



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS

**INFLUENCIA DEL ANÁLISIS TERMOGRÁFICO
EN EL INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD DE
UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA,
CHICAMA – LA LIBERTAD**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

Autor:

Bach. Edgar Varas Fernandez.

Orcid. <https://orcid.org/0000-0003-1847-1524>

Asesor:

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0988-9881>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente.

Pimentel – Perú

2021

Aprobación del jurado

Dra. Silvia Yvone Gastiaburú Morales
Presidente

MSc. Ángel Marcelo Rojas Coronel
Secretario

Mg. Juan Carlos Vives Garnique
Vocal

Dedicatoria

Dedico la presente tesis de investigación a Dios, a mis padres e hija. A Dios porque ha estado y aún está conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, y en especial a mi amada madre, quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi principal apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ella; que soy lo que soy ahora y la amo con toda el alma.

Edgar

Agradecimiento

Agradezco a todos los docentes de la Universidad Señor de Sipán, porque mediante todos sus conocimientos impartidos durante las horas de clase han permitido ver cristalizado mi anhelo de seguir; cuyos conocimientos serán aplicados durante el desarrollo de mis actividades profesionales y servirán como guía en el futuro, coadyuvando al beneficio y engrandecimiento de nuestra sociedad.

¡Gracias!

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo, determinar la influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama La Libertad. La investigación fue cuantitativa, aplicada, descriptiva de diseño pre - experimental. La población-muestra ha estado compuesta de los indicadores de confiabilidad durante el año 2019 (pre test) y el año 2020 (post test) y estos parámetros son (índice de frecuencia de interrupciones, índice de duración de interrupciones, índice de frecuencia de interrupción media de los usuarios). Los instrumentos utilizados básicamente fueron: Ficha de Supervisión Termográfica Preventiva, y Termógrafo FLIR Serie Ex, rango de temperatura -20°C hasta 250°C , sensibilidad térmica menor a 0.045°C . Los resultados permiten concluir: respecto al objetivo general, la influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, el cual se demostró estadísticamente demostrado que el índice promedio de frecuencia de interrupciones (SAIFI) se redujo en 40.7%, el índice promedio de duración de interrupciones (SAIDI) disminuyó en 82.1%, y el promedio de frecuencia media de interrupción al consumidor (CAIFI) ha disminuido en 85.3%. Se verifica entonces que, la confiabilidad de la red de suministro eléctrico, Chicama 2019 ha mejorado, por consiguiente, se demuestra que el desarrollo de la propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico de una red de suministro eléctrico estudiado, la misma que uso equipo termográfico para monitorear semanalmente los puntos de calentamiento y sobrecarga, principalmente debido a la práctica de hurto de energía para actividades productivas. Dicha mejora no solo se demostró estadísticamente mediante el mejoramiento de los parámetros SAIFI, SAIDI y CAIFI, primordialmente, sino también con el ahorro neto en la rentabilidad económica que se ha obtenido en ese rango de tiempo, siendo el resultado obtenido hasta en un 57.2% del costo original, después de aplicar la propuesta de mejora en la temprana detección preventiva de falla en el sistema, aplicando la metodología del análisis termográfico en las instalaciones eléctricas.

Palabras Clave: Sistemas de distribución eléctrica-Confiabilidad, Análisis termográfico-Redes de distribución eléctrica, Análisis Económico de la Propuesta de Mejora.

Abstract

The objective of this research was to determine the influence of thermographic analysis in increasing the reliability of an electrical distribution system, Chicama La Libertad. The research was quantitative, applied, descriptive of pre-experimental design. The sample population has been composed of the reliability indicators during 2019 (pre-test) and 2020 (post-test) and these parameters are (interruption frequency index, interruption duration index, interruption frequency index average of users). The instruments used were basically: Preventive Thermographic Supervision Sheet, and FLIR Ex Series Thermograph, temperature range -20°C to 250°C , thermal sensitivity less than 0.045°C .

The results allow to conclude: regarding the general objective, the influence of thermographic analysis in increasing the reliability of an electrical distribution system, which was statistically demonstrated that the average interruption frequency index (SAIFI) was reduced by 40.7%, the average interruption duration index (SAIDI) decreased by 82.1%, and the average consumer interruption frequency average (CAIFI) has decreased by 85.3%. It is verified then that, the reliability of the electrical supply network, Chicama 2019 has improved, therefore, it is shown that the development of the proposal for improvement in failure prevention through thermographic analysis of a studied electrical supply network, the same as I use thermographic equipment to monitor heating and overload points weekly, mainly due to the practice of energy theft for productive activities. Said improvement was not only statistically demonstrated through the improvement of the SAIFI, SAIDI and CAIFI parameters, primarily, but also with the net savings in economic profitability that has been obtained in that time range, the result being obtained up to 57.2% of the original cost, after applying the improvement proposal in the early preventive detection of failure in the system, applying the methodology of thermographic analysis in electrical installations.

Keywords: Electrical distribution systems-Reliability, Thermographic analysis-Electrical distribution networks, Economic Analysis of the Improvement Proposal.

Índice

	Pág.
Aprobación del jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad Problemática.....	13
1.2. Trabajos previos.....	15
1.3. Teorías relacionadas al tema.....	20
Clasificación	35
Calificación.....	35
Rangos de medición del calor.....	35
Medida	35
Clasificación.....	36
Calificación.....	36
Banco	36
Dispositivo.....	36
Área de afectación.....	36
Datos	36
Bahía	37
Equipo	37
Zona afectada.....	37
Información	37
Fases.....	39
Bahía	39
Equipo	39
Zona.....	39
Afectada.....	39
Información	39
Fases.....	40
Bahía	40

Equipo	40
Zona.....	40
Afectada	40
Información	40
Etapas	45
Bahía	45
Dispositivo.....	45
Área de afectación.....	45
Datos	45
Etapas	49
Bahía	49
Dispositivo.....	49
Área de afectación.....	49
Datos	49
1.4. Formulación del Problema.....	50
1.5. Justificación e importancia del estudio.....	50
1.6. Hipótesis.....	51
1.7. Objetivos	51
1.7.1. Objetivos General.....	51
1.7.2. Objetivos Específicos	51
II. MATERIAL Y MÉTODO	52
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	52
2.2. Población y muestra.....	53
2.3. Variables, Operacionalización.....	53
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad..	54
2.5. Procedimientos de análisis de datos.....	55
2.6. Aspectos éticos	55
2.7. Criterios de Rigor científico.....	55
III. RESULTADOS	57
3.1. Tablas y Figuras.....	57
3.1.1 Respecto al análisis y determinación de la confianza de una red de suministro eléctrico, Chicama 2019.....	57
3.1.2 Respecto al desarrollo una propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico de una red de suministro eléctrico.....	66
3.1.3 Respecto al análisis y determinación de la confiabilidad de una red de suministro eléctrico, Chicama, posterior a la propuesta de mejora de prevención de fallas.....	78

3.1.4	Respecto a la elaboración de un análisis económico de la propuesta de mejora aplicando la tecnología del análisis termográfico propuesto.	80
3.1.5	Respecto a la determinación de la influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama La Libertad.	83
3.2.	Discusión de resultados.....	86
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
4.1	Conclusiones.....	88
4.2	Recomendaciones	89
	REFERENCIAS	90
	ANEXOS:	93
	Anexo 01. Matriz de consistencia	93
	Anexo 02. Matriz de operacionalización de variables.....	94
	Anexo 03. Ficha de supervisión termográfica preventiva	96

Índice de tablas

Tabla 1: <i>Participación de los sistemas de distribución en el sistema de potencia [1].</i> ..	20
Tabla 2: <i>Estructura típica de la red de suministro.</i>	21
Tabla 3: <i>Índices determinísticos.</i>	22
Tabla 4: <i>Análisis de la fiabilidad de la red eléctrica.</i>	22
Tabla 5: <i>Confiabilidad de sistemas de potencia.</i>	23
Tabla 6: <i>Evaluación de la fiabilidad en el ámbito del sistema eléctrico.</i>	25
Tabla 7: <i>Parámetros del Grupo A.</i>	34
Tabla 8: <i>Parámetros del Grupo B.</i>	35
Tabla 9: <i>Parámetros del grupo C.</i>	35
Tabla 10: <i>Parámetros de análisis térmicos.</i>	36
Tabla 11: <i>Parámetros de análisis térmicos.</i>	37
Tabla 12: <i>Propiedades termográficas de las dos etapas de desconexión.</i>	38
Tabla 13: <i>Propiedades termográficas de la caída al desconectador.</i>	40
Tabla 14: <i>Propiedades termográficas de la caída al desconectador.</i>	41
Tabla 15: <i>Características térmicas de un switch de alimentación.</i>	42
Tabla 16: <i>Características térmicas de un atrapados para iones.</i>	43
Tabla 17: <i>Características térmicas de un acumulador etapa S.</i>	44
Tabla 18: <i>Características térmicas de un corte de la navaja.</i>	45
Tabla 19: <i>Actividades térmicas de un corte de la navaja 2.</i>	46
Tabla 20: <i>Características térmicas del conmutador de alimentación 2.</i>	48
Tabla 21: <i>Características térmicas del conmutador de fuerza 3.</i>	48
Tabla 22: <i>Características térmicas del acumulador.</i>	49
Tabla 23: <i>Operacionalización de variables.</i>	53
Tabla 24: <i>Operacionalización de variables.</i>	54
Tabla 25: <i>Focus Group sobre causas de fallas que afectan la confiabilidad.</i>	59
Tabla 26: <i>Priorización de Pareto sobre causas que afectan la confiabilidad.</i>	60
Tabla 27: <i>Circuitos, usuarios, fallas y afectados.</i>	63
Tabla 28: <i>Circuitos, usuarios, fallas y afectados.</i>	63
Tabla 29: <i>Parámetros de duraciones de las fallas.</i>	64
Tabla 30: <i>Recurrencia de fallas.</i>	65
Tabla 31: <i>Parámetros de confiabilidad encontrados (Año 2019).</i>	65
Tabla 32: <i>Negocios con servicio doméstico no declarados sin licencia.</i>	66

Tabla 33: <i>Rutina de revisión preventiva.</i>	68
Tabla 34: <i>Criterios de diagnóstico termográfico Grupo A.</i>	71
Tabla 35: <i>Criterios de diagnóstico termográfico Grupo B.</i>	71
Tabla 36: <i>Criterios de diagnóstico termográfico Grupo C.</i>	72
Tabla 37: <i>Caso 1: Acometida 13.2 Kv.</i>	72
Tabla 38: <i>Caso 2: Subestación tablero 220 VAC.</i>	74
Tabla 39: <i>Estadísticas de eventos.</i>	77
Tabla 40: <i>Incidencias año 2020 según elemento.</i>	77
Tabla 41: <i>Circuitos, usuarios, fallas y afectados 2020.</i>	78
Tabla 42: <i>Causa de fallas de distribución 2020.</i>	79
Tabla 43: <i>Parámetros de duraciones de las fallas 2020.</i>	79
Tabla 44: <i>Parámetros de confiabilidad encontrados 2020.</i>	80
Tabla 45: <i>Costos de mantenimiento y prevención de fallas 2019.</i>	80
Tabla 46: <i>Inversión en prevención termográfica.</i>	81
Tabla 47: <i>Costo de prevención y mantenimiento de fallas año 2020.</i>	81
Tabla 48: <i>Impacto en los costos de mantenimiento.</i>	82
Tabla 49: <i>Beneficio de la propuesta.</i>	82
Tabla 50: <i>Impacto de la influencia del análisis termográfico en la confiabilidad.</i>	83
Tabla 51: <i>Impacto mensual pre y post test en los indicadores de confiabilidad.</i>	83
Tabla 52: <i>Validación en confiabilidad del indicador SAIFI (Prueba de Wilcoxon).</i>	84
Tabla 53: <i>Validación en confiabilidad del indicador SAIDI (Prueba de Wilcoxon).</i>	84
Tabla 54: <i>Validación en confiabilidad del indicador CAIFI (Prueba de Wilcoxon).</i>	85
Tabla 55: <i>Validación en confiabilidad del indicador CAIDI (Prueba de Wilcoxon).</i>	85
Tabla 56: <i>Validación en confiabilidad del indicador ASAI (Prueba de Wilcoxon).</i>	86

Índice de figuras

Figura 1: Consolidado de recamos de Servicio en Distriluz Ascope.	14
Figura 2: Consolidado atención a recamos de servicio.....	14
Figura 3: Estructura típica de la red de suministro.	20
Figura 4: Uniones sueltas.	28
Figura 5: Ausencia de aislación.	28
Figura 6: Fotografía verdadera y engañosa.....	29
Figura 7: Imagen real y térmica de un variador.	30
Figura 8: Fotografía verdadera y engañosa.....	32
Figura 9: Imagen real y térmica de un transformador.	32
Figura 10: Líneas de transmisión – aisladores.	33
Figura 11: Fotografía termográfica y verdadera de un grupo de convertidores.....	36
Figura 12: Panel de enfriamiento del transformador.	37
Figura 13: Fotografía energética y verídica de la desconexión de la etapa R.	38
Figura 14: Fotografía energética y verídica de la desconexión de la etapa fase T.	38
Figura 15: Fotografía termográfica y verídica de la caída a seccionadora etapa R.	39
Figura 16: Fotografía termográfica y verídica de la caída a desconectar etapa T.	40
Figura 17: Fotografía termográfica y verídica de fuga de trafo a barra primordial.	41
Figura 18: Foto energética y verdadera de un switch de alimentación.....	42
Figura 19: Foto energética y verdadera de un atrapado para iones.	43
Figura 20: Foto energética y verdadera de un acumulador etapa S.	44
Figura 21: Foto energética y verdadera de un corte de la navaja.....	45
Figura 22: Foto energética y verdadera de un corte de la lámina etapa S.	46
Figura 23: Foto energética y verdadera de un corte de la lámina etapa T.	46
Figura 24: Foto energética y verdadera del conmutador de alimentación 2.	47
Figura 25: Fotografía termográfica y visual del conmutador de fuerza 3.	48
Figura 26: Foto energética y verdadera del acumulador.....	49
Figura 27: Ubicación de la red Chicama en el circuito Trujillo.	57
Figura 28: Gráfico de la red eléctrica Paiján – Malabrigo.	58
Figura 29: Priorización de Pareto.	60
Figura 30: Diagrama de Ishikawa.....	61
Figura 31: Proyección de demanda de energía eléctrica Barra Chicama.	62
Figura 32: Proceso de mantenimiento preventivo mediante termografía	67

Figura 33: <i>Ficha de supervisión de falla.</i>	69
Figura 34: <i>Fotografía del Equipo usado FLIR Serie Ex.</i>	70
Figura 35: <i>Caso 1: Acometida 13.2 Kv.</i>	72
Figura 36: <i>Subestación. tablero 220 VAC Av. Progreso.</i>	73
Figura 37: <i>Hurto de energía fábrica de hielo Calle Manuel Arévalo.</i>	75
Figura 38: <i>Hurto de energía taller de mecánica de producción Calle Ulises.</i>	75
Figura 39: <i>Hurto de energía fábrica de yogur, helados Calle Ulises.</i>	75
Figura 40: <i>Hurto de energía procesadora de alimentos clandestina Av. Progreso.</i>	76
Figura 41: <i>Hurto de energía subterráneo fábrica de hielo.</i>	76

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

A nivel mundial, la calidad de la energía eléctrica se ha vuelto una necesidad y un costo, pues muchos negocios, el trabajo en casa, el confinamiento o aislamiento voluntario ha derivado en un incremento notable del consumo eléctrico, que ha sobre demandado el rendimiento de las redes de distribución, por otra parte, un incremento de la actividad doméstica, construcción en zonas residenciales no previstas han producido un cumulo de circunstancias que motivan problemas en los sistemas de distribución (Haider et al., 2021).

La calidad de la energía eléctrica en los últimos años se ha visto seriamente afectada debido al gran crecimiento urbano, en particular en los países en desarrollo, el incremento de la densidad esto ha sobrecargado los equipos y e infraestructura de distribución, la misma que por sobrecarga presenta deterioro y fallas continuas.

El deterioro de infraestructura por sobredemanda produce sobrecalentamiento del equipo con ello su deterioro, por otra parte, permite determinar las anomalías en los patrones de consumo y demanda (que puede ser clandestino) y es necesario reportar para su investigación en el área pertinente.

Por otro lado, es necesario que, dado los problemas de confinamiento y alta rotación, ausentismo debido al COVID-19 que hacen difícil el mantenimiento y más que todo confiabilidad de que el sistema este en capacidad de atender las emergencias, fallas. Esto ha llevado a buscar mejores métodos de pronóstico de fallas, que permitan con tiempo diagnosticar, priorizar su atención a fin de prevenir alteraciones en la calidad de suministro

El distrito de Chicama presenta un alto número de reclamos y quejas por la baja confiabilidad del sistema de distribución eléctrica por pérdidas de energía, fallas, voltaje o capacidad de carga limitada, fluctuaciones, etc. (Figura 1). Existiendo muchas causas entre ellas el inadecuado mantenimiento por la rotación de empresas encargadas del mantenimiento, una gran practica de robo de energía, conexiones clandestinas escondidas en la misma acometida, conexiones

clandestinas subterráneas, consumo muy superior a su tarifa debido a negocios informales que las activan por horas o en la noche (Figura 2).

Figura 1
Consolidado de reclamos de Servicio en Distriluz Ascope.

Distriluz
Av. Progreso 261 - Chicama
Tel. 044-938824
Emergencia: 944-222222
CHICAMA

**REGISTRO DE RECLAMOS DE SERVICIO
LINEA DE EMERGENCIA Y RECLAMOS**

UTE: ASCOPE
UNIDAD: CHICAMA
MES: MAYO

RESUMEN MENSUAL

Día	Motivo de llamada	Llamadas	Ubicación
1/05/2019	Fluctuaciones electricas	6	Si
4/05/2019	Interrupcion	12	Si
7/05/2019	Bajo voltaje	3	Si
8/05/2019	Fallo de equipos electricos	5	Si
10/05/2019	Fluctuaciones electricas	7	Si
13/05/2019	Interrupcion	13	Si
15/05/2019	Interrupcion	13	Si
18/05/2019	Bajo voltaje	3	Si
21/05/2019	Interrupcion	17	Si
23/05/2019	Interrupcion	16	Si
25/05/2019	Interrupcion	24	Si
28/05/2019	Fluctuacion	3	Si
30/05/2019	Bajo voltaje	5	Si

Figura 2
Consolidada atención a reclamos de servicio.

 **Vigas y Cables Contratistas Generales E.I.R.L.**
Oficina Ascope: Calle Atahualpa 436 Ascope +51 961-938843

Oficina: ASCOPE
Area: 03 Chicama
Cliente: Distriluz
MES: MAYO

RESUMEN MENSUAL DE ATENCION A RECLAMOS

Día	Motivo de llan	Causa	Estado
1/05/2019	Fluctuacione	Soldadura clandestina	Corregido
4/05/2019	Interrupcion	Corto circuito conexión clandestina	Corregido
7/05/2019	Bajo voltaje	Industria y consumo clandestino	Reportado
8/05/2019	Fallo de equic	Soldadura clandestina	Corregido
10/05/2019	Fluctuacione	Soldadura clandestina	Corregido
13/05/2019	Interrupcion	Corto subterráneo	Corregido
15/05/2019	Interrupcion	Corto conexión clandestina	Corregido
18/05/2019	Bajo voltaje	Consumo clandestino	Reportado
21/05/2019	Interrupcion	Corto conexión clandestina	Corregido
23/05/2019	Interrupcion	Corto conexión clandestina	Corregido
25/05/2019	Interrupcion	Corto conexión clandestina	Corregido
28/05/2019	Fluctuacion	Consumo en rango no autorizado	Reportado
30/05/2019	Bajo voltaje	Consumo clandestino	Reportado

1.2. Trabajos previos.

Internacional

Gómez (2016) en su artículo de revista científica “*Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia*”, el funcionamiento fundamental de una red eléctrica es suministrar energía eléctrica a los consumidores de manera económica y eficaz, así como prestar un servicio lo más eficiente posible. No obstante, se presentan algunas limitaciones cuya importancia afecta a la consecución de estos objetivos. En algunos casos están directamente relacionadas con la calidad del suministro, como por ejemplo las variaciones de tensión salvaje y de frecuencia industrial. Los diseñadores, planificadores y operadores la red eléctrica toman en consideración estos aspectos. Un gran número de técnicas desarrolladas fueron diseñadas para afrontar y solucionar el problema, pese a las limitaciones económicas de la explotación y el mantenimiento. Una muestra de estas técnicas son los índices de fiabilidad, concebidos a lo largo del tiempo para cuantificar los eventos asociados tanto a su funcionamiento como a los países de mantenimiento y averías, entre otros, en diferentes momentos del año, por el impacto en los clientes y sobre todo por las pérdidas económicas que producen. A continuación, se analiza el desarrollo de los índices de fiabilidad y se explican las distintas técnicas de análisis. También se presenta un ejemplo aplicado a un sistema eléctrico desarrollado.

Navarrete et al. (2016) en su artículo de revista científica “*Detección de puntos calientes para la predicción de averías en las zonas de estudio I y II de la CNEL – EP, Unidad de Negocios Manabi*”, este artículo aborda el descubrimiento de la computadora que se muestra en las líneas M / T cercanos para los que el estudio se lleva a cabo en San Clemente y Crucita para alimentadores de 13,8 KV, que fue designado como un área de estudio, este estudio describe cómo detectar la existencia de la computadora en los diversos elementos de las estructuras que forman estas líneas eléctricas. Aprendizaje). Y en otra área se encuentran en zonas pobladas con abundancia de contaminación por lo que se realiza el estudio de las alimentaciones 3 (Portoviejo Centro) y 4 (Shopping - Cdla Los Tamarindos) en 13.8 KV, la cual se determinó como Área de Estudio II. El presente estudio expone la forma de descubrir la existencia de P.C en los distintos elementos de las

estructuras que forman estas líneas eléctricas. Tras el estado actual de los contornos, se procede a determinar la posible presencia de P.C en cada uno de los elementos de las estructuras. Asimismo, mediante el análisis estadístico se determinarán los elementos que necesitan un mantenimiento preventivo, predictivo o correctivo, con el fin de aplicar medidas que ayuden a mantener las líneas de M.T. en condiciones adecuadas, y que proporcionen una mejor calidad del servicio eléctrico, no debiendo lamentar la pérdida de energía eléctrica por los efectos de los disparos de joule en las líneas debido al ordenador.

Schweickardt y Casanova (2017) en su artículo de revista científica *“Optimización de la confiabilidad en sistemas de distribución eléctrica de media tensión. Modelos basados en dinámica possibilística e hiperheurística multiobjetivo”*, este artículo afronta la problemática de la optimización de la fiabilidad, según indicadores normativos, en los sistemas de distribución eléctrica de media tensión (SDEE MT). Mediante diversos trabajos en esta rama del estudio, se centra el problema en la colocación óptima de los equipos transversales/de protección (SP), aspecto de mayor impacto en el diseño de la fiabilidad. Bajo el punto de vista clásico, se plantea la posición de un tipo de equipo (SP) en diferentes partes, teniendo como objetivo la minimización de la energía proporcionada (ENS) en caso de fallos de los SDEE MT. En primer lugar, el coste de la ENS está determinado por la regulación, lo que implica una monetización sin una base teórica / metodológica sólida. Esto se soluciona mediante la aplicación de la Programación Dinámica Clásica (PDC). Un enfoque más complejo no corrige externamente el coste del ENS, sino que permite que evolucione en función de la estructura de representación de datos de la SDEE MT. Se soluciona aplicando la programación dinámica probabilística (PDP) y el coste derivado del ENS se denomina coste sustancial. Pero este método se colapsa cuando se tienen diferentes tipos de ordenadores SP. Por ello, se propone el algoritmo hiperheurístico como solución general, comparando los resultados obtenidos para una misma SDEE MT.

Viteri et al. (2017) en su artículo de revista científica *“Análisis de confiabilidad en subestaciones eléctricas tipo maniobra implementando el transformador de tensión con núcleo de potencia”*, se trata de realizar un estudio técnico de un

transformador de potencia con núcleo de potencia, utilizado para proporcionar los servicios auxiliares de una subestación de maniobra, que busca moderar la posibilidad de perder la continuidad del suministro eléctrico y además impedir la delegación en el agente repartidor externo, el estudio se realiza entre la Empresa de Energía de Bogotá EEB y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Material y método: Se tratan dos etapas, en primer lugar, un estudio de fiabilidad de la alimentación de los sistemas auxiliares de una subestación, realizado en tres escenarios: antes y después de la utilización del transformador y de la utilización de un grupo electrógeno exclusivo para los servicios auxiliares; El segundo paso es una simulación en el software ATP para comprobar la conducta de la maquinaria en un estado temporal. Resultados: La fiabilidad de suministro de energía de los servicios auxiliares aumentó tras la aplicación del equipo, ya que la frecuencia de fallo ha pasado de ser de 0,31 [fallo/año] con el sistema actual, a ser de 0,0025 [fallo/año]. Conclusiones: La aplicación del transformador es oportuna para las subestaciones que no cuentan con un sistema de alimentación confiable para el servicio auxiliar, ya que hace que la subestación sea autosuficiente, la operación de este sistema en Colombia permitirá un gran aumento en la confiabilidad de las subestaciones auxiliares.

Nacional

Bances (2020) en su tesis sobre el mantenimiento predictivo, utiliza la tecnología de imágenes térmicas para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico de Tierras Nuevas de Coelvisac. El objetivo de este trabajo de investigación es aplicar un plan de mantenimiento predictivo para inspeccionar periódicamente las redes eléctricas propiedad de Coelvisac mediante la tecnología de cámaras termográficas. piezas, conectores Ampac para conexiones de aire y presión mecánica. La información del Centro de Control de Coelvisac proporciona información sobre la demanda máxima de cada alimentador y estadísticas sobre eventos pasados que han interrumpido el servicio eléctrico. En este caso, se inician las actividades de mantenimiento planificadas en la red para evitar o minimizar las perturbaciones antes de tiempo, y luego se analiza cada imagen térmica en función de la criticidad de las actividades planificadas en esta situación.

Gutiérrez (2015) en su tesis *“Mantenimiento predictivo mediante la técnica de la termografía para evaluar el correcto funcionamiento de las SS.EE. 22.9/0.22 KV. del sistema de la SEAL en la ciudad de Arequipa”*, esta investigación está directamente relacionada con el mantenimiento predictivo utilizando la técnica del termógrafo que se realiza en la unidad de operación y mantenimiento de la empresa Sociedad Eléctrica Sur Oeste S.A. Tuvo como objetivo determinar la condición de los componentes y equipos de una subestación, a través de la localización de puntos calientes producidos por aumentos de corriente, elementos mal acoplados, corrosión y suciedad. Dicho proyecto en su desarrollo contempla aspectos teóricos y el manejo del equipo termográfico. Dicho estudio funcionará como una guía técnica necesaria para la planificación del mantenimiento preventivo, con el fin de evitar la ocurrencia de una falla que interrumpa el suministro continuo de energía eléctrica, afectando a los consumidores y al mismo tiempo causando pérdidas económicas a SEAL. Mediante los resultados obtenidos, se busca preservar y mejorar la confiabilidad de los activos fijos de la empresa, extender la vida útil de los equipos y componentes. A partir de la intervención realizada, se recomienda realizar pruebas termográficas periódicas.

Huaranca y Calatayud (2021) en su tesis sobre el factor de carga e imagen térmica para simplificar el mantenimiento predictivo de las subestaciones de distribución en la ciudad de Juliaca, El objetivo de este trabajo de investigación es implementar el factor de carga y la imagen térmica para simplificar el mantenimiento de la sede en la ciudad de Juliaca, que incluye la reducción de un gran número de elementos a evaluar, identificar y comprender las principales dificultades (fallos iniciales) causados por la sobrecarga. El método de investigación es cuantitativo y deductivo, ya que la recopilación de datos, el análisis estadístico y la experiencia existente se utilizan para calcular los factores de carga y los mapas de calor para facilitar el mantenimiento planificado. El alcance de la investigación realizada es descriptivo y explicativo, ya que se analizan las principales características de los elementos de evaluación y se proponen soluciones específicas para cada situación. En este estudio, se evaluaron 374 Seds con factores de carga para identificar y comprender 19 DEES principales que operan en condiciones críticas de sobrecarga, y diagnósticos de imágenes térmicas para identificar y comprender 48 DEES principales que sostienen 19 defectos de Seds sobrecargados (mal

funcionamiento inicial); 48 informes de diagnóstico muestran los resultados con instrucciones y recomendaciones para la evaluación oportuna del mantenimiento de Sed. En conclusión, el uso de los cálculos del factor de carga y de los calorímetros en el mantenimiento de sedes proyectadas ayuda a la evaluación de un gran número de elementos.

En su artículo "Estudio de confiabilidad en alimentadores de la subestación Chiclayo Oeste utilizando el método de simulación probabilística de Monte Carlo para determinar índices de confiabilidad" de Trigoso (2018) Aplicado al alimentador de la subestación Chiclayo Oeste (SECHO). Con este nuevo método se pueden demostrar indicadores de confiabilidad, justificando la realización de este estudio; su objetivo fue analizar y evaluar la calidad de servicio del sistema eléctrico en la región de Lambayeque, utilizando como muestra dos alimentadores de Secho, aplicando este nuevo método. En el desarrollo del marco teórico, se propuso realizar un estudio comparativo con el método de Márkov, en el que se pueden analizar los índices de fiabilidad propuestos por los métodos aplicados en este estudio; el análisis se realizó hasta el momento, y cada método se encuentra en el último capítulo o en el anexo Se adjunta una tabla comparativa de resultados respecto a la aproximación mínima, que ilustra la eficacia del método aplicado, orientando nuevos métodos que pueden ayudar a mejorar el buen servicio de los sistemas eléctricos

1.3. Teorías relacionadas al tema.

El rol estratégico de la distribución eléctrica mediante sistemas.

El sistema de distribución es la última etapa de del proceso de producir trasportar y consumir de electricidad. La mayoría de los usuarios del sistema eléctrico están satisfechos en este ámbito funcional; sólo los usuarios muy cargados se conectan directamente al sistema

Esta referencia pone de manifiesto que, por lo general, se subestima la importancia de los sistemas de distribución como parte vital del sistema eléctrico. El cuadro 1 muestra la proporción de esta área funcional en las cifras del sistema eléctrico

Tabla 1
Cuota de sistemas de distribución energético

Pregunta	Denominación	Intervención [%]
1	Bajas de energía	70
2	Cantidad de averías	90
3	No disponible	99
4	Energía no suministrada	75
5	Precio del suministro de energía	40
6	Inversiones en transporte anuales	70
7	El precio de la explotación	20

De los datos presentados en la tabla 1 Por lo tanto, el sistema de distribución es una parte importante de la red y en esta área funcional hay mucho potencial de mejora en el sistema energético.

Propiedades de las redes de suministro

Figura 3
Estructura típica de la red de suministro.

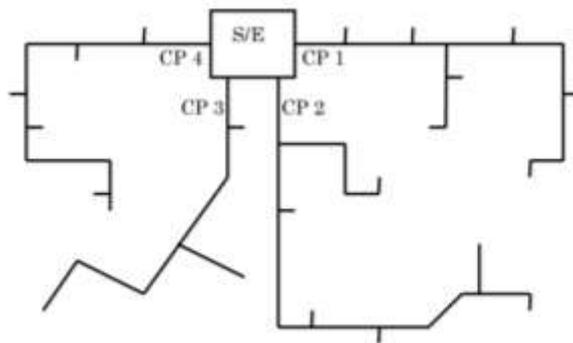


Tabla 2:
Estructura típica de la red de suministro.

1	Se compone de estaciones de sub-distribución (S/E), alimentadas por el sistema de transmisión, de las que salen los circuitos principales de distribución (CP) o "alimentadores". Véase la figura 3
2	Normalmente, los circuitos principales de distribución tienen una topología radial
3	Ciertos circuitos principales suelen presentar una topología de malla o de anillo, pero lo habitual es que funcionen de forma radial.
4	Los voltajes típicos de funcionamiento son de media ($V < 115 \text{ kV}$) y baja tensión ($V < 1,0 \text{ kV}$). No obstante, la distribución puede hacerse a otros niveles de tensión.
5	En el campo hay pocos usuarios dispersos en grandes áreas geográficas
6	En el ámbito urbano hay una gran densidad de usuarios
7	En esta área funcional, el sistema eléctrico cambia su topología de rejilla a radial, lo que tiene un gran impacto en la fiabilidad.
8	Es una red que tiene muchos elementos de tipo componible.

Confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica

La función de los sistemas eléctricos es proporcionar a todos los usuarios el mayor ahorro de energía eléctrica posible, dentro del dinero deseado y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y fiabilidad (Brown), 2017).

Para todos los usuarios, necesita la infraestructura necesaria para utilizar el servicio en sus instalaciones. Todos los usuarios o clientes deben estar presentes al mismo tiempo. La distribución debe minimizarse. Lo económico que se puede invertir, y los costes operativos deben minimizarse. Las necesidades de uso deben cumplirse en todo momento. Esto significa que es una reserva para enmascarar la evolución natural de la demanda y es más temporal que la demanda. La distribución debe minimizarse (Date y Tat 2009).

En cuanto a la calidad, (power quality), se utiliza para medir la fuerza y la forma de la onda eléctrica suministrada al usuario para lo cual se define: regulación de la tensión, frecuencia especificada, contenido de armónicos, presencia de fenómenos de distorsión de la onda (flechas, ondas, etc.) (Galhanas, 1994).

La protección de seguridad proporcionada incluye: Protección interna (seguridad): Minimizar las situaciones que se originan en el sistema de energía y están relacionadas con los riesgos para las personas, el medio ambiente, el propio sistema o los usuarios del dispositivo. Se especifica por las normas de construcción y funcionamiento de los componentes del sistema de energía, por ejemplo, los valores nominales de funcionamiento (mva, mw, etc.)(Galhanas, 1994).

Garantía de funcionamiento: La capacidad de la red para reaccionar de forma adecuada a las perturbaciones; tiene relación directa con la estabilidad electromecánica de la red. Está regulada por normas operativas, para garantizar la seguridad y el control de los sistemas en uso (Galhanas, 1994).

Fiabilidad: se refiere a la continuidad del servicio que cumple con los requisitos de calidad y seguridad. mejorar la calidad y la redundancia de los componentes y la incertidumbre en el recurso de la construcción y Por lo tanto, los fallos deben ser tolerados siempre que no sean demasiado frecuentes o demasiado largos. La fiabilidad de la red eléctrica es la capacidad de la red para cumplir sus requisitos, (Karki et al., 2014).

Capacidad de medir con posibles parámetros de fiabilidad, estadísticas descriptivas, parámetros de funcionamiento y parámetros definidos. Por eso, en un sistema eléctrico, el término fiabilidad tiene un significado muy amplio. Como se ha dicho, para cada nivel jerárquico se han establecido determinadas medidas. (Karki et al., 2014).

Tabla 3
Índices determinísticos.

Aspecto decisivo	La fiabilidad de la red se evalúa en función del acatamiento de determinadas normas de funcionamiento.
Aspecto procedimental	La fiabilidad se evalúa mediante métricas

Clases de análisis de la fiabilidad: Procedimental o decisivo

Analizar la fiabilidad de la red eléctrica necesita un enfoque procedimentalista dado que: el carácter aleatorio de las salidas no probadas que afectan a los equipos e instalaciones de la red eléctrica no permite un conocimiento previo (Karki et al., 2014):

Tabla 4
Análisis de la fiabilidad de la red eléctrica.

	Acontecimiento	Magnitud al azar
1	¿Cuándo se producirán los fallos?	Momento en que se producen los fallos

2	¿Cuántos fallos se producirán en un periodo de tiempo determinado?	Cantidad de fallos durante un determinado plazo de tiempo.
3	¿En qué elementos se producirán los fallos? las fallas?	Localización de los defectos.

Por otra parte, la duración del puerto previsto y no añadido es también una variable aleatoria porque depende de la inseguridad sobre la existencia de fuentes de energía primaria. Incertidumbre en la previsión de la demanda a corto y largo plazo. Sin embargo, un determinado tipo de análisis sigue siendo muy utilizado. (Sallam y Malik, 2011).

Las investigaciones de fiabilidad de los sistemas eléctricos se dividen en:

Tabla 5
Confiabilidad de sistemas de potencia.

Ajuste	Protección
Hace referencia a la disponibilidad de equipos e instalaciones suficientes para satisfacer la demanda de los usuarios.	Designa la capacidad del sistema para responder a las perturbaciones que se producen en su interior. Corresponde a la seguridad de funcionamiento (seguridad)
Se asocia a las afecciones operativas estáticas.	Se asocia a las situaciones de funcionamiento dinámico.
El rendimiento eléctrico de la instalación se evalúa mediante corrientes de carga o balances energéticos.	El rendimiento eléctrico del sistema se evalúa mediante análisis de estabilidad electromecánica que pueden ser estáticos o dinámicos.
Adecuado para la operación a largo plazo	Es adecuado para la operación a corto plazo.

Subestaciones

En el caso de las subestaciones eléctricas, los análisis de fiabilidad se realizan dentro de la actividad de diseño y consisten en ayudar a la selección de la unidad de exploración o el bastidor adecuados para los requisitos de fiabilidad del sistema. Aquí, dijo, permite la elección de la configuración de la subestación en función de otros aspectos. (Sallam y Malik, 2011).

Sistemas de prestación de servicios complementarios

En el caso de los sistemas de servicios complementarios, el análisis de fiabilidad se lleva a cabo en el marco del diseño, y consta de la selección de un conjunto de volutas o interruptores y equipos adecuados a los requisitos de fiabilidad del sistema. Se trata de un análisis similar al de la fiabilidad de un sistema industrial o comercial (Sallam y Malik, 2011).

Equipos

Concepto de garantía

Hay muchas palabras para definir la fiabilidad de un ordenador o sistema. Sin embargo, quizá la palabra más confusa sea fiabilidad. El nivel de reserva operativa de una versión. Estabilidad eléctrica en los modelos de tren motriz Seguridad integrada de los equipos e instalaciones eléctricas: no causan daños.

La capacidad del sistema para evitar acciones falsas. La capacidad de impedir la intrusión en las instalaciones del sistema eléctrico de la instalación. la capacidad de impedir la intrusión en la red informática de la instalación).(Sallam y Malik, 2011).

La fiabilidad como criterio de decisión

Para incorporar la fiabilidad objetiva como criterio de decisión para la eficiencia, se parte de la base de que se valora en términos de coste económico. Es decir, los usuarios/clientes valoran directa o indirectamente la continuidad del servicio eléctrico. En este contexto, la medición del nivel de fiabilidad tiene sentido. Más allá de la discusión sobre si los valores utilizados en los diferentes programas de regulación constituyen el coste de oportunidad social, existen diferentes índices. El problema es determinar si los valores de referencia son aceptables para considerar, especificándolos, un sistema fiable (Chowdhury y Koval, 2009).

A partir del 1er enfoque, es posible distinguir entre los índices que miden sólo la frecuencia de las alteraciones y los que miden sólo la duración de las mismas. Además, existen sugerencias para definir métricas combinadas (frecuencia y duración del trastorno), aunque su uso es limitado. Por otra parte, estos indicadores pueden ajustarse al sistema en general, es decir, valores medios basados en todos los clientes, o centrarse en los clientes (caracterizados o considerados por separado) o en un interruptor eléctrico concreto, es decir, establecer métricas de fiabilidad relativas a un grupo específico de clientes o a un equipo concreto. Por lo tanto, es necesario realizar una clasificación de las métricas de fiabilidad, y a efectos del modelo de optimización, la más relevante será la que corresponda a los datos principales utilizados para construirla (Haider et al., 2021).

Tabla 6
Evaluación de la fiabilidad en el ámbito del sistema eléctrico.

1	Evaluación de la fiabilidad	La fiabilidad de los equipos o tipos de equipos se evalúa mediante indicadores estadísticos como la tasa de fallos, el tiempo medio de reparación, la indisponibilidad anual, etc. Asimismo, se realiza la clasificación de las salidas planificadas y no planificadas que afectan a su disponibilidad. Esto permite la creación de medidas correctoras a nivel de diseño, especificaciones, mantenimiento preventivo, etc.
2	En el ámbito del circuito eléctrico	El modelo de averías y reparación de un equipo o tipo de equipo se obtiene para representarlo en los estudios de fiabilidad a nivel del sistema eléctrico.

He aquí algunos parámetros que se podrían tomar como indicadores de fiabilidad:

A. Indicadores en función de la cantidad de usuarios:

A.1) Indicador de frecuencia media de interferencia del sistema, SAIFI (por su sigla en inglés: System Average Interruption Frequency Index), representa el promedio de interrupciones de los clientes del sistema:

$$SAIFI = \frac{\text{Número total de las Interrupciones}}{\text{Numero de clientes abastecidos}} = \left(\sum_{i=1}^{n_f} N_{xi} \right) IN$$

A.2) Indicador de duración media del tiempo de inactividad del sistema, SAIDI (por su sigla en inglés: System Average Interruption Duration Index) es la duración promedio de interrupciones de clientes del sistema:

$$SAIDI = \frac{\text{Suma de la duración de las Interrupciones}}{\text{Numero de clientes abastecidos}} \left(\sum_{i=1}^{n_f} ttr_i * N_{xi} \right) IN$$

A.3) Índice de frecuencia de interrupción media de los usuarios, CAIFI (por su sigla en inglés: Customer Average Interruption Frequency Index)
El indicador CAIFI representa la cantidad promedio de interrupciones que experimenta un cliente interrumpido durante un periodo de tiempo.

$$CAIFI = \frac{\text{Número total de las Interrupciones}}{\text{Numero de clientes afectados}}$$

A.4) Índice de duración de interrupción media de los usuarios, CAIDI (por su sigla en inglés: Customer Average Interruption Duration Index)
El indicador CAIDI representa la duración promedio de interrupciones de un usuario (cliente) interrumpido durante un periodo de tiempo. Además, está asociado al tiempo de respuesta de la empresa distribuidora ante fallas.

$$CAIDI = \frac{\text{Suma de la duración de las Interrupciones}}{\text{Numero total de clientes afectados}}$$

B. Métricas en base a la energía: Para esta clasificación se utiliza un único indicador, llamado energía no soportada (anual y esperada). Está definido como:

$$ENS = \sum_{i=1}^n P_i \times t_i \quad (3)$$

Como este valor no se conoce (lo que se espera), hay que calcular la estimación. Dependiendo del método utilizado para dicha evaluación, los valores obtenidos para este indicador pueden variar. Por lo tanto, junto con los valores del índice, deben indicarse claramente los métodos utilizados en los cálculos: P_i representa la fuerza en la i -ésima unión del sistema con nN nodos, [kVA], que se interrumpió durante un tiempo t_i , [h]. Este valor puede (por el cálculo) dirigirse a otro periodo (por ejemplo, trimestral, semestral, etc.); por tanto, es mejor preferirse ser anual.

Análisis termográfico

A. Termografía

Entre las técnicas de mantenimiento previsto, una de las más utilizadas en los últimos años es la termografía infrarroja. (“Historia de la termografía”, s. f.)
Mediante esta técnica es posible detectar cualquier fallo que se manifieste en los cambios de temperatura sin contacto físico con el elemento analizado, basándose en las mediciones del nivel de radiación en el espectro infrarrojo. (Radu, 1999)

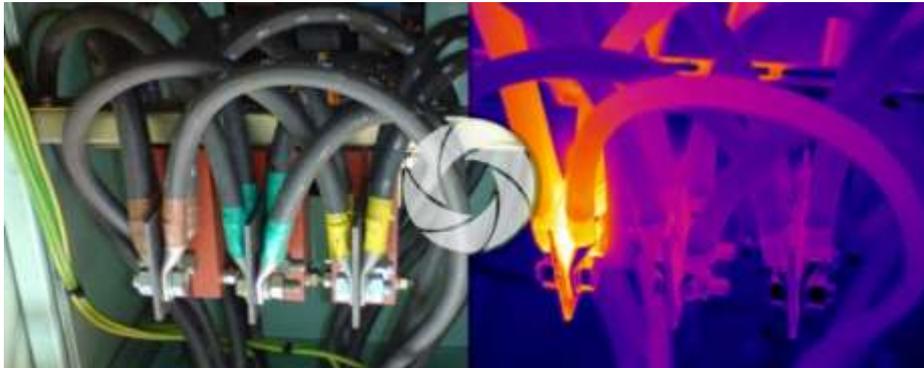
Generalmente, el fallo electromecánico, previo a su ocurrencia, suele producirse por la generación e intercambio de calor. Este calor suele traducirse en un aumento de la temperatura que puede ser repentino, pero, normalmente y dependiendo del objeto, la temperatura empieza a presentar pequeñas variaciones. Si dicha variación puede ser identificada, comparada y determinada, entonces se pueden identificar los fallos que comienzan a desarrollarse y esto puede producir a corto o medio plazo una parada de la planta. Gracias a su contribución a la planificación de las reparaciones y el mantenimiento, esto permite reducir el tiempo de inactividad al minimizar la posibilidad que se produzcan salidas de servicio inesperadas y no planificadas. (“Imágenes por medio de radiación infrarroja y termografía”, s. f.)

Entre las ventajas de la disminución de costes se encuentran ahorros considerables energéticos, equipos protegidos, en uso, la rapidez de la inspección y el diagnóstico y la comprobación fácil y rápida de la reparación (Prakash, 2012).

Las pruebas termográficas en los sistemas eléctricos tienden a detectar los componentes defectuosos en función sus temperaturas incrementadas como resultado de un incremento no previsto de su resistencia, siendo sus causales:

- Conectores dañados debido a la corrosión
- Contaminación de las uniones y/o de los bornes.
- Humidificación de los elementos aislantes.
- Uniones sueltas.
- Falta de armonización

Figura 4
Uniones sueltas.



Mediante la tradicional técnica de limpieza y apriete se realizan operaciones de reparación de nudos sueltos y nudos malos, de esta forma se conservan físicamente todos los nudos, juntas y puntos de contacto, lo necesiten o no, por lo que no se suele saber si se arregló un fallo o no (Lanzoni, 2015).

Con un termógrafo, se apuntan los problemas que hay que arreglar con las técnicas convencionales y también se pueden encontrar otros problemas que en circunstancias normales no se identifican. Un termógrafo de infrarrojos permite detectar, sin unión con los dispositivos eléctricos y mecánicos sobrecalentados de lo que se infieren, una posibilidad razonable de fallo, y también indica una pérdida de calor excesiva, un fallo razonable de aislamiento defectuoso (Maldaque, 1994).

Figura 5
Ausencia de aislación.



Beneficios y perjuicios de un termógrafo

Una termografía infrarroja plantea, como toda tecnología, una serie de elementos beneficiosos y otros muchos (ventajas e inconvenientes), de determinada relatividad según la circunstancia, emergencia, o inmediatez de diagnosticar el adecuado funcionamiento de los equipos eléctricos (Cañada y Royo, 2016).

Beneficios de la aplicación del termógrafo en las instalaciones eléctricas

- Se detectan malas conexiones, cortocircuitos, sobrecargas, desequilibrios de carga e instalaciones defectuosas.
- Ubicación de averías de forma rápida y eficaz, sin interferir en las operaciones productivas.
- Disminución de las dispendiosas averías no planificadas (emergencias no relacionadas con el mantenimiento).

Beneficios de la aplicación del termógrafo en el equipamiento eléctrico

Identificación de incidencias en métodos de aislamiento y revestimiento, radiación de calor, niveles de líquido entre otros (Borrego, 2007)

Figura 6
Fotografía verdadera y engañosa.



Aspectos que afectan al análisis termográfico

Carga

La incidencia de la calefacción cuando se produce un fallo, generalmente aumenta la potencia que se incrementa exponencialmente. Se ha comprobado

que la temperatura excesiva en dispositivos se incrementa proporcionalmente al efecto producido (Vavilov y Burleigh, 2020).

Emitancia

El comportamiento de los cuerpos en cuanto a la emisión de energía térmica. Dado que no todos los cuerpos al incrementar su temperatura logran irradiar energía del mismo modo, dependerá del tipo de material (Lanzoni, 2015).

Rapidez eólica

La acción de enfriamiento provocada por la rapidez del aire forma parte de los elementos a tener en cuenta en el análisis termográfico (Lanzoni, 2015).

Criterios de las aplicaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas son el principal uso de las instalaciones y servicios que proporcionan los equipos de termografía infrarroja. En los sistemas eléctricos, una prueba puede identificar problemas causados por la relación corriente/resistencia, los fallos suelen estar causados por conexiones sueltas o dañadas, cortocircuitos, cargas, cargas desequilibradas, componentes mal instalados o defectos del propio componente (Borrego, 2007)

Estas son las principales razones de las averías:

- **Resistencia eléctrica elevada:** Constituye la causa más habitual del sobrecalentamiento de los equipos eléctricos y de las líneas eléctricas.

Figura 7
Imagen real y térmica de un variador.



Según la ley de ohm, $P=I^2 \times R$., Una vez que se tiene un punto con la resistencia, el calor generado se transfiere a la armadura y al aire. Una imagen (termograma) de este momento dará una zona caliente en la conexión y la temperatura decreciente es la distancia de las conexiones ascendentes.

– **Interrupción de energía eléctrica**

Si se produce un cortocircuito en una red eléctrica, la duración suele ser corta, produciendo efectos rápidos y perjudiciales. No obstante, se puede identificar y diagnosticar un cortocircuito situado en un componente de acción mediante un termógrafo, ya que la parte en cortocircuito provocará un flujo de corriente excesivo y la generación de calor (Lanzoni, 2015).

– **Interrupción descubierta**

Un elemento que funciona en un estado de temperatura inferior al normal puede indicarnos que el circuito está abierto. Esta clase de fallo es habitual en condensadores de circuitos integrados, fuentes de alimentación, etc. (Lanzoni, 2015).

– **Energías inductoras**

- La energización por inducción puede provocar un gran calentamiento en el color elemental o en el campo magnético de un dispositivo de alta energía, como un generador central (Lanzoni, 2015).

– **Suelos energéticos**

Los suelos energéticos constituyen un elemento habitual en las instalaciones industriales. Al producirse, suele formarse una alta temperatura, por lo que no es difícil detectarla termográficamente (Lanzoni, 2015).

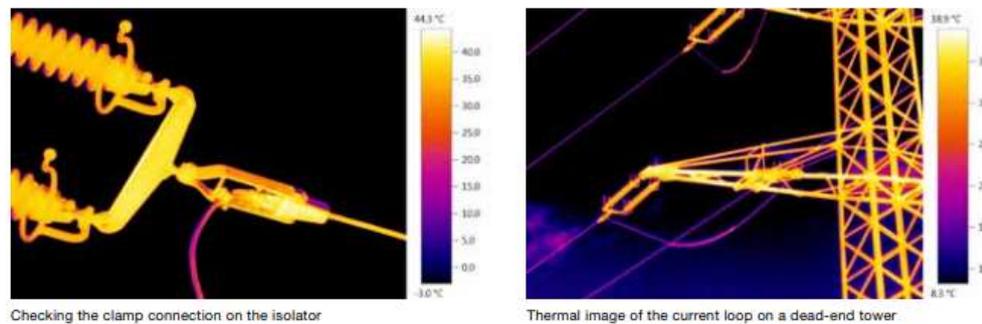
Ámbitos de aplicación del termógrafo

Un termógrafo se utiliza en muchas aplicaciones, sin embargo, sólo se profundizará en la electromecánica aplicada debido al alcance del trabajo. (Borrego, 2007)

Criterios de análisis para las redes de energía eléctrica

Con el fin de valorar la gravedad de la avería, el termógrafo utiliza el criterio de la temperatura Delta (AT). Este criterio suele mostrar la temperatura ambiente o del equipo que funciona en las mismas condiciones que el equipo en comparación. (Camilo, 2007)

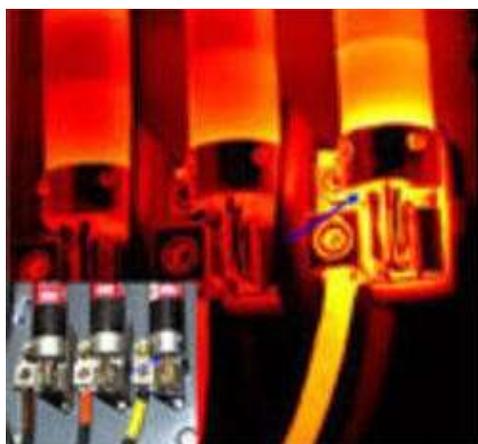
Figura 8
Fotografía verdadera y engañosa.



Subestaciones de energía eléctrica

Equipamiento de transformación, seccionamiento, conexión-desconexión, seccionamiento, filtros de onda, y demás accesorios según requerimientos, etc.

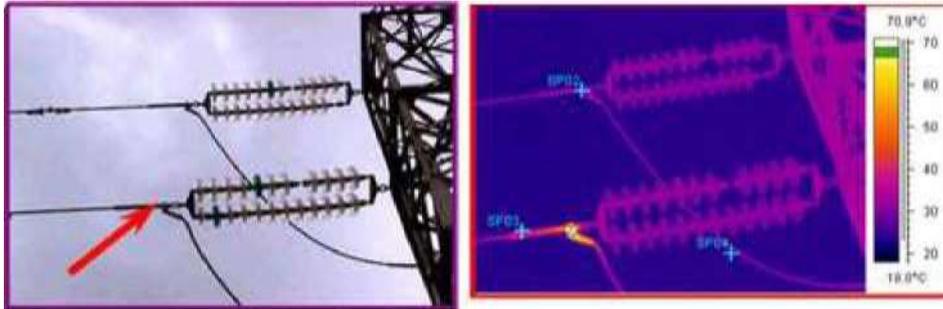
Figura 9
Imagen real y térmica de un transformador.



Líneas emisoras

Conexiones entre los aislamientos, protecciones a tierra de los edificios, etc.
(Camilo, 2007)

Figura 10
Líneas de transmisión – aisladores.



B. Análisis de termogramas

El método por el que el ser humano amplía su visión utilizando el infrarrojo espectral se denomina imagen térmica. La termografía permite obtener imágenes térmicas a distancia, llamadas termogramas, que permiten una magnitud analítica para determinar la isoterma (NI) y un análisis cuantitativo para determinar la temperatura exacta. Con esta técnica es posible determinar la temperatura de objetos fijos o en movimiento a distancia, lo cual es crucial cuando hay altas temperaturas, costes de electricidad y gases tóxicos. Esta herramienta desempeña un papel muy importante en la planificación del trabajo de los equipos de mantenimiento, el ahorro de energía, la protección y la reducción de los seguros. Las pruebas de los termostatos se llevan a cabo con personal de alta calidad y equipos especiales. Estos resultados de las pruebas se transmiten en un informe coloreado y con soporte desde arriba, que contiene descripciones detalladas de los elementos que funcionan a una temperatura anormalmente alta, la temperatura o el calor distribuido de forma desigual (Camilo, 2007)

Clase de métodos en los estudios termográficos

Para entender el termograma o la investigación termográfica, conviene saber la clasificación que los especialistas en la materia dan a cada uno de los parámetros involucrados en la investigación de mantenimiento predictivo (Camilo, 2007)

Tableros de distribución

La distribución de los puntos de calor anómalos observados en la prueba se determina en función del nivel de la temperatura estimada en condiciones de transferencia aumentada, del tipo de conexión y de la ubicación del punto afectado. Consulte la tabla adjunta sobre los grupos definidos por sus tipos de conexiones.:

Categoría A

Están incluidos la totalidad de los cables de rejilla expuestos, los contactos y las conexiones externas con aleaciones de aluminio, con ausencia de cualquier tipo de material aislante situado en el exterior. Para su clasificación se tiene en cuenta la temperatura leída durante la prueba. Esta lectura se efectúa inmediatamente sobre un componente fallado o analizado.

Tabla 7
Parámetros del Grupo A.

Clasificación		Calificación	Rangos de medición del calor	Medida
Bien	5	$0^{\circ}\text{C} < \mathbf{T} < 64^{\circ}\text{C}$		Seguir con lo previsto para el mantenimiento.
Investigado	4	$64^{\circ}\text{C} < \mathbf{T} < 115^{\circ}\text{C}$		Seguir y analizar el estado y las condiciones de funcionamiento.
Moderado	3	$115^{\circ}\text{C} < \mathbf{T} < 145^{\circ}\text{C}$		Planificar el siguiente plan de desconexión o seguir dentro de 6 meses.
Alto	2	$145^{\circ}\text{C} < \mathbf{T} < 155^{\circ}\text{C}$		Realice el mantenimiento correctivo inmediatamente si se supera la corriente media de los últimos seis meses.
Puntos de vista importantes	1	$\mathbf{T} > 155^{\circ}\text{C}$		Efectúe la reparación enseguida.

Categoría B

Comprende la totalidad de los contactos con aleaciones de cobre externas que carecen de material aislante y están situados en el exterior. Estos contactos se

clasifican en función de la temperatura leída durante la prueba. Dicha lectura se efectúa justo sobre un componente averiado o analizado.

Tabla 8
Parámetros del Grupo B.

Clasificación	Calificación	Rangos de medición del calor	Medida
Bien	5	$0^{\circ}\text{C} < \text{T} < 102^{\circ}\text{C}$	Seguir con lo previsto para el mantenimiento.
Investigado	4	$102^{\circ}\text{C} < \text{T} < 184^{\circ}\text{C}$	Seguir y analizar el estado y las condiciones de funcionamiento.
Moderado	3	$184^{\circ}\text{C} < \text{T} < 232^{\circ}\text{C}$	Planificar el siguiente plan de desconexión o seguir dentro de 6 meses.
Alto	2	$232^{\circ}\text{C} < \text{T} < 248^{\circ}\text{C}$	Realice el mantenimiento correctivo inmediatamente si se supera la corriente media de los últimos seis meses. Siga el siguiente plan de desconexión en caso de que no se supere la corriente media de los últimos seis meses.
Puntos de vista importantes	1	$\text{T} > 248^{\circ}\text{C}$	Efectúe la reparación enseguida.

Categoría C

En este grupo se incluyen los equipos sumergidos o dotados de aceite, como los transformadores eléctricos y de medida, las reactancias, los condensadores, los casquillos y determinados interruptores. También se encuentran en este grupo las subestaciones de encapsulamiento, equipos de transformación de medida y las llaves con aislamiento con SF6. La lectura se efectúa de forma indirecta porque el punto caliente interior transmite el calor por el medio aislado a la superficie exterior.

Tabla 9
Parámetros del grupo C.

Clasificación	Calificación	Diferencia de medición del calor	Medida
Bien	5	0°C	Seguir con lo previsto para el mantenimiento.
Investigado	4	1°C < T < 3°C	Seguir y analizar el estado y condiciones de funcionamiento.
Moderado	3	3°C < T < 10°C	Planificar el siguiente plan de desconexión o seguir dentro de 6 meses.
Alto	2	10°C < T < 16°C	Mantenimiento correctivo inmediato si supera la corriente media de los últimos 6 meses. Siga el siguiente plan de desconexión en caso de que no se supere la corriente media de los últimos seis meses.
Puntos de vista importantes	1	T > 16°C	Efectúe la reparación enseguida.

Figura 11
Fotografía termográfica y verdadera de un grupo de convertidores.

Ejemplo 1. Buje de convertidor de potencia

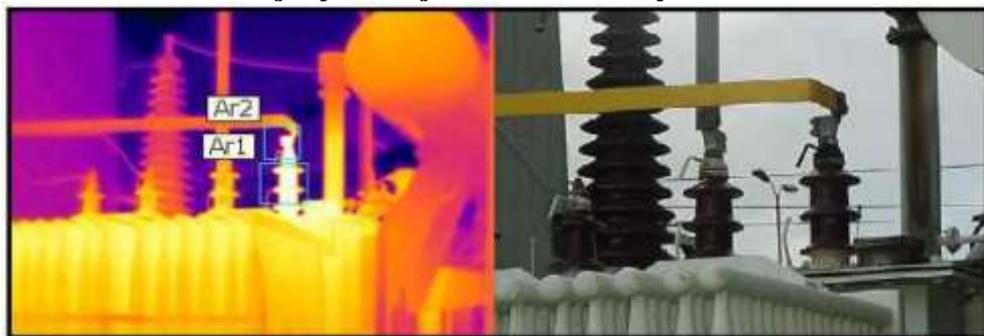


Tabla 10
Parámetros de análisis térmicos.

		Propiedades	
Banco	Dispositivo	Área de	Datos
Grupo de convertidores. Modelo 2	Buje de 13.8 kV Fase T	Buje y conector. Observaciones: presentan mayor temperatura de operación con respecto a los demás.	Clasificación: Alto Carga: 420 Amperios Temperatura: 63°C Diferencia: 11°C Referencia: 52°C

Como ejemplo anterior, tenemos un grupo de generadores que se adhieren a las propiedades constructivas. Este dispositivo se somete a una evaluación térmica para evaluar su estado. La figura 11 muestra diferentes saturaciones de color

en los conectores y en los casquillos. La fase T de 13,8 voltios muestra temperaturas más altas en comparación con los casquillos y otros dispositivos. La tabla 10, muestra la diferencia de temperatura entre estos dispositivos es de 11 °C al contrastar entre el valor de referencia y el valor medido; pues se basa en los datos mostrados en la tabla 10, podemos ver que este equipo está altamente clasificado, ya que la diferencia de 11°C está entre $10^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$, la calificación de esta clasificación, lo que indica que se deben tomar las medidas establecidas en la tabla 10. (Camilo, 2007)

Figura 12
Panel de enfriamiento del transformador.



Tabla 11
Parámetros de análisis térmicos.

Características			
Bahía	Equipo	Zona afectada	Información
Banco de transformadores. Modulo 2	transformador de 22 MVA	Tablero de refrigeración lateral 13.8 kV. Consideraciones: Descenso temperatura de funcionamiento en el tablero de refrigeración N°3 del lado 13.8 kV	Tipo: Templado Temperatura: 47 °C Divergencia: 7°C Material auxiliar: 54 ° C

Con respecto a este caso concreto, la figura 12 muestra la imagen térmica de un transformador de potencia, donde una de las placas de refrigeración tiene una temperatura inferior a la normal. Si se compara la divergencia de temperaturas de la zona con afección (Tabla 11) con los valores mostrados en la Tabla 9 (equipamiento con sumergimiento en aceites refrigerantes) se

observa que la avería presenta clasificación moderada, lo que aconseja planificar el mantenimiento para el siguiente plan de desconexión o realizarlo antes de 6 meses.

Termograma de una subestación de energía eléctrica tradicional

A continuación, se muestran los resultados alcanzados en los trabajos de ensayo termográfico ejecutados en los diferentes equipos de una subestación eléctrica tradicional. (Camilo, 2007)

Potencia de desconexión

Figura 13

Fotografía energética y verídica de la desconexión de la etapa R.

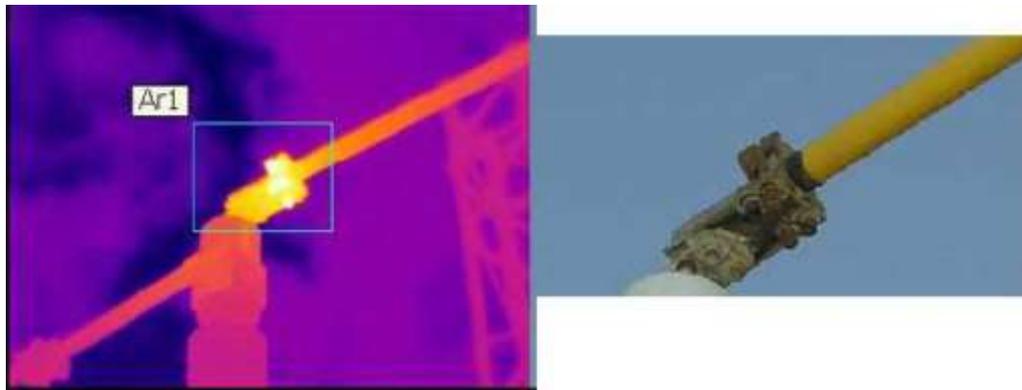


Figura 14

Fotografía energética y verídica de la desconexión de la etapa fase T.

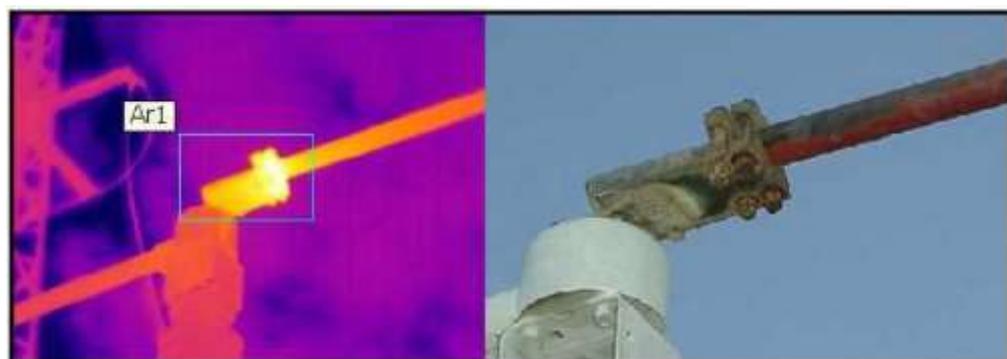


Tabla 12

Propiedades termográficas de las dos etapas de desconexión.

Propiedades

Fases	Bahía Equipo	Zona	Información
R	Autotransformador lado 115 Kv	Seccionador 303 Fase R	Conector lado seccionador 328 Clasificación: Crítico Carga: 420 Amperios Temperatura: 345°C Referencia: 38°C
T	Lado de funcionamiento automático de 115 kV	Desconexión 303 Etapa T	Conector lado seccionador 328 Observación: La etapa S, lado de desconexión conector 328, muestra un punto con calentamiento anormal con una temperatura inferior a 92°C. Clasificación: Crítico Carga: 420 Amperios Temperatura: 160°C Referencia: 38°C

Evaluación:

Se evalúa un equipo con desconexión eléctrica en el que se fijarán 2 de las etapas del aparato (figs. 13 y 14), siendo las fases R y la T, y evaluando individualmente de los terminales con recalentamiento (tabla 14).

En el caso de la etapa R, de acuerdo a la termografía de la Figura 13, existen puntos recalentados que sobrepasan la referencia del equipo, como se puede inferir en la tabla 14, podemos decir una alta criticidad, según la tabla 12 (Grupo B):

CRITICO	1	T>248°C	Realizar el correctivo Inmediatamente.
---------	---	---------	----------------------------------------

En la misma forma que la etapa R, la etapa T (Fig. 15), presenta en su figura térmica un foco de temperatura inferior, siendo el calentamiento anómalo de 92°C, en consecuencia, también se encuentra en condición crítica.

La medida a tomar es revertir la reparación inmediatamente porque esta anomalía en el futuro podría crear deterioro y daños considerables. Por lo tanto, continuamos:

- Desenganche e inspección, efectuando operaciones de comprobación
- Volver a conectar
- Efectuar una termografía adicional para la comprobación

Figura 15

Fotografía termográfica y verídica de la caída a seccionadora etapa R.

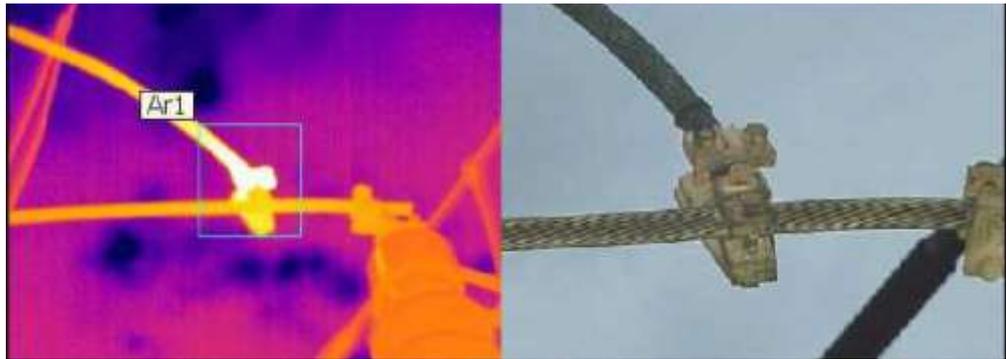


Figura 16
Fotografía termográfica y verídica de la caída a desconectar etapa T.

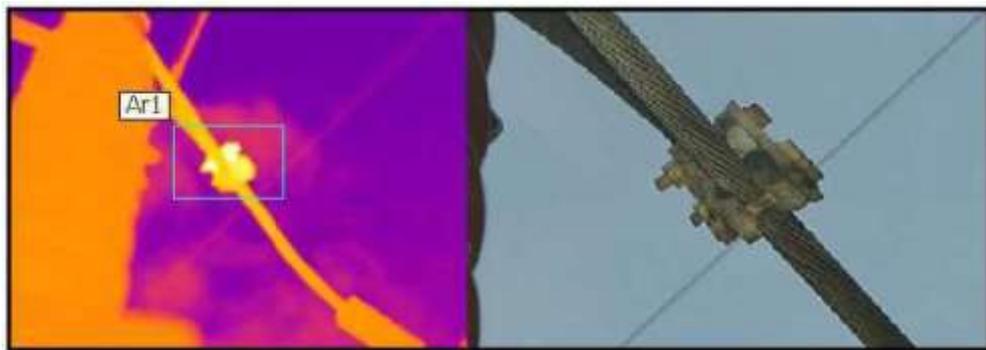


Tabla 13
Propiedades termográficas de la caída al desconector.

Características				
Fases	Bahía	Equipo	Zona	Información
R	Transformador N°1	Bajada al seccionador 528 - 624 (Anillo de 115 kV)	Conexión en T inferior de la reducción del puente entre desconectores	Clasificación: Crítico Carga: 105 Amperios Temperatura: 175°C Referencia: 30
T	Transformador N°1	Bajante a seccionadores 528 - 624 (Anillo de 115 kV)	Conexión en T inferior de la reducción del puente entre desconectores	Clasificación: Moderado Carga: 105 Amperios Temperatura: 97°C Referencia: 30°C

Evaluación:

El aparato que se va a valorar es la bajada a desconexión donde se establecerán 22 fases del aparato (Fig. 15 y 16) R y T, y se evaluarán cada una de las particularidades de los puntos calientes (Tabla 15).

En la etapa R, figura 15, hay recalentamiento que superan ampliamente el giro del equipo. Como la temperatura que indica el instrumento es de 175°C estando el dispositivo en una condición crítica (Tabla 13).

Puntos de vista importantes 1 T>155 °C Realice la reparación inmediatamente.

Por lo tanto, el mantenimiento correctivo se lleva a cabo inmediatamente.

Por otra parte, dentro de la etapa T, Fig. 14, se observan puntos recalentados y están por encima de la temperatura de referencia, exactamente en el rango 145°C<T<155°C, lo que indica que está en un estado moderado. El cuadro 12 ofrece orientación para planificar un plan de desconexión y ponerlo en marcha.

Escapatoria de generador a barra primordial de 34.5 KV

Figura 17

Fotografía termográfica y verídica de escapatoria de trafo a barra primordial.

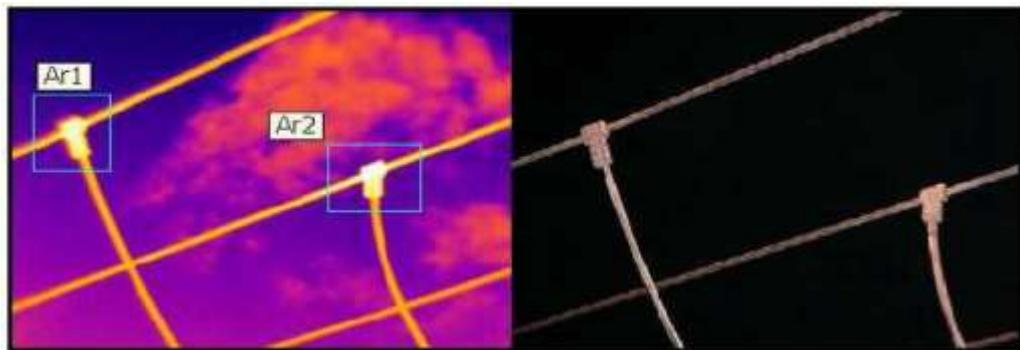


Tabla 14

Propiedades termográficas de la caída al desconectador.

Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos
S y T	Transformador N°1 Lado 34.5 kV	Escapatoria del convertidor de la banda principal de 34.5 kV	Conexión superior en T en barra de 34.5 Kv	Ordenar: Investigar Carga: 345 amperios Calentamiento: 83 °C Referencia: 28 °C

Evaluación:

En el caso de los aparatos a evaluar, se trata de la salida del transformador de barra principal, que condiciona dos de las fases del aparato, la Fase R y la T (Fig. 17), conjuntamente con sus características reveladas en la Tabla 14 (lectura y temperatura de referencia), de lo que se puede concluir que el aparato está en estado investigado. 83 °C está en el rango de $64\text{ °C} < T < 115\text{ °C}$, típico de esta clasificación. De acuerdo con la Tabla 14, seguimos para programar el mantenimiento y realizar el análisis del estado y las condiciones de funcionamiento.

Switch de energía

Figura 18

Foto energética y verdadera de un switch de alimentación.

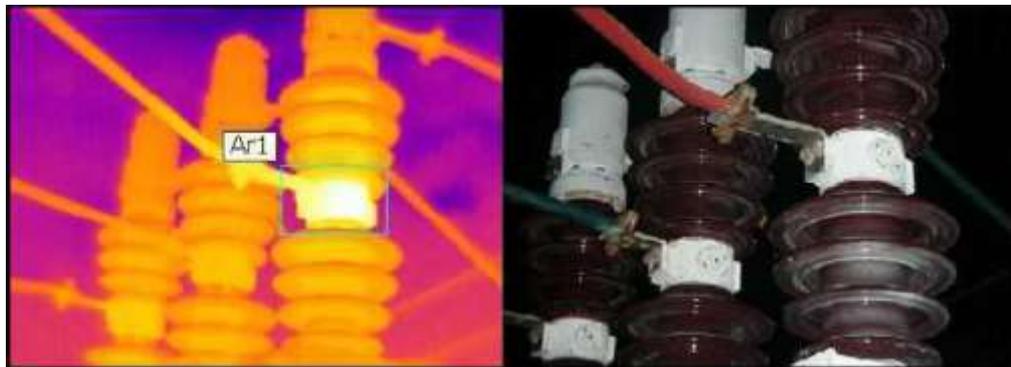


Tabla 15

Características térmicas de un switch de alimentación.

Propiedades				
Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos
R	Celda N°35 (34.5 kV)	Interruptor C35	Fragmento inferior en cámara de decadencia	Ordenar: Investigar Carga: 70 amperios Calentamiento: 48 °C Referencia: 26 °C

Evaluación:

En el caso del conmutador de alimentación (Fig. 18), se ha realizado el análisis de una de las fases, la fase R, donde hemos visto una diferencia de temperatura de 220°C, por lo que podemos concluir de la Tabla 15, que el conmutador está en condición crítica.

Puntos de vista importantes 1 $T > 163\text{ }^{\circ}\text{C}$. Realice la reparación inmediatamente.

Por lo tanto, la reparación se lleva a cabo inmediatamente:

- Desenganche e inspección
- Limpieza y perfeccionamiento de la presión de contacto
- Volver a conectar

Atrapador para iones.

Figura 19

Foto energética y verdadera de un atrapador para iones.

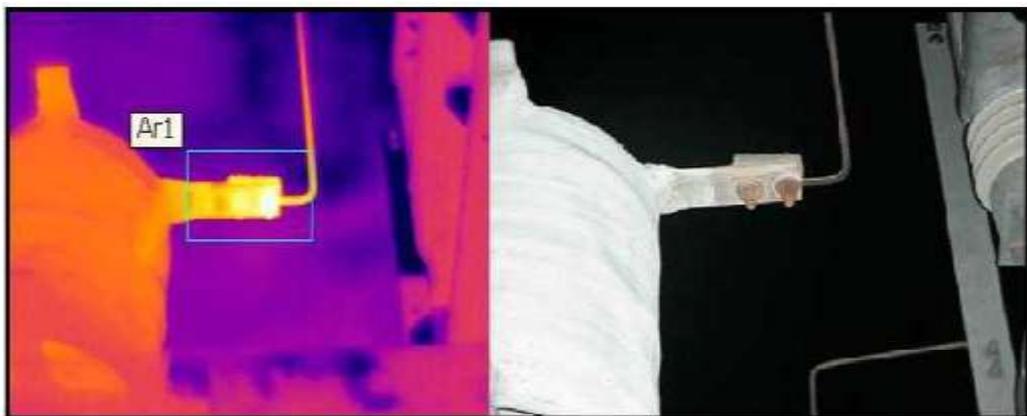


Tabla 16:

Características térmicas de un atrapado para iones.

Propiedades				
Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos
S	Grupo de acumuladores N°2 (13.8 kV)	Trampa de onda etapa S	Conector elevado	Ordenar: Alto Carga: No fácilmente accesible Calentamiento: 145°C Referencia: 37°C

Evaluación:

Se muestra en la Fig. 19 un atrapador de ondas de donde se saca una fotografía termográfica para evaluar su estado (Fig. 19) donde se aprecia un punto caliente en dicho dispositivo de protección. La Tabla 16 nos ofrece una temperatura de

lectura de 145°C y una temperatura referencial de 37°C, si observamos el rango de temperaturas de la Tabla 7 (Grupo A) descubrimos que para tal tamaño la clasificación del estado del equipo está en un nivel "alto", lo que nos lleva a las siguientes recomendaciones:

Realizar inmediatamente el mantenimiento correctivo si se supera la corriente media en los seis meses, y en caso de emergencia realizar un plan de desconexión adicional.

Condensador fases

Figura 20:
Foto energética y verdadera de un acumulador etapa S.



Tabla 17
Características térmicas de un acumulador etapa S.

Propiedades				
Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos
S	Grupo de acumulador N°2 (13.8 kV)	Acumulador N°1 Etapa S	Conexión superior. Se mira hilos rotos en la conexión.	Tipo: Investigar Cargar: No fácilmente accesible Calentamiento: 65 °C Referencia: 31 °C

Evaluación:

El equipo a evaluar a continuación es un condensador, etapa S (Fig. 20) al que se le toma una imagen térmica para evaluar su estado (Fig. 20) donde se observa un punto caliente en dicho dispositivo de protección. La Tabla 17 nos proporciona la temperatura medida, la cual es bastante grande comparada con la referencia del dispositivo, si observamos el rango de temperatura de la Tabla

7 (Grupo A) encontramos que para este tipo de temperatura la clasificación de la condición del equipo está en el nivel de “investigado”, lo que nos lleva a seguir y realizar El análisis de condición y condiciones de operación.

Corte de la navaja

Figura 21:
Foto energética y verdadera de un corte de la navaja.

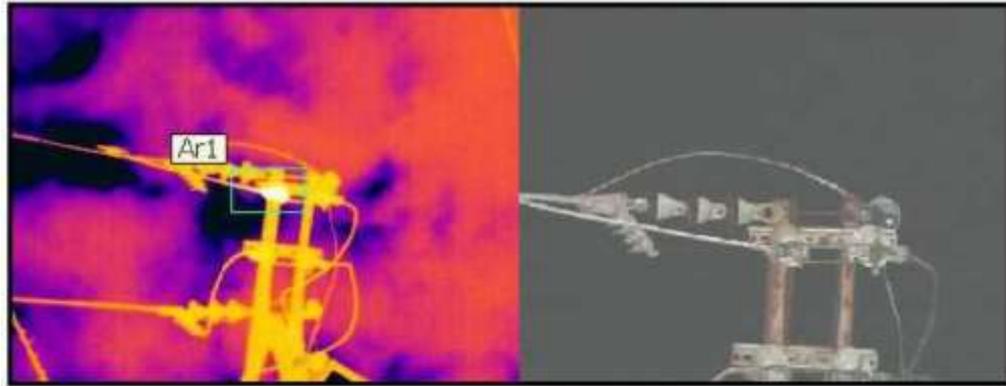


Tabla 18:
Características térmicas de un corte de la navaja.

Etapas	Bahía	Propiedades		Datos
		Dispositivo	Área de	
T	Salida de Celda C21	Cuchilla de corte	Conector lado línea	Ordenar: Moderado Carga: 95 Amperios Calentamiento: 119°C Referencia: 27°C

Evaluación:

Para evaluar su estado, la Fig. 21 presenta una lámina transversal de la que se toma una imagen térmica (Fig. 21) en la que se observa un punto caliente en dicho dispositivo. La Tabla 18, nos da una temperatura medida de 119°C que es muy superior a la de referencia, si miramos el rango de temperaturas de la Tabla 7 (Grupo A) encontramos que para tal temperatura la clasificación del estado del equipo está en un nivel "moderado", que incluye una diferencia de temperatura de $115\text{ °C} < T < 145\text{ °C}$, y las siguientes medidas: Programar el siguiente plan de desconexión o seguirlo dentro de seis meses.

Corte de la navaja 2

Figura 22

Foto energética y verdadera de un corte de la lámina etapa S.

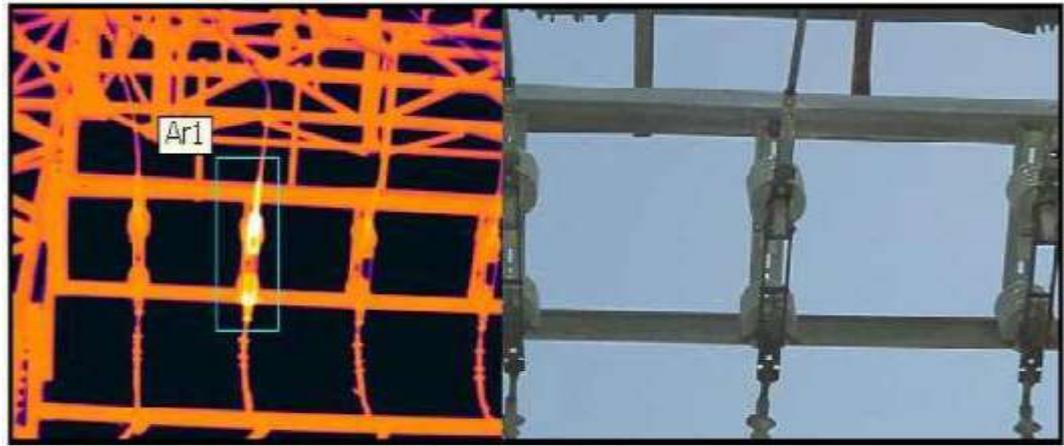


Figura 23:

Foto energética y verdadera de un corte de la lámina etapa T.

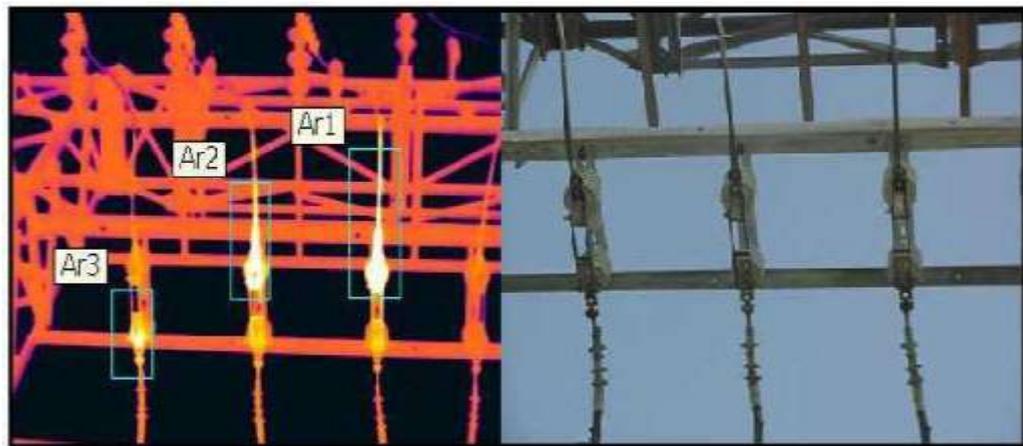


Tabla 19:

Actividades térmicas de un corte de la navaja 2.

Fases	Bahía	Equipo	Zona afectada	Información
S	Salida de Celda C49	Cuchilla seccionadora Fase S	Conexión en los dos lados	Ordenar: Moderado Carga: 95 Amperios Calentamiento: 119°C Referencia: 27°C
Conexión en el lateral de la línea				

			Nota: Paso S, el conector de la línea muestra un punto con el calentamiento anormal con una temperatura inferior de 84 ° C. Paso T, el conector del lado mufa muestra un punto con el calentamiento anormal con una temperatura inferior de 64 ° C.	Ordenar: Examinador Carga: 220 Amperios Calentamiento: 198°C Referencia: 36°C
R	Salida de Celda C54	Cuchilla seccionadora Fase R		

Evaluación:

Para el aparato que se va a valorar, se muestra otra lámina transversal, en la que se determinarán dos de las fases del aparato (Figs. 22 y 23), que son la fase R y la S, y se evalúan las particularidades de cada uno de los puntos calientes (Tabla 19).

En el caso de la etapa S, se visualiza una foto termográfica para evaluar su estado (Fig. 22) en la que se evalúa un punto caliente. La Tabla 19 nos ofrece una temperatura notablemente alta de 119°C, en comparación con la temperatura de referencia, que según la Tabla 7 (Grupo A), incluye una condición moderada, que recomienda la programación para el próximo plan de desconexión o la ejecución hace 6 meses.

En cuanto a la etapa R, de acuerdo con la foto extraída del aparato, ilustrada en la Figura 23, hay puntos calientes que superan con creces la referencia del aparato, ya que la llamada temperatura es muy superior a la de referencia, y como se muestra en la Tabla 19. Se encuentra en estado crítico y se recomienda su reparación inmediata.

Conmutador de alimentación 2

Figura 24:
Foto energética y verdadera del conmutador de alimentación 2.

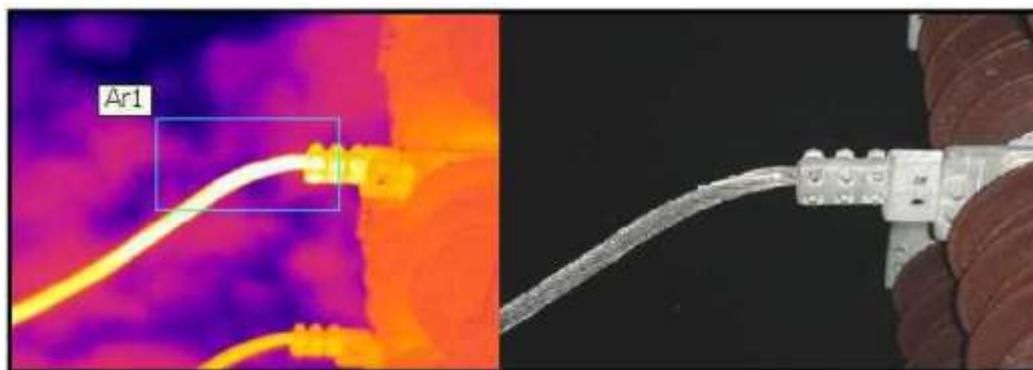


Tabla 20:
Características térmicas del conmutador de alimentación 2.

Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Información
S	Transformador N°1 Lado 34.5 kV	Interruptor OT15 Fase S	Enchufe lateral del TC Comentarios: El conector de la etapa S tiene los hilos rotos. En el paso R, el conector lateral del TC incluye un punto con calentamiento anormal con menos de 63°C.	Clasificación: Crítico Carga: 690 Amperios Temperatura: 155°C Referencia: 41°C

Evaluación:

La Fig. 24 presenta los conductores de la etapa S mostrando daños en sus cables, a los cuales se les toma una imagen térmica para evaluar su estado (Fig. 24) donde se observa un punto caliente en dicho dispositivo. La tabla 20 arroja la temperatura medida de 155°C y la temperatura de referencia que es de 41°C, lo que nos lleva a la conclusión de que se encuentra en estado crítico según el rango de temperaturas de la Tabla 7 (grupo A) encontramos que por tal diferencia la clasificación del estado del equipo se encuentra en el nivel "crítico", Y se recomienda realizar la reparación de inmediato.

Conmutador 3 (fondo de la cámara de cierre)

Figura 25:
Fotografía termográfica y visual del conmutador de fuerza 3.

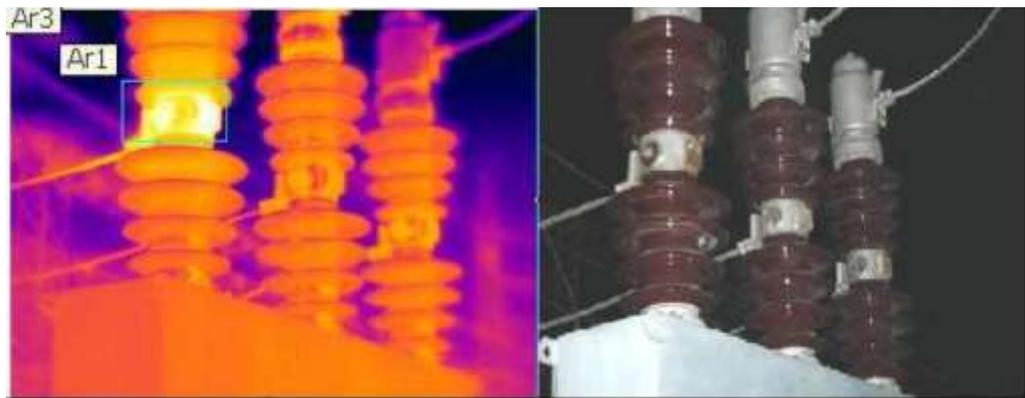


Tabla 21:
Características térmicas del conmutador de fuerza 3.

Propiedades

Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos
T	Convertidor de 22 MVA Modulo 2 Lado 34.5 kV	Conmutador OT21 Fase T	Fragmento mínimo en cámara de extinción	Ordenar: Examinador Carga: No fácilmente accesible Calentamiento: 56°C Diferencia: 28°C Referencia: 28°C

Evaluación:

Los equipos a analizar son conmutadores eléctricos, en los que se establece una fase del equipo (Fig. 25) y la fase T, y se evalúan las propiedades de cada uno de los puntos calientes (Tabla 21). En este punto, se visualiza una foto termográfica para evaluar su estado (Fig. 25) en la que se estima un punto caliente. La Tabla 21 nos da una divergencia de temperatura de 28°C, que según la Tabla 9 (Grupo C), esto incluye una condición "crítica" y se recomienda hacer la corrección inmediatamente.

Acumulador (enchufe de cubo alto)

Figura 26:
Foto energética y verdadera del acumulador.

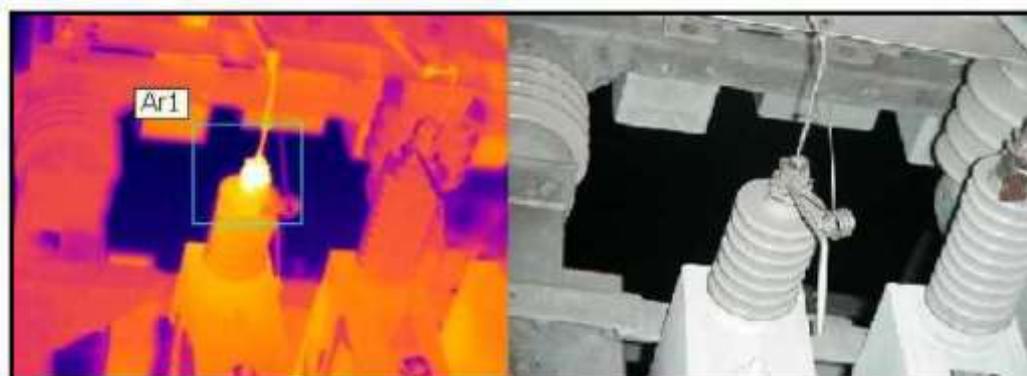


Tabla 22:
Características térmicas del acumulador.

Propiedades				
Etapas	Bahía	Dispositivo	Área de afectación	Datos

T	Grupo de acumuladores N°2 (13.8 kV)	Condensador N°1 (lado bobina fase T)	Conector en buje de alta	Clasificación: Moderado Carga: No Disponible Temperatura: 127°C Referencia: 30°C
---	-------------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Análisis:

El dispositivo a evaluar es un condensador, en concreto analizaremos el conector del casquillo Alta, que en el procedimiento del dispositivo se determina (Fig. 26) Se aprecia la fase y las características de cada punto caliente (Tabla 22). Para esta fase, se muestran imágenes térmicas para evaluar el estado (Fig. 26) En los casos en los que son visibles los puntos calientes, la Tabla 22 nos da la temperatura. 97 scrabble, que según la Tabla 7 (Grupo A), que incluye estados "moderados", y recomienda que el programa del plan se desconecte o funcione antes de seis meses.

1.4. Formulación del Problema.

¿De qué manera la prevención de fallas mediante análisis termográfico incrementa la confianza de una red de suministro eléctrico, del Distrito de Chicama?

1.5. Justificación e importancia del estudio.

El presente estudio de investigación se justifica desde el criterio práctico debido a que permitirá prevenir con anticipación las posibles causas de falla que afectan la confiabilidad de la calidad del servicio eléctrico, dando a los usuarios un servicio de alta calidad y confiabilidad.

Presenta también una justificación técnica porque a diferencia de la mecánica, u otras áreas técnicas, donde se puede detener y desarmar y ver la falla o el deterioro, problemas futuros que se ven a través del comportamiento técnico en pleno funcionamiento, lo que permite prever que circuitos están deteriorados y programar su mantenimiento a fin de que la falla o confiabilidad de la calidad de la energía no se vea afectada.

Desde el criterio social y económico la presente investigación se justifica porque contribuye a que la población tenga un servicio eléctrico de calidad indispensable para su desarrollo y competitividad, por otra parte, es una herramienta de bajos

costos y que permite gran productividad, que está al alcance de los concesionarios de mantenimiento del servicio, ya que a estos no solo les pagan por mantenimiento, sino que tienen penalidades por la confiabilidad del servicio.

1.6. Hipótesis.

Una propuesta de prevención de fallas mediante análisis termográfico incrementa la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama 2021.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos General

Determinar la influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama La Libertad.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Analizar y determinar la confianza de una red de suministro eléctrico, Chicama 2019.
- Desarrollar una propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico de una red de suministro eléctrico.
- Determinar la confianza de una red de suministro eléctrico, Chicama, posterior a la propuesta de mejora de prevención de fallas.
- Elaborar un análisis económico de la propuesta de mejora aplicando la tecnología del análisis termográfico propuesto.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

Tipo de investigación.

De acuerdo a su finalidad, es aplicada o empírica, retomando a Hernández et al. (2003) Intenta aplicar o utilizar los conocimientos adquiridos en la ciencia que está íntimamente relacionada con la investigación fundamental, ya que se basa en los saberes de la ciencia vigente.

Atendiendo a su método científico, la presente investigación es descriptiva, siguiendo a Hernández et al. (2003), se trata de un procedimiento científico que consiste en observar y registrar la conducta de un sujeto sin afectarlo de ninguna manera.

La presente investigación es cuantitativa, de acuerdo con Hernández et al. (2003), El objetivo del proceso de toma de decisiones es indicar, entre algunas alternativas, en una escala numérica que pueda ser manejada con herramientas estadísticas.

Diseño de la investigación.

Atendiendo a su diseño, es pre-experimental. Los estudios pre experimentales son según Hernández et al. (2003) planificación previa a la prueba, después de una prueba con un grupo: un grupo recibe una prueba antes del estímulo o tratamiento experimental; luego se le aplica el tratamiento y finalmente se le hace una prueba posterior al tratamiento. Este diseño ofrece una ventaja sobre el anterior, hay un punto de referencia inicial para ver qué nivel tenía el grupo en las variables que dependen del estímulo, es decir, hay una continuación del grupo. El diseño se ajusta al siguiente esquema:

$$\mathbf{M: O1 \rightarrow X \rightarrow O2}$$

M : Muestra de estudio

O1 : Confiabilidad del sistema de distribución antes.

X : Aplicación de prevención de fallas mediante análisis termográfico.

O2 : Confiabilidad del sistema de distribución después.

2.2. Población y muestra.

Población

La población estuvo compuesta de los indicadores de confiabilidad durante el año 2019 (pre test) y el año 2020 (post test) y son (índice de frecuencia de interrupciones, índice de duración de interrupciones, frecuencia de interrupciones transitorias promedio, energía no suministrada, etc.).

Muestra

La muestra por conveniencia está compuesta por toda la población de datos.

2.3. Variables, Operacionalización.

Variable independiente: La propuesta de prevención de fallas, la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama – La Libertad.

Variable Dependiente: Análisis termográfico, los parámetros de confiabilidad: SAIFI, CAIFI, SAIDI, CAIDI y ASAI.

Operacionalización.

Tabla 23:
Operacionalización de variables

Variables	Nombre	Definición conceptual	Definición operacional
Independiente	Fiabilidad de las redes de suministro de energía eléctrica	El rol de la red eléctrica es proporcionar a todos los usuarios la mayor cantidad posible de energía eléctrica económica, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y fiabilidad (Brown, 2017)	Sobre lo esperado
			Dentro lo esperado
			Debajo lo esperado
Dependiente	Análisis termográfico	Se trata de la ciencia que consiste en conseguir y evaluar la información termográfica a partir de dispositivos de imagen sin contacto. Constituye una técnica de mantenimiento predictivo que puede utilizarse para supervisar el estado de las máquinas, los edificios y los sistemas (Maldaque, 1994).	Sobre lo esperado
			Dentro lo esperado
			Debajo lo esperado

Fuente: Elaboración del autor

Tabla 24
Operacionalización de variables.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumento	Escala
Confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica	Abastecimiento cantidad	Índice de frecuencia de interrupciones	Focus Group	Ficha de observación incidente	Ordinal
		Duración de interrupciones		Ficha de frecuencia de incidentes	
	Abastecimiento	Frecuencia de interrupciones transitorias promedio	Análisis síntesis	Ficha de capacidad de carga	
		Energía no suministrada		Ficha de observación	
Calidad de Seguridad	Control	Tensión	Focus Group	Ficha de priorización de causas	
		Frecuencia Armónicos			
Análisis termográfico	Componentes defectuosos	Respuesta a la falla	Prevenición en tiempo real	Ficha de prevención de fallas mediante análisis termográfico	Ordinal
		Tiempo de reparación de falla			
	Desempeño de componentes				
Prevenición de fallas	Evitamiento de interrupción	Conexiones afectadas por corrosión	prevenición en tiempo real	Prevenición en tiempo real de sobrecarga	
		Afectadas por suciedad			
Degradación de materiales aislantes	Nivel de evitamiento de interrupciones	Fatiga de material	Análisis síntesis	Alerta de revisión de área con sobrecarga no programada	
		Conexiones flojas			
Armónicos					

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

Técnicas

Las técnicas a utilizar fueron: Focus Group, observación, análisis síntesis.

Instrumentos

- Ficha de observación de fiabilidad de las redes de suministro de energía eléctrica.
- Ficha de análisis termográfico
- Ficha de influencia de análisis termográfico

Validez

Para la validez en constructo, se utilizó el juicio de un experto, el experto, es un profesional que conoce la problemática. Los instrumentos utilizados fueron validados por el Ing. Romel Medina Saldaña, los mismos que adjuntan en el anexo.

Confiabilidad

El grado y/o incidencia de confiabilidad dependerá de la formulación matemática, expresada por las siguientes ecuaciones 1 y 2, basadas en los conceptos de SAIFI, SAIDI, CAIFI y CAIDI, principalmente, siendo analizados por rangos de tiempo determinados en nuestro estudio de investigación propuesta.

2.5. Procedimientos de análisis de datos.

- Los datos de confiabilidad durante los periodos de comparación se analizaron estadísticamente
- Los datos sobre los casos de prevención de fallas termográficas se sistematizaron y se representaron descriptivamente
- Para la demostración de hipótesis, se utilizó la estadística inferencial mediante la comparación estadística de grupos relacionados a través de estadísticos t-Student o Wilcoxon según sea el caso.

2.6. Aspectos éticos

Para llevar a cabo esta investigación se tendrán en cuenta los principios de respeto al anonimato, confidencialidad, respeto a la dignidad humana, buen hacer y principios de justicia, que pretenden mejorar la calidad y objetividad de la investigación. Se requerirá el consentimiento informado del personal de forma verbal y por escrito, además, se informará al personal de su libre decisión de suspender la participación cuando lo considere necesario (Hernández et al., 2010).

2.7. Criterios de Rigor científico.

En el presente trabajo se consideran y detallan los principios éticos (Navarro, 2009):

El principio de autonomía, ya que cada participante decidió participar voluntariamente después de ser informado sobre el propósito del estudio (Zárate, 2009).

Por el principio de imparcialidad, todos los participantes reciben un trato justo y equitativo, respeto y amabilidad, además de la confidencialidad de la información proporcionada.

Consentimiento informado: Se le informará de la finalidad del trabajo y de que ningún procedimiento utilizado en la investigación pondrá en peligro su trabajo, honor y dignidad.

Confidencialidad: Tiene derecho a esperar que la información obtenida durante el estudio se mantenga estrictamente confidencial, esto puede obtenerse mediante el anonimato u otros medios.

Dignidad humana: incluye el derecho a la autodeterminación y al acceso irrestricto a la información.

Normas científicamente rigurosas

Credibilidad: Se trata de la mayor probabilidad de obtener resultados creíbles, que puede lograrse gracias al compromiso del investigador con el informante durante la investigación. Este compromiso busca identificar los factores contextuales que influyen en el fenómeno de la investigación.

Aplicabilidad: intenta aplicar las implicaciones de las conclusiones a otras situaciones influidas por experiencias similares.

Comodidad: Tiene en cuenta la objetividad o neutralidad de la investigación, garantizando que los resultados, las conclusiones y las recomendaciones se apoyen en datos y pruebas actuales, y que también se apoyen en la opinión de los expertos (Polit y Hungler, 2000).

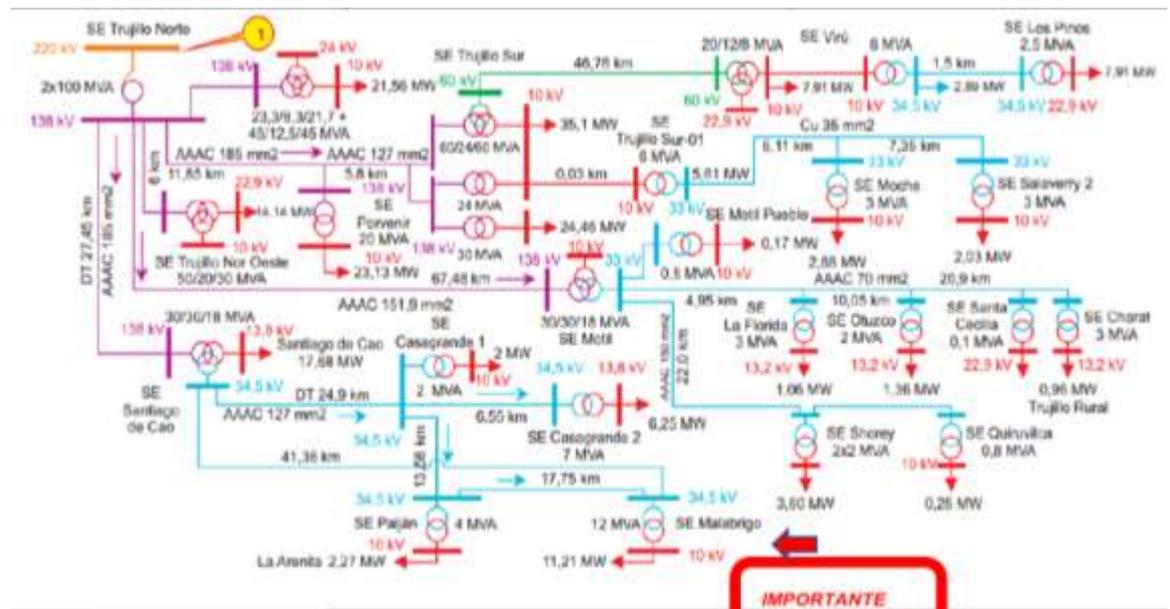
III. RESULTADOS

3.1. Tablas y Figuras

3.1.1 Respecto al análisis y determinación de la confianza de una red de suministro eléctrico, Chicama 2019.

El suministro de energía de Chicama, proviene de red Paiján- Malabrigo, conectada al sistema nacional a través de la barra de referencia Trujillo - Norte como se muestra en la figura:

Figura 27
Ubicación de la red Chicama en el circuito Trujillo.

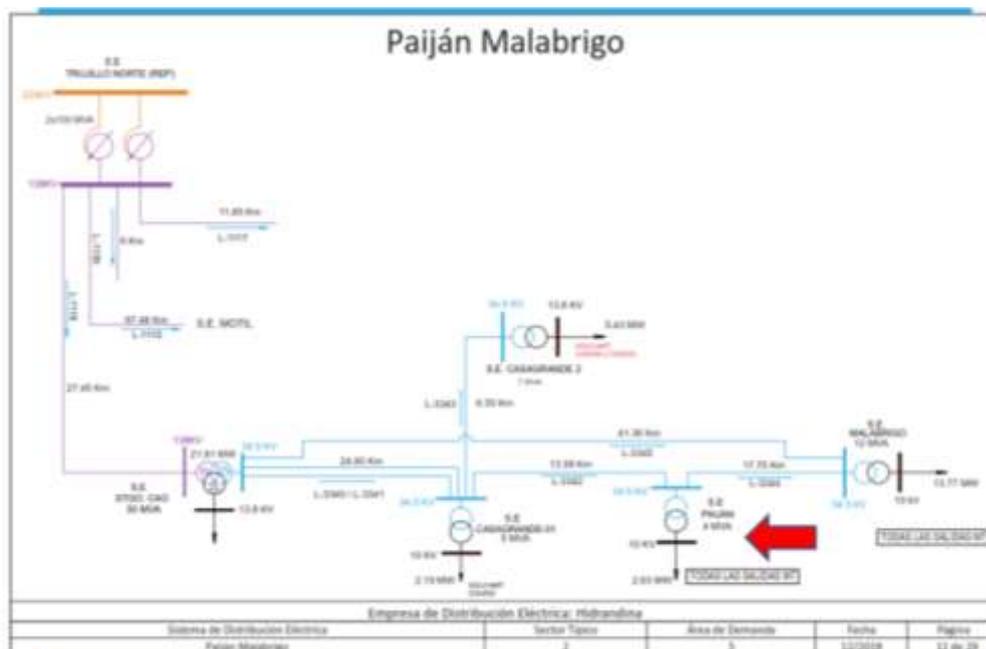


Fuente: (OSINERMIN, 2018)

En la figura 27 se aprecia que Chicama depende del circuito Trujillo norte, e mismo que entre varios circuitos derivan a la SE Santiago de Cao, del mismo que deriva a la SE Malabrigo de 12 MVA, el mismo que debe mantenerse dentro de este consumo.

El detalle de la red Paiján – Malabrigo, de donde se abastece a Chicama se aprecia en la siguiente figura 26 adjunta:

Figura 28
Gráfico de la red eléctrica Paiján – Malabrigo.



Nota: (OSINERMING, 2018)

En la figura 28, se aprecia la sub estación Paiján de la cual depende el abastecimiento de la localidad.

Problemática.

La red Chicama y todas las redes están creciendo su demanda mayor a lo previsto, por lo que la sobrecarga acelera el desgaste de sus componentes, en particular de las conexiones, a lo que se suma el hurto que es una constante que crece también sostenidamente y que afectan a los circuitos de distribución.

Otro aspecto es el consumo clandestino que es constante, una de las practicas es los trabajos temporales que son hurtos transitorios (soldadura), bombeo, uso ferial, comercio ambulatorio, los mismos que sacan desde las acometidas.

Se realizó un Focus Group para determinar las principales causas del excesivo mantenimiento, costos y retrasos como se detalla en la tabla

Tabla 25
Focus Group sobre causas de fallas que afectan la confiabilidad.

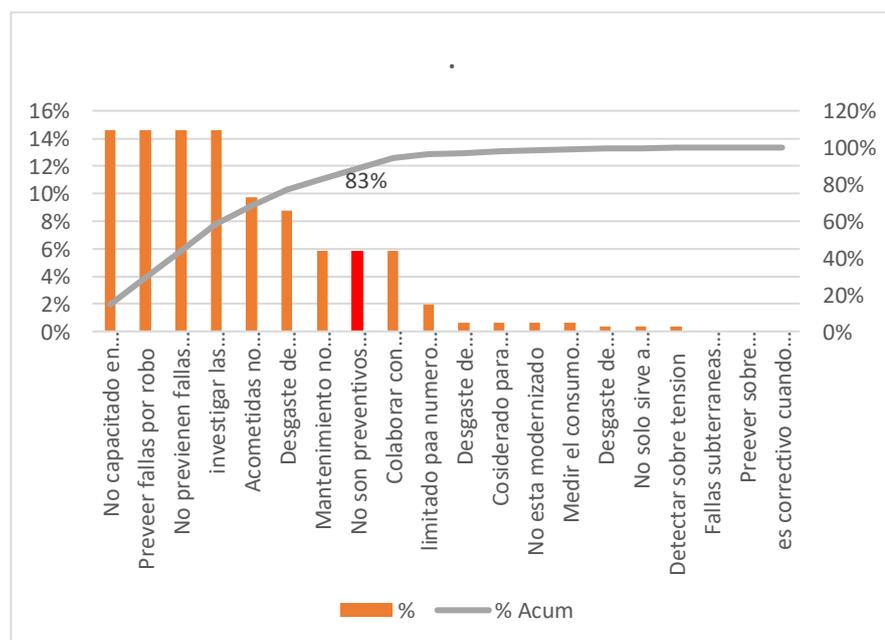
MATERIALES		Votación	Prioridad	Ponderación	Resultado
1	Desgaste de acometidas	1	1	10	10
2	Desgaste de contactos de dispositivos	1	2	10	20
3	Desgaste de conductores por sobre carga	3	3	30	270
4	Acometidas no evitan robo	2	3	50	300
		7		100	600
PERSONAL		Votación	Prioridad	Ponderación	Resultado
1	Coliderado para fallas normales	2	1	10	20
2	Fallas subterráneas son costosas	0	2	10	0
3	Mantenimiento no contempla fallas por hurtos	2	3	30	180
4	No capacitado en termografía	3	3	50	450
		7		100	650
MAQUINARIA Y EQUIPO		Votación	Prioridad	Ponderación	Resultado
1	No solo sirve a Chicama sino a Ascope	1	1	10	10
2	limitado para número de eventos	3	2	10	60
3	Prever sobre consumo	0	3	30	0
4	Prever fallas por robo	3	3	50	450
		7		100	520
MÉTODO		Votación	Prioridad	Ponderación	Resultado
1	No esta modernizado	2	1	10	20
2	es correctivo cuando ya ha sucedido	0	2	10	0
3	No son preventivos frente a sobrecarga por robos	2	3	30	180
4	No previenen fallas por robos	3	3	50	450
		7		100	650
MEDICIÓN		Votación	Prioridad	Ponderación	Resultado
1	Detectar sobre tensión	1	1	10	10
2	Medir el consumo clandestino	1	2	10	20
3	Colaborar con autoridades sobre robo de energía	2	3	30	180
4	investigar las conexiones clandestinas	3	3	50	450
	Total	7		200	660

A partir del Focus Group se realizó una priorización de Pareto como se detalla en la tabla 26.

Tabla 26
 Priorización de Pareto sobre causas que afectan la confiabilidad.

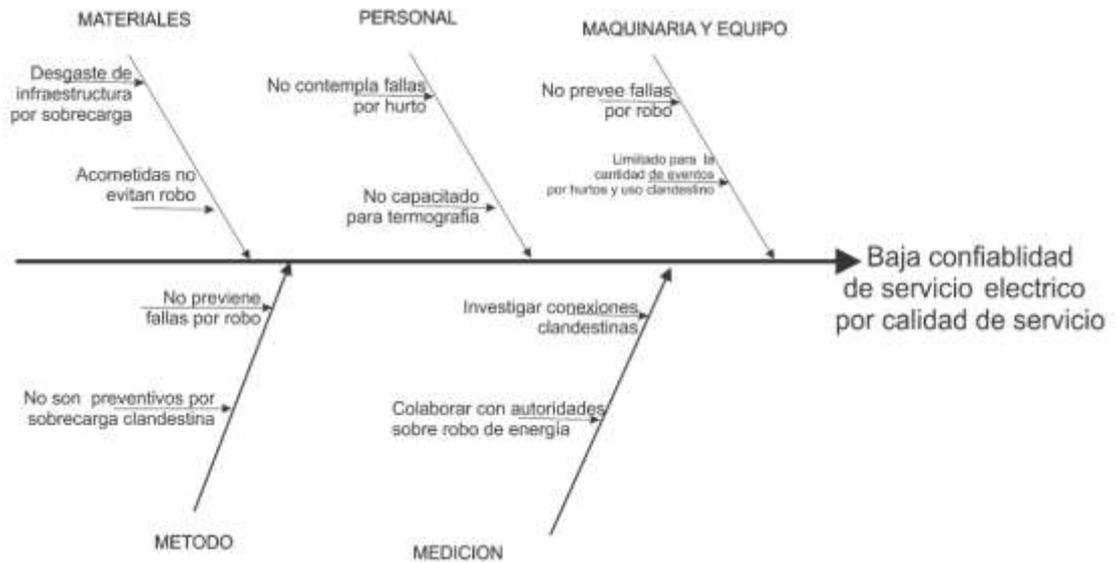
Causas	Puntaje	%	% Acu
No capacitado en termografía	450	15%	15%
Prever fallas por robo	450	15%	29%
No previenen fallas por mantenimiento	450	15%	44%
Investigar las conexiones clandestinas	450	15%	58%
Acometidas no evitan robo	300	10%	68%
Desgaste de conductores por sobre carga	270	9%	77%
Mantenimiento no contempla fallas por hurtos	180	6%	83%
No son preventivos frente a sobrecarga por robos	180	6%	89%
Colaborar con autoridades sobre robo de energía	180	6%	94%
limitado para número de eventos	60	2%	96%
Desgaste de contactos de dispositivos	20	1%	97%
Considerado para fallas normales	20	1%	98%
No esta modernizado	20	1%	98%
Medir el consumo clandestino	20	1%	99%
Desgaste de acometidas	10	0%	99%
No solo sirve a Chicama son a Ascope	10	0%	100%
Detectar sobre tensión	10	0%	100%
Fallas subterráneas son costosas	0	0%	100%
Prever sobre consumo	0	0%	100%
Es correctivo cuando ya ha sucedido	0	0%	100%
TOTAL	3080	100%	

Figura 29
 Priorización de Pareto.



Con el cual se elaboró un diagrama de causa efecto (Ishikawa) tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30
Diagrama de Ishikawa.

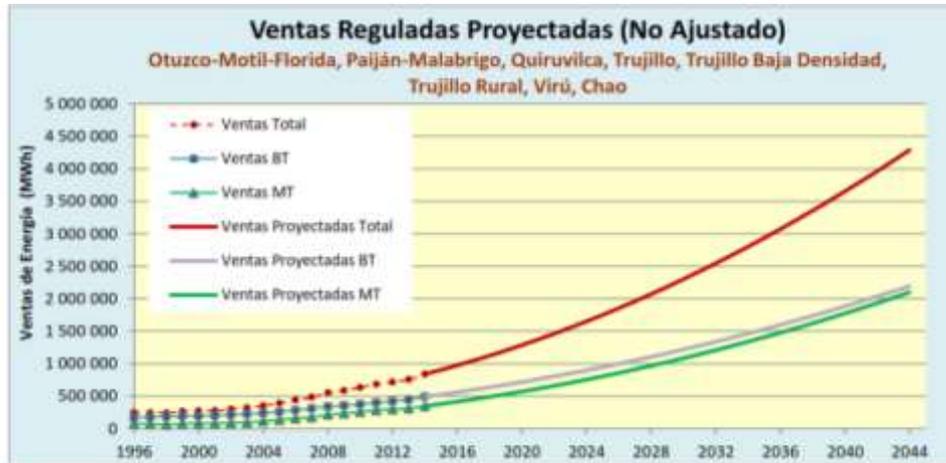


Siendo el diagnóstico que las fallas se dan por el elevado número de condiciones que afectan la calidad de la energía (cortes, bajo voltaje, variaciones) es la arraigada costumbre de “puntear las acometidas”, conexiones clandestinas subterráneas, uso clandestino para soldar (uso continuo de eso), para bombear, hurto por horas. Las fallas son muy pocas debidas al sistema de distribución como tal, estas son porque los clientes hacen uso antes de su acometida o no respetan el sistema de protección en el medidor.

Una de las formas de determinar el hurto es la sobrecarga en las líneas, lo que se puede hacer a través del análisis termográfico, donde se ven las líneas sobrecargadas y se puede revisar el sector. Ya que cuando se hurta la electricidad se hace un uso indiscriminado de ella, para bombeo de agua, cerámica, cocina, refrigeración, maquinaria, pues el distrito está plagado de actividades informales, que se mantienen porque evitan costos, entre ellos de energía. Las mediciones muestran que pueden multiplicar por 10 el consumo nominal, en particular porque de aquí abastecen al Puerto Malabrigo, con hielo, y diversos productos, por otro lado, se refrigera los productos marinos, esto también lleva a un patrón que por horas activan una conexión y cambian por otras. Entre diversas formas de hurto.

Otro aspecto es el crecimiento de viviendas las mismas que se incrementan en pisos y habitantes lo que incrementa su demanda.

Figura 31
Proyección de demanda de energía eléctrica Barra Chicama.



Nota: Fuente Hidrandina

Parámetros de confiabilidad evaluados

SAIFI (Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema): Este índice corresponde a la frecuencia de interrupciones para todos los clientes hayan o no sido afectados, por interrupciones. Su medición requiere puntos de medida en cada localización de un cliente.

$$SAIFI = \frac{\text{numero de interrupciones}}{\text{número Total de usuarios}} \dots\dots\dots (4)$$

SAIDI (Índice de tiempo de Interrupción Promedio del Sistema): Este índice corresponde al tiempo que ha estado en promedio sin suministro de energía eléctrica para todos los clientes que hayan o no sido afectados, por interrupciones.

$$SAIDI = \frac{\text{suma de duraciones de intenupciones hrs.}}{\text{número Total de usuarios}} \dots\dots\dots (5)$$

INDISPONIBILIDAD [horas/año]

Tabla 27
Circuitos, usuarios, fallas y afectados en el año 2019.

Alimentador	TR-D	Usuarios	Fallas	(*) Duración acumulada	Usuarios desconectados	Usuarios afectados
1	250	156	32	13	78	69
2	250	132	7	8	44	26
3	250	160	8	2	53	31
4	250	1	6	14	1	1
5	500	410	9	12	205	189
6	500	557	13	3	279	271
7	500	511	9	10	256	133
8	250	112	7	12	37	21
9	250	144	6	9	48	24
10	250	117	13	8	39	33
11	250	130	14	1	43	31
Promedio		221	11	8	98	75

(*) Duración acumulada de fallas [horas]

En la tabla 27 se aprecia que durante el año 2019 ha habido un promedio de 221 usuarios afectados por alimentador. El promedio de fallas por alimentador fue de 11, y la duración promedio acumulada fue de 8 horas. Los usuarios desconectados fueron en promedio 98 por unidad de distribución. Los usuarios afectados en promedio fueron 75.

Tabla 28
Causas de fallas en circuitos, usuarios y afectados en el año 2019.

Alimentador	TR-D	Usuarios	Fallas	Clandestinas	Causa			
					No identificada	No autorizada	Uso inadecuado	Normales
1	250	156	32	18	5	2	3	4
2	250	132	7	5		2		
3	250	160	8	4	2	1	1	
4	250	1	6					6
5	500	410	9	7		2		
6	500	557	13	7	3	1	2	
7	500	511	9	4		3		2
8	250	112	7	3			3	1
9	250	144	6	1	4	1		
10	250	117	13	9	2	2		
11	250	130	14	8		5		1
Promedio		221	11	7	3	2	2	3

En la tabla 28, se puede apreciar que en promedio cada alimentador tuvo 11 fallas, de las cuales 7 fueron por causas de conexiones clandestinas, 3 no identificadas (que no se pudieron determinar), no autorizada significa uso industrial más allá del tipo de conexión solicitada, en particular cargas reactivas, pymes etc., además de ello, también es la sub-venta de energía que está prohibida por ley. Todos estos consumos (que cuando no se pagan son excesivos como cocinar eléctricamente, fabricar cerámica, pequeña industria informal metal mecánica, pequeñas industrias, producen sobrecarga que desconecta los tableros y los desgasta y no se ajusta a la carga declarada. Todos estos factores directa e indirectamente tienen incidencia sobre el recalentamiento de elementos y accesorios eléctricos, por ello el uso de la tecnología termográfica para identificación de las fallas en el sistema.

Tabla 29
Parámetros de duraciones de las fallas en el año 2019.

Alimentador	TR-D	Lambda Fallas/año	Duración entre número de fallas		
			r Horas/Falla	U Horas/año	%
1	250	32	0.41	13	0.15%
2	250	7	1.14	8	0.09%
3	250	8	0.25	2	0.02%
4	250	6	2.33	14	0.16%
5	500	9	1.33	12	0.14%
6	500	13	0.23	3	0.03%
7	500	9	1.11	10	0.11%
8	250	7	1.71	12	0.14%
9	250	6	1.50	9	0.10%
10	250	13	0.62	8	0.09%
11	250	14	0.07	1	0.01%
Promedio		11	1	8	0.0010%

En la tabla 29 se aprecia que el número de fallas por año fueron 11, la duración de las fallas promedio fue de 1 hora, y las horas por año fueron en promedio 8. Siendo los más afectados en los alimentadores por la cantidad de fallas: el alimentador 1 (0.15%), el alimentador 4 (0.16%) y los alimentadores 5 y 8 con 0.14%.

Estas fallas son recurrentes en la misma zona y están dadas por conexiones clandestinas, pues se ha medido los parámetros, revisado los circuitos y no existe justificación de la falla, tan pronto como se da lo desconectan, es por ello que se hace necesario descubrir el hurto en plena conexión a fin de comunicar a las

autoridades y erradicar esa costumbre perniciosa. En la tabla de 30 se detalla el promedio de los valores parámetros de la recurrencia.

Tabla 30
Recurrencia de fallas para el año 2019.

Alimentador	TR-D	Fallas/año	Recurrencia
1	250	32	17
2	250	7	5
3	250	8	5
4	250	6	4
5	500	9	7
6	500	13	11
7	500	9	7
8	250	7	5
9	250	6	5
10	250	13	13
11	250	14	11
Promedio		11	8

Tabla 31
Parámetros de confiabilidad encontrados (Año 2019).

Alimentador	TR-D	Usuarios desconectados/usuarios afectados				
		SAIFI	SAIDI	CAIFI	CAIDI	ASAI (5)
1	250	0.8846	6.5000	28.3077	0.4063	0.9999
2	250	0.5909	2.6667	4.1364	1.1429	1.0000
3	250	0.5849	0.6625	4.6792	0.2500	1.0000
4	250	1.0000	14.0000	6.0000	2.3333	0.9998
5	500	0.9220	6.0000	8.2976	1.3333	0.9999
6	500	0.9713	1.5027	12.6272	0.2308	0.9999
7	500	0.5195	5.0098	4.6758	1.1111	0.9999
8	250	0.5676	3.9643	3.9730	1.7143	1.0000
9	250	0.5000	3.0000	3.0000	1.5000	1.0000
10	250	0.8462	2.6667	11.0000	0.6154	0.9999
11	250	0.7209	0.3308	10.0930	0.0714	0.9999
Promedio		0.7371	4.2094	8.7991	0.9735	0.9999

Se evidencia el promedio de los índices de confiabilidad durante el año 2019, se aprecia que el promedio del indicador SAIFI fue 0.7371, del indicador SAIDI fue 4.2094, del indicador CAIFI fue 8.7991, del indicador CAIDI fue 0.9735, del indicador ASAI fue 0.9999

3.1.2 Respecto al desarrollo una propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico de una red de suministro eléctrico.

3.1.2.1 Desarrollo

El principal problema de sobrecalentamiento y fallas, son las conexiones clandestinas y sus consecuencias estas son difíciles de detectar, o de inspeccionar, sin embargo, estas producen recalentamiento de los circuitos lo que permite identificar la zona donde hay conexión clandestina y detectarla, desconectarla. Como se muestra en la tabla 32, por otro lado, existen muchos negocios que no tienen licencia son clandestinos y tienen tarifa doméstica, sin embargo, su consumo es mucho mayor al que permite una conexión doméstica, como se detalla en dicha tabla. Estos negocios no tienen licencia, teóricamente no existen y no tienen una explicación para la energía que usan, las fábricas de hielo son de envergadura y lo venden en el Puerto de Chicama para el turismo (cerveza) o para los pescadores. No justifican su consumo. Esto no incumbe a la empresa, pero se le ha comunicado a Distriluz para que tome las medidas pertinentes, ello requiere detectarlos in fraganti, para lo cual se tiene que tener la certeza que se puede dar con un análisis termográfico.

Tabla 32
Negocios con servicio doméstico no declarados sin licencia.

Calle	Actividad clandestina
Calle Libertad	Fábrica de hielo sin licencia
Calle Usquil	Fábrica de estructuras metálicas
Av. Progreso	Fábrica de cerámica
Av. Arriaga	Almacén de pescado congelado y transporte
Av. Progreso	Procesadora de alimento balanceado
Calle Ulises	Fábrica de marcianos y helados
Calle Ulises	Taller de mecánica de producción
Calle Gran Vía	Fábrica de yogurt, helados y marcianos
Calle Manuel Arévalo	Almacén de pescado congelado y transporte
Calle Manuel Arévalo	Fábrica de hielo
Prolongación Progreso	Molino

Otro factor de cortocircuito es que los clientes no respetan las llaves térmicas de la acometida, puenteándolas con conductores, y poniendo altas cargas. Las cargas no previstas para uso doméstico se detallan a continuación:

Hornos de panadería

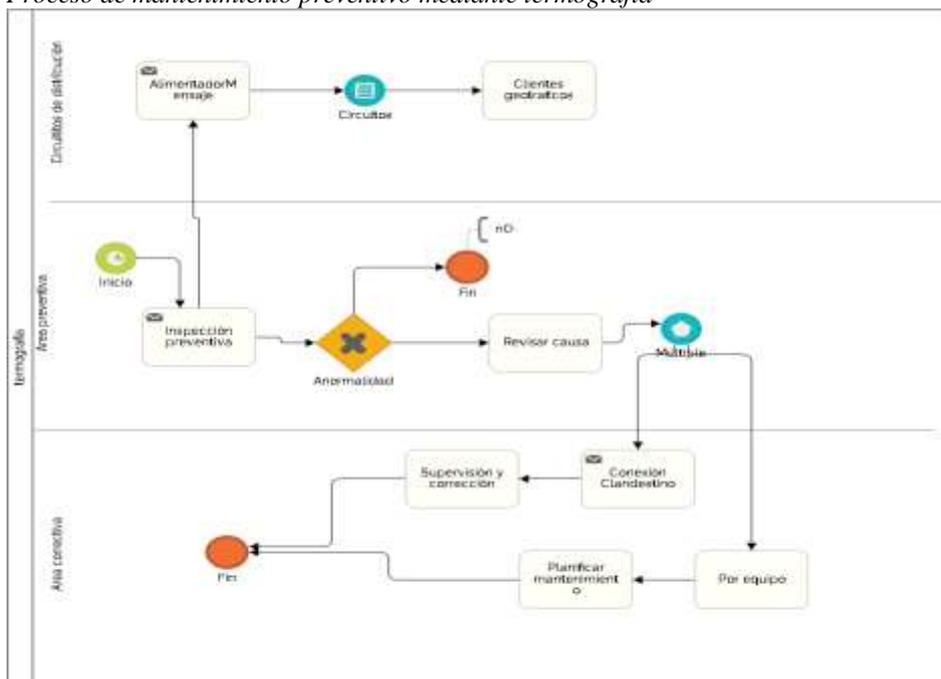
- Maquinaria para alimento balanceado
- Hornos de cerámica
- Maquinaria de bombeo
- Soldadura eléctrica
- Fábricas de hielo, y cámaras de frío
- Diversa maquinaria semi industrial

Un aspecto importante, es que las viviendas tienen contrato de abastecimiento doméstico y deberían hacer otro contrato si su uso no es doméstico, y sobre todo si sus cargas son reactivas. Es por ello que el plan de mantenimiento es la revisión periódica de todos los circuitos para detectar cuales tienen sobrecarga galvánica o están siendo afectados.

Se hizo un plan semanal de revisión desde los alimentadores principales hasta los alimentadores zonales. Como se detalla en las tablas. Los equipos se hacen en el día, o de noche pues el equipo tiene su cámara que no le afecta. En el día es importante hacerlo en horarios de media mañana o media tarde pues es donde se usa más clandestinamente la energía. El proceso es como se detalla en el gráfico:

Figura 32:

Proceso de mantenimiento preventivo mediante termografía



El proceso de procesos para mantener preventivamente mediante termografía. La inspección preventiva, se inicia de rutina y tienen por finalidad determinar la sobrecarga de circuitos, la misma que generalmente se debe a falsas conexiones, hurtos de energía, venta clandestina e inadecuadas conexiones en la acometida, el mismo que sacan la llame y lo puentean con cables. Esta inspección en una rutina de los alimentadores y sus circuitos, estos asociados a las diferentes áreas geográficas. Esto se hace según la programación de la tabla 28 en horas de consumo (9-12 am, o 3-7 pm), horas donde se producen los picos de robo o accidentes en los circuitos. Siendo otro aspecto, el daño de las conexiones subterráneas las mismas que son muy costosas y demoran tiempo en reponer. Esta última falla es muy perjudicial porque es de elevado costo.

De encontrar anormalidad en el alimentador, se revisa los circuitos y a qué zona geográfica pertenece y se envía al área de mantenimiento correctivo, el mismo que determinará si es conexión clandestina u otra falla normal por el equipo. Si es por el equipo, se planifica su mantenimiento. Caso contrario si es por conexión clandestina, se notifica para supervisión y corrección, evitando el deterioro de los cables y los equipos y su colapso y mantenimiento imprevisto. En particular el quemado de cables subterráneos que es el que más demora, cuesta en reparar.

Tabla 33
Rutina de revisión preventiva.

Día	Alimentador
Lunes	1,2
Martes	3,4
Miércoles	5,6
Jueves	7,8
Viernes	9,10
Sábado	11
Domingo	ND

3.1.2.2 Protocolo

En la tabla se puede apreciar, la ficha de supervisión termográfica preventiva, la misma en que se aprecia la revisión termográfica de elemento del alimentador. La falla, el tiempo de reparación y las maniobras.

La falla detectada es según el protocolo de detección termográfica (apartado 3.1.2.4). El tiempo de reparación es la urgencia para el equipo de mantenimiento correctivo, las maniobras son según el alimentador, aéreo, en piso, subterráneo u otro, junto con las observaciones que puedan darse.

Figura 33
Ficha de supervisión de falla.

Alimentador Fecha

Encargado

Elemento de alimentador	Falla detectada	Tiempo de reparación	Maniobras	Observaciones
Barras colectoras				
Cuchilla seccionadora tipo vertical				
Conector puente entrada de reconectador				
Interruptor de potencia bushing				
Transformador de potencia				
Reconectador				
Regulador de voltaje				
Circuitos				
1				
2				
3				
Observaciones				

3.1.2.3 Equipo usado

Se utilizó la cámara térmica FLIR Serie Ex, la misma cuyas características se resumen en la figura 34.

El equipo usado fue FLIR Serie Ex que se describe en la figura, siendo su importancia su tele objetivo que evita tener posiciones complicadas para la medición, y muchas funciones de fotografía, descarga de datos, video, análisis.

Figura 34
Fotografía del Equipo usado FLIR Serie Ex.



3.1.2.4 Clasificación de fallas termográficas.

La codificación de los puntos de conexión con generación anormal de calor observada durante la inspección se determinó sobre la base del valor de la temperatura de la evaluación en condiciones de transferencia aumentada, para el tipo de conexión y la posición del punto afectado, y se dividió en 3 grupos:

Grupo A

Todos los conductores y las barras expuestas, los contactos y los conectores externos son de aleación de aluminio, no hay aislamiento en el exterior. Su clasificación se define en función de la temperatura leída durante la inspección. La lectura se realiza directamente en el elemento defectuoso o analizado.

Tabla 34
Criterios de diagnóstico termográfico Grupo A.

Clasificación	Calificación	Rangos de temperatura	Acción
Bueno	5	$0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq 64\text{ }^{\circ}\text{C}$	Continúe con el plan de mantenimiento.
Cuestionado	4	$64\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 115\text{ }^{\circ}\text{C}$	Supervisar y analizar el estado y las condiciones de funcionamiento.
Moderado	3	$115\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 145\text{ }^{\circ}\text{C}$	Programa la próxima desconexión programada o ejecute 6 meses atrás.
Alto	2	$145\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 155\text{ }^{\circ}\text{C}$	Si se excede la corriente media de los últimos seis meses, realice el mantenimiento correctivo inmediatamente. Ejecute el siguiente programa de desconexión si no supera la media de corriente de los últimos seis meses
Crítico	1	$T > 155\text{ }^{\circ}\text{C}$.Corrija inmediatamente.

Grupo B

Se incluyen todas las conexiones de agujas de cobre, sin ningún tipo de material y colocados al descubierto. La familia del clasificador se determina en función de las lecturas de temperatura en el momento de la prueba. La lectura se realiza directamente durante el análisis del fallo o del elemento.

Tabla 35
Criterios de diagnóstico termográfico Grupo B.

Clasificación	Calificación	Rangos de temperatura	Acción
Bueno	5	$0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq 102\text{ }^{\circ}\text{C}$	Continúe con el plan de mantenimiento.
Cuestionado	4	$102\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 184\text{ }^{\circ}\text{C}$	Supervisar y realizar el cálculo de la condición y el estado.
Moderado	3	$184\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 232\text{ }^{\circ}\text{C}$	Programar el próximo cierre previsto o ejecutado hace 6 meses.
Alto	2	$232\text{ }^{\circ}\text{C} < T \leq 248\text{ }^{\circ}\text{C}$	Realice inmediatamente los ajustes de mantenimiento si se va a superar la media actual de los últimos seis meses. Se ejecuta en la próxima desconexión programada, en cuyo caso no supera la media semestral actual.
Crítico	1	$T > 248\text{ }^{\circ}\text{C}$	Arréglalo inmediatamente.

Grupo C

Este grupo incluye equipos sumergidos o aceitosos, como transformadores de potencia y de instrumentos, condensadores de hornos, ejes y algunos interruptores. Este grupo también incluye cajas aisladas en SF₆, transformadores y aparata, así como barras de protección con líneas metálicas de alimentación y descarga de los generadores. La lectura es indirecta, ya que el punto caliente interno transfiere el calor por electricidad sólo a la superficie externa.

Tabla 36
Criterios de diagnóstico termográfico Grupo C.

Calificación	Calificación	Diferencia de temperatura	Acción
Bueno	5	0° C	Continúe con el plan de mantenimiento.
Cuestionado	4	1 °C ≤ T ≤ 3 °C	Supervisar y realizar el cálculo de la condición y el estado.
Moderado	3	3 °C ≤ T ≤ 10 °C	Programar el próximo cierre previsto o ejecutado hace 6 meses.
Alto	2	10 °C ≤ T ≤ 16 °C	Realice inmediatamente los ajustes de mantenimiento si se va a superar la media actual de los últimos seis meses. Se ejecuta en la próxima desconexión programada, en cuyo caso no supera la media semestral actual.
Crítico	1	T > 16 °C	Arréglalo inmediatamente.

3.1.2.5 Casos encontrados

Figura 35
Caso 1: Acometida 13.2 Kv.

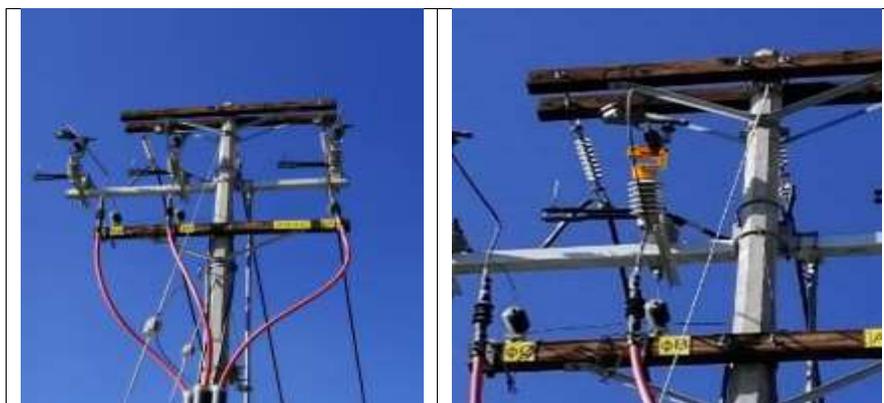


Tabla 37
Caso 1: Acometida 13.2 Kv.

Comentario de texto IR	Valor
Ubicación	Acometida 13.2 K.V.

Equipo	Cortacircuitos de alimentación.
Punto de la falla	Contactos inferiores, fases L1
Fallo	Crítico
Recomendación	Reparación

Parámetro de objeto	Valor
Emisividad	0,92
Distancia del objeto	10.0m
Temperatura atmosférica	33.0 °C
Humedad relativa	60.0 %
Etiqueta	Valor
Sp1	33.2 °C
Arl: máx.	96.0 °C
Dif-	62.8

El fallo fue un cortocircuito de un terminal de 13.2 Kv del cargador 7, que tenía un color diferente (amarillo fuerte), lo que indica que era una anomalía en ese momento, la temperatura era más alta que la escala de calor de otros factores débiles. Al comparar la diferencia de temperatura entre los valores medidos y los valores de referencia, mostrada en la Tabla 36 (grupo C), habíamos clasificado el fallo del equipo como "importante" para 62,8 °C. Ajustar el equipo de mantenimiento para realizar las siguientes acciones:

- Desconecte, compruebe el estado de los terminales.
- Puede limpiar la superficie y mejorar la superficie y la presión del tacto.
- Puedes crear un puesto para comprobar y reconectar

Caso 2. Subestación. tablero 220 VAC

Figura 36
Subestación. tablero 220 VAC Av. Progreso.

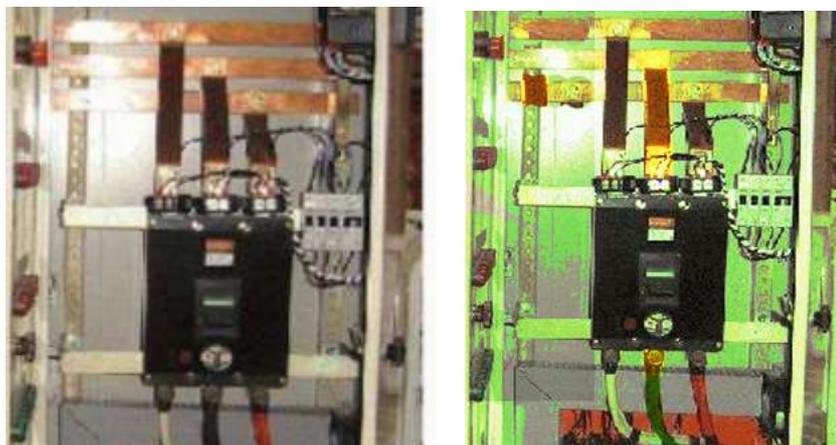


Tabla 38
 Caso 2: Subestación tablero 220 VAC.

Comentario de texto IR	Valor
Ubicación	Subestación principal. Tablero 220 Vac.
Equipo	Breaker Taller.
Punto de la falla	Borne de salida, fase L1.
Fallo	Moderado
Recomendación	Reparación
Parámetro de objeto	Valor
Emisividad	0.94
Distancia al objeto	1.2 m
Temperatura atmosférica	28.0 °C
Humedad relativa	52.0 %
Etiqueta	Valor
Sp1	39.1 °C
Ar1: Max.	49.1 °C
Dif.	10.0

La figura 36, precedente denota un tablero de transferencia o ruptura de 220 V de la subestación. El hecho de que se utilice un termógrafo para evaluar su estado, detectándose en un punto caliente y que ha sido verificado en el dispositivo de protección. Pues, si vemos la diferencia entre la medición de la temperatura y la referencia del aparato, es de 10 °C. Si buscamos la temperatura en la tabla 36 (Grupo C), encontraremos que existe esa diferencia. La diferencia de clasificación del estado del equipo, es nivel "medio o moderado". Se informó y ordenó al equipo de mantenimiento que rectifique las siguientes recomendaciones:

- * Desconectar, comprobar
- * Limpiar y mejorar la presión de contacto
- * Reconectar

Figura 37
Hurto de energía fábrica de hielo Calle Manuel Arévalo.



Figura 38
Hurto de energía taller de mecánica de producción Calle Ulises.



Figura 39
Hurto de energía fábrica de yogur, helados Calle Ulises.



Figura 40
Hurto de energía procesadora de alimentos clandestina Av. Progreso.



Figura 41
Hurto de energía subterráneo fábrica de hielo.



3.1.2.6 Resumen de eventos preventivos encontrados

Tabla 39
Estadísticas de eventos.

Alertas, encontradas en los 11 alimentadores durante el año 2020		
	Alta tensión	Baja tensión
Enero	5	14
Febrero	2	7
Marzo	2	13
Abril	4	13
Mayo	2	10
Junio	4	9
Julio	5	18
Agosto	2	11
Setiembre	6	11
Octubre	3	15
Noviembre	4	16
Diciembre	1	20

Los incidentes en baja tensión fueron en los interruptores de caja moldeada, específicamente por conexiones clandestinas, si bien estos interruptores son termomagnéticos, muchas veces van a derivar en fallas, por lo que urge determinar la sobrecarga, pero lo cual la empresa tiene su plan de contingencia.

Tabla 40
Incidencias año 2020 según elemento.

Elemento	N° incidentes	%
Barras colectoras	3	5.9%
Cuchilla seccionadora tipo vertical	9	17.6%
Conector puente entrada de reconectador	9	17.6%
Interruptor de potencia bushing	6	11.8%
Transformador de potencia	0	0.0%
Reconectador	14	27.5%
Regulador de voltaje	10	19.6%
Total	51	100.0%

3.1.3 Respecto al análisis y determinación de la confiabilidad de una red de suministro eléctrico, Chicama, posterior a la propuesta de mejora de prevención de fallas.

Tabla 41
Circuitos, usuarios, fallas y afectados 2020.

Alimentador	TR-D	Usuarios	Fallas	Duración acumulada de fallas [horas]	Usuarios desconectados	Usuarios afectados
1	250	56	1	3	37	17
2	250	26	5	2	30	15
3	250	53	2	3	43	22
4	250	1	1	1	0	0
5	500	152	1	4	115	53
6	500	162	2	1	128	60
7	500	148	3	3	107	54
8	250	41	2	1	30	15
9	250	40	2	1	39	19
10	250	28	4	1	30	15
11	250	30	2	3	34	14
Promedio		73	2	2	54	26

En la tabla 41 se puede apreciar des pues de la aplicación del programa preventivo por termografía que el promedio de usuarios afectados fueron en promedio 31, las fallas promedio fueron 2, el promedio de duración de fallas fue 2 horas, el promedio de usuarios desconectados fue en promedio 54 y el número de usuarios afectados fue en promedio de 26.

Sobre las causas de la falla de aprecia que fueron solo 2 en promedio y solamente fueron 1 en promedio por conexión clandestina, 1 por motivos no identificados, 1 por uso no domestico (no autorizado), 1 por inadecuado, 2 en promedio por crecimiento de demanda, ya que muchas casas se convierten en edificios con inadecuada instalación eléctrica o conexión previa sin licencia. El consumo clandestino fue eliminado, pues las conexiones fueron notificadas a la autoridad y muchas de ellas regularizadas a su tarifa correspondiente y por ende su instalación correspondiente, aspecto del cual se encargó Distriluz.

Tabla 42
Causa de fallas de distribución 2020.

Alimentador	TR-D	Usuarios	Fallas	Causa				Normales crecimiento demanda
				Clandestina	No identificada	No autorizada	Uso inadecuado	
1	250	156	1					1
2	250	132	5	1		1	1	2
3	250	160	2					2
4	250	1	1					1
5	500	410	1					1
6	500	557	2			1		1
7	500	511	3		1	1		1
8	250	112	2					2
9	250	144	2					2
10	250	117	4	1	1			2
11	250	130	2					2
Promedio		221	2	1	1	1	1	2

Tabla 43
Parámetros de duraciones de las fallas 2020.

Alimentador	TR-D	Lambda	Duración entre número de fallas			
			Fallas/año	r	U	%
				Horas/Falla	Horas/año	
1	250	3		1.33	4	0.03%
2	250	1		3.00	3	0.02%
3	250	1		1.00	1	0.03%
4	250	3		0.67	2	0.01%
5	500	3		1.67	5	0.05%
6	500	4		0.50	2	0.01%
7	500	1		4.00	4	0.03%
8	250	5		0.60	3	0.01%
9	250	3		0.67	2	0.01%
10	250	5		1.00	5	0.01%
11	250	4		1.00	4	0.03%
Promedio		3		1.40	3.2	0.0002%

En la tabla 43, se aprecia el promedio lambda (fallas por año) se aprecia que fueron 3, el promedio de duración de fallas fue de 1.40, el numero U horas por año fue 3.2, el promedio de porcentaje de duración anual fue de 0.0002%.

Tabla 44
Parámetros de confiabilidad encontrados 2020.

Alimentador	TR-D	Usuarios desconectados/usuarios afectados				ASAI (5)
		SAIFI	SAIDI	CAIFI	CAIDI	
1	250	0.4595	0.9487	1.3784	1.3333	1.0000
2	250	0.5000	0.6818	0.5000	3.0000	1.0000
3	250	0.5116	0.2688	0.5116	1.0000	1.0000
4	250	0.0000	0.0000	0.0000	0.6667	1.0000
5	500	0.4609	1.4024	1.3826	1.6667	1.0000
6	500	0.4688	0.4596	1.8750	0.5000	1.0000
7	500	0.5047	0.8376	0.5047	4.0000	1.0000
8	250	0.5000	0.8036	2.5000	0.6000	1.0000
9	250	0.4872	0.5417	1.4615	0.6667	1.0000
10	250	0.5000	1.2821	2.5000	1.0000	1.0000
11	250	0.4118	1.0462	1.6471	1.0000	1.0000
Promedio	Promedio	0.4368	0.7520	1.2964	1.4030	1.0000

En la tabla 44 se aprecia el promedio de los indicadores de confiabilidad durante el año 2020, después de la mejora en prevención de fallas, se aprecia que el promedio del indicador SAIFI fue 0.4368, del indicador SAIDI fue 0.7520, del indicador CAIFI fue 1.2964, del indicador CAIDI fue 1.4030, del indicador ASAI fue 1.000.

3.1.4 Respecto a la elaboración de un análisis económico de la propuesta de mejora aplicando la tecnología del análisis termográfico propuesto.

3.1.4.1 Costo de fallas 2019

Tabla 45
Costos de mantenimiento y prevención de fallas 2019.

Alimentador	Costo mensual de reparación	Multa por calidad de servicio	Sub Total Costos
1	8,224	7,488	15,712
2	1,799	1,008	2,807
3	2,056	288	2,344
4	1,542	1,512	3,054
5	2,313	1,944	4,257
6	3,341	702	4,043
7	2,313	1,620	3,933
8	1,799	1,512	3,311
9	1,542	972	2,514
10	3,341	1,872	5,213
11	3,598	252	3,850
Total anual	31,868	19,170	51,038

En la tabla 45, se aprecia a los costos por mantenimiento y prevención, el costo mensual es el costo unitario promedio de reparación por falla es de S/. 241.4. El costo por multa de calidad de servicio, es una penalidad de la empresa por demora en reparación de la falla. Por otro lado, hay un costo intangible, que son los indicadores de calidad.

3.1.4.2 Inversión

Tabla 46
Inversión en prevención termográfica.

Ítem	Valor (S/.)
Costo de equipo	2,275
Costo de implementación	1,500
Costo de capacitación	1,800
Costo personal técnico	14,400
Total	19,975

La movilidad y el recorrido de las diferentes áreas del pueblo estuvo dentro de las ocupaciones del personal, que antes estaba buscando las fallas y reparando reiteradamente las conexiones clandestinas. Sin embargo, se agrega el costo de los pagos al personal técnico capacitado que se encargó de realizar las inspecciones de rutina a todas las instalaciones del sistema de distribución eléctrica.

En la tabla 46 se puede apreciar, la inversión en herramientas de prevención termográfica, implementación y costos de capacitación, estos sumaron en total S/. 19,975.

3.1.4.3 Costo de fallas 2020

Tabla 47
Costo de prevención y mantenimiento de fallas año 2020.

Alimentador	Costo mensual de reparación	Multa por calidad de servicio	Sub Total Costos
1	81	108	189
2	27	27	54
3	27	9	36
4	81	54	135
5	81	135	216
6	108	72	180
7	27	36	63
8	135	135	270
9	81	54	135
10	135	225	360
11	108	144	252
Total anual	891	999	1,890

En la tabla 47 se aprecia el costo mensual de reparación después de la implementación de la prevención termográfica. Se parecía una reducción significativa en el costo de reparación y en las multas por servicio, esto porque se pudo prever las sobrecargas y eliminarlas, así como dejar constancia al usuario que consciente o inconsciente se ha tomado conexión clandestina o de diferente naturaleza (tierra, sobrecarga, etc.) lo que motivo que se tomen medidas correctivas antes de sucedieran fallas, en particular subterráneas.

3.1.4.4 Impacto en los costos de mantenimiento

Tabla 48
Impacto en los costos de mantenimiento.

Año	Costo mensual de reparación	Multa por calidad de servicio	Sub Total Costos	%
2019	31,868	19,170	51,038	
2020	891	999	1,890	
Impacto	- 30,977	- 18,171	- 49,148	-96%

En la tabla 48, se aprecia que los costos de reparación disminuyeron en S/. 30,977, y los costos asociados por multa calidad de servicio (penalidades) disminuyeron en S/. 18,171, en total disminuyeron S/. 49,148 (96%), por lo que se aprecia que fueron muy positivos.

3.1.4.5 Beneficio de propuesta

Tabla 49
Beneficio de la propuesta.

Inversión	- 19,975
Ahorro en costos	49,148
Beneficios	29,173

En la tabla 49, se aprecia que la inversión fue de S/. 19,975, generando un ahorro en costos de S/. 49,148, es decir produjo un beneficio de S/. 29,173, llegando a obtener un ahorro neto de hasta el 57.2% de los costos originales antes de la implementación del método de prevención por Termografía.

3.1.5 Respecto a la determinación de la influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama La Libertad.

3.1.5.1 Impacto en los indicadores de confiabilidad

Impacto de la influencia del análisis termográfico en la confiabilidad del sistema de distribución eléctrica.

Tabla 50
Impacto de la influencia del análisis termográfico en la confiabilidad.

Periodo	SAIFI	SAIDI	CAIFI	CAIDI	ASAI (5)
Después	0.4368	0.7520	1.2964	1.4030	1.0000
Antes	0.7371	4.2094	8.7991	0.9735	0.9999
Impacto	-0.3003	-3.4574	-7.5027	0.5508	0.0001
	-40.7%	-82.1%	-85.3%	56.6%	0.01%

Sobre el índice promedio de frecuencia de interrupciones (SAIFI), como se aprecia en la tabla 50 este disminuyó en 0.3003 (-40.7%) por lo que mejoró notablemente, el índice promedio de duración de interrupciones (SAIDI), como se aprecia en la tabla disminuyó en 3.4574 (82.1%) por lo que mejoró bastante. Respecto al Índice de frecuencia promedio de interrupción del consumidor CAIFI, en la tabla se aprecia que disminuyó en 7.5027 (-85.3%) por lo que mejoró mucho. Respecto al promedio de interrupción de consumidor (CAIDI) aumentó en 0.5508 (56.6%) por lo que no mejoró sustancialmente.

3.1.5.2 Validación estadística de resultados.

Tabla 51
Impacto mensual pre y post test en los indicadores de confiabilidad.

Alimentador	SAIFI		SAIDI		CAIFI		CAIDI		ASAI (5)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
1	0.88	0.46	6.50	0.95	28.31	1.38	1.33	1.33	0.99990	0.9999
2	0.59	0.50	2.67	0.68	4.14	0.50	3.00	3.00	0.99996	0.9999
3	0.58	0.51	0.66	0.27	4.68	0.51	1.00	1.00	0.99996	0.9999
4	1.00	0.00	14.00	0.00	6.00	0.00	0.67	0.67	0.99977	1.0000
5	0.92	0.46	6.00	1.40	8.30	1.38	1.67	1.67	0.99989	0.9999
6	0.97	0.47	1.50	0.46	12.63	1.88	0.50	0.50	0.99989	0.9999
7	0.52	0.50	5.01	0.84	4.68	0.50	4.00	4.00	0.99994	0.9999

Alimentador	SAIFI		SAIDI		CAIFI		CAIDI		ASAI (5)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
8	0.57	0.50	3.96	0.80	3.97	2.50	0.60	0.60	0.99996	0.9999
9	0.50	0.49	3.00	0.54	3.00	1.46	0.67	0.67	0.99996	0.9999
10	0.85	0.50	2.67	1.28	11.00	2.50	1.00	1.00	0.99994	0.9999
11	0.72	0.41	0.33	1.05	10.09	1.65	1.00	1.00	0.99995	0.9999
Promedio	0.74	0.44	4.21	0.75	8.80	1.30	0.97	1.40	0.99992	1.0000

Fuente: Data de las Tablas 31 y 44, respectivamente.

Ho: No existe diferencia entre el SAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Ha: Existe diferencia entre el SAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Tabla 52

Validación en confiabilidad del indicador SAIFI (Prueba de Wilcoxon).

Estadísticos de prueba	
Z	SAIFI_post - SAIFI_pre -2,944 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,003

Dado que $p = 0.003 < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa: Existe diferencia entre el SAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Ho: No existe diferencia entre el SAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Ha: Existe diferencia entre el SAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Tabla 53

Validación en confiabilidad del indicador SAIDI (Prueba de Wilcoxon).

Estadísticos de prueba	
Z	SAIDI_post - SAIDI_pre -2,589 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,010

Dado que $p = 0.010 < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa: Existe diferencia entre el SAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el SAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Ho: No existe diferencia entre el CAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Ha: Existe diferencia entre el CAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Tabla 54
Validación en confiabilidad del indicador CAIFI (Prueba de Wilcoxon).

Estadísticos de prueba	
	CAIFI_post - CAIFI_pre
Z	-2,981 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,003

Dado que $p = 0.003 < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa: Existe diferencia entre el CAIFI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIFI después de la implementación del análisis termográfico.

Ho: No existe diferencia entre el CAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Ha: Existe diferencia entre el CAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Tabla 55
Validación en confiabilidad del indicador CAIDI (Prueba de Wilcoxon).

Estadísticos de prueba	
	CAIDI_post - CAIDI_pre
Z	-1,000 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,317

Dado que $p = 0.317 > 0.05$, se acepta la hipótesis nula. No existe diferencia entre el CAIDI antes de la implementación del análisis termográfico y el CAIDI después de la implementación del análisis termográfico.

Ho: No existe diferencia entre el ASAI antes de la implementación del análisis termográfico y el ASAI después de la implementación del análisis termográfico.

Ha: Existe diferencia entre el ASAI antes de la implementación del análisis termográfico y el ASAI después de la implementación del análisis termográfico.

Tabla 56
Validación en confiabilidad del indicador ASAI (Prueba de Wilcoxon).

Estadísticos de prueba	
	ASAI_post - ASAI_pre
Z	-1,000 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,317

Dado que $p = 0.317 > 0.05$, se acepta la hipótesis nula. No existe diferencia significativa entre el ASAI antes de la implementación del análisis termográfico y el ASAI después de la implementación del análisis termográfico.

3.2. Discusión de resultados

Nuestros resultados encontraron que los niveles de confiabilidad fueron mejorados significativamente, SAFI disminuyó 41%, SAIDI disminuyó 82%, CAIFI disminuyó 90%, CAIDI, incremento 88%. Estos resultados fueron validados mediante la prueba de Wilcoxon, siendo demostrados (significativos estadísticamente) para dichos indicadores mencionados. No siendo efectivos para los indicadores CAIDI y ASAI.

Estos resultados convergen con los hallados por Navarrete et al. (2016), quien señala la importancia de la prevención de las fallas, ya que por la variedad del sistema y la variabilidad de las cargas, el incremento de estas, no previsto, los emprendimientos que disparan el consumo, la mala calidad de los equipos y puesta a prueba, hacen que el mantenimiento preventivo, sea insuficiente basado en datos estáticos o pasivos. El análisis termográfico preventivo, permite un eficaz complemento al análisis preventivo - predictivo.

Nuestros resultados son coherentes con los hallados por Gómez (2016), quien señala la importancia de los parámetros de confiabilidad de la red eléctrica, en la actualidad, en un mundo dependiente de la tecnología, la confiabilidad de la energía es fundamental, por otro lado, los dispositivos electrónicos domésticos, comerciales e industriales, son muy sensibles a la calidad de la energía, igual con los procesos productivos que dependen de equipamiento electrónico que tiene que estar en óptimo estado, por ello la calidad y confiabilidad de la energía es totalmente vital e importante.

La eficacia de las técnicas de prevención termográfica están acordes a los resultados hallados por Bances (2020), quien señala que el crecimiento de la demanda, su demanda estocástica lleva a que sea inviable determinar las consecuencias en los circuitos de distribución, sin embargo las exigencias de estos se aprecia en el calentamiento de los terminales y conectores, ya que la sobrecarga inmediatamente eleva la temperatura de los cables, por otro lado incrementa la caída de tensión. La medición de la potencia consumida no basta para la prevención de falla, y esto es muy válido para las redes eléctricas cuyos detalles se ven en pleno funcionamiento.

En esta misma línea de ideas, Gutiérrez (2015), señala que la termografía es el método “ad hoc” para monitorear el desempeño de las redes de distribución, los desgastes de fases, y en resumidas cuentas la salud de los terminales, conectores y las cargas sobre las líneas, siendo indispensable su uso en el mantenimiento, pues de otra manera, solo se actuaría “después de”, la termografía permite también ver la evolución de los circuitos y sus desgastes, previendo a mediano o largo plazo las medidas correctivas.

Otro aspecto importante hallado es el de Huaranca y Calatayud (2021), quien señala el ahorro de costos, asignación de personal y sobre todo la eficiencia y eficacia pues la falla se detecta a tiempo, se programa dentro de la disposición. Hay condición crítica, pero no se ha producido falla, hay tiempo y margen para su solución, eso facilita las cosas. Nuestros resultados convergen con los suyos donde se halló en casi medio centenar de reportes de diagnóstico en los que se establecen notas y recomendaciones para el mantenimiento oportuno de unidades evaluadas, el empleo del cálculo del factor de carga y del termógrafo en el mantenimiento proyectado de la unidad facilita el gran número de elementos a evaluar.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Respecto al objetivo general, el análisis termográfico permitió conocer los circuitos que tenían exceso de carga, que no deberían tener y la presentaban por consumos clandestinos. Ubicado el circuito se pudo notificar a Distriluz para que haga las investigaciones correspondientes y acciones legales, a la vez que se pudo identificar fácilmente conexiones clandestinas en funcionamiento y desactivarlas.

La influencia del análisis termográfico en el incremento de la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, se demostró estadísticamente que el índice promedio de frecuencia de interrupciones (SAIFI) se redujo en 40.7%, el índice promedio de duración de interrupciones (SAIDI) disminuyó en 82.1%, y el promedio de interrupción al consumidor (CAIFI) disminuyó en 85.3%, pues dichos parámetros fueron validados estadísticamente con el método Wilcoxon.

La confiabilidad de la red de suministro eléctrico, Chicama 2019 requería mejorar, siendo el resultado promedio de sus parámetros de confiabilidad SAIFI 0.7371, SAIDI: 4.2094, CAIFI: 8.7991, CAIDI: 0.9735. Los parámetros fueron evaluados, antes de la propuesta de mejora previo al uso tecnológico con Termografía.

Se desarrollo una propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico de una red de suministro eléctrico estudiada, la misma que uso equipo termográfico para monitorear semanalmente los puntos de calentamiento y sobrecarga, principalmente debido a la práctica de hurto de energía, mayormente para actividades productivas de empresas y/o proveedores de servicios.

La confiabilidad de la red de suministro eléctrico, Chicama en 2020, se ha visto incrementado, pues posterior a la propuesta termográfica de prevención de fallas, mejoro a valores de SAIFI 0.4368, SAIDI: 0.7520, CAIFI: 1.2964, y se mantuvo el parámetro CAIDI: 1.4030, el cual no se encontró diferencia significativa.

Finalmente, en cuanto al análisis económico efectuado para verificar la incidencia de la aplicación de esta tecnología de la Termografía se aprecia un ahorro en los costos de mantenimiento de S/. 49,148; produciéndose un beneficio total de hasta el 57.2% de los costos iniciales antes de la implementación de la metodología de prevención de fallas por la Termografía.

4.2 Recomendaciones

Ampliar el uso del método termográfico a otras localidades, en particular de la costa, donde las conexiones clandestinas son una práctica común, en particular en zonas de asentamiento humanos en expansión, en donde no existe un control exhaustivo de detección de hurtos de energía y otras eventualidades generales.

De modo general, se recomienda optimizar el análisis termográfico a frecuencias menores (1 mensual) y usar el mismo equipo y personal técnico capacitado para otras jurisdicciones, debido a que esta implementación puede rentabilizar las utilidades de las arcas económicas de la entidad o la compañía distribuidora de energía eléctrica, en cuanto a costos asociados.

También se recomienda llevar a cabo estudios más detallados con otras máquinas termográficas infrarrojas de mayor espectro y mejor tecnología que del tipo usado en este experimento como es la cámara térmica FLIR Serie Ex, a fin de verificar con una mayor precisión de tolerancias en la toma de medidas en terreno.

Se debería tener en consideración la aplicación de la tecnología de la termografía en otras industrias como por ejemplo para las plantas industriales en minería, cementeras, petroleras y gasíferas en el monitoreo predictivo ante posibles fallas de sus equipos industriales, que podrían interrumpir las operaciones de Planta.

Finalmente, antes de utilizar una cámara termográfica es recomendable conocer el correcto funcionamiento del misma, como sus funciones y controles, ajuste de la imagen térmica, toma de mediciones exactas, etc. pues la captura de imágenes no se debe realizar cuando hay reflejos solares porque pueden malinterpretar los resultados debido a la luminiscencia solar, sin embargo, hay que tomar en cuenta que este efecto, no necesariamente puede ser la causa real del defecto industrial.

REFERENCIAS

- Bances HR. (2020). Mantenimiento predictivo mediante la técnica de termografía para optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico Tierras Nuevas en empresa Coelvisac [Tesis Titulación, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45649/Bances_VH-R-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Borrego E. (2007). Introducción a las técnicas de diagnóstico y mantenimiento preventivo.
- Brown, R. E. (2017). *Electric Power Distribution Reliability*. CRC Press.
- Camilo M. (2007). *Mantenimiento predictivo y diagnóstico de fallo*. Universidad de Sevilla.
- Cañada, M., & Royo, R. (2016). *Termografía Infrarroja. Nivel II*. FC EDITORIAL.
- Chowdhury, A., & Koval, D. (2009). *Power Distribution System Reliability: Practical Methods and Applications*. Wiley.
- Galhanas, A. M. da. (1994). *Impact of Reliability Indices in Electrical Distribution Systems Design*. UMIST.
- Gómez GA. (2016). Evolución y tendencias de índices de confiabilidad en sistemas eléctricos de potencia. *Tecnología en Marcha*, 29(2), 3–13.
- Gutiérrez JT. (2015). *Mantenimiento predictivo mediante la técnica de la termografía para evaluar el correcto funcionamiento de las SS.EE. 22.9/0.22 KV. del sistema de la SEAL en la ciudad de Arequipa [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín, Escuela de Postgrado]*. http://www.carelec.gob.pe/Carelec/upload/368774c_tesisparaimprimir.pdf
- Haider, Z. M., Mehmood, K. K., Khan, S. U., Khan, M. O., Wadood, A., & Rhee, S.-B. (2021). Optimal Management of a Distribution Feeder During Contingency and Overload Conditions by Harnessing the Flexibility of Smart Loads. *IEEE Access*, 9, 40124–40139.
- Hernández R, Fernández C, & Baptista P. (2003). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Hernández R, Fernández F, & Baptista P. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Historia de la termografía. (s. f.). En *La termografía*. http://www.insatecsl.com/la_termografia.htm

- Huaranca MD, & Calatayud J. (2021). El factor de carga y la termografía para simplificar el mantenimiento predictivo de las subestaciones eléctricas de distribución de la ciudad de Juliaca [Tesis Titulación, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica Electrónica y Sistemas]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14754/Huaranca_Marco_Calatayud_Jhon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Imágenes por medio de radiación infraroja y termografía. (s. f.). En Termografía, magnitudes y unidades de la termografía. <http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/signals/termografiappt.pdf>
- Karki, R., Billinton, R., & Verma, A. K. (2014). Reliability Modeling and Analysis of Smart Power Systems. Springer Science & Business Media.
- Lanzoni, D. (2015). Infrared Thermography: Electrical and Industrial Applications. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Maldaque. (1994). Infrared Methodology and Technology. CRC Press.
- Navarrete I, Cano S, Balderramo N, & Pico G. (2016). Detección de puntos calientes para la predicción de averías en las zonas de estudio I y II de la CNEL – EP, Unidad de Negocios Manabi. Revista Riemat, 1, 36–43.
- Navarro M. (2009). Consentimiento informado, anonimato y confidencial en investigación social. Interamerica.
- OSINERMINING. (2018). Diagramas Unifilares de transmisión secundaria de sistemas de distribución eléctrica al 31/12/2018. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. <http://www2.osinerg.gob.pe/Publicaciones/pdf/DiagUnifiliar/DIAGUNI2018.pdf>
- Polit DF & Hungler BP. (2000). Investigación científica en ciencias de la salud. McGraw-Hill Interamericana.
- Prakash, R. (2012). Infrared Thermography. BoD – Books on Demand.
- Radu S. (1999). Capítulo 1 “Tipos de mantenimiento predictivo”. En Mantenimiento predictivo: Termografía. Person Education.
- Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2011). Electric Distribution Systems. John Wiley & Sons.
- Schweickardt GA, & Casanova CA. (2017). Optimización de la confiabilidad en sistemas de distribución eléctrica de media tensión. Modelos basados en dinámica posibilística e hiperheurística multiobjetivo. Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa, 25(11), 3–22.

- Trigoso JA. (2018). Estudio de confiabilidad en alimentadores de la subestación Chiclayo oeste utilizando el método probabilístico de simulación Montecarlo para determinar índices de confiabilidad [Tesis Titulación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Facultad de Ingeniería]. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1830/1/TL_TrigosoYarlaqueJhair.pdf
- Vavilov, V., & Burleigh, D. (2020). *Infrared Thermography and Thermal Nondestructive Testing*. Springer Nature.
- Viteri DE, Garzón CA, & Narvaéz EA. (2017). Análisis de confiabilidad en subestaciones eléctricas tipo maniobra implementando el transformador de tensión con núcleo de potencia. *Ingeniería*, 22(1), 65–82.
- Zarate R. (2009). *La gestión del cuidado de enfermería*. Scielo. scielo.iscni.es/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1132-1296200400010009&Ing

ANEXOS:

Anexo 01. Matriz de consistencia

“Influencia del análisis termográfico en el incremento de la Confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama 2021”

Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Metodología
<p>¿De qué manera la prevención de fallas mediante análisis termográfico incrementa la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama – La Libertad?</p>	<p>Una propuesta de prevención de fallas mediante análisis termográfico incrementa la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama – La Libertad.</p>	<p>General Determinar si una propuesta de prevención de fallas mediante análisis termográfico incrementa la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama – La Libertad.</p> <p>Específicos Analizar y determinar la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama 2019.</p> <p>Desarrollar una propuesta de mejora en prevención de fallas mediante análisis termográfico un sistema de distribución eléctrica,</p> <p>Analizar y determinar la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica, Chicama 2020 después de la propuesta de mejora de prevención de fallas.</p>	<p>Confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica</p> <hr/> <p>Análisis termográfico</p>	

Anexo 02. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Formulas	Escala
Confiabilidad de sistemas de distribución eléctrica	La función del sistema eléctrico de potencia es abastecer a todos los usuarios con energía eléctrica tan económicamente como sea posible, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de calidad, seguridad y confiabilidad (Brown, 2017)	Sobre la expectativa	Índices básicos	Índice de frecuencia de interrupciones	$\lambda = \frac{n_f}{T}$	
				Duración de interrupciones	$r = (\sum_{i=1}^{n_f} ttr_i) / n_f$	
				Indisponibilidad	$U = \lambda * r$	
		Dentro de la expectativa	Índices basados en usuarios	Sistema de índice promedio de frecuencia de interrupciones	$SAIFI = N_f / N = (\sum_{i=1}^{n_f} N_{xi}) / N$	
				Sistema de índice promedio de duración de interrupciones	$SAIDI = (\sum_{i=1}^{n_f} ttr_i * N_{xi}) / N$	
				Índice de frecuencia promedio de interrupción del consumidor	$CAIFI = N_f / n_x = (\sum_{i=1}^{n_f} N_{xi}) / n_x$	
				Duración promedio de interrupción de consumidor	$CAIDI = (\sum_{i=1}^{n_f} ttr_i * N_{xi}) / N_f$	
Debajo de la expectativa		Índice de promedio de disponibilidad de servicio	$ASAI = \frac{N * 8760 - \sum_{i=1}^{n_f} ttr_i * N_{xi}}{N * 8760}$			
Análisis termográfico	Es la ciencia de adquisición y análisis de información térmica a partir de dispositivos de toma de imágenes sin contacto. Es una técnica de mantenimiento predictivo que puede ser usado para el	Proactivo Normal contemplativo	Componentes defectuosos	Conexiones afectadas por corrosión Afectadas por suciedad Degradación de materiales aislantes Fatiga de material Conexiones flojas Armónicos		
			Prevención de fallas	Nivel de Prevención de fallas		

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Formulas	Escala
	monitoreo de la condición de máquinas, estructuras y sistemas (Maldaque, 1994).		Evitamiento de interrupción	Nivel de evitamiento de interrupciones		

T	Tiempo de estudio o periodo de los registros, generalmente [años]
n_i	Número de interrupciones en el servicio en el periodo T
itr_i	Tiempo para reparación o reconexión de la interrupción i
N_i	Número de interrupciones a los usuarios
N	Número de usuarios atendidos
N_x	Número de usuarios desconectados
n_u	Número de usuarios afectados por al menos una interrupción
MVA_i	Carga total instalada en el momento de la interrupción i
$MVAL_i$	Carga interrumpida en la interrupción i
ENS	Energía no suministrada

Anexo 03. Ficha de supervisión termográfica preventiva

Alimentador Fecha

Encargado

Elemento de alimentador	Falla detectada	Tiempo de reparación	Maniobras	Observaciones
Barras colectoras				
Cuchilla seccionadora tipo vertical				
Conector puente entrada de reconectador				
Interruptor de potencia bushing				
Transformador de potencia				
Reconectador				
Regulador de voltaje				
Circuitos				
1				
2				
3				
Observaciones				