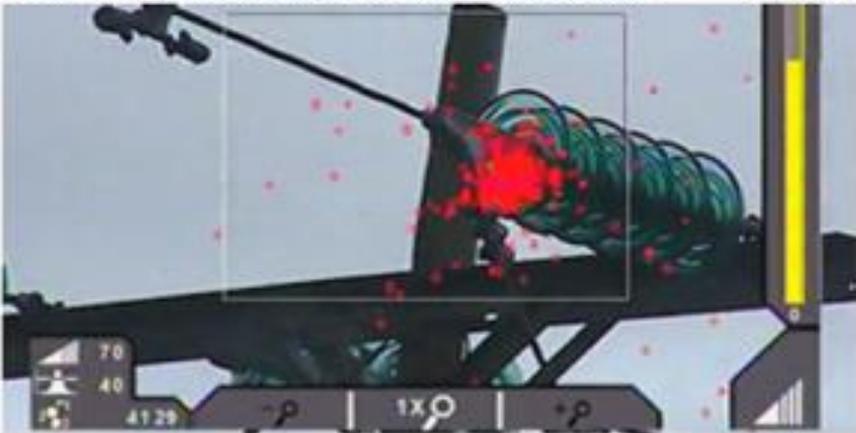
Nivel de daño		
A	Conteos menores a 500 eventos por segundo	Actividad de descarga benigna. No requiere acción.
B	Conteos entre 500 y 1000 eventos por segundo	La actividad de descarga puede estar disminuyendo la vida del componente. se detecta ruido audible, interferencia de radio. Monitorear.
C	Conteos entre 1000 y 2000 eventos por segundo	Dañado o componente degradado. Cambiar o Reparar en la próxima oportunidad. El daño no afectará la seguridad en corto plazo
D	Conteos mayores a 2000 eventos por segundo	El componente es un riesgo para la seguridad o fiabilidad del sistema en el corto plazo. Retirar del servicio lo antes posible.



Plan de Mantenimiento

- **Reporte de inspección**

El reporte de la inspección coronográfica deber ser realizado en el formato que debe contener todos los detalles necesarios

		FECHA: 19/08/2018		
		HORA: 11:04		
REPORTE EFECTO CORONA				
COMPANIA	CNEL. Santo Domingo			
TECNICOS	Ing. Francisco Areyuna			
TECNICO A CARGO	Ing. Alvaro Tapia			
DESCRIPCION:	Reporte Coronográfica de Aisladores			
IDENTIFICACION				
INSTALACION	UBICACION	DESDE/HA STA	COORDENADA UTM	TIPO DE ESTRUCTURA
S/E San Vicente- Jama	San Vicente	San Vicente- Jama	17M580897 9950802	ANGULAR
				
NUMERO DE EVENTOS	4129			
DESCRIPCION DE LA ANOMALIA	Efecto corona presente en el aislador			
RECOMENDACION	Se requiere medidas correctivas			
TABLA DE SEVERIDAD				
D	Conteos mayores a 2000 eventos por segundo	El componente es un riesgo para la seguridad o fiabilidad del sistema en el corto plazo. Retirar del servicio lo antes posible.		

Plan de Mantenimiento

Procedimiento de lavado de aisladores

- **Objetivo**

Realizar el mantenimiento preventivo de lavado de aisladores en líneas energizadas en las redes de CNEL-EP STD.

- **Alcance.**

El presente protocolo es para el personal que realicen el lavado de aisladores en líneas de Subtransmisión de 69 KV en la Unidad de negocio CNEL-EP.

Antes de realizar el trabajo el Ingeniero debe realizar el reconocimiento de campo, además de realizar una planificación de trabajo en donde exista el voltaje nominal, distancias de seguridad, y las principales características de la línea.



Plan de Mantenimiento

Voltaje Nominal	Distancias mínimas de Seguridad en (m)		
	Diámetro de los orificios de los discos de las boquillas(mm)		
KV	3.17-4.76	5.56-6.35	7.93
4-12	2.80	2.15	7.10
13-23	2.80	3.10	4.00
24-70	2.80	3.70	4.60
71-115	4.00	4.60	5.50
mayor a 115	4.60	4.60	6.10



Plan de Mantenimiento

Frecuencia para las inspecciones predictivas

- **Termografía**

Frecuencia de una vez al año.

- **Inspección visual**

Frecuencia de una vez al año.

- **Efecto corona**

Frecuencia una vez al año

- **Lavado y cambio de aisladores:**

Con el fin de prevenir fallas, y el deterioro prematuro de los aisladores se recomienda realizar el lavado de los aisladores **dos veces al año**,



Cálculo de la frecuencia de inspección

NPH	Duración total de averías (H)	Número total de averías	Número de horas programadas	Número de programaciones
26280	26	31	27	13

MTBF(H)	MTBF(d)	λ (fallas/año)
820,4375	34,1848958	10,6772301

Fi(fallas/insp)	λ (fallas por año)	F (años /insp)	A	Ci(\$)	Cf(\$)	C	f(insp/año)
152	10,33	14,71	0,41	14555,09	99197,22	0,1467	1,12



Pérdidas económicas

Años de estudio	Carga que sale MW	Carga que entra MW	Diferencia MW	Energía perdida MWH	Energía perdida después de conexión MWH
2015	33,35	28,98	4,37	14,3	2.29
2017	46,58	39,46	7,12	142,29	6.71
2018	151,7	110,84	40,86	35,23	20.43



Pérdidas económicas

Años de Estudio	Costo de MWH por salidas no programadas (USD /MWH)	Costo del MWH normal (USD /MWH)	Costo de pérdidas por falla(USD)	Costo por cargas independientes (USD)	Costo de pérdidas totales (USD)
2015	1533	120	21921,9	274,8	22196,7
2017	1533	120	218130,57	805,2	218935,77
2018	1533	120	54007.59	2451,6	56459,19
				costo total	297591,66



Pérdidas económicas

	2015	2017	2018
Energía disponible GWH	485	533	559
Pérdidas de energía GWH (CNEL Sto. Domingo)	39,31	41,25	41,86
% P.E	8,23%	7,74%	7,49%
Pérdidas de energía AT GWH (CNEL Sto. Domingo)	7,6	7,8	7,9
% P.E	1,42%	1,33%	1,29%
Pérdidas de energía GWH (San Vicente-Jama)	1,0299212	1.066338	2,2954953
% P.E	0,21%	0,20%	0,41%



CONCLUSIONES

- Mediante la utilización de la fórmula de PEEK se puede demostrar que la tensión nominal de la línea de subtransmisión de 69kV se encuentra por debajo de la tensión disruptiva calcula de 149.77 Kv por lo que no debería existir efecto corona, pero por las condiciones de contaminación, humedad y salinidad que son factores críticos de la zona, el efecto corona se puede apreciar en algunos puntos de la línea.
- En el análisis de datos de inspección visual de los últimos tres años se puede apreciar un aumento promedio de 16.5% y en último año se registró un 96% de daño con 12 puntos de inspección en buenas condiciones, por lo que se estima que para el próximo año existirá un 100% de puntos afectados por diferentes anomalías.



CONCLUSIONES

- El efecto corona dentro de los tres años de análisis se puede apreciar aumentando en un 1% en cada año, por lo que se estima que para el año siguiente exista un 8% de puntos de inspección que presenten efecto corona.
- La línea S/E San Vicente- Circuito Jama presenta un promedio de 79% de anomalías a pesar del mantenimiento realizado por le Empresa distribuidora CNEL Sto. Domingo, esto se debe a las condiciones críticas ambientales a las cuales se entra sometida la línea, por lo que se debe realizar el mantenimiento preventivo de la línea dos veces al año con el fin de evitar que la línea salga de servicio por fallas, y así reducir las grandes pérdidas económicas y altos porcentajes de anomalías a lo largo de la línea.



CONCLUSIONES

- En la línea San Vicente- Jama posee en el último año pérdidas de energía de 0.41% del 1.29% de las pérdidas en alto voltaje, se puede denotar que las condiciones de la línea son críticas, ya que el 29.05% de las pérdidas totales se generan en la línea y el 70.95% de las pérdidas se dan en las otras 9 líneas pertenecientes a la Empresa distribuidora CNEL Sto. Domingo, si se considera que las pérdidas en las otras líneas son similares se puede decir que en cada línea existiría un promedio de pérdidas de 7.88% de las pérdidas totales, las pérdidas de energía causa por anomalías provocadas por las condiciones ambientales son considerablemente altas a tal grado que las pérdidas económicas llegan 56.459.19 USD.



RECOMENDACIONES

- Con el fin de colaborar al mejoramiento continuo de las personas encargadas de realizar el mantenimiento, los autores del presente Trabajo de titulación desean presentar las siguientes recomendaciones con la finalidad de que sean de gran utilidad en el futuro.
- Al realizar las inspecciones de termografía, inspección visual y efecto corona en aisladores, se recomienda que los técnicos encargados deban respetar las normas de seguridad, con el motivo de evitar accidentes que provoquen alto riesgo para su vida, además deben tener presente las distancias de seguridad al aproximarse a elementos energizados dependiendo así de los niveles de voltaje, también deben disponer de todos los elementos de seguridad.



RECOMENDACIONES

- Las inspecciones realizadas mediante técnicas predictivas se deben llevar a cabo por al menos 2 personas, puesto que no se recomienda que la realice una sola persona ya que al usar los equipos se requiere de atención directa en las pruebas lo que hace que se pierda el sentido de ubicación espacial, en cambio al estar 2 personas el uno puede vigilar la ubicación del otro, respaldando la seguridad de ambos.
- Las inspecciones termográficas se recomienda realizar en horas de demanda máxima, debido a que el sistema eléctrico funciona a máxima capacidad con el fin de obtener una máxima temperatura en condiciones críticas.
- Se recomienda que los aisladores que están operando bajo condiciones críticas, se reparen con prontitud para evitar posibles cortes y pérdidas de energía.



RECOMENDACIONES

- Los protocolos generados en el presente trabajo de investigación, integra una herramienta estructurada, se recomienda expandirlo a otros ámbitos de aplicación de la unidad de mantenimiento, con el objetivo de desarrollar un plan de mantenimiento integral.



*Gracias por su
atención*

