



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**" IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO
PREDICTIVO (TERMOGRAFIA Y ESTADO DE
AISLAMIENTO DE CONDUCTORES
ELECTRICOS)"**

**TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE
RESIDENCIA PROFESIONAL**

PRESENTA:
JESUS ZEMPOALTECATL GONZÁLEZ

ASESOR:
DR. VICENTE FLORES LARA

APIZACO, TLAX; ABRIL 2026



Tzompantepec, Tlaxcala, 27/febrero/2025

Oficio No. MM-211/2026

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

LIC. CECILIA YARELLY ARREGUIN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	JESÚS ZEMPOALTECATL GONZÁLEZ
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	21370741
Nombre del Proyecto:	"IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (TERMOGRAFÍA Y ESTADO DE AISLAMIENTO DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MTRO. JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
METAL MECÁNICA

DR. VICENTE FLORES LARA
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2026
año de
Margarita
Maza





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 18/Marzo/2026

JESUS ZEMPOALTECATL GONZÁLEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 21370741.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO (TERMOGRAFIA Y ESTADO DE AISLAMIENTO DE CONDUCTORES ELECTRICOS)"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despidó.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA

JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/Gvm*



2026
año de
Margarita Maza



PRELIMINARES

AGRADECIMIENTOS

- *Agradezco a Dios por permitirme culminar este proyecto, por las lecciones de vida aprendidas y por los nuevos retos que me esperan. Sin su guía y fortaleza no habría podido continuar en este camino profesional.*
- *A mis padres, Herón Zempoaltecatl Badillo e Irene Alicia González Sánchez, les agradezco profundamente por darme la vida y por su apoyo incondicional durante toda mi carrera. Aunque mi madre ya no se encuentre en este mundo, espero que, donde esté, se sienta orgullosa de su hijo.*
- *A mis hermanos, por brindarme siempre su apoyo, su amor fraternal y sus palabras de aliento que me motivaron a seguir adelante.*
- *A mi novia y futura esposa, Andrea Hernández, por su amor incondicional y su constante apoyo a lo largo de este proyecto. Gracias por estar presente en cada paso, por brindarme la motivación necesaria para seguir adelante a pesar de los diferentes obstáculos. Con profundo cariño, quiero expresarte que te amo mucho.*
- *A mis compañeros de la carrera de Ingeniería, quienes me enseñaron el valor del trabajo en equipo, la amistad y el crecimiento personal. Gracias por compartir conocimientos y por su ayuda en los momentos más complicados.*
- *A mis profesores, cuyo compromiso y enseñanza fueron fundamentales para alcanzar este logro. Gracias por compartir su experiencia y guía a lo largo de mi formación.*
- *A todo el equipo de Mantenimiento, por brindarme la oportunidad de realizar e implementar este proyecto, por sus enseñanzas, su apoyo y su cariño, que me ayudaron a cumplir este objetivo.*
- *A toda mi familia, por su confianza y por estar presente en cada etapa de mi vida, acompañándome en cada paso del camino.*

INDICE

PRELIMINARES	2
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	5
GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	6
INTRODUCCIÓN	6
LUGAR EN DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO	7
PROBLEMÁTICA.....	8
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
ALCANCE.....	10
DELIMITACIONES	10
JUSTIFICACIÓN	11
ESTADO DE LA TECNICA	12
MARCO TEORICO	15
CONTEXTO HISTÓRICO	15
MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	16
CONCEPTOS DE TERMOGRAFIA	17
RADIACION IFRARROJA (ONDAS INFRAROJAS)	18
EMISIBILIDAD	19
TABLA DE EMISIVIDADES	20
IMÁGENES TÉRMICAS.....	22
CAMARA TERMOGRAFICA	22
FUNCIONAMIENTO DE LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS	23
TERMOGRAMA	23
CONSEPTOS CONDUCTORES ELECTRICOS	25
DIFERENCIA ENTRE HILO Y CABLE.....	26
PARTES DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	26
PRUEBA DE MEGGER.....	27
TIPOS DE CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN SU USO	28
NOMENCLATURA DE CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN LAS NORMAS.....	31
MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	34
TERMOGRAFÍA.....	35
DESARROLLO	37

CRONOGRAMA PRELIMINAR DE ACTIVIDADES (GRAFICA DE GANTT).....	37
DESCIPCION DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES	37
PROCEDIMIENTO.....	38
DECLARACIONES IMPORTANTES.....	38
IMPLEMENTACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA.....	40
ESTADO DE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS.....	50
PLATAFORMA DIGITAL DEL REGISTRO Y MONITOREO DE LOS EQUIPOS	
ELECTRICOS.....	57
RESULTADOS	61
CONCLUSIONES.....	63
COMPETENCIAS DESARROLLADAS.....	63
REFERENCIAS.....	64
ANEXOS.....	67

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en la empresa HOLLINGSWORTH & VOSE (HOVOMEX), ubicada en Apizaco, Tlaxcala, con el objetivo de fortalecer la estrategia de mantenimiento predictivo mediante la implementación de técnicas de termografía y la evaluación del estado de aislamiento de los conductores eléctricos. A partir de la necesidad de complementar el monitoreo de vibraciones ya existente en la planta, se propuso integrar el análisis térmico como una herramienta adicional para la detección temprana de fallas en motores eléctricos, bombas, reductores y dispositivos asociados.

Como parte del desarrollo del proyecto, se diseñó e implementó una plataforma digital orientada al registro, organización y consulta de información técnica de los activos eléctricos. Dicha plataforma permite almacenar mediciones termográficas, resultados de vibraciones, fichas técnicas, diagramas eléctricos y reportes de fallas, facilitando el acceso a la información mediante el uso de códigos QR asignados a cada equipo.

Los resultados obtenidos evidencian que la plataforma digital contribuye a la centralización y actualización de la información de mantenimiento, optimizando los tiempos de registro y consulta de datos durante las inspecciones. Asimismo, la aplicación de la termografía permitió identificar incrementos anormales de temperatura asociados a condiciones de sobreesfuerzo mecánico y deterioro de componentes, lo que respalda su utilidad como herramienta de apoyo en el mantenimiento predictivo eléctrico. El proyecto sienta las bases para el fortalecimiento futuro de la gestión de activos eléctricos y la mejora continua de las actividades de mantenimiento en la planta.

GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

En la industria moderna, la confiabilidad y disponibilidad de los equipos eléctricos representan un factor crítico para garantizar la continuidad de los procesos productivos, la seguridad del personal y la eficiencia operativa. Los motores eléctricos, bombas, arrancadores y sistemas de control constituyen activos esenciales que, al presentar fallas inesperadas, pueden generar paros no programados, pérdidas económicas significativas y riesgos operativos.

En este contexto, las estrategias de mantenimiento han evolucionado desde enfoques correctivos y preventivos hacia esquemas predictivos, los cuales permiten anticipar fallas mediante el monitoreo de variables clave del estado de los equipos. En la empresa HOLLINGSWORTH & VOSE, el mantenimiento predictivo basado en el análisis de vibraciones ha demostrado ser una herramienta eficaz para la detección de anomalías mecánicas; sin embargo, este enfoque presenta limitaciones al no considerar directamente las condiciones térmicas y eléctricas de los sistemas.

El sobrecalentamiento de componentes eléctricos y mecánicos actúa como un factor acelerador del deterioro de aislamientos, lubricantes, rodamientos y sellos, reduciendo de manera significativa la vida útil de los equipos. Ante esta problemática, la termografía se posiciona como una técnica no invasiva que permite identificar incrementos de temperatura y anomalías térmicas en tiempo real, sin necesidad de detener la operación.

Por lo anterior, el presente proyecto tiene como propósito implementar un esquema de mantenimiento predictivo eléctrico apoyado en la termografía y en la evaluación del estado de aislamiento de los conductores, complementado con el desarrollo de una plataforma digital para el registro y monitoreo de los activos eléctricos. Esta integración busca fortalecer la toma de decisiones en el área de mantenimiento, mejorar la trazabilidad de la información técnica y contribuir a la confiabilidad operativa de los equipos eléctricos de la planta.

LUGAR EN DONDE SE REALIZARÁ EL PROYECTO

El proyecto se realizará en la planta generadora de filtros de aire en HOLLINGSWORTH & VOSE Apizaco, Tlax. Específicamente en el área de Mantenimiento, ubicada en KM 1.2 camino a colonia Morelos, esta implementación se realizará en las diferentes áreas que tiene la empresa las cuales son: área de Servicios, área sótano, área pulpers, área resinas, área húmeda, área de transmisión y área de bobinado.

TITULAR DE LA EMPRESA: ING. ALBERTO GUILLERMO MENDEZ MENDEZ

NOMBRE DE ASESOR EXTERNO: ING. GEOVANI RODRIGUEZ ESPINOSA

NUMERO DE CONTACTO: 2414184860

RFC: HOV810910DT0

MISION:

Ser líder global en nuestro campo

- Ofrecer excelente calidad, servicio y valor a nuestros clientes
- Enfocarse en la innovación, excelencia operacional y crecimiento global
- Ofrecer una oportunidad y una vida de trabajo satisfactoria para nuestros empleados

Hacer crecer a h& v como una compañía rentable y privada hacia el futuro

- Ser un buen ciudadano en nuestra sociedad y un buen guardián del medio ambiente
- Mantener una moderación financiera con constante reinversión

Crear valor a largo plazo y crecimiento de dividendos para nuestros inversionistas

VISION:

H&V desarrolla y manufactura materiales avanzados para un mundo más limpio

PROBLEMÁTICA

Hoy en día la empresa HOVOMEX esta implementado el mantenimiento predictivo centrado en las vibraciones de los dispositivos que está utilizando en la productividad de la empresa, esto abarcando desde motores, bombas y reductores, esta estrategia ha resultado ser valiosa para la empresa ya que gracias a esta implementación se realiza los planes de trabajo más efectivos y poder anticiparse a posibles fallas mecánicas, optimizando al mismo tiempo los recursos pasa su mantenimiento.

Sin embargo, a pesar del éxito del monitoreo de vibraciones en los equipos, persiste una vulnerabilidad crítica: el sobrecalentamiento de estos. Se ha identificado, a través de observaciones del personal técnico, que el aumento de temperatura en los activos provoca fallas prematuras que no son anticipadas a tiempo por el sistema actual de análisis de vibraciones.

Por tanto, el sobrecalentamiento actúa como un acelerador que afecta drásticamente el proceso de degradación de componentes que son esenciales para el funcionamiento del dispositivo, como:

- **Lubricantes:** La grasa de los rodamientos del motor, aceite del reductor o bombas, cuya vida útil está calculada para 3 meses bajo condiciones normales, puede degradarse y perder sus propiedades en cuestión de semanas debido al exceso del calor.
- **Aislamientos:** En motores eléctricos, el calor degrada el barniz de los devanados, reduciendo su vida útil a la mitad por cada 10°C de aumento sobre su temperatura de diseño.
- **Sellos y Rodamientos:** El calor endurece los elastómeros y disminuye la viscosidad del lubricante, llevando a fallas prematuras en sellos y rodamientos.

Debido a esto se hace ineficiente el mantenimiento preventivo ya que los planes de lubricación y otras tareas basadas en ese tiempo se vuelve obsoleto, por tan tanto se invierte tiempo, personal y recursos para realizar tareas que no protegen al dispositivo, Y esto nos lleva al mantenimiento correctivo que por consecuencia es un escenario mucho más ineficiente y sobre todo costoso, debido a:

- **Gastos elevados por la compra de repuestos mayores** como: motores, engranajes, etc. Y el pago de mano de obra en tiempo extra
- **Daños colaterales**, esto presentado como, por ejemplo; si se amarra un rodamiento puede causar un daño en el eje o carcasa, o hasta las chumaceras en la que esté involucrado, o si un engranaje falla puede causar que los demás engranajes sucumban
- **Impacto financiero**, si llegase a parar la producción por el infortunio del fallo de un dispositivo esencial puede causar retardos en la entrega del producto hacia los clientes o hasta en escenarios en donde se puede desperdiciar el producto de fabricación

OBJETIVO GENERAL

Implementar una plataforma digital en Google Sites para el monitoreo, el registro detallado y el control estratégico de activos eléctricos, con el fin de establecer e implementar un programa de mantenimiento predictivo basado en el análisis termográfico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar técnicas de termografía en motores eléctricos, arrancadores y dispositivos asociados, con el fin de identificar incrementos de temperatura que representen condiciones de falla potencial.
- Evaluar el estado de aislamiento eléctrico de los conductores mediante pruebas técnicas estandarizadas, determinando el nivel de integridad y confiabilidad de los sistemas eléctricos.
- Diseñar e implementar un sistema de registro digital en una plataforma destinada a la recopilación, organización y almacenamiento de los datos obtenidos durante las mediciones.
- Analizar la información recolectada para establecer tendencias, generar reportes técnicos y proponer acciones de mejora orientadas a la prevención de fallas.
- Contribuir a la mejora de la disponibilidad y vida útil de los equipos eléctricos, reduciendo paros no programados y costos asociados al mantenimiento correctivo

ALCANCE

El presente proyecto de investigación se desarrollará en las instalaciones de la empresa Hovomex (Hollingsworth & Vose), ubicada en Apizaco, Tlaxcala, México.

El enfoque operativo se centrará en las áreas de producción que albergan los dispositivos eléctricos críticos, los cuales se encuentran subdivididos en las distintas zonas de la planta.

Este proyecto tiene como alcance el cumplimiento de los siguientes puntos clave:

- **Inspección y Diagnóstico Termográfico:** La ejecución de inspecciones termográficas periódicas en los dispositivos y activos eléctricos seleccionados para la detección temprana de anomalías térmicas.
- **Evaluación del Aislamiento Eléctrico:** La aplicación de pruebas de resistencia de aislamiento a los conductores eléctricos principales para evaluar su estado y determinar su integridad funcional.
- **Desarrollo e Implementación de la Plataforma Digital:** El diseño, desarrollo e implementación de una plataforma digital destinada al registro, la organización, el análisis sistemático y la trazabilidad de los datos recolectados de los activos eléctricos.
- **Optimización del Acceso a la Información:** La generación y asignación de códigos QR a cada equipo con el fin de agilizar el ingreso de datos de las inspecciones y facilitar la consulta inmediata del historial de mantenimiento y diagnóstico del dispositivo.

DELIMITACIONES

El alcance del proyecto está sujeto a ciertas limitaciones operativas, técnicas y de recursos que definen el marco estricto de la investigación y la implementación. Estas delimitaciones son:

- **Restricciones de Acceso y Seguridad Industrial:** La ejecución de las actividades de inspección y diagnóstico está sujeta a las políticas internas de seguridad (EHS) de la planta Hovomex. El acceso a los activos eléctricos requerirá la solicitud y aprobación previa de permisos para la manipulación de resguardos o el acceso a equipos energizados, garantizando siempre la seguridad del personal involucrado.
- **Exclusión de Sistemas no Eléctricos:** El proyecto se delimita estrictamente al análisis y control de los activos que forman parte de los sistemas eléctricos. Quedan excluidos de la inspección y la plataforma digital todos los equipos, componentes o

sistemas que no posean una funcionalidad intrínseca dentro del sistema de distribución y consumo eléctrico (ej. sistemas neumáticos, hidráulicos, etc.).

- Instrumentación Termográfica Específica: La investigación se delimita al uso exclusivo de la cámara termográfica proporcionada por la empresa Hovomex. Esta restricción se debe a la limitación presupuestaria para la adquisición de instrumentos de medición de temperatura más avanzados o de mayor precisión disponibles en el mercado.

JUSTIFICACIÓN

La empresa Hovomex, ubicada en Apizaco, Tlaxcala, México, desarrolla procesos productivos en los cuales los sistemas eléctricos juegan un papel fundamental para garantizar la continuidad y calidad de sus operaciones. Los motores eléctricos, arrancadores y dispositivos de control representan componentes críticos que, al presentar fallas, pueden ocasionar paros no programados, pérdidas económicas y riesgos de seguridad para el personal.

Actualmente, Hovomex ha incorporado el mantenimiento predictivo mediante el análisis de vibraciones, lo que ha permitido anticipar fallas mecánicas relacionadas con desalineaciones, desbalances y problemas en rodamientos.

No obstante, este enfoque resulta limitado, ya que se concentra únicamente en los aspectos mecánicos y no abarca las variables eléctricas que también inciden directamente en la confiabilidad de los sistemas.

Por ello, la presente investigación se centra en la implementación del mantenimiento predictivo eléctrico, utilizando la termografía y el análisis del estado de aislamiento en conductores eléctricos. Estas herramientas permitirán detectar sobrecalentamientos y anomalías en motores, arrancadores y dispositivos asociados, así como evaluar la integridad de los sistemas eléctricos, sin necesidad de detener la operación.

De manera complementaria, la creación de una plataforma digital de registro y análisis de datos fortalecerá la trazabilidad de la información, facilitará la elaboración de reportes técnicos y respaldará la toma de decisiones estratégicas en el área de mantenimiento.

En consecuencia, la implementación de este proyecto en Hovomex no solo permitirá consolidar una estrategia integral de mantenimiento predictivo que complemente las prácticas actuales de vibraciones, sino que también incrementará la confiabilidad y disponibilidad de los equipos

eléctricos, reducirá costos por mantenimientos correctivos y fomentará la innovación tecnológica en la gestión de activos industriales.

ESTADO DE LA TECNICA

Actualmente, la termografía ha dejado de ser una herramienta aislada para convertirse en un elemento activo dentro de la industria digital. La cámara termográfica ya no se considera únicamente un dispositivo que “toma imágenes”, sino un sensor de datos conectado, capaz de comunicarse con sistemas de control y analizar información térmica en tiempo real, lo que fortalece los programas de mantenimiento predictivo (Fluke Corporation y The Snell Group, 2009).

Esta evolución ha sido posible gracias a avances tecnológicos clave, como el procesamiento en el borde (edge computing), la integración con plataformas IoT industriales y la aplicación de inteligencia artificial para análisis térmico automatizado (FLIR Systems, 2020). Estas tecnologías permiten que los sistemas termográficos operen como nodos activos dentro de arquitecturas de automatización industrial.

Un ejemplo claro es la integración de cámaras termográficas avanzadas que incorporan protocolos industriales como Modbus TCP y EtherNet/IP, permitiendo su conexión directa con sistemas SCADA y PLC (FLIR Systems, 2020). Por ejemplo, si un rodamiento incrementa su temperatura de 60 °C a 85 °C, el sistema puede generar una alerta automática para evitar daños mayores. Este tipo de monitoreo continuo ha demostrado reducir eventos asociados a sobrecalentamiento al detectar desviaciones térmicas antes de que se alcance una condición crítica (Fluke Corporation y The Snell Group, 2009).

Otro desarrollo relevante es el uso de sensores infrarrojos de alta sensibilidad capaces de detectar emisiones asociadas a gases industriales como el SF₆, ampliamente utilizado en subestaciones eléctricas de alta tensión (FLIR Systems, 2020). La identificación temprana de fugas contribuye a mejorar la seguridad operativa y el control ambiental en infraestructura energética.

En el contexto de México, la aplicación de inspecciones termográficas en instalaciones eléctricas se realiza bajo lineamientos técnicos establecidos por organismos normativos, como la Norma NMX-J-C-I-489-ANCE, la cual establece criterios para evaluación de puntos calientes en sistemas eléctricos (Asociación de Normalización y Certificación, 2014). Estas inspecciones permiten detectar incrementos térmicos asociados a resistencia de contacto elevada, conexiones flojas o deterioro de componentes.

En la industria automotriz del Bajío, la termografía de alta velocidad se emplea en procesos de soldadura por resistencia para validar perfiles térmicos de cada punto de unión. La supervisión térmica automatizada contribuye significativamente al aseguramiento de calidad en procesos críticos (SICMA21, 2023). Asimismo, en túneles de curado de pintura, el monitoreo térmico continuo garantiza que la carrocería alcance temperaturas dentro del rango especificado, optimizando la adherencia y reduciendo defectos superficiales.

En el sector energético, la Comisión Federal de Electricidad implementa inspecciones termográficas como parte de sus programas de mantenimiento preventivo y predictivo en líneas de transmisión y subestaciones eléctricas, con el fin de garantizar la confiabilidad del suministro (Comisión Federal de Electricidad, 2022).

En concordancia con esta evolución tecnológica y su aplicación en el entorno industrial, el presente proyecto se fundamenta en la implementación estratégica de la termografía como herramienta de mantenimiento predictivo dentro de la planta. Si bien la termografía ha alcanzado niveles avanzados de automatización e integración digital, en el contexto específico de esta investigación se propone su aplicación mediante un enfoque estructurado y sistemático, orientado al monitoreo periódico de equipos eléctricos y ciertos sistemas mecánicos críticos.

Para ello, se desarrolló una plataforma digital utilizando **Google Sites**, la cual funciona como un sistema centralizado de gestión de información técnica. Aunque se trata de una herramienta básica en comparación con plataformas industriales especializadas, su

implementación demuestra que es posible estructurar un sistema de monitoreo funcional mediante recursos accesibles.

La plataforma fue diseñada para registrar de manera minuciosa cada dispositivo de la planta, incorporando datos de placa, especificaciones técnicas, manuales de operación y documentación relevante, especialmente en el caso de motores eléctricos que operan con *drives* o variadores de frecuencia. De esta manera, se consolida un repositorio técnico que facilita la consulta y el seguimiento del historial operativo de los equipos.

Adicionalmente, se integró un sistema de control térmico basado en mediciones realizadas con cámara termográfica. Las temperaturas de operación se registran manualmente en la plataforma, generando un historial que permite identificar tendencias de sobrecalentamiento, desviaciones respecto a condiciones normales de trabajo y posibles anomalías asociadas al deterioro de componentes. Este control no solo contempla valores térmicos, sino también registros de intervenciones, mantenimientos realizados y refacciones utilizadas, fortaleciendo la trazabilidad y el análisis predictivo.

Complementariamente a la técnica termográfica, se consideró la aplicación de pruebas eléctricas para evaluar el estado del aislamiento, particularmente la prueba de resistencia de aislamiento mediante megóhmetro (prueba de Megger). Esta técnica permitió identificar valores inferiores a 1 M Ω en un circuito secundario de control, lo que evidenciaba presencia de humedad y deterioro inicial del aislamiento. Posterior a la intervención de secado y limpieza, los valores superaron los 100 M Ω , restableciendo condiciones seguras de operación y evitando posibles fallas a tierra o paros inesperados en la línea de producción.

En consecuencia, la integración de la termografía con pruebas básicas de aislamiento eléctrico establece una estrategia de mantenimiento predictivo adecuada al entorno industrial estudiado, equilibrando viabilidad técnica, accesibilidad económica y confiabilidad diagnóstica. Los resultados obtenidos demuestran que esta combinación no solo fortalece la capacidad de detección temprana de anomalías, sino que también contribuye directamente a la reducción de fallas, optimización energética y mejora en la confiabilidad operativa de la planta.

MARCO TEORICO

CONTEXTO HISTÓRICO

El mantenimiento industrial ha experimentado una evolución significativa a lo largo del tiempo. En sus primeras etapas, predominó el mantenimiento correctivo, que consistía en reparar o sustituir los equipos únicamente cuando ocurría una falla. Este enfoque, aunque funcional en su época, ocasionaba paros no programados, pérdidas económicas y reducción de la vida útil de los equipos.

Posteriormente, con el crecimiento de la demanda industrial, se desarrolló el mantenimiento preventivo, basado en planes de revisión periódica y sustitución programada de componentes. Si bien permitió una mayor organización en las labores de mantenimiento, también presentó limitaciones, pues se reemplazaban piezas en buen estado, lo que generaba costos innecesarios y no aseguraba la detección temprana de anomalías.

Con los avances tecnológicos de la segunda mitad del siglo XX surgió el mantenimiento predictivo, una estrategia que revolucionó la gestión de activos al enfocarse en la detección anticipada de fallas mediante el monitoreo de variables físicas y eléctricas en condiciones reales de operación. Entre las técnicas más empleadas se encuentran el análisis de vibraciones, el ultrasonido, las pruebas de resistencia de aislamiento y, de manera destacada, la termografía.

La termografía, como técnica de diagnóstico no invasiva, tiene sus raíces en el descubrimiento de la radiación infrarroja por Sir William Herschel en 1800. A lo largo del siglo XX, especialmente durante la década de 1920, comenzaron a desarrollarse dispositivos capaces de detectar esta radiación, lo que permitió visualizar diferencias de temperatura en superficies y componentes. Su aplicación se expandió rápidamente en campos como la medicina, la defensa y la ingeniería.

En el ámbito industrial, la termografía se consolidó como una herramienta clave del mantenimiento predictivo. Gracias a su capacidad para detectar puntos calientes, sobrecalentamientos y pérdidas térmicas sin necesidad de detener los equipos, ha permitido a las empresas mejorar la confiabilidad de sus activos, prolongar su vida útil y reducir los costos asociados al mantenimiento correctivo. Además, su uso contribuye a la seguridad operativa, la eficiencia energética y la optimización de los recursos.

Paralelamente, el estudio del estado de aislamiento de los conductores eléctricos ha seguido una evolución similar en la búsqueda de mayor seguridad y confiabilidad en los sistemas eléctricos. Desde finales del siglo XIX, cuando los primeros cables aislados con materiales naturales como goma, algodón o gutapercha mostraban limitaciones frente a la humedad y el calor, los ingenieros comenzaron a desarrollar métodos para evaluar la resistencia de aislamiento.

Durante las décadas de 1930 a 1960, con la introducción de materiales sintéticos como el polietileno (PE) y el cloruro de polivinilo (PVC), se logró una mejora sustancial en la durabilidad y la estabilidad térmica de los conductores. En este periodo surgieron también las primeras normas internacionales, como las de la IEEE, IEC y NEMA, que establecieron procedimientos estandarizados para la medición del aislamiento eléctrico mediante pruebas de resistencia, índice de polarización y factor de disipación.

Con la digitalización de las últimas décadas del siglo XX, el diagnóstico del aislamiento evolucionó hacia el monitoreo predictivo, incorporando instrumentos capaces de detectar degradaciones progresivas causadas por humedad, contaminación o envejecimiento térmico. Actualmente, los sistemas de mantenimiento industrial integran tecnologías digitales, sensores inteligentes y análisis térmico mediante termografía, permitiendo el seguimiento en tiempo real del estado de los conductores eléctricos. Estos avances han optimizado la detección temprana de fallas, la toma de decisiones técnicas y la gestión eficiente de la energía, consolidando el monitoreo del aislamiento como un componente esencial del mantenimiento predictivo moderno.

Hoy en día, tanto la termografía como la evaluación del estado de aislamiento de los conductores eléctricos son consideradas técnicas esenciales en la gestión moderna del mantenimiento industrial, reflejando el impacto de la innovación tecnológica en la mejora continua de los procesos productivos.

MÉTODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La energía térmica se puede transferir por tres métodos distintos: conducción, convección o radiación. Cada método se puede describir como estado estable o inestable. Durante una transferencia en estado estable, la velocidad de transferencia es constante y no cambia de sentido

en función del tiempo. Por ejemplo, una máquina totalmente caliente con una carga constante transfiere el calor a una velocidad estable a su entorno. En realidad, no existe el flujo de calor estable perfecto. Siempre hay pequeñas fluctuaciones transitorias, pero por motivos prácticos se suelen ignorar. La conducción es la transferencia de energía térmica desde un objeto a otro mediante el contacto directo. La convección es la transferencia de calor que se produce cuando las moléculas se mueven y/o las corrientes de aire, gases o fluidos circulan entre las regiones calientes y frías. La radiación es el movimiento del calor que se manifiesta cuando la energía radiante (ondas electromagnéticas) se mueve sin que exista un medio directo de transferencia. Cuando una máquina se calienta o se enfría, el calor se transfiere de manera inestable. La comprensión de estas relaciones es importante para los técnicos, porque el movimiento del calor suele estar estrechamente relacionado con la temperatura de un objeto. (Fluke Corporation y the Snell Group, par. 7)

CONCEPTOS DE TERMOGRAFIA

La termografía por infrarrojos es una técnica que permite medir y visualizar la temperatura superficial de objetos y equipos mediante la detección de la radiación infrarroja que emiten. Esta radiación es una forma de transferencia de calor en forma de energía radiante, que puede ser captada sin contacto físico con el objeto (Martínez Fernández, M. F. (2013)). La cantidad de energía electromagnética emitida por un objeto se relaciona directamente con su temperatura, lo que permite a las cámaras termográficas determinar el estado térmico de la superficie evaluada sin necesidad de intervención directa.

A lo largo del tiempo, la termografía se ha consolidado como una herramienta fundamental en el mantenimiento industrial de sistemas mecánicos y eléctricos. Su aplicación permite supervisar el rendimiento de los equipos, identificar puntos calientes y fríos, reducir la probabilidad de paradas imprevistas, disminuir los costos de mantenimiento reactivo y prolongar la vida útil de los activos industriales (*SICMA21*. (2023).). Además, al combinar la sensibilidad de los dispositivos electrónicos con la capacidad de medir la radiación infrarroja, se ha superado la limitada capacidad humana para detectar variaciones térmicas mínimas, mejorando la precisión y confiabilidad en la evaluación de equipos (Fluke Corporation y the Snell Group, pag. 4)

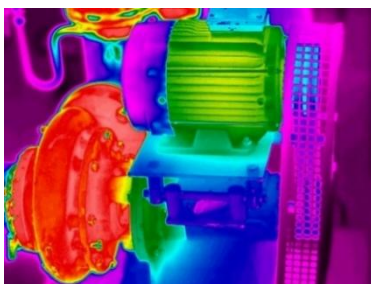


Figura 1 Termografía de acoplación industrial

En conjunto, la termografía por infrarrojos constituye un método no invasivo y eficiente que permite diagnosticar condiciones térmicas anómalas, optimizar procesos industriales y contribuir a la seguridad y eficiencia operativa de las instalaciones. Ejemplo de ello Se muestra en la Figura 1.

RADIACION IFRAROJA (ONDAS INFRAROJAS)

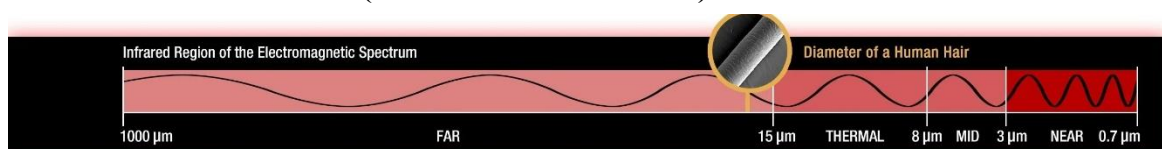


Figura 2 Infrared Waves, crédito {NASA , par:9/}

La radiación es la transferencia de energía como el calor que ocurre entre dos objetos a través de energía electromagnética, viajando a la velocidad de la luz. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere un medio físico, por lo que puede producirse incluso en el vacío. Un ejemplo cotidiano es la sensación de calor del sol en un día frío.

Dentro del espectro electromagnético se encuentran las ondas infrarrojas, invisibles al ojo humano pero detectables como calor (observe figura 2). Las personas interactúan con ellas diariamente; por ejemplo, un control remoto utiliza ondas infrarrojas, ubicadas justo más allá del espectro visible, para enviar señales al televisor.

Esta región se divide en infrarrojo cercano, medio y lejano, y el intervalo de 8 a 15 micras (μm), conocido como infrarrojo térmico, es especialmente útil para estudiar la energía térmica de onda larga irradiada por la Tierra y por distintos objetos. (Fluke Corporation y the Snell Group. Pag4)

La energía electromagnética puede presentarse como luz visible, ondas de radio o radiación infrarroja, diferenciándose entre sí principalmente por su longitud de onda. Mientras que el ojo humano percibe

únicamente la luz visible, las cámaras termográficas detectan las longitudes de onda asociadas al calor irradiado. Cada zona del espectro corresponde a un tipo específico de onda electromagnética.

La cantidad de energía radiada por un objeto depende de su temperatura y superficie, relación descrita por la ecuación de Stefan-Boltzmann. En términos generales, cuanto más caliente está un objeto, mayor es la energía que irradia. Así, un quemador de cocina emite mucho más calor cuando está encendido que cuando está frío.

EMISIVIDAD

La emisividad es una propiedad de la superficie que determina la cantidad de radiación que emite un objeto a una temperatura determinada en comparación con un cuerpo negro a la misma temperatura. La emisividad (junto con la radiación térmica de fondo) es una fuente principal de errores en la medición de la temperatura infrarroja. La emisividad se puede entender más fácilmente si se observa que el infrarrojo tiene propiedades similares a la luz visible.

En pocas palabras, la emisividad es la propiedad que indica la eficacia con la cual la superficie de un objeto emite radiación térmica.

FACTORES QUE AFECTAN LA EMISIVIDAD

No todas las superficies presentan la misma capacidad de emisión de radiación térmica. Por ejemplo, una lámina metálica y un trozo de madera poseen valores de emisividad significativamente distintos. Si ambos materiales se exponen al sol durante dos horas, el metal emitirá mayor radiación térmica y, por tanto, se percibirá más caliente. De acuerdo con. **Kapter 2019**, expertos en termografía, los principales factores que influyen en la emisividad de un objeto son los siguientes:

- **Material:** los materiales no metálicos suelen presentar una emisividad superior a 0,8, mientras que los metales exhiben valores mucho más variables.
- **Textura superficial:** este factor afecta principalmente a los metales. Un metal pulido puede tener una emisividad entre 0,02 y 0,20; sin embargo, si su superficie está oxidada, puede alcanzar valores de hasta 0,95.

- **Ángulo de observación:** la emisividad varía de forma considerable cuando la medición se realiza con un ángulo muy inclinado. Para tomas frontales o con desviaciones menores a 45°, el valor puede considerarse prácticamente constante.
- **Geometría:** las superficies con ranuras, estrías o irregularidades tienden a tener emisividades mayores que las superficies lisas.
- **Longitud de onda:** en la práctica cotidiana, este factor no suele tener un efecto significativo.
- **Temperatura:** dentro de los rangos de temperatura habituales, la influencia sobre la emisividad es mínima y puede considerarse despreciable.

La emisividad es un parámetro fundamental para obtener lecturas precisas mediante cámaras termográficas. Cabe destacar que algunos materiales pueden absorber o reflejar la radiación térmica de su entorno, lo que puede generar imágenes aparentes que no corresponden exactamente con la temperatura real del objeto. (2019, July 4 Kapter. Kapter.)

TABLA DE EMISIVIDADES

La tabla siguiente se presenta como una guía de referencia para realizar ajustes en los valores de emisividad durante mediciones por infrarrojos. En ella se muestran los coeficientes de emisividad (ϵ) correspondientes a diversos materiales de uso común. Es importante considerar que la emisividad puede variar según la temperatura y las características superficiales del material; por lo tanto, los valores indicados deben tomarse únicamente como orientativos para comparaciones o análisis relativos de temperatura.

Para obtener mediciones absolutas precisas, es necesario determinar la emisividad específica de cada material. Observe la Tabla 1, muestra la emisividad de algunos materiales

Tabla 1. Tabla de emisividades, {Crédito ANCE}

Material (temperatura del material)	Emisividad (ϵ)
Acero laminado en frío (93 °C)	0,75–0,85
Acero oxidado (200 °C)	0,79
Acero superficie tratada térmicamente (200 °C)	0,52
Algodón (20 °C)	0,77
Aluminio laminado sin tratamiento (170 °C)	0,04

Aluminio muy pulido (100 °C)	0,03
Aluminio muy oxidado (93 °C)	0,20
Aluminio no oxidado (100 °C)	0,30
Aluminio no oxidado (25 °C)	0,09
Arcilla (70 °C)	0,91
Caucho, blando, gris (23 °C)	0,89
Cinc oxidado	0,10
Cobre ligeramente deslustrado (20 °C)	0,64
Cobre oxidado (130 °C)	0,76
Cobre laminado (40 °C)	0,64
Cobre pulido (40 °C)	0,03
Corcho (20 °C)	0,70
Cristal (90 °C)	0,94
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo pulido (150 °C)	0,06
Cuerpo refrigerante anodizado negro (50 °C)	0,98
Goma dura (23 °C)	0,94
Granito (20 °C)	0,45
Hielo liso (0 °C)	0,97
Hierro con costra de fundición (100 °C)	0,80
Hierro con costra de laminación (20 °C)	0,77
Hierro de fundición oxidado (200 °C)	0,64
Hierro esmerilado (20 °C)	0,24
Hormigón (25 °C)	0,93
Ladrillo, mortero, revoque (20 °C)	0,93
Latón oxidado (200 °C)	0,61
Madera (70 °C)	0,94
Mampostería (40 °C)	0,93
Mármol blanco (40 °C)	0,95
Papel (20 °C)	0,97
Piedra arenisca o gres (40 °C)	0,67
Pintura azul sobre lámina de aluminio (40 °C)	0,78
Pintura blanca (90 °C)	0,95
Pintura de transformadores (70 °C)	0,94
Pintura negra mate (80 °C)	0,97
Pintura amarilla, 2 capas sobre lámina de aluminio (40 °C)	0,79
Pinturas al óleo (cualquier color) (90 °C)	0,92–0,96
Plásticos: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Plomo (40 °C)	0,43
Plomo oxidado (40 °C)	0,43
Plomo gris oxidado (40 °C)	0,28
Porcelana (20 °C)	0,92
Yeso (20 °C)	0,90

IMÁGENES TÉRMICAS

Podemos percibir cierta energía infrarroja en forma de calor. Algunos objetos son tan calientes que también emiten luz visible, como el fuego. Otros objetos, como los humanos, no son tan calientes y solo

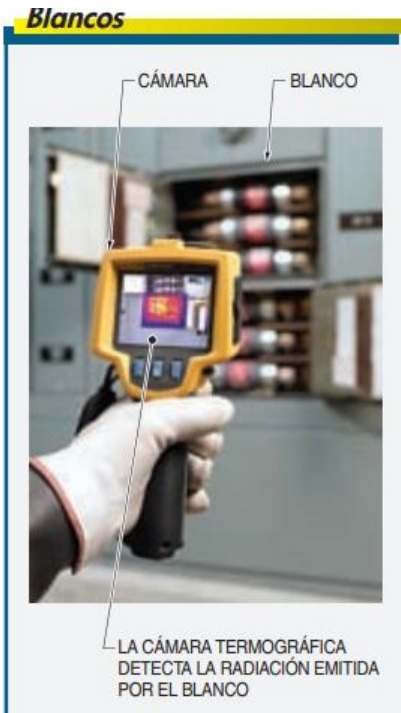


Figura 3 Medición de temperatura,
(crédito AMERICAN TECHNICAL
PUBLISHERS, INC. ORLAND PARK,)

emiten ondas infrarrojas. Nuestros ojos no pueden ver estas ondas infrarrojas, pero los instrumentos que pueden detectar energía infrarroja, como las gafas de visión nocturna o las cámaras infrarrojas, nos permiten "ver" las ondas infrarrojas emitidas por objetos cálidos como los humanos y los animales. Las temperaturas de las imágenes a continuación están en grados Fahrenheit. (Colleen Kaiser-NASA)

CAMARA TERMOGRAFICA

Las cámaras termográficas (también conocidas como cámaras de infrarrojos, cámaras térmicas o cámaras de calor), son dispositivos diseñados para detectar y visualizar variaciones de temperatura en distintos materiales y entornos. Su funcionamiento se basa en el principio de radiación térmica, un fenómeno natural por el cual todos los cuerpos emiten energía en forma de infrarrojos según su temperatura.

Para comprender con mayor profundidad la termografía, resulta esencial analizar los tres mecanismos fundamentales mediante los cuales se transfiere el calor.

- **Conducción.** Ocurre cuando el calor se transfiere a través del contacto directo entre moléculas, generando choques o fricción entre partículas. Es el mecanismo más común en materiales sólidos.
- **Convección.** Es la transferencia de calor que se produce en los fluidos (líquidos y gases) debido a su movimiento, el cual puede estar provocado por fuerzas gravitacionales, diferencias de temperatura o fuerzas externas.
- **Radiación.** Es la base del funcionamiento de las cámaras térmicas. Todos los cuerpos, sin importar su estado físico, emiten y absorben radiación térmica que puede ser detectada y analizada.

Existen también otros mecanismos de transferencia de calor como la evaporación y la condensación que conllevan, a su vez, transferencia de masa. Para todo termógrafo es importante estar familiarizado con estos mecanismos, ya que, a través de la cámara termográfica obtendremos instantáneamente la distribución de temperatura sobre el elemento que nosotros visualicemos.

FUNCIONAMIENTO DE LAS CÁMARAS TERMOGRÁFICAS

Resulta útil tener una comprensión general de cómo funcionan las cámaras termográficas porque es muy importante que el termógrafo trabaje dentro de las limitaciones del equipo. Esto permite detectar y analizar los problemas potenciales con mayor precisión. El propósito de una cámara termográfica es detectar la radiación infrarroja que emite el blanco. El blanco es el objeto que va a ser inspeccionado con una cámara termográfica.

La radiación infrarroja converge, debido a la óptica de la cámara termográfica, en el detector para obtener una respuesta, que normalmente es un cambio de tensión o de resistencia eléctrica, la cual es leída por los elementos electrónicos de la cámara termográfica. La señal producida por la cámara termográfica se convierte en una imagen electrónica (termograma) en la pantalla. Un termograma es la imagen de un blanco electrónicamente procesado y mostrado en la pantalla en donde los distintos tonos de color se corresponden con la distribución de la radiación infrarroja en la superficie del blanco. Con este sencillo proceso, el termógrafo es capaz de ver el termograma que se corresponde con la energía radiada procedente de la superficie del blanco.



Figura 4 Diferencia de temperatura carcasa – rodamiento, (crédito AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS, INC. ORLAND PARK,)

TERMOGRAMA

Un termograma es la representación gráfica bidimensional de la distribución de temperaturas superficiales de un objeto o sistema, obtenida mediante la detección y procesamiento de la radiación infrarroja emitida por dicho cuerpo observe la Figura 4. Esta imagen térmica, también conocida como termografía, constituye una herramienta de diagnóstico ampliamente utilizada en estudios de mantenimiento predictivo, análisis energético e inspección industrial. La coloración

presente en el termograma no corresponde a colores reales del objeto, sino a una escala cromática artificial (false color) asignada por el sistema, en la cual cada tonalidad representa un rango específico de temperatura. Es importante señalar que la cámara termográfica no capta colores visibles, sino que detecta radiación infrarroja, la convierte en valores térmicos cuantificables y posteriormente traduce dichos valores en una representación visual que facilita la interpretación y el análisis técnico.

Por lo que a toda superficie cuya temperatura sea mayor a 0 K emite radiación infrarroja. La relación entre la energía emitida y la temperatura se describe mediante la ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma T^4 \quad (1)$$

Donde:

- E = energía radiada
- σ = constante de Stefan-Boltzmann
- T = temperatura absoluta (K)

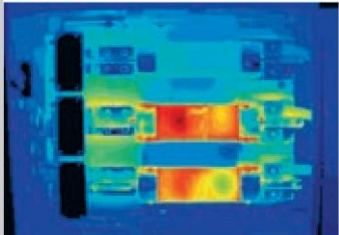
Esto significa que, a mayor temperatura, mayor radiación emitida, y la cámara detecta esa diferencia energética para transformarla en una imagen visible. Y de esta manera surge la coloración tipo paleta:

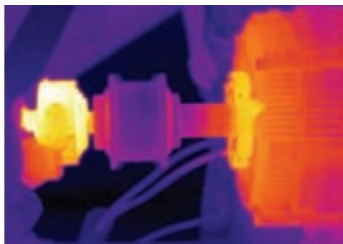
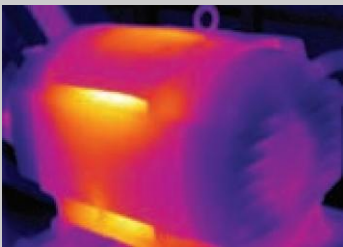
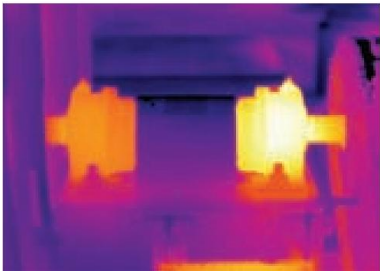
- Negro / morado → temperaturas bajas
- Rojo → temperatura media
- Amarillo / blanco → temperaturas altas

Es muy usada en mantenimiento industrial porque resalta puntos calientes.

A continuación, se mostrarán algunas mediciones y sus posibles significados:

Tabla 2 Ejemplos de termografías, (crédito Fluke Corporation y The Snell Group)

Imagen	Explicación
	El “punto caliente” en una imagen térmica no siempre indica el problema principal. Es posible que el fusible superior se haya fundido y

	que también exista un problema con el fusible central.
	Indican un problema de alineación del acoplamiento, en la imagen con luz visible no se puede apreciar ningún problema.
	La imagen térmica de un motor que funciona con normalidad en un sistema de refrigeración por aire muestra el calor que se disipa por las aberturas de ventilación.
	La tapa del rodamiento derecha de esta unidad de ventilación está significativamente más caliente que la otra, lo que indica un posible problema de lubricación, alineación o de correas.

CONSEPTOS CONDUCTORES ELECTRICOS

Un conductor eléctrico es un material que permite el paso de la corriente eléctrica a través de él, es decir, el flujo de electrones. Estos materiales se utilizan para transportar energía eléctrica de un punto a otro. En el lenguaje común, se suele denominar “cable” o “cable eléctrico” al conjunto formado por el conductor y su recubrimiento aislante. Sin embargo, técnicamente, el conductor corresponde únicamente a la parte interna que efectúa el transporte de la corriente.

La plata es el mejor conductor eléctrico conocido, aunque su elevado costo impide su uso práctico en instalaciones comunes. Por ello, se busca un equilibrio entre conductividad y costo. La mayoría de los conductores se fabrican con cobre, un metal que ofrece una excelente conductividad eléctrica a un precio razonable. También se emplea aluminio, aunque presenta una conductividad menor, es más económico y liviano.

El tipo de cobre utilizado en la fabricación de conductores eléctricos es el cobre electrolítico de alta pureza (99,99%), debido a sus excelentes propiedades de conducción.

DIFERENCIA ENTRE HILO Y CABLE

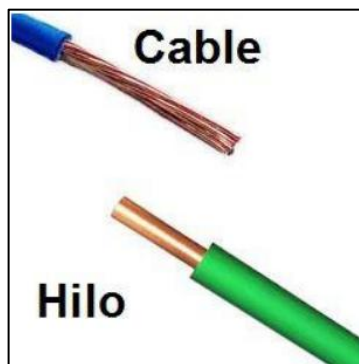


Figura 5. Diferencia entre cable e hilo (crédito Universidad Nacional del Litoral)

La diferencia entre hilo y cable es sencilla. Cuando el conductor está compuesto por un solo filamento, se denomina hilo. En cambio, cuando está formado por varios filamentos conductores, recibe el nombre de cable.

Tanto los hilos como los cables cuentan con una capa aislante o protectora que evita el contacto directo con otros conductores y garantiza la seguridad eléctrica. Los hilos poseen un alma conductora única, mientras que los cables pueden tener una o varias almas conductoras, dependiendo de su aplicación y del tipo de circuito en el que se utilicen.

PARTES DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Los conductores eléctricos de baja tensión, tanto hilos como cables, están compuestos fundamentalmente por tres partes principales:

1. Alma conductora:

Es el núcleo del conductor, generalmente fabricado en cobre, por donde circula la corriente eléctrica. Su función es permitir el flujo de electrones con la menor resistencia posible.

2. Aislante o aislamiento:

Es el material que impide el paso de la corriente eléctrica hacia el exterior y recubre el alma conductora, evitando fugas eléctricas y garantizando la seguridad del sistema.

Su función principal es separar la parte activa (el conductor por donde circula la corriente) de su entorno.

Usualmente está fabricado con materiales poliméricos (plásticos), entre los que destacan:

- Policloruro de vinilo (PVC)
- Caucho etileno-propileno (EPR)
- Polietileno reticulado (XLPE)

3. Cubierta protectora:

Su función es proteger mecánicamente al conductor frente a agentes físicos y químicos como el calor, la humedad, el frío, los golpes o las abrasiones.

Habitualmente está fabricada con nailon u otros materiales plásticos. En algunos casos, el aislante cumple también el papel de cubierta protectora, observe figura 6.

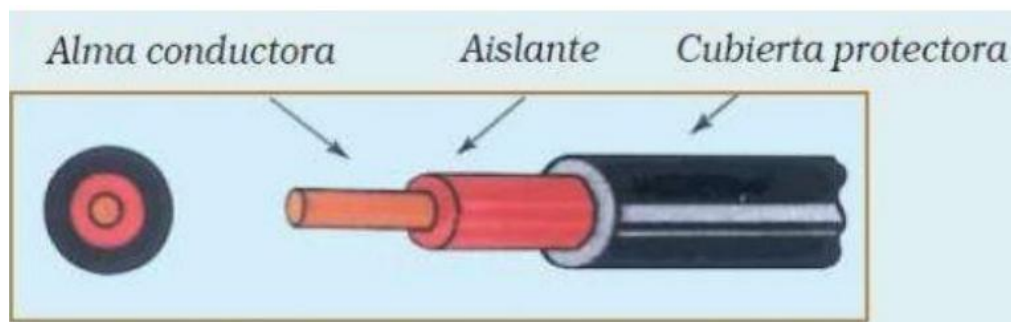


Figura 6 Partes del cable (créditos: Universidad Nacional de Litoral)

Cuando el conductor debe soportar condiciones de desgaste o esfuerzo extremo, la cubierta puede estar hecha de acero, latón u otros materiales metálicos resistentes. En tales casos, esta se denomina armadura.

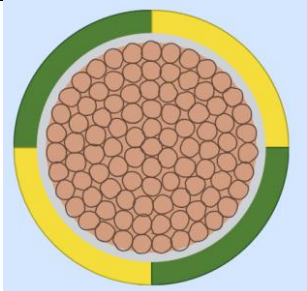
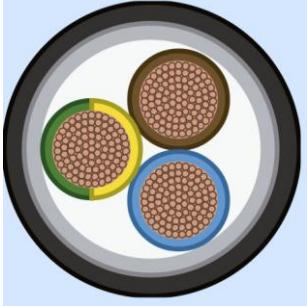
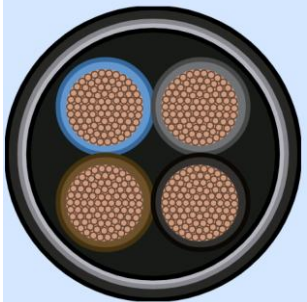
PRUEBA DE MEGGER

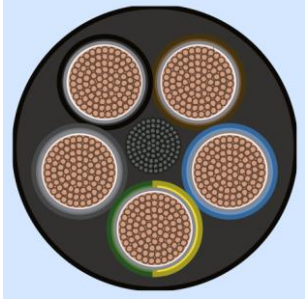
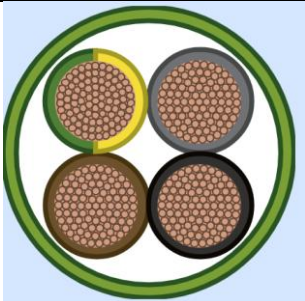
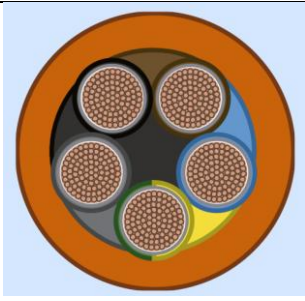
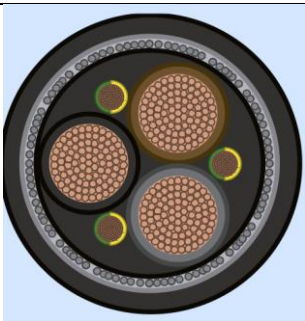
La prueba de resistencia de aislamiento, comúnmente conocida como prueba de megger, es un procedimiento de diagnóstico eléctrico utilizado para evaluar la integridad dieléctrica de los materiales aislantes en equipos e instalaciones eléctricas, tales como motores, transformadores, generadores y conductores de potencia. Este ensayo se realiza mediante un megóhmetro, instrumento que aplica un voltaje de corriente directa controlado, generalmente superior al voltaje nominal de operación del equipo bajo prueba, con el propósito de inducir una corriente de fuga a través del sistema de aislamiento y determinar su resistencia en el orden de los megaohms o gigaohms.

El principio de funcionamiento se basa en la ley de Ohm, ya que el equipo inyecta un potencial eléctrico constante y mide la corriente resultante que circula a través del aislamiento; a partir de esta relación se calcula la resistencia eléctrica, la cual es un indicador directo del estado del material aislante. Valores elevados de resistencia indican un aislamiento en condiciones adecuadas, mientras que valores reducidos pueden evidenciar la presencia de humedad, contaminación, degradación térmica, envejecimiento o defectos estructurales que incrementan el riesgo de fallas a tierra o cortocircuitos.

TIPOS DE CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN SU USO

Tabla 3 Cables de baja tensión, (crédito: Top Cable 2025)

CABLES DE BAJA TENSIÓN		
Cables flexibles para el cableado de armarios eléctricos		Estos cables eléctricos son especialmente adecuados para uso doméstico, para instalaciones en lugares públicos y para el cableado interno de armarios eléctricos, cajas de interruptores y pequeños
Cables de alimentación		Cable eléctrico para instalaciones industriales y espacios públicos. Es común encontrar cables de alimentación en aplicaciones de transmisión de energía en todo tipo de conexiones de baja tensión, para uso industrial y para variadores de frecuencia (VFD).
Cables blindados		Cables con refuerzo de aluminio o acero para instalaciones con riesgo de agresión mecánica. También es común encontrar cables blindados en lugares donde hay roedores, así como en instalaciones en locales con riesgo de incendio y explosión (ATEX).

Cables de goma		El uso de cables de goma extra flexibles es muy variado. Podemos encontrar cables de goma tanto en instalaciones industriales fijas como en servicios móviles. Los cables de soldadura deben tener una funda de goma, que permite la transmisión de altas corrientes entre el generador de soldadura y el electrodo.
Cables libres de halógenos		Los cables de alta seguridad libres de halógenos (LSZH) son un tipo de cable eléctrico con baja emisión de humo y gases corrosivos en caso de incendio, adecuados para su uso en el cableado de paneles eléctricos y lugares públicos, instalaciones de todo tipo en lugares públicos, derivaciones individuales, circuitos de emergencia, redes de distribución pública y también para servicio móvil.
Cables resistentes al fuego		Este tipo de cable eléctrico está especialmente diseñado para transmitir energía eléctrica en las condiciones extremas que se producen durante un incendio prolongado, garantizando el suministro a equipos de emergencia como señalización, extractores de humo, alarmas acústicas, bombas de agua, etc. Se recomienda su uso en circuitos de emergencia en lugares con acceso público.
Cables de control		Los cables de control para instalaciones fijas o móviles son un tipo de cable eléctrico extremadamente flexible. Entre sus usos se incluyen: • Pequeño electrodoméstico. • Para la interconexión de piezas de máquinas utilizadas en la fabricación. • Sistemas de señalización y control. • La conexión de motores o convertidores de frecuencia. • Para la transmisión de señales en las que la tensión inducida por un campo electromagnético externo pueda afectar a la señal transmitida o para conexiones de alimentación eléctrica

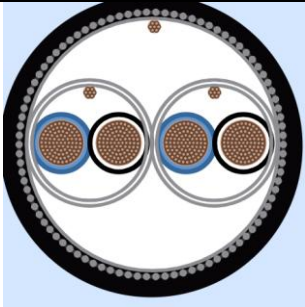
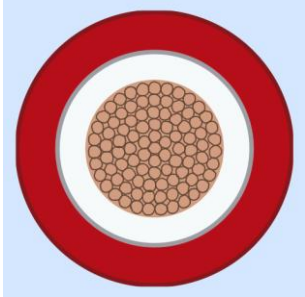
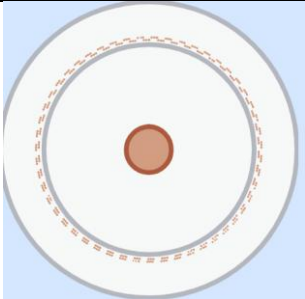
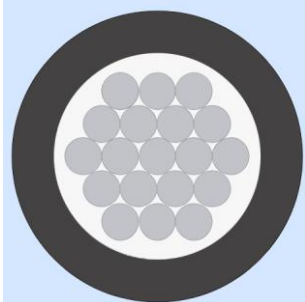
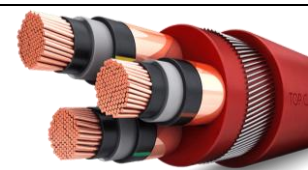
		para evitar la generación de campos electromagnéticos.
Cables de instrumentación		Este tipo de cable eléctrico es flexible y apantallado, y se utiliza para la transmisión de señales entre equipos en instalaciones industriales. Es especialmente adecuado para una transmisión de datos óptima en entornos con un alto nivel de interferencia electromagnética.
Cables solares		Los cables solares son un tipo de cable eléctrico especialmente indicado para conectar paneles fotovoltaicos y, desde estos, al inversor de corriente continua a corriente alterna. Gracias al diseño de sus materiales y a su cubierta, especialmente resistente a la radiación solar y a las temperaturas extremas, pueden instalarse en exteriores con total garantía.
Cables especiales		Existe una amplia variedad de tipos de cables eléctricos para instalaciones especiales, tales como: • Instalaciones temporales de guirnaldas de luces en ferias comerciales. • Conexiones para grúas puente. • Montacargas y elevadores. • Aplicaciones en bombas sumergidas y áreas de agua potable como acuarios. • Sistemas de purificación. • Fuentes de agua potable. • Piscinas para sistemas de iluminación, purificación y limpieza.
Cables de aluminio		Los cables de aluminio para transmisión de energía son aptos para instalación fija en interiores, exteriores y/o subterránea.

Tabla 4 Cables de media tensión, (crédito: Top Cable 2025)

CABLES DE MEDIA TENSIÓN		
RHZ1		Cable de media tensión tipo RHZ1 con aislamiento XLPE, libre de halógenos e inflamable. Son cables idóneos para el transporte y la distribución de energía en redes de media tensión.
HEPRZ1		Cable de media tensión con aislamiento HEPR, libre de halógenos y no propagador de llamas ni fuego. Ideal para el transporte y distribución de energía en redes de media tensión.
MV-90		Cable de media tensión con aislamiento XLPE, conforme a la norma americana. Para el transporte y la distribución de energía en redes de media tensión.
RHVhMVh		Cable de media tensión de cobre y aluminio para aplicaciones especiales. Especialmente recomendado para instalaciones donde existe riesgo de presencia de aceites y agentes químicos de tipo hidrocarburo o sus derivados.

NOMENCLATURA DE CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN LAS NORMAS

Cada tipo de cable eléctrico cuenta con una designación estandarizada, compuesta por una combinación de letras y números que poseen un significado técnico específico. Esta nomenclatura indica las principales características del cable, como el tipo de material conductor, el aislamiento, la tensión nominal y otras propiedades relevantes.

Dicha designación permite identificar y seleccionar correctamente el cable más adecuado para cada aplicación, evitando errores que puedan comprometer la seguridad o el funcionamiento del sistema eléctrico. Cuando un cable no presenta una identificación clara o completa, es posible que se trate de un producto defectuoso o fuera de norma, el cual no garantiza su vida útil ni su desempeño seguro conforme a los estándares establecidos.

Tabla 5 Designación según el tipo de aislamiento, (crédito a TOP CABLE)

Nomenclatura	Tipos de cables eléctricos
R	polietileno reticulado (XLPE)
Z1	poliolefina termoplástica libre de halógenos
Z	elastómero termoestable libre de halógenos
V	cloruro de polivinilo (PVC)
S	compuesto de silicona termoendurecible libre de halógenos
D	elastómero de etileno-propileno (EPR)

Tabla 6 Designación de pantalla, revestimiento interior, asiento de armadura, (crédito a TOP CABLE)

Nomenclatura	Tipos de cables eléctricos
C3	Malla de alambre de cobre, dispuesta helicoidalmente
C4	Blindaje de cobre en forma de trenza, sobre los conductores aislados ensamblados.
V	cloruro de polivinilo (PVC)
Z1	poliolefina termoplástica libre de halógenos

Tabla 7 Designación de los diferentes tipos de armadura, (crédito a TOP CABLE)

Nomenclatura	Tipos de cables eléctricos
V	Cloruro de polivinilo (PVC)
Z1	Poliolefina termoplástica libre de halógenos
Z	Elastómero termoestable libre de halógenos
N	Polímero clorado vulcanizado

Tabla 8 Nomenclatura Normalizada, (crédito, NOM-001-SEDE-2018)

Símbolo / Letra	Significado	Descripción / Aplicación principal
THW	Termoplástico, resistente al calor y al agua	Aislamiento de PVC. Uso en lugares húmedos o secos, hasta 75 °C. Común en instalaciones residenciales.
THHW	Termoplástico resistente al calor y al agua (alta temperatura)	Similar al THW, pero soporta hasta 90 °C. Uso en interiores, exteriores y canalizaciones.
THHN	Termoplástico, resistente al calor, con recubrimiento de nailon	Uso en lugares secos, con temperatura máxima de 90 °C. Alta resistencia mecánica y química.
THWN	Termoplástico resistente al calor y al agua con recubrimiento de nailon	Apto para ambientes húmedos o secos, hasta 75 °C en húmedo y 90 °C en seco. Muy usado en industria.
THWN-2	Termoplástico resistente al calor y al agua (mejorado)	Soporta 90 °C tanto en condiciones secas como húmedas. Cumple con normativas actuales.
XHHW	Polietileno reticulado (XLPE), resistente al calor y al agua	Aislamiento de XLPE, alta durabilidad y baja absorción de humedad. Hasta 90 °C. Uso industrial y subterráneo.
XHHW-2	Polietileno reticulado mejorado	Apto para 90 °C en seco y húmedo. Alta resistencia térmica y química.
TW	Termoplástico resistente al agua	Aislamiento grueso de PVC. Uso limitado a 60 °C. Aplicaciones básicas en ambientes húmedos.
UF	Underground Feeder	Cable plano para alimentación subterránea directa. Aislamiento y cubierta integrados.
NM	Non-Metallic (Romex)	Cable con cubierta no metálica para instalaciones residenciales interiores.

NMC	Non-Metallic Corrosion-resistant	Similar al NM, pero con mayor resistencia a la humedad y la corrosión.
USE	Underground Service Entrance	Cable para entrada de servicio subterráneo. Resistente al agua, no apto para interiores.
RHW	Caucho, resistente al calor y al agua	Aislamiento de caucho o EPR. Hasta 75 °C. Buena flexibilidad.
RHW-2	Caucho, resistente al calor y al agua (mejorado)	Soporta hasta 90 °C. Uso en ambientes húmedos, secos o subterráneos.
CT	Cable Tray	Indica que el conductor es apto para instalación en charolas portacables, con adecuada resistencia mecánica y térmica para aplicaciones industriales.
SR	Silicone Rubber (Caucho de silicón)	Aislamiento altamente flexible, resistente a temperaturas extremas (–60 °C a 150 °C). Uso en ambientes de alta temperatura o exposición a aceites.
Z	Retardante de flama	Indica resistencia a la propagación del fuego.
LS	Low Smoke	Baja emisión de humo en caso de incendio.
-2	Alta temperatura	Capacidad de operación a 90 °C tanto en condiciones secas como húmedas.

Nota (crédito, NOM-001-SEDE-2018)

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento predictivo consiste en monitorear y analizar parámetros físicos y condiciones de operación de los equipos para anticipar fallas o desgastes antes de que ocurran. Su objetivo principal es predecir el punto de falla de un componente para reemplazarlo justo a tiempo, reduciendo el tiempo de inactividad (downtime) y prolongando la vida útil del activo.

Este tipo de mantenimiento utiliza técnicas no destructivas y no invasivas, como la termografía, análisis de vibraciones, ultrasonido o inspecciones visuales, que permiten detectar anomalías sin detener los equipos ni realizar desmontajes. Cuando se identifican irregularidades, se programa una intervención planificada.



Figura 7 Técnicas preventivas, (crédito CMMSher, Christian Pinzón)
(crédito CMMSher, Christian Pinzón)

El mantenimiento predictivo ofrece ventajas como disminución de fallas inesperadas, optimización del inventario de repuestos y reducción del capital inmovilizado, ya que las piezas se adquieren solo cuando realmente se necesitan.

Su aplicación requiere crear un historial de datos que relacione variables medibles (por ejemplo, la vibración de un cojinete) con la vida útil del componente, permitiendo establecer tendencias y pronósticos confiables sobre el comportamiento del equipo.

TERMOGRAFÍA

Esta tecnología se ha convertido en una herramienta muy valiosa del diagnóstico para el mantenimiento predictivo. Aplicando termografía se descubren posibles fallas que suelen ser indetectables a simple vista, lo que facilita hacer los trabajos correctivos necesarios para evitar que se produzcan estas fallas que ocasionan altos costos de mantenimiento. Las cámaras termográficas véase figura 8, son instrumentos muy importantes que sirven para determinar cuándo y dónde se necesita realizar trabajos de mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al develarse estos puntos críticos calientes con una cámara termográfica, se puede llevar a cabo una acción de prevención. Es así como el objetivo es impedir

que las averías generen altos costos de reparación, y aún peor, que estos daños causen incendios donde sus consecuencias pueden ser catastróficas



Figura 8 Imagen termográfica, (crédito: airproject.cl/termografia)

Entre los usos esenciales de la termografía se puede mencionar:

- La medición de los espesores y también identificar las discontinuidades en aquellos productos aislantes, refractarios y térmicos.
- El monitoreo por inspección de ductos.
- La revisión de las soldaduras.
- Detectar puntos calientes en sistemas de activos.
- Detectar puntos calientes causados por fricción excesiva entre partes.
- Evaluar incorrecta disipación de calor en motores.
- La posición de componentes y anomalías en circuitos eléctricos.
- Para prevenir y detectar posibles incendios.
- En el monitoreo en tanques de almacenamiento.
- Para el control de calidad en todos aquellos procesos industriales.

DESARROLLO

CRONOGRAMA PRELIMINAR DE ACTIVIDADES (GRAFICA DE GANTT)

Tabla 9 Cronograma de actividades

ACTIVIDAD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
GENERAR RUTINA DE TERMOGRAFIA DE EQUIPOS MECANICOS Y ELECTRICOS	P	X	X	X												
	R															
GENERAR TENDENCIAS	P				X	X										
	R															
ANALIZAR TENDENCIAS PARA MODIFICAR FRECUENCIA Y MUESTREO	P						X	X								
	R															
DETERMINAR LIMITES DE OPERACION	P							X	X							
	R															
INCLUIR RUTINA EN PMC	P								X	X	X					
	R															
MIGRAR ULTIMOS RESULTADOS A NUBE	P											X	X	X		
	R															
	P															
	R															

DESCIPCION DETALLADA DE LAS ACTIVIDADES

- Generar rutina de termografía de equipos mecánicos y eléctricos: Se establecerá una rutina de muestreo en todos los equipos mecánicos y eléctricos, con el propósito de medir y registrar la temperatura de operación de cada uno de ellos, incluyendo los sistemas eléctricos ubicados en las diferentes áreas de trabajo.
- Generar tendencias: Con los datos obtenidos en cada medición se elaborarán tendencias del tiempo de operación de los equipos y sus arrancadores, así como de los ejes asociados, con el objetivo de predecir posibles comportamientos que indiquen el inicio de fallas.
- Analizar tendencias para modificar tendencia y muestreo: Una vez analizados los datos, se procederá a ajustar las tendencias obtenidas y a definir los intervalos de muestreo correspondientes para cada área de trabajo, considerando tanto los equipos mecánicos como los eléctricos.
- Delimitar límites de operación: Se establecerán los rangos de operación de temperatura de cada dispositivo, con el fin de garantizar una respuesta oportuna en la ejecución de las actividades de mantenimiento.

- Incluir en PMC: Los datos obtenidos se integrarán en la plataforma digital de la empresa, destinada al seguimiento y control de los dispositivos.
- Migrar últimos resultados a la nube: Finalmente, la información se cargará en una plataforma de acceso restringido, a la cual únicamente podrá ingresar el personal del área de mantenimiento mediante códigos QR y contraseñas. En dicho sistema estarán disponibles los datos de termografía, vibraciones, diagramas eléctricos y fichas técnicas de los equipos.

PROCEDIMIENTO

DECLARACIONES IMPORTANTES

Uno de los aspectos que más retrasó el desarrollo de este proyecto fue la recolección de datos, debido a que la mayoría de los dispositivos se encuentran ubicados en zonas con alta humedad y en condiciones de trabajo continuas o intermitentes, lo que dificultó su inspección. Además, el ambiente industrial y el proceso de fabricación de papel propio de la empresa generaron interferencias que afectaron la precisión y disponibilidad de la información técnica de algunos equipos, tales como motores, reductores y bombas utilizadas en las distintas etapas del proceso productivo.

No obstante, para lograr la concentración y organización de la información de los dispositivos dentro de la plataforma digital creada específicamente para el departamento de mantenimiento, fue necesario dividir el proceso en siete áreas principales, las cuales son:

- Área de Servicio
- Área Sótano
- Área Transmisión
- Área Pulpers
- Área Resinas
- Área Bobinado
- Área Húmeda

Cabe mencionar que los resultados de las termografías realizadas se encuentran registrados dentro de esta plataforma, junto con el análisis de vibraciones realizado por el ingeniero Omar

Palacios. Además, la plataforma integra fichas técnicas editables para cada equipo, con el propósito de que el personal de mantenimiento pueda actualizar la información y registrar datos faltantes durante las labores de inspección o reparación.

Además, la plataforma incluye manuales de los variadores de frecuencia (drives) empleados en la empresa, los cuales facilitan las tareas de arranque y control de los procesos. También contempla la integración de diagramas eléctricos, aunque actualmente solo se cuenta con una parte de ellos, y estos serán completados progresivamente conforme se avance en dicha actividad. Finalmente, se prevé la incorporación de planos mecánicos y dibujos de flechas, de los cuales igualmente solo se dispone parcialmente. En la figura 9 se muestra dicha plataforma creada para el mismo proyecto.



Figura 9 Inicio plataforma mantenimiento

Por lo tanto, el total de los equipos aproximados son:

Tabla 10 Concentrado de equipos

Área de servicios	48
Área de sótano	44
Área de pulpers	12
Área resinas	7
Área húmeda	39
Área transmisión	101
Área bobinado	28
	279

Al concluir el desarrollo de la plataforma, se generarán códigos QR que se colocarán en cada uno de los grupos de equipos, tales como motor–bomba, motor–reductor, motor–eje, entre otros (véase la figura 10). El propósito de estos códigos es facilitar el acceso inmediato a la información

De igual manera, esta implementación apoyará al Ing. Omar Palacios en la realización de mediciones de vibración y en el registro de los resultados obtenidos. A futuro, también permitirá consultar de forma clara y rápida los diagramas de conexión asociados a cada sistema.



IMPLEMENTACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA

40

Tabla 11 Temperatura de trabajo de motores eléctricos según la NMX-J-116/1-ANCE-2016

Clase de aislamiento	Temperatura máxima permitida del devanado (°C)	Temperatura ambiente de referencia (°C)	Elevación máxima de temperatura sobre ambiente (°C)	Temperatura a plena carga (°C)	Vida útil estimada del aislamiento*
A	105	40	60	100	20 000 horas
E	120	40	75	115	20 000 horas
B	130	40	80	120	20 000 horas
F	155	40	105	145	20 000 horas
H	180	40	125	165	20 000 horas

Tabla 12 Ficha técnica Motor de bomba cisterna #1

INFORMACION DEL DISPOSITIVO				
AREA	SERVICIOS	MARCA	SIEMENS	
EQUIPO	MOTOR BOMBA DE CISTERNA #1	TIPO	SD100	
DATOS DE PLACA				
CORRIENTE NOMINAL	68 A	CLASE DE AISLAMIENTO	F	
TENCION NOMINAL	440 V	VELOCIDAD	3585 RPM	
POTENCIA	60 HP			
DATOS FISICOS				
COMSUMO		PROTECCION		
CORRIENTE	TENCION	INTERRUPTOR DE PROTECCION	PROTECCION TERMICA	
47.7 A	440 V			
48.8 A				
42.2 A				
LUBRICACION		RODAMIENTOS		
TIPO	FRECUENCIA	TIPO DE RODAMIENTO	LADO EJE	LADO VENTILADOR
Mobilux EP2			6314 ZC3	6314 ZC3
TRANSMICION	NO.			
BANDA				
ACOPLAMIENTO	FALK 7			

De igual forma, se realizaron dos tablas distintas para el apartado de termografía. La primera y la más extensa—está destinada a los motores, incluyendo su arrancador o, en su caso, el drive, ya que no todos los equipos cuentan con un variador que pueda ser utilizado (vea la tabla13). Para determinar la temperatura nominal de trabajo de los drives se tomó como referencia la norma NMX-J-61800-5-1-ANCE-2017: Accionamientos eléctricos de velocidad variable – Parte 5-1:

Requisitos de seguridad eléctrica, térmica y energética, con el objetivo de contar con una temperatura adecuada a condiciones de plena operación (véase la tabla 14).

Tabla 13 Temperatura de trabajo de Drives según la norma NMX-J-61800-5-1-ANCE-2017

CONDICIÓN	RANGO DE TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	DESCRIPCIÓN
Temperatura nominal de operación	0 a 40 °C	Rango normal de trabajo sin reducción de potencia.
Rango extendido (con derating)	40 a 50 °C	Puede operar, pero con reducción de corriente o potencia de salida (~2–3 % por cada °C adicional).
Límite máximo absoluto	55 °C (máx.)	Solo algunos modelos industriales especiales; requiere ventilación forzada o gabinete NEMA/IP adecuado.

Tabla 14. Tabla para el registro de datos hacia motores, drives y arrancadores

MAXIMOS Y MINIMOS DEL DISPOSITIVO CON ARRANCADOR O DRIVERS													
Motor Bomba de cisterna no.1		TEMPERATURA DEL DISPOSITIVO		TEMPERATURA DEL ARRANCADOR		TEMPERATURA DEL DRIVER		TEMPERATURA NOMINAL			ANALISIS		
DIA DE OPERACION	NO.	TEMP. LADO EJE	TEMP. LADO VENTILADOR	TEMP. MAXIMA	TEMP. MINIMA	TEMP. MAXIMA	TEMP. MINIMA	TEMP. A PLENA CARAGA DE MOTOR	TEMP. NOMINAL DEL ARRANCADOR	TEMP. NOMINAL DRIVER	ESTADO LADO EJE	ESTADO LADO VENTILADOR	ARRANCADOR
	1							145	40	40	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS
	2							145	40	40	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS
	3							145	40	40	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS
	4							145	40	40	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS
	5							145	40	40	SIN DATOS	SIN DATOS	SIN DATOS

La segunda tabla se emplea para registrar la información de compresores considerando una temperatura máxima superior a la del ambiente, es decir, mayor a 40 °C, en el caso de los rodamientos de los ejes se toma una temperatura nominal de trabajo a 60°C esto gracias al diseño de los rodamientos de SKF que son los que utiliza la planta HOVOMEX, mientras que en los reductores según “Hangzhou Honix Import & Export “ su funcionamiento nominal es de 90°C, y tomando en cuenta la investigación de HAWK International que nos dice “Tras 40-60 minutos, la temperatura disminuye gradualmente hasta establecerse en valores que oscilan entre los 45 y 70 °C según el modelo de la bomba” (observe la figura 11)

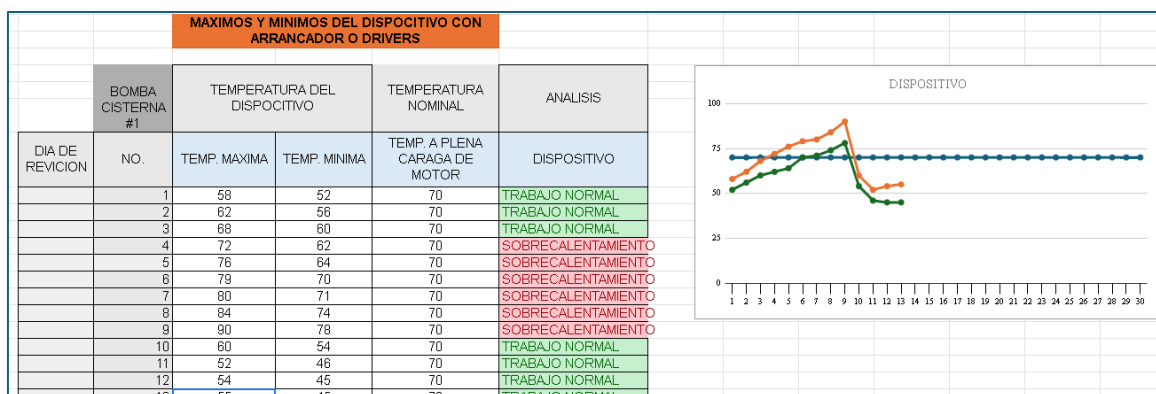


Figura 11 Termografía bomba de cisterna

Una vez realizadas las tablas en donde se llevará a cabo el registro de las mediciones de temperatura de los diferentes dispositivos, y también establecido un parámetro nominal de funcionamiento conforme a las normas mencionadas, se procede a realizar las mediciones correspondientes de los dispositivos en funcionamiento.

Esto se llevó a cabo gracias a una cámara térmica que me fue proporcionada para realizar dichas mediciones observe la figura 12. Asimismo, destaqué una serie de mediciones que deben efectuarse para poder llenar las tablas en un lapso de tres semanas para los dispositivos y llevar su control, o en algunos casos cada mes, dependiendo de la utilización y la importancia de los equipos.



Figura 12 Cámara térmica proporcionada por HOVOMEX

Como paso siguiente, realicé una serie de mediciones en los equipos que se encuentran en funcionamiento. El primero de ellos, denominado **ROTOFORMER**, integra cuatro componentes

esenciales para su operación: motor, drive de control, reductor y eje, cada uno indispensable para el proceso (véase figura 12).

El dispositivo denominado **ROTOFORMER** tiene la función de hacer girar un rodillo de gran tamaño con el propósito de formar el papel filtro del proceso. Al girar, el rodillo permite que ingrese una cierta cantidad de pasta de papel hacia otros rodillos, los cuales arrastran una tela que a su vez conduce la pulpa o merma del papel hacia la etapa de forjado y calentado, donde finalmente puede ser procesada. En sí, este dispositivo es fundamental, ya que es el primero que interviene en el proceso de forjado del papel. En este equipo fue necesario realizar las mediciones de los tres componentes mostrados en la figura 13. Es importante mencionar que la empresa cuenta con una política estricta de seguridad; por esta razón, en el caso del eje no fue posible efectuar la medición de manera exacta, ya que para ello se requiere retirar la protección de seguridad de la flecha. Dicha acción solo puede realizarse con un permiso especial y bajo supervisión, por lo que este componente no fue considerado en las mediciones



Figura 13 Componentes ROTOFORMER Motorreductor-Eje

Una vez declarado este inconveniente, realicé las mediciones tal como se muestran en la figura 14. Los resultados se registraron en la plataforma desarrollada con la intención de ahorrar tiempo, evitando tener que regresar a la oficina para anotarlos o escribirlos en una hoja que podría ensuciarse o deformarse por la manipulación. Para ello utilicé el código QR del dispositivo **ROTOFORMER**, mediante el cual ingresé los datos obtenidos con la cámara termográfica. En la figura 15 se muestra dicho código QR, así como las anotaciones de las mediciones realizadas, con el fin de dar continuidad al registro y asegurar el buen funcionamiento del dispositivo.



Figura 14 Mediciones ROTOFORMER



ROTOFORMER

ROTOFORMER

MAÑANOS Y MINUTOS DEL DISPOSITIVO CON ARRANQUE O DRIVER

DA DE OPERACION	NO.	TEMP LADO S/E	TEMP LADO MOTOR	TEMP MAXIMA	TEMP MINIMA	TEMP MAXIMA	TEMP MINIMA	TEMP MAXIMA	TEMP MINIMA	TEMP MAXIMA	TEMP MINIMA
1	36.5	37.5				36.5	35.4	165	4		
2						165		165	4		
3						165		165	4		
4						165		165	4		
5						165		165	4		
6						165		165	4		
7						165		165	4		
8						165		165	4		
9						165		165	4		
10						165		165	4		
11						165		165	4		
12						165		165	4		
13						165		165	4		
14						165		165	4		
15						165		165	4		
16						165		165	4		
17						165		165	4		
18						165		165	4		
19						165		165	4		
20						165		165	4		

TERMOTRAFIA REDUCTOR ROTOFORMER

MAÑANOS Y MINUTOS DEL DISPOSITIVO

REDUCTOR ROTOFORMER	TEMPERATURA DEL DISPOSITIVO	TEMPERATURA MAXIMA	TEMPERATURA MINIMA	ANALISIS
DA DE REDUCTOR	NO.	TEMP MAXIMA	TEMP MINIMA	DISPOSITIVO
1	63.5	65.1	60	TEMERLO NORMAL
2			60	SIN DATOS
3			60	SIN DATOS
4			60	SIN DATOS
5			60	SIN DATOS
6			60	SIN DATOS
7			60	SIN DATOS
8			60	SIN DATOS
9			60	SIN DATOS
10			60	SIN DATOS

Figura 15 Registro termografía ROTOFORME

De esta manera, es mucho más sencillo realizar la termografía y dar seguimiento al equipo; además, resulta más práctico para el equipo de mantenimiento, ya que pueden consultar la temperatura del dispositivo conforme a las fechas registradas y visualizar cualquier cambio o aumento de temperatura, en caso de que exista.

La medición no toma más de 10 minutos, incluyendo el registro, lo que reduce el tiempo muerto destinado a la documentación de los dispositivos. Asimismo, todos los recursos informáticos del equipo se encuentran disponibles de manera inmediata gracias al código QR.

Después de registrar los datos térmicos del **ROTOFORMER**, me di a la tarea de medir otro dispositivo: el **Motor Bomba de Cisterna #1**, indispensable para el flujo de agua del proceso. Este dispositivo está compuesto por el motor de la bomba y la propia bomba valga la redundancia, como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Medición de termografía motor-bomba de cisterna #1

Este dispositivo es clave para el proceso, al igual que su par, la Bomba de Cisterna #2, ya que ambas se encargan de transportar el agua a toda la fábrica, desde el área de producción hasta la zona de calderas, donde se genera el vapor para secar el papel. Por ello, su funcionamiento es fundamental: sin agua no sería posible formar el papel filtro ni producir vapor.

Por esta razón, procedí a realizar las mediciones correspondientes de este equipo con el fin de llevar un control adecuado de su operación. Un aspecto importante es que, gracias a este dispositivo, surgió la idea de implementar en la plataforma una sección para agregar comentarios relacionados con el trabajo de mantenimiento en los equipos. Esto se debió a que, mediante las mediciones de vibración realizadas por el Ing. Omar Palacios, junto con el Ing. Juan Antonio, se detectó que el motor presentaba sobrecalentamiento causado por una vibración excesiva.

Al revisar el motor y la bomba, se observó que una de las patas que sostiene el motor estaba en mal estado. Debido a ello, durante la operación el equipo vibraba más de lo permitido, generando un esfuerzo adicional en la acoplación con la bomba. En consecuencia, se decidió soldar la pata del motor para reducir el sobreesfuerzo que estaba experimentando el dispositivo.

Una vez corregida la falla, se procedió a realizar nuevamente las mediciones del dispositivo, tanto de termografía como de vibraciones, con el fin de asegurarnos de que el motor estuviera trabajando de manera adecuada. Como se observa en la figura 17, se pueden apreciar las primeras mediciones realizadas y las gráficas del comportamiento en comparación con la temperatura nominal de trabajo, donde es posible notar una disminución en el esfuerzo del dispositivo.

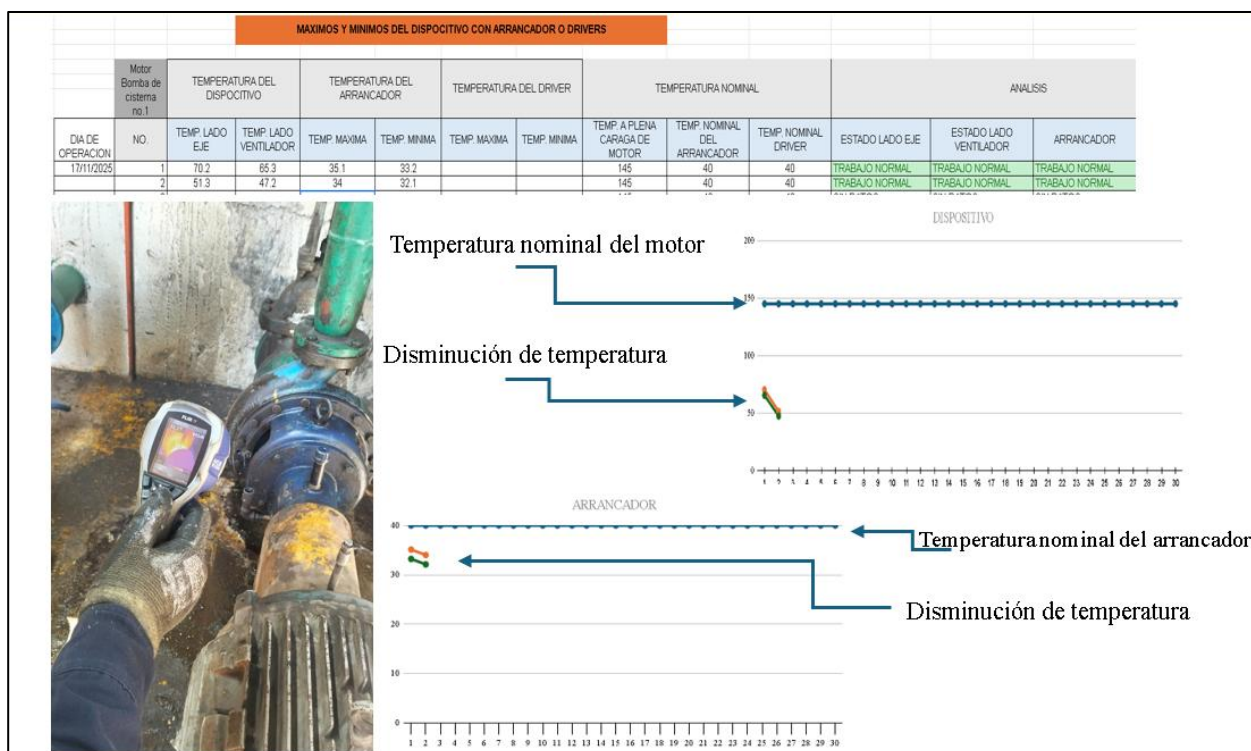


Figura 17 Registro de termografía Bomba de cisterna 1

Otro equipo que es realmente importante es el **Motor Principal**, encargado de generar el movimiento de la mayoría de los rodillos de la transmisión por donde pasa el papel filtro. Este es un motor de corriente directa, ya que debe mover las estaciones de rodillos a través de las cuales avanza el papel. El proceso por el que pasa el papel cuenta con cinco secciones fundamentales para su formación, y este motor cubre desde la primera hasta la cuarta sección. Por ello, sin este motor, las secciones 1 a 4 quedarían sin movimiento y la producción se detendría de manera inmediata.

Desafortunadamente, este motor no conserva muchos datos en su placa, debido al deterioro que ha sufrido. Sin embargo, durante el cambio de carbones fue posible rescatar algunos de ellos. Cabe mencionar que este motor es controlado mediante un variador de frecuencia para ajustar su velocidad, y en su tablero cuenta con un convertidor de corriente alterna a corriente directa para

asegurar su correcto funcionamiento. Este conjunto resulta un claro ejemplo de la importancia de realizar mediciones termográficas en tableros eléctricos para evitar sobrecalentamientos.

Como se muestra en la figura 18, se puede observar el motor y parte del tramo que controla el movimiento de los rodillos para la elaboración del papel filtro.

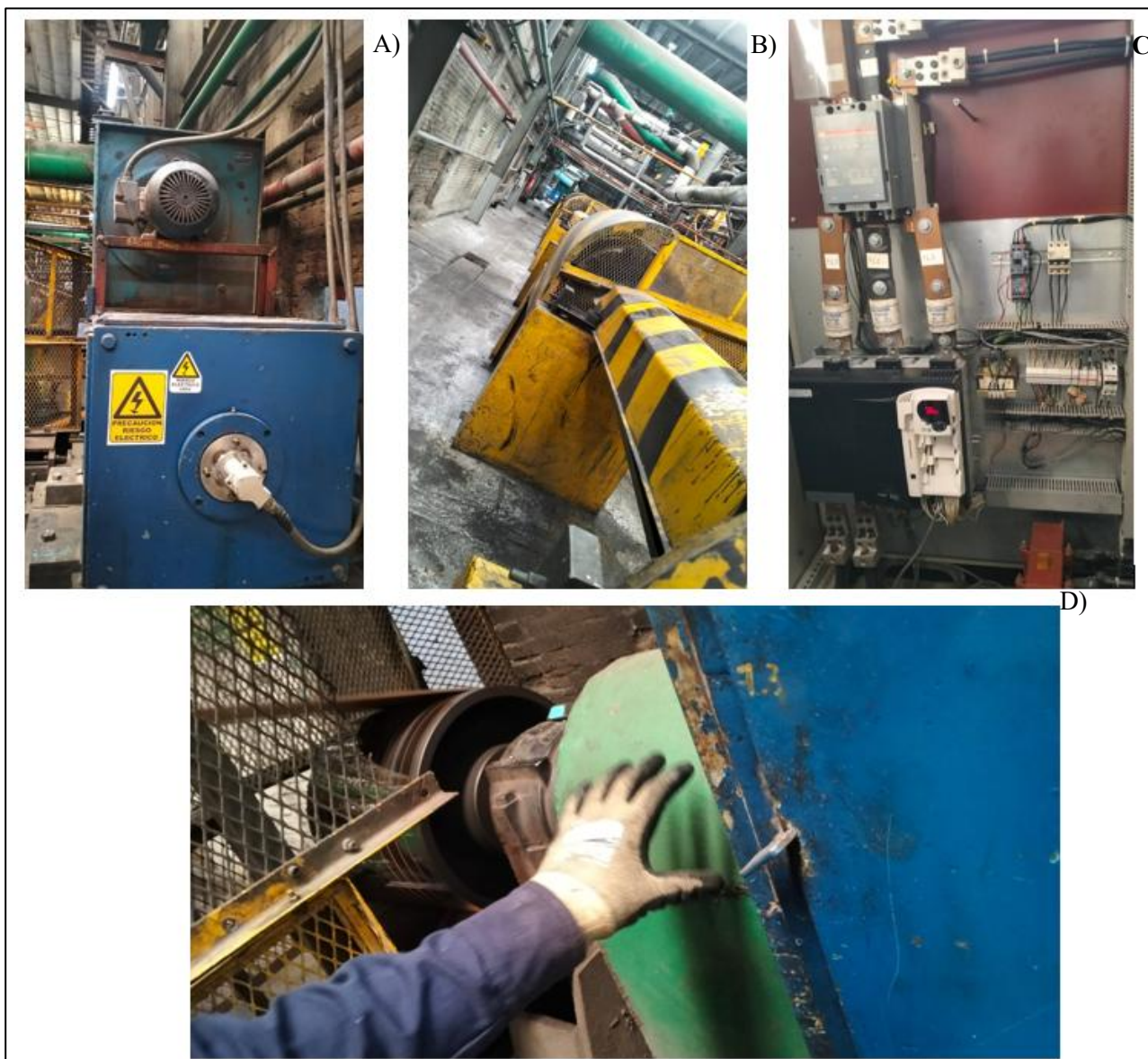


Figura 18 motor principal: A) Motor dc, B) Sección que controla, C) Tablero de control, D) Salida del movimiento del motor

Así que procedí a realizar las mediciones termográficas correspondientes del motor, con el propósito de verificar que estuviera trabajando sin presentar algún sobrecalentamiento que pudiera

afectar el proceso. Al obtener la temperatura del dispositivo, la registré en el sistema para llevar un control adecuado del motor. Asimismo, tomé el registro termográfico de su tablero de control para verificar que no existieran sobrecalentamientos en las líneas de voltaje de alimentación del motor ni en su convertidor, tal como se muestra en la figura 19.

De esta manera, inicié el registro de las primeras termografías de los dispositivos para comenzar a generar un historial. La intención es que, posteriormente, el equipo de mantenimiento continúe actualizando esta información. Al finalizar mi estancia en la empresa, explicaré el funcionamiento de la plataforma para que pueda ser utilizada por el departamento de mantenimiento, además de que les permita registrar las piezas requeridas durante el servicio del dispositivo o anotar cualquier complicación en los comentarios, de modo que pueda ser considerada por el próximo colaborador que dé mantenimiento al equipo.

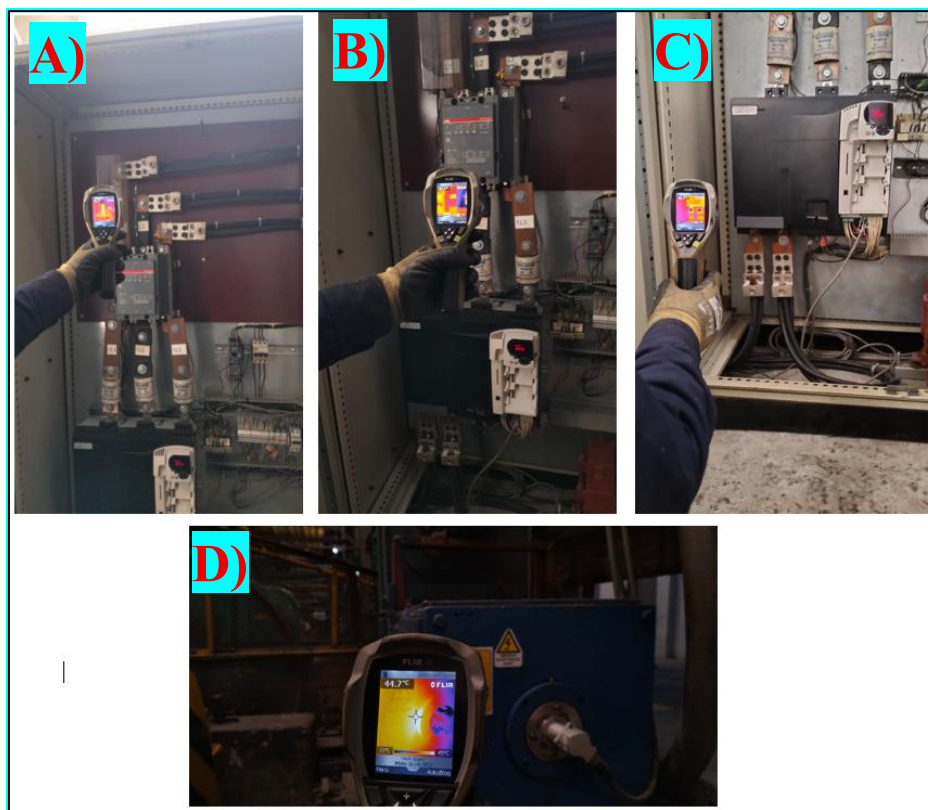


Figura 19 Medición de temperatura Motor Principal. A) Medición a las líneas de entrada, B) Medición del convertidor de corriente alterna a corriente directa, C) medición de las salidas del convertidor hacia el motor dc, D) Medición del motor dc.

ESTADO DE LOS CONDUCTORES ELECTRICOS

En la fábrica Hollingsworth & Vose Apizaco, como se ha mencionado anteriormente, se produce papel filtro; por ello, durante el proceso existe un flujo constante de agua que se utiliza para la fabricación del papel y para licuarlo y obtener la pulpa con la que se forma. Además, el proceso también involucra temperaturas elevadas durante el secado. De esta manera, los conductores eléctricos están expuestos a estas condiciones, lo que puede ocasionar fallas en el equipo o un consumo energético mayor al habitual. Esto representa una problemática si no se supervisa adecuadamente su estado.

Un ejemplo de ello ocurrió en un equipo denominado Bomba de Vacío #2, el cual, como su nombre indica, genera vacío para el proceso junto con sus bombas hermanas: Bomba de Vacío 1, 3 y 4. Esta bomba presentaba un mal arranque o, en ocasiones, simplemente no arrancaba para iniciar su operación en producción, por lo que era necesario encender otras bombas para compensar su falta. Además, el control era antiguo, ya que utilizaba un arranque mediante autotransformador, como se muestra en la figura 20.

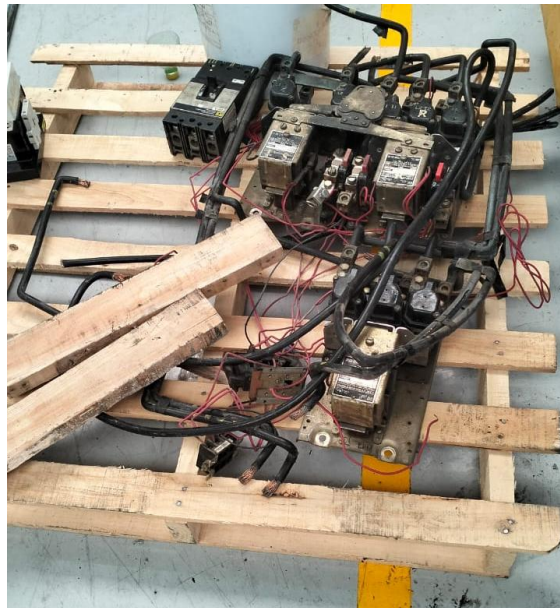


Figura 20 Control Autotransformador Bomba de vacío #2

El arranque por transformador es un sistema que consiste en arrancar motores eléctricos de gran potencia, reduciendo la corriente de arranque y protegiendo tanto el motor como la red eléctrica.

La idea principal detrás de esta técnica es reducir el voltaje aplicado al motor durante el arranque, lo que disminuye la corriente de arranque y minimiza el estrés en el sistema eléctrico.

El proceso de arranque por transformador implica el uso de un autotransformador conectado en serie con el motor. Durante el arranque, el transformador se configura para suministrar un voltaje más bajo al motor. Esto resulta en una corriente de arranque reducida, lo que a su vez disminuye las caídas de voltaje en la red eléctrica y previene posibles fluctuaciones de tensión que podrían afectar a otros equipos conectados.

Una vez que el motor ha alcanzado una velocidad y carga específicas, el transformador de arranque se desconecta automáticamente y el motor se conecta directamente a la alimentación de la red eléctrica a su voltaje nominal. Este proceso garantiza un arranque suave y gradual, evitando los picos de corriente que podrían dañar tanto el motor como los dispositivos conectados. (Audax, parrf. 21)

Pensando que este antiguo control estaba generando influencias negativas en el arranque del motor, se decidió reemplazarlo por un variador de frecuencia, con el fin de permitir también el ajuste o intervención en la velocidad del motor. Sin embargo, al realizar las pruebas correspondientes para asegurar su adecuado funcionamiento, nos percatamos de que el motor no encendía correctamente o, en ocasiones, no arrancaba. Además, se escuchaba un sonido poco agradable proveniente del motor, por lo que inicialmente se consideró que pudiera requerir servicio en los devanados del estator.

No obstante, antes de proceder con el servicio del motor, decidimos realizar un megóhmetro (megger) para asegurarnos de que, efectivamente, el problema tuviera origen en el motor. “Un megóhmetro es un dispositivo de prueba eléctrica cuyo propósito es medir la resistencia de aislamiento de diferentes dispositivos eléctricos, asegurándose de que funcionen correctamente y de manera segura.

Al medir la resistencia, el medidor de aislamiento puede identificar problemas potenciales, como cortocircuitos, descargas o fugas de corriente. Esto se debe a que un alto nivel de resistencia generalmente indica que el aislamiento es bueno, mientras que un nivel bajo podría señalar un problema. El aislamiento es crucial en los sistemas eléctricos, ya que garantiza la seguridad y el rendimiento de dichos sistemas. Entendiendo esto, los aislantes como el plástico, la goma o el

vidrio evitan que la electricidad fluya hacia áreas no deseadas, protegiendo así a las personas y los equipos de posibles daños.” (2025 Distron, parraf.8)



Figura21 Entradas Motor Bomba de vacío 2

Por ello, procedimos a medir las terminales del motor. En la figura 21 se muestran las entradas de este, y al realizar la medición observamos que los valores obtenidos eran altos en megaohms, por lo que se descartó que el motor fuera el origen del problema. Aprovechando que el equipo ya se encontraba desconectado, medimos también las líneas de alimentación obviamente desconectadas en la salida del variador de frecuencia, y nos percatamos de que presentaban un valor relativamente bajo en las tres líneas.

Ante esta situación, se decidió inspeccionar físicamente los cables. En la empresa, la distribución del cableado se encuentra montada en charolas elevadas, por lo que fue posible subir para revisar su estado. Al seguir el recorrido de las tres líneas, observamos que los conductores estaban en muy mal estado. En varias secciones se encontraron intentos previos de reparación mediante cinta aislante, cortes donde se había empalmado otro tramo de cable, y múltiples remiendos en general. Por esta razón, se tomó la decisión de reemplazar completamente el cableado. En la figura 22 se muestran los conductores y el estado en el que fueron encontrados.



Figura 22 Estado del conductor eléctrico

Para realizar el cambio de los conductores fue necesario considerar las normativas correspondientes para su correcta instalación. En este caso, me basé en la **NOM-001-SEDE-2018** para identificar el calibre adecuado del cable. Así, utilizando los datos de la placa del motor, como se muestra en la Figura 23 podemos observar los datos que saque de la placa, sin embargo, al realizar los cálculos correspondientes el consumo es distinto.

MANTENI... PAGINA PRINCIPAL ▼ AREA DE SERVICIO ▼ AREA SOTANO ▼ AREA PULPERS ▼ AREA RESINAS ▲ AREA HUMEDA ▼ MOTOR REFINADOR ▼ MOTOR Y REDUCTOR ▼ DISCOS DE REFINACION ▼ MOTOR, REDUCTOR Y EJE RECUPERADOR 2.0 ▼ SUB-AREA ▼ ROTOFORMER ▼ MOTOR Y VENTILADOR ▼ SPENCER	FICHA TECNICA MOTOR BOMBA DE VACIO #2			
	MOTOR.xlsx : Hoja1			
	INFORMACION DEL DISPOSITIVO			
	AREA	HUMEDA	MARCA	SIEMENS
	EQUIPO	MOTOR BOMBA DE VACIO #2	TIPO	
	DATOS DE PLACA			
	CORRIENTE NOMINAL	123 A	CLASE DE AISLAMIENTO	F
	TENCION NOMINAL	440 V	VELOCIDAD	1195 RPM
	POTENCIA	100 HP		

Figura 23 Datos de placa Motor bomba de vacío

Primero sacamos el consumo energético del motor tomando en cuenta su potencia y su voltaje de operación:

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

$$I = \frac{100 \text{ HP}}{440 \text{ V}} \quad (3)$$

$$I = \frac{100 (0.7457 \text{ kW})}{440 \text{ V}} \quad (4)$$

$$I = \frac{74.57 \text{ KW}}{440 \text{ V}} \quad (5)$$

$$I = 169.4772 \text{ A} \quad (6)$$

$$I_T = 169.47 * 0.25 \quad (7)$$

$$I_T = 211.83 \text{ A} \quad (8)$$

De acuerdo con la ecuación (6), se observa que el consumo de corriente presenta una diferencia significativa, siendo esta de 47.47 A. Por lo tanto, se decidió utilizar este valor calculado para realizar la selección adecuada del conductor eléctrico. El siguiente paso consiste en consultar la tabla correspondiente, ubicada en los anexos de este documento, con el fin de identificar el calibre del cable apropiado, en la Tabla 15 se muestra cómo se selecciona el valor del cable:

Tabla 15 Selección del AWG del conductor

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm²	AWG o kcmil	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, THHW, THHW-L.S, THW, THW-L.S, THWN, XHHW, USE, ZW	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW- 2, THHN, THHW, THHW-L.S, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, XHHW, THW, THWN, XHHW, USE	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN- 2, RHH, RHW- 2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2
COBRE					ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18	—	—	18	—	—	—
1.31	16	—	—	24	—	—	—
2.08	14**	25	30	35	—	—	—
3.31	12**	30	35	40	25	30	35
5.26	10**	40	50	55	35	40	45
8.37	8	60	70	80	45	55	60
13.3	6	80	95	105	60	75	85
21.2	4	105	125	140	80	100	115
26.7	3	120	145	165	95	115	130
33.6	2	140	170	190	110	135	150
42.4	1	165	200	220	130	155	175
53.5	1/0	195	230	260	150	180	205
67.4	2/0	225	265	300	175	210	235
85.0	3/0	260	310	350	200	240	270
107	4/0	300	360	405	235	280	315

Además, debemos calcular la caída de tensión del motor, la cual es:

$$e = \sqrt{3} * I_T * L * Z \quad (\text{ec. 9})$$

Donde:

$$e = \text{caída de tensión}$$

$$I_T = \text{corriente total del consumo}$$

$$L = \text{longitud en kilómetros del conductor}$$

$$Z = \text{reactancia (observa la tabla en los nexos)}$$

La longitud que se necesita desde el tablero de control al motor de Bomba de vacío es de, 50m por conductor eléctrico, por tanto:

$$L = 50m = 0.05km \quad (\text{ec.10})$$

Ahora según la tabla “Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. NOM-001-SEDE-2018” ubicada en los nexos, Z tendrá un valor de:

$$Z = 0.43 \quad (\text{ec.11})$$

∴

$$e = \sqrt{3} * I * L * Z \quad (\text{ec.12})$$

$$e = \sqrt{3} * 211.83 A * 0.05Km * 0.43 \quad (\text{ec.13})$$

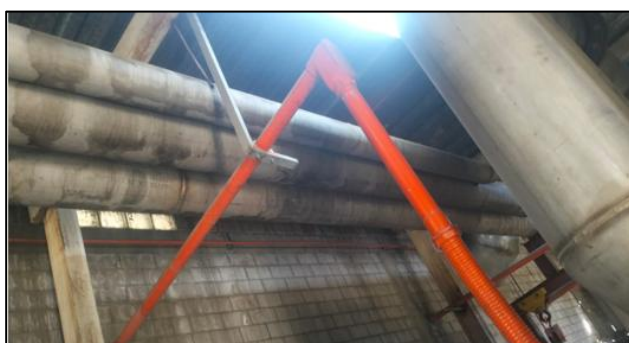
$$e = 7.888 \quad (\text{ec.14})$$

$$e\% = \frac{e}{En} * 100\% \quad (\text{ec.15})$$

$$e\% = \frac{7.88}{440} * 100\% \quad (\text{ec.16})$$

$$e\% = 1.790 \quad (\text{ec.17})$$

Para su canalización antes de llegar a la charola principal del cableado de la planta, será según la tabla “Número máximo de conductores o alambres para artefactos en tubería metálica eléctrica (EMT). NOM-001-SEDE-2018” ubicada en los nexos, será de 2 pulgadas observe la figura 24



CONDUCTORES												
Tipo	Tamaño o designación		Designación métrica (Tamaño comercial)									
	mm²	AWG o kcmil	16 (1/4)	21 (1/4)	27 (1)	35 (1 1/4)	41 (1 1/2)	53 (2)	63 (2 1/2)	78 (3)	91 (3 1/2)	103 (4)
RHH, RHW, RHW-2	2.08	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	3.31	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
	5.26	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8.37	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	13.3	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	21.2	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	26.7	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	33.6	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	42.4	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	53.5	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	67.4	2/0	0	1	1	1	2	4	6	10	13	17

Figura 24 canalización de los conductores eléctricos

A continuación, se describe el procedimiento empleado para el cálculo de la protección eléctrica, con el objetivo de realizar la correcta selección del relé de sobrecarga conforme a los parámetros de operación del sistema:

$$Proteccion = I_T * 250\% \quad (ec.18)$$

$$Proteccion = 211.83A * 250\% \quad (ec.19)$$

$$Proteccion = 529.57 \quad (ec.20)$$

Finalmente, se seleccionó el conductor eléctrico que se encuentra dentro de los rangos previamente calculados, lo que permitió definir de manera adecuada el conductor elegido, el cual se muestra en la Figura 25.



Figura 25 Conductor elegido

Como podemos observar en la figura 25 nos muestra el conductor utilizado para el motor de Bomba de vacío, el cual nos dice la siguiente descripción: Kobrex VINKOB LS 105 THHW-LS CT SR $53,6\text{mm}^2$ (1/0 AWG) 600V 90°C, y siguiendo la tabla 8 Nomenclatura según la NOM-001-SEDE-2018 decimos que:

- Kobrex VINKOB LS 105= Marca del conductor eléctrico y su clasificación por esa organización
- THHW= Termoplástico, resistente al calor, con recubrimiento de nailon
- LS= Baja emisión de humo en caso de incendio
- CT=Indica que el conductor es apto para instalación en charolas portacables, con adecuada resistencia mecánica y térmica para aplicaciones industriales.
- SR= Aislamiento altamente flexible, resistente a temperaturas extremas ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$). Uso en ambientes de alta temperatura o exposición a aceites.
- $53,6\text{mm}^2$ (1/0 AWG): Medida del conductor eléctrico.
- 600V 90°C= Consumo máximo de voltaje y temperatura sugerida de uso.

PLATAFORMA DIGITAL DEL REGISTRO Y MONITOREO DE LOS EQUIPOS ELECTRICOS

Una manera de facilitar el registro de los datos de los dispositivos para el equipo de mantenimiento es contar con la ficha técnica de cada uno de ellos, con el fin de conocer los rodamientos que utiliza, la lubricación que requiere, los empaques, sellos, tipos de engranes (en el caso de los reductores, aunque esto se implementará en un futuro no muy lejano), la protección térmica de los arrancadores y el tipo de transmisión ya sea directa de motor-bomba o por bandas, entre otros aspectos. Esto permite que, al momento de realizar el servicio correspondiente, la información esté siempre al alcance del equipo de mantenimiento y puedan identificar qué refacciones necesitan, considerando las medidas y la lubricación correcta, así como el consumo eléctrico que debería presentar el dispositivo. De esta forma se mejora el proceso de servicio de los equipos.

Este recurso es especialmente útil debido a que el almacén cuenta con un horario fijo de 7:00 a 15:00 h, lo cual dificulta a los turnos de tarde y noche la obtención de las refacciones necesarias. Además, al no conocer con precisión los materiales que utilizarán —ya sea por las medidas o por desconocer si la transmisión es por bandas o directa—, la reparación de los equipos se vuelve más tardada. Cabe mencionar que algunas fichas técnicas no están completas, ya que en ciertos dispositivos la información es irreconocible debido al desgaste y al paso del tiempo, por lo que solo fue posible rescatar algunos datos (Observe la figura 26).

INFORMACION DEL DISPOSITIVO			
AREA EQUIPO	TRANSMISION Motor grabador	MARCA TIPO	
DATOS DE PLACA			
CORRIENTE NOMINAL	48 A	CLASE DE VELOCIDAD	F
TENSION NOMINAL	340 V		
POTENCIA	50 HP		
DATOS FISICOS			
CONSUMO			
CORRIENTE		TENSION	
LUBRICACION			
TIPO		FRECUENCIA	
MOVL EP2			
TRANSMISION			
BANDA	NO		
ACOPLAMIENTO	MANA		

INFORMACION DEL DISPOSITIVO			
AREA EQUIPO	SERVICIOS BOMBA DE LAGUNAS	MARCA TIPO	DEMING
SIN DATOS DE PLACA			
POTENCIA LPS		VELOCIDAD	2825 RPM
DATOS FISICOS			
LUBRICACION			
TIPO		FRECUENCIA	
MOBL 320		MENSUAL	
TRANSMISION			
BANDA	NO		
ACOPLAMIENTO	8H		
EMPAQUE			
MEDIDA		LADO TRANSMISION	
3/8		3/8	
RODAMIENTOS			
		LADO FRENTE	
		1507 2E12	
SELLOS			
LADO COPL		LADO EJE	
2254 10		CR1592	
POLEA			
		3600005	

Figura 26 Comparación antes y después de intervención

Sin embargo, gracias al compromiso del equipo de mantenimiento con la implementación de los códigos QR, se realizará la tarea de completar esta información durante cada intervención. Al escanear el código, podrán registrar los datos faltantes para futuras revisiones, facilitando así el proceso de servicio. Es importante considerar que esta información es modificable con la intención de mejorarla con el tiempo, especialmente si algún equipo es reemplazado o se le realiza una modificación.

Sin embargo, esta información puede ser vulnerable si, por alguna razón externa, una persona modifica los datos con la intención de hacer daño o perjudicar al equipo, lo cual podría retrasar el proceso de mantenimiento o provocar errores. Por ello, se planteó la idea de que la plataforma cuente con restricciones de acceso y modificación, de manera que únicamente el gerente de mantenimiento tenga la facultad de otorgar los permisos necesarios para intervenir y registrar la información.



Figura 27 Información de los dispositivos

Siguiendo con el propósito de la plataforma, en la figura 27 se puede observar cómo se encuentran registrados los diferentes apartados: ficha técnica, termografía, vibraciones y el manual del drive del dispositivo “Motobomba Caldera #2”. Al ingresar al apartado de termografía, se muestran los registros obtenidos durante las mediciones realizadas a dicho dispositivo, lo que permite visualizar el comportamiento térmico de la motobomba de la caldera #2.

Asimismo, tal como se aprecia en la ilustración, se incluye el apartado correspondiente a las vibraciones del equipo. Estas mediciones fueron realizadas por el Ing. Omar Palacios y registradas directamente en la plataforma, evitando que tuviera que regresar a su oficina para anotar los datos. En la figura 28 se muestra el proceso de medición de vibraciones de un motor, actividad llevada a cabo por su servidor con la supervisión y apoyo del Ing. Omar Palacios.



Figura 28 Medición de vibraciones

Por consiguiente, en el apartado del manual del drive dentro de la plataforma se muestra valga la redundancia el manual del drive utilizado en ese motor. En este apartado se incluyen específicamente las fallas y soluciones que pueden presentarse, así como el enlace o referencia donde se puede consultar el manual completo en caso de ser necesario. Esto resulta útil cuando se requiere programar el drive en ese momento o cuando se necesita algún dato adicional durante la intervención del dispositivo. En la figura 29 se muestra cómo se encuentra organizada esta información.

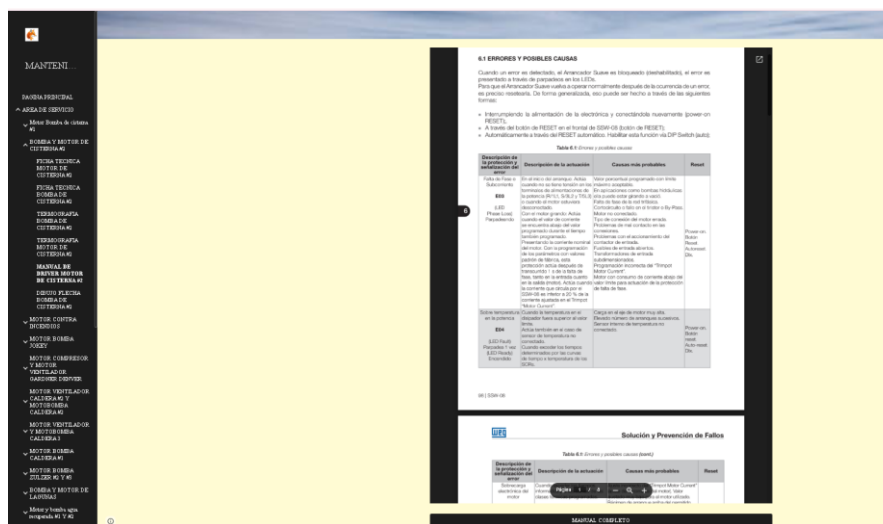


Figura 29 Apartado Manual del drive

Por último, en esta plataforma incorporé un apartado de reportes de fallas de los dispositivos, correspondiente a cada subgrupo, por así decirlo; por ejemplo: motor–bomba, motor–reductor, motor–eje, etc. Este apartado tiene como objetivo registrar las intervenciones importantes que se han realizado o los detalles en los que se han presentado problemas en el dispositivo. La finalidad es informar al próximo colega que realice el servicio sobre lo que ha ocurrido con anterioridad y que, posiblemente, esté sucediendo lo mismo en el dispositivo, generando así una prioridad por así decirlo o permitiendo tomar las precauciones necesarias.

Asimismo, se incluye un correo electrónico con acceso directo al supervisor para el reporte de problemas importantes, de modo que esté al tanto de fallas mayores o de aquellas que podrían presentarse próximamente. En la figura 30 se muestra cómo se plantea este tipo de reportes, así como un ejemplo de llenado.

FORMATO DE REPORTE DE FALLAS MANTENIMIENTO		Motor y Bomba de cisterna #2		
PERSONAL	FECHA	ESTADO DEL DISPOSITIVO	¿Que se hizo?	Dificultades
JESUS ZEMPOALTECATL GONZALEZ	10/1/2025	BUENO	CAMBIO DE ACEITE	PATA FLOJA EN UNO DE LOS LADOS - SE SOLDÓ UNA NUEVA

Figura 30 Reporte de fallas

Para finalizar este apartado, es importante mencionar que la plataforma fue desarrollada a partir de **Google Forms**, debido a que se trata de una herramienta gratuita que facilita la creación de páginas y formularios web. A diferencia de otras alternativas, esta herramienta trabaja de manera integrada con **Google Drive**, que es el medio donde se almacena y respalda la información correspondiente a los dispositivos eléctricos.

Asimismo, la plataforma permite que, al momento de registrar o modificar los datos, estos se actualicen de forma automática y se visualicen en tiempo real, lo que garantiza que la información se mantenga siempre actualizada y disponible para su consulta por parte del personal autorizado.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que la implementación de la plataforma digital permitió estructurar y centralizar la información técnica de los equipos eléctricos de la planta **HOVOMEX**, facilitando su consulta y actualización por parte del personal de mantenimiento. A pesar de las limitaciones encontradas en la recuperación de datos de placa debido a la antigüedad de algunos dispositivos y a las condiciones ambientales de operación, el sistema quedó preparado para el registro progresivo de la información faltante y para el seguimiento de las intervenciones realizadas.

El uso de la plataforma para el registro de mediciones termográficas evidenció su utilidad como herramienta de apoyo en el monitoreo del estado operativo de los equipos. La detección de incrementos anormales de temperatura permitió identificar condiciones de sobreesfuerzo

mecánico, como en el caso del **Motor Tornado** observe la figura 31, donde se documentaron tanto las mediciones obtenidas como las acciones de mantenimiento realizadas, incluyendo los componentes sustituidos y las particularidades identificadas durante la intervención

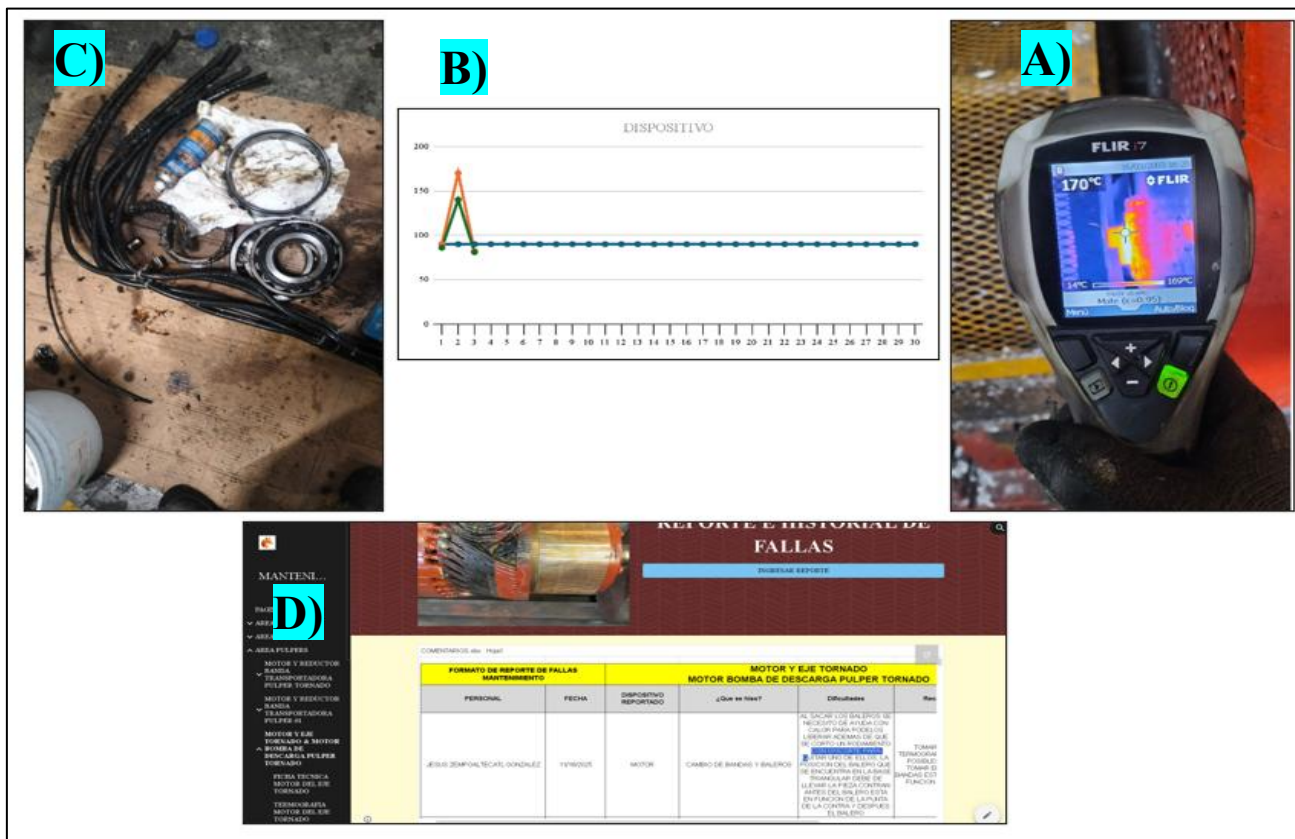


Figura 31 INTERVENCION MOTOR TORNADO A) medición alta, sobrecalentamiento de rodamientos, B) Registro en la plataforma, C) Rodamientos en mal estado D) Registro de las fallas y reporte

Asimismo, la definición de niveles de acceso y la participación del personal electromecánico en el registro de datos favorecieron la continuidad y confiabilidad de la información generada. De esta manera, los resultados reflejan que la plataforma funciona como un soporte técnico para el control del estado de los equipos, el historial de mantenimiento y la planeación de futuras acciones, sentando un precedente para la integración de pruebas adicionales y el fortalecimiento de las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo

Finalmente agrego en este apartado el enlace directo de la plataforma creada con acceso limitado para la revisión de este documento:

<https://sites.google.com/view/mantenimiento-hv/pagina-principal?authuser=0>

CONCLUSIONES

En conclusión, del presente proyecto se destaca que fue posible alcanzar el objetivo general propuesto, consistente en la creación de una plataforma digital orientada directamente al uso del departamento de mantenimiento. Si bien la información registrada actualmente corresponde a los datos disponibles hasta el momento, se espera que, a futuro, la plataforma se fortalezca y complete conforme se realicen nuevas intervenciones, se incorporen dispositivos adicionales o se efectúen reemplazos de equipos existentes.

Asimismo, se contempla la integración progresiva de los dibujos técnicos de las flechas que actualmente se encuentran en desarrollo, con la intención de que en un periodo no lejano puedan ser incorporados al sistema. De igual manera, se prevé la creación de nuevos apartados solicitados por los colaboradores del área de mantenimiento, tales como el registro de manuales de variadores de frecuencia asociados a determinados motores, así como la implementación de un módulo de control de almacén.

Por su naturaleza, este proyecto cuenta con la flexibilidad necesaria para ampliarse y evolucionar, dependiendo directamente del uso que se le otorgue y de las necesidades que surjan dentro del departamento de mantenimiento, consolidándose como una herramienta de apoyo para la gestión técnica y operativa de los equipos eléctricos de la planta.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

La principal competencia desarrollada durante mi estancia en la empresa fue el mantenimiento predictivo, enfocado en el análisis termográfico de los dispositivos eléctricos. Asimismo, adquirí experiencia en instalaciones eléctricas, específicamente en el cableado y en el cálculo de conductores eléctricos, proponiendo una serie de cálculos y tipos de cables adecuados para su posible reemplazo futuro, siempre considerando lo establecido en la NOM-001-SEDE-2018, con el objetivo de mejorar la eficiencia y seguridad de las instalaciones.

Adicionalmente, la empresa brindó la oportunidad de fortalecer otras competencias técnicas mediante la participación en cursos y actividades prácticas, tales como procedimientos LOTO, neumática e hidráulica, uso de polipastos y grúas, intervención y mantenimiento integral de motores eléctricos, pruebas de aislamiento (megger), programación de variadores de frecuencia, medición de vibraciones, uso básico de torno, control de equipos, calibración de motores, así como mantenimiento general de dispositivos eléctricos y mecánicos

REFERENCIAS

- Abdullah, M., Rahman, S., & Kumar, R. (2023). Recent industrial applications of infrared thermography: A review. *Journal of Applied Engineering Research*, 18(4), 120–136.
- American Technical Publishers, Fluke Corporation, & The Snell Group. (2009). *Infrared thermography for predictive maintenance*. <https://content.fluke.com/USB-online/eses/booklet.pdf>
- CMMSHere. (2023). *Tipos de mantenimiento industrial* [PDF]. <https://cmmshere.com/wp-content/uploads/2023/01/art-CMMSHere-tipos-mantenimiento.pdf>
- González, M., & Romero, J. (2023). Evaluación avanzada del aislamiento eléctrico en sistemas de potencia mediante técnicas térmicas y predictivas. *Revista de Ingeniería Eléctrica Aplicada*, 19(2), 45–58.
- Hawk Pumps. (s. f.). *Temperatura de operación en bombas* [PDF]. <https://www.hawkpumps.com/es/download-pdf-faq/S018-15%20TEMPERATURA%20BOMBAS.pdf>
- IEEE. (2012). *IEEE Std 400-2012: Guide for field testing and evaluation of the insulation of shielded power cable systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IEEE. (2013). *IEEE Std 43-2013: Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- International Electrotechnical Commission. (2020). *IEC 60034-1: Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*. IEC.
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO 18434-1: Condition monitoring and diagnostics of machines — Thermography — Part 1: General procedures*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 18436-7: Condition monitoring and diagnostics of machines — Requirements for qualification and assessment of personnel — Part 7: Thermography*. ISO.

- Kapter. (2019, julio 3). *¿Qué es la emisividad?*
<https://www.kapter.mx/2019/07/03/que-es-la-emisividad/>
- Kim, H., Lee, S., & Park, D. (2025). *PT-Fusion: Multi-modal attention networks for enhanced segmentation and depth estimation of subsurface defects in pulse thermography* (arXiv:2501.09994). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2501.09994>
- Kumar, N., & Rizzi, F. (2025). A review of ex-situ, in-situ and artificial intelligence-based thermographic measurements in additively manufactured parts. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 44(2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s10921-025-01195-9>
- Li, X., Wang, Y., & Zhao, Q. (2025). *Temperature calibration of surface emissivities with an improved thermal image enhancement network* (arXiv:2506.16803). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2506.16803>
- NASA. (s. f.). *Infrared waves*. https://science.nasa.gov/ems/07_infraredwaves/
- Pérez, J., & Morales, L. (2023). Implementación de mantenimiento predictivo mediante termografía infrarroja en planta de producción de desinfectantes. *Revista de Innovación y Tecnología Industrial*, 7(3), 45–56.
- SICMA21. (2023). *Termografía: Aplicaciones en el mantenimiento industrial*. <https://www.sicma21.com/termografia-aplicaciones-en-el-mantenimiento-industrial/>
- SKF. (s. f.). *Temperature limits for deep groove ball bearings*. <https://www.skf.com/mx/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/temperature-limits>
- Tanda, G., Rossi, M., & Colombo, F. (2024). Thermal material property evaluation using through-transmission thermography: A systematic review of the current state-of-the-art. *Applied Sciences*, 14(15), 6791. <https://doi.org/10.3390/app14156791>
- Tanhon. (s. f.). *What is the temperature range of a gearbox?*
<https://tanhon.com/es/what-is-the-temperature-range-of-a-gearbox/>
- Universidad Autónoma de Querétaro. (2020). *Determinación de temperatura mediante cámaras de termografía infrarroja* [Tesis]. <https://ri-ng.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/5793/RI002950.pdf>
- Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., & Bulnes, F. (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors*, 14(7), 12305–12348. <https://doi.org/10.3390/s140712305>

- Zhang, L., Chen, P., & Li, Y. (2021). Real-time monitoring of electrical insulation aging based on IoT and machine learning techniques. *Journal of Electrical Systems*, 17(4), 512–526.
- Zhou, J., Chen, T., & Han, L. (2025). *A PCA-guided autoencoder for non-linear analysis of thermographic signals in polymer composites* (arXiv:2508.07773). arXiv. <https://arxiv.org/abs/2508.0777>

ANEXOS

Tamaño o designación		Temperatura nominal del conductor [Véase la Tabla 310-104(a)]					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
mm²	AWG o kcmil			TIPOS TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW- 2, THHN, THHW, THHW-LS, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2			TIPOS TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN- 2, RHH, RHW- 2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW- 2, ZW-2
		TIPOS TW, UF			TIPOS TW, UF	TIPOS RHW, XHHW, THW, THWN, XHHW, USE	
		COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.824	18	—	—	18	—	—	—
1.31	16	—	—	24	—	—	—
2.08	14**	25	30	35	—	—	—
3.31	12**	30	35	40	25	30	35
5.26	10**	40	50	55	35	40	45
8.37	8	60	70	80	45	55	60
13.3	6	80	95	105	60	75	85
21.2	4	105	125	140	80	100	115
26.7	3	120	145	165	95	115	130
33.6	2	140	170	190	110	135	150
42.4	1	165	195	220	130	155	175
53.5	1/0	195	230	260	150	180	205
67.4	2/0	225	265	300	175	210	235
85.0	3/0	260	310	350	200	240	270
107	4/0	300	360	405	235	280	315
127	250	340	405	455	265	315	355
152	300	375	445	500	290	350	395
177	350	420	505	570	330	395	445
203	400	455	545	615	355	425	480
253	500	515	620	700	405	485	545
304	600	575	690	780	455	545	615
355	700	630	755	850	500	595	670
380	750	655	785	885	515	620	700
405	800	680	815	920	535	645	725
456	900	730	870	980	580	700	790
507	1000	780	935	1055	625	750	845
633	1250	890	1065	1200	710	855	965
760	1500	980	1175	1325	795	950	1070
887	1750	1070	1280	1445	875	1050	1185
1013	2000	1155	1385	1560	960	1150	1295

Tabla16 Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C*. la NOM-001-SEDE-2018,

Área mm ²	Tamaño (AWG o kcmil)	Ohms al neutro por kilómetro														
		X _c (Reactancia) para todos los conductores			Resistencia en corriente alterna para conductores de cobre sin recubrimiento			Resistencia en corriente alterna para conductores de aluminio			Z eficaz a $FP = 0.85$ para conductores de cobre sin recubrimiento			Z eficaz a $FP = 0.85$ para conductores de aluminio		
		Conduit de PVC o Aluminio	Conduit de acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC	Conduit de Aluminio	Conduit de Acero	Conduit de PVC
2.08	14	0.190	0.240	10.2	10.2	10.2	—	—	—	8.9	8.9	8.9	—	—	—	—
3.31	12	0.177	0.223	6.6	6.6	6.6	10.5	10.5	10.5	5.6	5.6	5.6	9.2	9.2	9.2	9.2
5.26	10	0.164	0.207	3.9	3.9	3.9	6.6	6.6	6.6	3.6	3.6	3.6	5.9	5.9	5.9	5.9
8.36	8	0.171	0.213	2.56	2.56	2.56	4.3	4.3	4.3	2.26	2.26	2.30	3.6	3.6	3.6	3.6
13.30	6	0.167	0.210	1.61	1.61	1.61	2.66	2.66	2.66	1.44	1.48	1.48	2.33	2.36	2.36	2.36
21.15	4	0.157	0.197	1.02	1.02	1.02	1.67	1.67	1.67	0.95	0.95	0.98	1.51	1.51	1.51	1.51
26.67	3	0.154	0.194	0.82	0.82	0.82	1.31	1.35	1.31	0.75	0.79	0.79	1.21	1.21	1.21	1.21
33.62	2	0.148	0.187	0.62	0.66	0.66	1.05	1.05	1.05	0.62	0.62	0.66	0.98	0.98	0.98	0.98
42.41	1	0.151	0.187	0.49	0.52	0.52	0.82	0.85	0.82	0.52	0.52	0.52	0.79	0.79	0.79	0.82
53.49	1/0	0.144	0.180	0.39	0.43	0.39	0.66	0.69	0.66	0.43	0.43	0.43	0.62	0.66	0.66	0.66
67.43	2/0	0.141	0.177	0.33	0.33	0.33	0.52	0.52	0.52	0.36	0.36	0.36	0.52	0.52	0.52	0.52
85.01	3/0	0.138	0.171	0.253	0.269	0.259	0.43	0.43	0.43	0.289	0.302	0.308	0.43	0.43	0.43	0.46
107.2	4/0	0.135	0.167	0.203	0.220	0.207	0.33	0.36	0.33	0.243	0.256	0.262	0.36	0.36	0.36	0.36
127	250	0.135	0.171	0.171	0.187	0.177	0.279	0.295	0.282	0.217	0.230	0.240	0.308	0.322	0.33	0.33
152	300	0.135	0.167	0.144	0.161	0.148	0.233	0.249	0.236	0.194	0.207	0.213	0.269	0.282	0.289	0.289
177	350	0.131	0.164	0.125	0.141	0.128	0.200	0.217	0.207	0.174	0.190	0.197	0.240	0.253	0.262	0.262
203	400	0.131	0.161	0.108	0.125	0.115	0.177	0.194	0.180	0.161	0.174	0.184	0.217	0.233	0.240	0.240
253	500	0.128	0.157	0.089	0.105	0.095	0.141	0.157	0.148	0.141	0.157	0.164	0.187	0.200	0.210	0.210
304	600	0.128	0.157	0.075	0.092	0.082	0.118	0.135	0.125	0.131	0.144	0.154	0.167	0.180	0.190	0.190

Tabla 17 Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables para 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. NOM-001-SEDE-2018

CONDUCTORES												
Tipo	Tamaño o designación		Designación métrica (Tamaño comercial)									
	mm ²	AWG o kcmil	16 (½)	21 (¾)	27 (1)	35 (1¼)	41 (1½)	53 (2)	63 (2½)	78 (3)	91 (3½)	103 (4)
RHH, RHW, RHW-2	2.08	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	3.31	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
	5.26	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8.37	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	13.3	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	21.2	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	26.7	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	33.6	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	42.4	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	53.5	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	67.4	2/0	0	1	1	1	2	4	6	10	13	17
	85.0	3/0	0	0	1	1	1	3	5	8	11	14
	107	4/0	0	0	1	1	1	3	5	7	9	12
	127	250	0	0	0	1	1	1	3	5	7	9
	152	300	0	0	0	1	1	1	3	5	6	8
	177	350	0	0	0	1	1	1	3	4	6	7
	203	400	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	253	500	0	0	0	0	1	1	2	3	4	6
	304	600	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5
	355	700	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	380	750	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	405	800	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	456	900	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3
	507	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3
	633	1250	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
	760	1500	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	887	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	1013	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Tabla 16 Número máximo de conductores o alambres para artefactos en tubería metálica eléctrica (EMT). NOM-001-SEDE-2018