



**Universidad Técnica
Latinoamericana**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS
CON CÁMARAS TERMOGRÁFICAS”**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO/A ELECTRICISTA**

PRESENTADO POR:

ALVARENGA VALENCIA, WILBER GERARDO

ESCOBAR DÍAZ, GERARDO JOSÉ

MURGAS ALVARADO, DOUGLAS ANTONIO

SANTA TECLA, JUNIO 2025



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. ROSENDO MAURICIO SERMEÑO PALACIOS
RECTOR

DR. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LAREYNAGA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. RENE EDUARDO CUELLAR FIGUEROA
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA

SANTA TECLA, JUNIO DE 2025



ASESOR

Lic. René Eduardo Cuéllar Figueroa

JURADO EVALUADOR

Lic. Oscar Alberto Vásquez Guadrón

Lic. Orquídea Lourdes Salas Linares

Lic. Luis Alberto Morales Hernández

SANTA TECLA, JUNIO DE 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL CUATROCIENTOS OCHENTA

A las ocho horas y treinta minutos, del sábado veintiocho de junio de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por DOUGLAS ANTONIO MURGAS ALVARADO en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELECTRICOS CON CAMARAS TERMOGRAFICAS."

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de SIETE PUNTO CINCO (7.5), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA.

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.

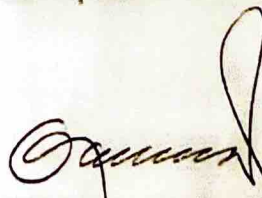


ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON

ING. ORQUIDEA LOURDES SALAS LINARES



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Nº. TRES MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y NUEVE

A las ocho horas y treinta minutos, del sábado veintiocho de junio de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por GERARDO JOSE ESCOBAR DIAZ en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELECTRICOS CON CAMARAS TERMOGRAFICAS."

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

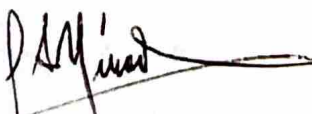
De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de ~~SIETE UNTO SIETE~~ (7.7), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA.

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON

ING. ORQUIDEA LOURDES SALAS LINARES



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. ROOSELVEY ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y OCHO

A las ocho horas y treinta minutos, del sábado veintiocho de junio de dos mil veinticinco. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por WILBER GERARDO ALVARENGA VALENCIA en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELECTRICOS CON CAMARAS TERMOGRAFICAS."

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADA, con una calificación de SIETE PUNTO CERO (7.0), el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO ELECTRICISTA.

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.



ING. OSCAR ALBERTO VASQUEZ GUADRON

ING. ORQUIDEA LOURDES SALAS LINARES



ING. LUIS ALBERTO MORALES HERNANDEZ



ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis está dedicada a los 4 pilares de mi vida:

A mi padre Hugo por ser el primer pilar en mi vida por ser la persona que soy quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, mi gran logro, has trabajado duro, y sin importar si llegases cansado de tu trabajo siempre tienes palabras de amor y cariño, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi madre Victoria mi segundo pilar siendo una mujer que simplemente me hace llenar de orgullo, te amo y no habrá manera de devolverte tanto que me has ofrecido desde que incluso no hubiera nacido. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a dudas ha sido en gran parte gracias a ti; no sé en donde me encontraría de no ser por tus ayudas, tu compañía, y tu amor.

A mi hermana Brenda mi tercer pilar por llenarme de alegría día tras día, por todos los consejos brindados, por compartir horas y horas de películas, series y muchas traspasadas, por las peleas, los gritos y herir mi cuerpo de puro amor gracias por cuidar de mí.

A todos mis amigos los que me dan alegría día a día y que se alegraron porque cumplí mi sueño, los que me apoyaron sin cuestionar nada en el desarrollo de esta tesis, los que estuvieron conmigo y que siguen dándome cariño y aprecio, pero se fueron del país para lograr superarse y cumplir sus sueños Carla y Salvador y especialmente agradecer a Douglas y Gerardo, ya que con su ayuda no fuese posible este logro por las horas de trabajo dentro de la Universidad como también fuera de ella.

A mi familia y personas en general, gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias a Adriana por llegar en el momento indicado y ayudarme lograr salir de la tristeza donde me encontraba dándome su cariño y amor. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día. -

A Ing. René Cuéllar por ser mi asesor en esta tesis por ayudar a corregir todos los errores cometidos por ser la punta de flecha en esta tesis, inmensas gracias por su experiencia y profesionalismo.

A Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino. A la Universidad Técnica Latinoamericana y a todos los docentes que son parte de mi formación académica muchas gracias.

Todos los mencionados forman mi cuarto pilar en mi vida, infinitas gracias.

Wilber Gerardo Alvarenga Valencia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida, por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida personal, académica y profesional, por permitirme disfrutar cada momento con mis seres queridos y que a pesar de todo nunca me ha dejado abandonado y, al contrario, derrama bendiciones sobre mí y mi familia todos los días, por permitirme tener una madre tan extraordinaria que con esfuerzo y sacrificio ha logrado acompañarme en la culminación de mi carrera.

A mi madre, Esperanza Yanira Díaz, por el amor, los consejos, el apoyo y la confianza que tiene en mí, por creer en mis capacidades, por todos los valores inculcados, por enseñarme el deseo de superarme pese a las adversidades de ser una madre sola, supo inculcarnos a mi hermana y a mí, buenos hábitos personales y académicos, por enseñarme que hasta en las peores situaciones hay motivos para sonreír y a nunca perder la fe. A mi hermana, Cindy Beatriz, por acompañarme y creer siempre en mí, por el cariño y las risas.

A mi tío, Luis Fernando Diaz, por todo el apoyo brindado durante toda la vida, por motivarme a superarme, por los consejos, por la confianza en mis habilidades y conocimientos y por todo el cariño.

A mi abuelita Esperanza y familia, por no dudar en ningún momento de mí, por alentarme a seguir adelante, por hacer de la familia algo especial, por demostrar que sin importar las situaciones debemos mantenernos unidos y con la fe puesta en Dios.

A mis amigos y docentes de la UTLA por todos los momentos compartidos, por el conocimiento impartido, por los consejos, por las historias, por hacer de la Universidad un lugar para sentirse bien, un hogar. Al ingeniero René Cuéllar por toda la paciencia, enseñanzas durante toda la carrera y durante la elaboración de la tesis como nuestro asesor. A Wilber y Douglas mis compañeros de tesis, por el esfuerzo y la dedicación puesta a este trabajo, por la amistad de años y por todas las historias vividas en la Universidad.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas” Josue 1:9

Gerardo José Escobar Díaz

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Aracely, la que estuvo conmigo durante todo el proceso, siendo un apoyo incondicional brindando palabras y consuelo en los momentos difíciles, siendo muy oportunas para brindar la motivación requerida en el momento necesario.

A mi tío Douglas, El cual ha sido de mis principales impulsores y uno de mis pilares de apoyo para poder culminar lo que comenzó como un sueño, sin el apoyo de él, el camino habría sido más difícil.

A mi abuelita Andrea, la cual es como una madre para mí, siendo promotora de sueños y brindando ayuda en todo momento que se la he solicitado.

A Brenda, quien durante la carrera estuvo brindando su apoyo incondicional, siendo fuente de apoyo y consuelo incondicional en momentos difíciles, dando la motivación en el momento adecuado.

A Karla Jessica, por toda la ayuda brindada, por ser parte de esto estar ahí en momentos difíciles dando de su apoyo y motivación de manera incondicional, siempre a su manera.

A mis amigos, tanto de la universidad como fuera de ella los cuales son una fuente de alegría en todo momento destacando a Gerardo y Wilber, por ser parte de eso y lograrlo.

A mi Familia, Gracias por su ayuda de una u otra manera.

A todos los que fueran mis docentes en UTLA, sin los conocimientos impartidos por ellos no habría sido posible lograrlo.

A Ing. René Cuéllar, por ser nuestro asesor y guiarnos de la manera correcta tanto durante sus clases como en el desarrollo de esta tesis. A La Universidad Técnica Latinoamericana y la Facultad de Ingeniería, por dar los conocimientos necesarios.

“El cerebro es como un músculo. Cuando está en uso, nos sentimos muy bien. La comprensión es alegre.” Carl Sagan

Douglas Antonio Murgas Alvarado

ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I - GENERALIDADES.....	1
1.1 Título descriptivo del estudio o investigación.....	1
1.2 Antecedentes y/o generalidades del problema.....	1
1.3 Descripción del Problema.....	3
1.4 Formulación del problema.....	4
1.5 Importancia de la investigación.....	4
1.6 Justificación.....	5
1.7 Alcances del proyecto.....	5
1.8 Limitantes.....	6
1.9 Delimitación del problema.....	6
1.10 Objetivos.....	7
1.10.1 Objetivo general.....	7
1.10.2 Objetivos específicos.....	7
CAPITULO II – EL MOTOR ELÉCTRICO, SU CONSTRUCCIÓN Y APLICACIONES.....	8
2.1 Historia del motor eléctrico.....	8
2.1.1 Científicos que aportaron a la creación del motor eléctrico.....	11
2.2 Introducción al motor eléctrico.....	13
2.2.1 Partes de un motor eléctrico.....	15
2.2.1.1 Estátor.....	16
2.2.1.2 Carcasa.....	17
2.2.1.3 La base.....	18
2.2.1.4 El rotor.....	18
2.2.1.5 Caja de conexiones.....	20
2.2.1.6 Rodamientos.....	20
2.2.1.7 Placa de características.....	21
2.3 Funcionamiento del motor eléctrico.....	23

2.4 Clasificación del motor eléctrico, por su importancia y tipo.....	24
2.4.1 Motor de corriente continua.....	27
2.4.2 Motor de corriente alterna.....	31
2.4.3 Motores universales	46
2.5 Mantenimiento a un motor eléctrico	48
2.5.1 Programa de mantenimiento preventivo de un motor eléctrico.....	49
2.6 Aplicaciones de los motores eléctricos.....	50
CAPITULO III – EL DESARROLLO DE LA TERMOGRAFÍA.....	52
3.1 Historia.....	52
3.2 Espectro electromagnético	54
3.2.1 Ondas de radio	57
3.2.2 Televisión y radar.	60
3.2.3 Microondas e infrarrojo	61
3.2.4 Visible y ultravioleta.....	65
3.2.5 Rayos X y Gamma.	68
3.3 Teoría de termografía y calor.....	71
3.3.1 Transmisión de calor por convección.	74
3.3.2 Transmisión de calor por conducción.....	75
3.3.3 Conductores térmicos.....	77
3.3.4 Radiación visible frente a infrarroja.	78
3.3.5 Disipación de la energía mecánica.....	79
3.3.6 Transformaciones de energía.	81
3.3.7 Efecto térmico de la corriente eléctrica.	82
3.3.8 Emisividad	83
3.3.9 Reflexión de la radiación infrarroja.	85
3.4 Cámaras termográficas.....	86
3.4.1 Funcionamiento de una cámara termográfica.	88
3.4.2 Selección de cámaras termográficas.	88
3.4.3 Ventajas del uso de cámaras termográficas.	93
3.5 Uso de termografía para mantenimiento predictivo.....	95
3.5.1 Sistemas Eléctricos.	96
3.5.2 Instalaciones mecánicas.....	99
3.5.3 Tuberías.....	102
3.5.4 Otras aplicaciones.....	103

3.6 Normativa aplicable a la termografía.....	105
3.6.1 Normativa acerca de especificaciones técnicas.	105
3.6.2 Normativa acerca de la cualificación y certificación.....	106
3.6.3 Normativa relacionada a la inspección de maquinaria.	106
3.6.4 Normativa medioambiental.....	108
CAPITULO IV - EL MANTENIMIENTO	109
4.1 Antecedentes históricos.	109
4.1.1 Desarrollo del mantenimiento.....	109
4.1.2 Del mantenimiento correctivo al mantenimiento productivo total.	110
4.2 Tipos de mantenimiento.....	111
4.2.1 Mantenimiento reparativo o correctivo.....	111
4.2.2 Mantenimiento preventivo.....	114
4.2.3 Mantenimiento predictivo.....	116
4.2.4 Mantenimiento proactivo.....	118
4.3 Mantenimiento con termografía infrarroja.	118
4.3.1 Uso de termografía para mantenimiento predictivo.	119
4.3.2 Usos de las cámaras termográficas.	120
4.3.3 Mantenimiento a sistemas eléctricos mediante el uso de termografía.....	121
4.3.4 Mantenimiento a instalaciones mecánicas mediante el uso de termografía infrarroja.	129
4.4 Crear un plan de Mantenimiento efectivo.....	132
4.4.1 Definir objetivos.	132
4.4.2 Inventario adecuado.....	133
4.4.3 Definir Prioridades.....	133
4.4.4 Verificar si se cumple el plan de mantenimiento.....	134
4.4.5 Mejora continua.	134
CAPITULO V – USO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA FLIR ONE PRO	135
5.1 Especificaciones técnicas.....	135
5.1.1 Procesamiento de imágenes VividIR.	136
5.1.2 Conector OneFit.....	136
5.1.3 Características técnicas de la cámara FLIR ONE Pro.	136
5.2 Partes de la cámara termográfica FLIR ONE PRO.	138
5.3 Puesta en marcha de la FLIR ONE Pro.	139
5.4 Manejo de la aplicación FLIR ONE, Flir Systems, INC.	142
5.4.1 Descripción general de la aplicación.	142

5.4.2 Tomar fotografías, videos y lapsos de tiempo.	148
5.5 Software para generación de informes FLIR TOOLS	149
5.5.1 Requerimientos del sistema	149
5.5.2 Instalación de FLIR Tools/Tools +	150
5.5.3 Generación de informes con FLIR Tools.....	152
CAPITULO VI – MÓDULO SIMULADOR DE FALLA.....	155
6.1 Descripción del módulo.	155
6.1.1 Panel de control.	156
6.1.2 Diagrama de control.....	157
6.1.3 Diagrama de fuerza.	158
6.1.4 Presentación de módulo didáctico.	159
6.2 Fallas	162
6.2.1 Fallas mecánicas.	163
6.2.2 Fallas eléctricas.....	165
6.3 Guías prácticas de laboratorio.....	170
CONCLUSIONES	254
RECOMENDACIONES.....	255
BIBLIOGRAFÍA	256
ANEXOS	258
ANEXO 1 - GARANTIAS.....	258
Garantía cámara termográfica FLIR ONE Pro.	258
Garantía iPad (9. ^a generación)	259
ANEXO 2 – COSTO TOTAL DEL PROYECTO	260
ANEXO 3 – GLOSARIO	261

ÍNDICE DE IMÁGENES.

Imagen 2. 1-Rueda de Barlow..	8
Imagen 2. 2- Dinamo de Werner von Siemens..	9
Imagen 2. 3- Submarino Peral.....	10
Imagen 2. 4- Motor eléctrico de Moritz von Jacobi.....	10
Imagen 2. 5- Warner von Siemens.....	11
Imagen 2. 6- Michael Faraday.	12
Imagen 2. 7- Nikola Tesla.....	12
Imagen 2. 8- Moritz Hermann von Jacobi.....	13
Imagen 2. 9- Motor eléctrico.....	13
Imagen 2. 10- Partes de un motor eléctrico.....	16
Imagen 2. 11- Tipos de estatores.	17
Imagen 2. 12- Carcasa de un motor eléctrico	17
Imagen 2. 13- Base frontal y lateral de un motor eléctrico	18
Imagen 2. 14- Rotor jaula de ardilla.....	19
Imagen 2. 15- Rotor de polos salientes	19
Imagen 2. 16- Rotor ranurado.	19
Imagen 2. 17- Caja de conexiones de un motor eléctrico	20
Imagen 2. 18- Cojinetes de desplazamiento y cojinetes de rodamiento.	21
Imagen 2. 19- Información de una placa de datos.	21
Imagen 2. 20- Rotación de un motor eléctrico.....	24
Imagen 2. 21- Clasificación y Tipos de motores Eléctricos.....	25
Imagen 2. 22- Motor universal.....	26
Imagen 2. 23- Motor de corriente continua.....	26
Imagen 2. 24- Motor de corriente alterna.	27
Imagen 2. 25- Esquema básico de un motor	28
Imagen 2. 26 -Motor de excitación en serie.....	29
Imagen 2. 27- Motor shunt.....	30
Imagen 2. 28- Motor de excitación compuesta.	30
Imagen 2. 29- Motor de excitación independiente.....	31

Imagen 2. 30– Motor CA con caja de terminales eléctricos en la parte superior y salida de eje de rotación a la izquierda.	32
Imagen 2. 31– Motor síncrono.....	32
Imagen 2. 32– Motor asíncrono monofásico	34
Imagen 2. 33– Motor asíncrono bifásico	34
Imagen 2. 34– Motor asíncrono trifásico.....	35
Imagen 2. 35– Rotor jaula de ardilla.....	35
Imagen 2. 36– Rotor de colector.....	35
Imagen 2. 37– Rotor de anillos rozantes.....	36
Imagen 2. 38– Estructura del devanado jaula de ardilla.	37
Imagen 2. 39– Rotor bobinado.	37
Imagen 2. 40– Circuito equivalente del estator y rotor.....	40
Imagen 2. 41– Circuito equivalente del motor de inducción.....	41
Imagen 2. 42– Esquema Eléctrico del Rotor devanado.	42
Imagen 2. 43–Partes del motor de rotor bobinado.....	43
Imagen 2. 44– Grafica de momentos de torsión de un motor.....	44
Imagen 2. 45– Rotor Jaula de ardilla de una bomba centrífuga de agua	45
Imagen 2. 46– Esquema del rotor de jaula de ardilla.....	45
Imagen 2. 47– Diagrama básico de un motor universal	47
Imagen 2. 48– Partes de un motor universal.....	48
Imagen 2. 49– Aplicación de motores eléctricos de una Cortadora automática.....	51
Imagen 3. 1– Experimento Isaac Newton “espectro”.....	53
Imagen 3. 2– Espectro electromagnético.....	56
Imagen 3. 3– División del espectro electromagnético.....	57
Imagen 3. 4– Ondas de radio frecuencia.....	58
Imagen 3. 5– Tipos de ondas de radio.	59
Imagen 3. 6– Experimento de William Herschel.....	64
Imagen 3. 7– Experimento de William Herschel.....	64
Imagen 3. 8– Espectro electromagnético “Radiación Infrarroja”.....	65
Imagen 3. 9- Evolución de la capa de ozono.	67
Imagen 3. 10- Descubrimiento de los rayos X en 1895.....	69

Imagen 3. 11- Paul Ulrich Villard.	70
Imagen 3. 12- Mano sobre una hoja de papel.	76
Imagen 3. 13- Impronta térmica de la mano sobre una hoja de papel.	76
Imagen 3. 14- Sartén con asa de plástico termoestable.....	77
Imagen 3. 15- Plástico opaco tapando una parte del cuerpo.	78
Imagen 3. 16- Radiación infrarroja atraviesa plástico fino.	79
Imagen 3. 17- Goma de borrar frotada en cerámica.....	80
Imagen 3. 18-. Rueda de un vehículo después de circular durante varios kilómetros.	80
Imagen 3. 19- Goma golpeada repetitivamente por martillo.	81
Imagen 3. 20- Bombillo ahorrador.....	82
Imagen 3. 21-Bombillo de filamento.	82
Imagen 3. 22- Pendrive conectado al ordenador durante varios minutos.	83
Imagen 3. 23- Reflexión en vidrio templado.	85
Imagen 3. 24- Evolución de las cámaras termográficas.	87
Imagen 3. 25- Funcionamiento de cámara termográfica.....	88
Imagen 3. 26- Termografía 640 x 480 pixeles vrs 320 x 240 pixeles.	90
Imagen 3. 27- Mayor resolución cubre áreas más grandes.	90
Imagen 3. 28- ITC.	93
Imagen 3. 29- Aplicaciones de cámaras termográficas.....	94
Imagen 3. 30- Visión amplia de una subestación.....	97
Imagen 3. 31- Inspección en alta tensión desde una distancia segura	97
Imagen 3. 32- Conexión recalentada.....	98
Imagen 3. 33- Protección sobrecalentada.....	99
Imagen 3. 34- Contactor sobrecalentado.....	99
Imagen 3. 35- Rodillo sospechoso y rodamiento sobrecalentado.	100
Imagen 3. 36- Motor eléctrico en funcionamiento.....	101
Imagen 3. 37- Motor eléctrico con problema de rodamiento.....	101
Imagen 3. 38- Motor eléctrico con problema de bobinado.	102
Imagen 3. 39- Daño de aislamiento y fuga de vapor.....	103
Imagen 3. 40 - Inspección de aislamiento.....	103
Imagen 3. 41- Llama invisible a simple vista.	104

Imagen 3. 42 – Nivel de líquido en depósitos de almacenamiento.....	104
Imagen 3. 43– Inspección de aislamiento refractario.	105
Imagen 4. 1–Termografía de un Transformador de Potencia.	123
Imagen 4. 2–Termografía de una Subestación.....	124
Imagen 4. 3– Inspección de conectores en alta tensión desde una distancia segura.....	124
Imagen 4. 4– Inspección de tablero en baja tensión desde una distancia segura, en las imágenes se muestran ejemplos de conexiones recalentadas	126
Imagen 4. 5– Inspección de tablero de distribución.	126
Imagen 4. 6– Inspección de tablero de distribución.	126
Imagen 4. 7– Puntos calientes en contactor monofásico 240 v.	127
Imagen 4. 8– Puntos calientes en Protección, El punto caliente indica una falla podría provocar un incendio.	127
Imagen 4. 9 – Imagen termográfica, y fotografía normal de tablero.	129
Imagen 4. 10– Rodillo sospechoso y banda con calentamiento.	130
Imagen 4. 11–Imagen termográfica de motor en funcionamiento.....	131
Imagen 4. 12– Uso de cámara termografía en Planta Potabilizadora las Pavas (ANDA).	133
Imagen 5. 1 – Cámara termográfica FLIR ONE Pro.....	135
Imagen 5. 2– Partes de la FLIR ONE Pro.....	138
Imagen 5. 3– Forma correcta de cargar la FLIR ONE Pro..	140
Imagen 5. 4– Icono de Aplicación FLIR ONE.	140
Imagen 5. 5– Forma correcta de conectar la FLIR ONE Pro al iPad.	141
Imagen 5. 6– Pantalla de inicio aplicación FLIR ONE.	143
Imagen 5. 7– Menú principal de la aplicación FLIR ONE.....	144
Imagen 5. 8– FLIR ONE en modo cámara..	145
Imagen 5. 9– Barra de herramientas superior aplicación FLIR ONE Pro.	146
Imagen 5. 10– Barra de herramientas inferior aplicación FLIR ONE Pro.	146
Imagen 5. 11– Controles de imagen aplicación FLIR ONE Pro.	147
Imagen 5. 12 – Ventana de inicio de sesión FLIR Tools.....	151
Imagen 5. 13– Elementos de pantalla FLIR Tools	152
Imagen 5. 14– Iconos básicos de creación de informes.....	153
Imagen 5. 15– Almacenamiento de informe.....	153

Imagen 5. 16– Informe de inspección termográfica.	154
Imagen 6. 1– Diseño de módulo.	155
Imagen 6. 2– Diseño de panel de control.	156
Imagen 6. 3.– Diagrama de control.	157
Imagen 6. 4– Diagrama de fuerza.	158
Imagen 6. 5 - Módulo simulador de fallas, vista frontal.	159
Imagen 6. 6- Módulo simulador de fallas, vista trasera.	160
Imagen 6. 7- Módulo simulador de fallas en funcionamiento.	161
Imagen 6. 8-Bobinado con daño a causa de rotor bloqueado.	163
Imagen 6. 9.– Motor recalentado.	166
Imagen 6. 10– Desequilibrios de tensión (Driesen, 2014).	167
Imagen 6. 11– Conductor mal dimensionado.	168
Imagen 6. 12– Efecto corriente en la pérdida de fase.	169
Imagen 6. 13-Tecla de encendido y apagado iPad (9. ^a generación).	173
Imagen 6. 14-Pantalla de bloqueo inicial iPad (9. ^a generación).	173
Imagen 6. 15-Pantalla de inicio iPad (9. ^a generación).	174
Imagen 6. 16- Pantalla de inicio de Aplicación:	175
Imagen 6. 17- puerto Lightning del iPad (9. ^a generación).	176
Imagen 6. 18-Tecla de encendido y apagado de cámara FLIR ONE PRO.	176
Imagen 6. 19- iPad (9. ^a generación).y cámara termográfica FLIR ONE PRO preparadas.	177
Imagen 6. 20-Pantalla de Aplicación FLIR ONE, posición del obturador.	178
Imagen 6. 21- Tecla HOME iPad (9. ^a generación).	179
Imagen 6. 22– Acceso directo a FLIR Tools.	181
Imagen 6. 23– Pantalla de inicio de sesión en iCloud.	181
Imagen 6. 24– Información almacenada en el iPad.	182
Imagen 6. 25– Imágenes almacenadas en el iPad.	182
Imagen 6. 26– Sincronización de FLIR Tools con disco duro.	183
Imagen 6. 27– Imágenes vinculadas al software.	183
Imagen 6. 28– Información de imagen seleccionada para la creación de un reporte.	184
Imagen 6. 29.– Generación de un informe con FLIR Tools.	184
Imagen 6. 30.– Partes de un reporte con FLIR Tools.	185

Imagen 6. 31– Partes de control y fuerza del módulo simulador de fallas.	188
Imagen 6. 32–Partes mecánicas del módulo simulador de fallas..	188
Imagen 6. 33-Diagrama de control.	190
Imagen 6. 34– Diagrama de fuerza.....	191
Imagen 6. 35– Advertencia de riesgo de atrapamiento.....	192
Imagen 6. 36– Advertencia de riesgo mecánico.	192
Imagen 6. 37– Advertencia de riesgo eléctrico.....	193
Imagen 6. 38– Clase de aislamiento.	194
Imagen 6. 39 - Acoplamiento correcto de accesorio de bloqueo de rotor.....	195
Imagen 6.40– Temperatura nominal del bobinado.	198
Imagen 6. 41– Temperatura nominal del bobinado simulando falla de rotor bloqueado. ..	199
Imagen 6. 42– Temperatura de conductores con el motor a plena marcha.	200
Imagen 6. 43– Temperatura de conductores simulando falla de rotor bloqueado.	201
Imagen 6. 44– Temperatura del sistema en reposo.....	206
Imagen 6. 45– Temperatura del sistema transcurridos 15 minutos.	207
Imagen 6. 46– Temperatura de las borneras ajustadas correctamente.....	212
Imagen 6. 47– Temperatura de las borneras mal ajustadas.	213
Imagen 6. 48– Temperatura de conductores con motor a plena marcha.	219
Imagen 6. 49– Temperatura de conductores simulando ausencia de fase.	220
Imagen 6. 50– Temperatura del motor a plena marcha transcurridos 10 minutos.....	221
Imagen 6. 51– Tem. de bobinados del motor a plena marcha transcurridos 10 minutos. ..	222
Imagen 6. 52– Temperatura del motor simulando falla de ausencia de fase.	223
Imagen 6. 53– Tem. del bobinado del motor simulando falla de ausencia de fase.	224
Imagen 6. 54– Temp. del bobinado y del motor simulando falla de caída de tensión.....	229
Imagen 6. 55– Temperatura de los conductores simulando falla de caída de tensión.	230
Imagen 6. 56– Temperatura del motor y bobinado simulando falla de caída de tensión durante un minuto.	231
Imagen 6. 57-Temperatura de los conductores simulando falla de caída de tensión durante un minuto.	232
Imagen 6. 58– Temp. de las bobinas y motor con un calibre de conductor diferente..	237
Imagen 6. 59– Temperatura de los conductores con calibre de alimentación diferente.	238

Imagen 6. 60– Temperatura del motor y bobinados con calibre de conductor diferente. ..	239
Imagen 6. 61– Temperatura de conductores con calibre de conductor diferente.	240
Imagen 6. 62– Temperatura de KM1	245
Imagen 6. 63– Temperatura de KM2	246
Imagen 6. 64– Temperatura de bobinas y motor en funcionamiento normal.	251
Imagen 6. 65– Temperatura conductores en funcionamiento normal.	252

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1- Fallas que se pueden simular en módulo didáctico.	6
Tabla 3. 1-Tabla de valores de emisividad.....	84
Tabla 4. 1- Evolución del mantenimiento industrial.	99
Tabla 4. 2- Ventajas y desventajas de mantenimiento preventivo.	116
Tabla 5. 1- Características técnicas de la FLIR ONE Pro.....	138
Tabla 6. 1- Aplicaciones de cámaras termográficas en módulo didáctico.	162
Tabla 6. 2- Temperatura máxima según clase de aislamiento.	164
Tabla 6. 3- Temperatura máxima de los elementos de control	170
Tabla 6. 4- Partes de control y fuerza del módulo simulador de fallas.....	189
Tabla 6. 5- Datos con el motor apagado.	197
Tabla 6. 6- Datos con el motor apagado con el rotor bloqueado.	197
Tabla 6. 7- Temperatura del motor trabajando a plena carga	198
Tabla 6. 8- Temperatura del bobinado simulando falla de rotor bloqueado	199
Tabla 6. 9- Temperatura de conductores con el motor a plena marcha.	200
Tabla 6. 10- Temp, y corriente de conductores simulando falla de rotor bloqueado.....	201
Tabla 6. 11- Datos con el motor apagado	204
Tabla 6. 12- Datos transcurridos 25 minutos después del arranque.....	205
Tabla 6. 13- Datos con el sistema en reposo.....	206
Tabla 6. 14- Datos transcurridos 15 minutos con el sistema en marcha.	207
Tabla 6. 15- Datos de temperaturas de borneras.....	211
Tabla 6. 16- Datos de temperaturas de borneras mal ajustadas.	211
Tabla 6. 17- Datos de temperaturas de borneras ajustadas correctamente.....	212
Tabla 6. 18- Datos de temperaturas de borneras mal ajustadas.	213
Tabla 6. 19- Datos con el motor en marcha.	217
Tabla 6. 20- Datos con autómata F3 desactivado.	217
Tabla 6. 21- Datos transcurridos los 30 segundos de simulación de fase perdida.	217
Tabla 6. 22- Datos de conductores con motor a plena marcha.	219
Tabla 6. 23- Datos de conductores simulando ausencia de fase.	220
Tabla 6. 24- Datos del motor a plena marcha.	221
Tabla 6. 25- Datos de los bobinados del motor a plena marcha.	222

Tabla 6. 26– Datos del motor simulando falla de ausencia de fase.	223
Tabla 6. 27– Datos del bobinado del motor simulando falla de ausencia de fase.	224
Tabla 6. 28– Datos con el motor en marcha con resistencia de potencia.	228
Tabla 6. 29– Datos transcurrido 5 minuto con la caída de voltaje.....	228
Tabla 6. 30– Bobinado y del motor generando caída de tensión en una de las fases.	229
Tabla 6. 31– Datos de los conductores generando caída de tensión en una de las fases.	230
Tabla 6. 32– Motor y bobinado generando caída de tensión durante un minuto.....	231
Tabla 6. 33– Datos de los conductores generando caída de tensión durante un minuto.	232
Tabla 6. 34– Datos con el motor en marcha.	236
Tabla 6. 35– Datos del sistema transcurridos 10 minutos con el motor en marcha.....	236
Tabla 6. 36– Datos del motor con un calibre de conductor diferente	237
Tabla 6. 37– Datos de los conductores con calibre de alimentación diferente.....	238
Tabla 6. 38– Datos de motor y bobinado con calibre de conductor diferente.	239
Tabla 6. 39– Datos de conductores con calibre de alimentación diferente.....	240
Tabla 6. 40– Limite de temperatura máxima por cada elemento.....	242
Tabla 6. 41– Datos con KM1 activado.	244
Tabla 6. 42– Datos con KM2 activado.	244
Tabla 6. 43– Datos de KM1.....	245
Tabla 6. 44– Datos de KM2.....	246
Tabla 6. 45– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.	250
Tabla 6. 46– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.	251
Tabla 6. 47– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.	252
Tabla A 1– Garantía cámara termográfica FLIR ONE Pro.....	258
Tabla A 2– Garantía iPad (9. ^a generación) 3	259
Tabla A 3– Costo total del proyecto	260

INTRODUCCIÓN

Desde el origen de la máquina, surge la necesidad de mantener los equipos funcionales y en óptimas condiciones. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso o del uso incorrecto de la maquinaria. Al principio sólo se realizaba mantenimiento cuando ya el equipo era inutilizable, a esto se le llamaba "Mantenimiento de ruptura o reactivo"

En el mundo industrial y empresarial, el tema del mantenimiento está tomando mucha relevancia ahora en día. Con esto no queremos decir que anteriormente no se le prestara la debida atención, pero lo que sí es cierto es que para la mayoría de las empresas el mantenimiento era una carga que había que sufrir, un costo que había que asumir como precio para sacar adelante una producción que era, en definitiva, de donde se obtenía el beneficio. Con la evolución de la máquina el concepto de mantenimiento ha ido cambiando, desde el mantenimiento correctivo hasta el mantenimiento preventivo y predictivo.

El mantenimiento predictivo, también es definido como mantenimiento de condición, tiene su fundamento en el seguimiento sistemático de los valores de uno o más parámetros del equipo a mantener y que nos dan una idea clara de su estado de salud, de forma que cuando uno de estos parámetros periódicamente vigilados supere niveles preestablecidos por el fabricante, sabremos que la máquina en cuestión ha desarrollado o está desarrollando un problema que deberemos atajar antes de que origine consecuencias graves para el equipo y costosas desde el punto de vista de la pérdida de producción.

Dentro de todas las tecnologías para la predicción del comportamiento de la máquina, encontramos la tecnología termográfica, el uso de cámaras infrarrojas se ha convertido en una de las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo, tiene la capacidad de detectar anomalías que suelen ser invisibles a simple vista, la termografía permite realizar correcciones antes de que se produzcan costosos fallos en el sistema.

Una de las máquinas más utilizadas por la industria a nivel mundial es el motor eléctrico, el cual es un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica por medio de acción de campos magnéticos generados en sus bobinas.

La mayoría de las máquinas eléctricas modernas funcionan con motores eléctricos y sus producciones dependen en mucha parte del correcto funcionamiento de estos, es por ello la importancia de tener en óptimas condiciones estas máquinas eléctricas.

Para hacer uso de cámaras termográficas en inspecciones predictivas, es de mucha relevancia conocer la ciencia detrás de estos dispositivos. Estos dispositivos son capaces de ver una zona específica del espectro electromagnético, la radiación infrarroja, esta se suele conocer como radiación térmica, porque transmite, precisamente, la energía térmica, todo como resultado de las vibraciones de las cargas dentro de las moléculas, que no son otra cosa esas vibraciones que la propia energía térmica de las moléculas, todos los objetos por encima del cero absoluto, no digamos ya a la temperatura de una hoguera o a la de cualquier animal de sangre caliente, emite radiación electromagnética infrarroja. El infrarrojo es un tipo de luz que no se puede ver con los ojos, estos solamente pueden ver lo que se llama luz visible. La luz infrarroja brinda una información especial que no se puede obtener de la luz visible: indica la temperatura de un objeto.

Esta tesis servirá como guía para la realización de inspecciones de mantenimiento predictivo a motores eléctricos trifásicos. Cuando se realiza este tipo de inspección es importante tomar en cuenta varios detalles. Además de conocer la física de la instalación eléctrica o mecánica que se está inspeccionando y como se construye, es importante conocer cómo funciona una cámara termográfica, saber identificar los puntos críticos que se deben monitorear en un motor eléctrico trifásico y sus elementos de control. Todo lo anterior con el fin de comprender, interpretar y evaluar las condiciones termográficas de dicha máquina con sus respectivos elementos de control y protección.

CAPITULO I - GENERALIDADES

1.1 Título descriptivo del estudio o investigación.

Mantenimiento predictivo a motores eléctricos con cámaras termográficas.

1.2 Antecedentes y/o generalidades del problema

La máquina eléctrica es un dispositivo capaz de transformar energía eléctrica en mecánica y viceversa. Se clasifican en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores.

Después del descubrimiento de la relación entre la electricidad y el magnetismo en 1821 por el químico danés Hans Christian Ørsted, los físicos británicos Michael Faraday y Peter Barlow crearon dispositivos que demostraban la transformación de la corriente eléctrica en movimiento, uno de estos fue la "rueda de Barlow" que solo era capaz de convertir la electricidad en un movimiento poco potente, no producía una fuerza mecánica real.

En 1871, el físico belga Zénobe Gram presenta en la Academia de Ciencias de París el primer generador industrial de corriente continua.

En 1887, el físico serbio, Nikola Tesla presentó la primera patente del primer motor eléctrico actual de corriente alterna.¹

Existen varios tipos de motores eléctricos y continuarán proliferando según el avance de la tecnología. Entre los tipos de motores más conocidos encontramos: motores de corriente alterna, motores de corriente directa y motores universales.

El motor de corriente alterna podemos clasificarlo de varias maneras, ya sea por su velocidad de giro: síncrono y asíncrono; por el tipo de rotor: de anillos rozantes, con colector y jaula de ardilla; por el número de fases de alimentación: monofásico, bifásico, trifásico y con arranque auxiliar.

Los motores eléctricos están contruidos en gran parte por piezas metálicas o de diferentes aleaciones y en continuo movimiento es por ello que tienden a calentarse y a desgastarse por

¹ https://es.wikidia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico; obtenido en fecha 6 de marzo de 2018

el uso, al ocurrir esto la máquina no trabaja con la eficiencia necesaria o en la mayoría de ocasiones tiende a fallar y es necesario aplicar maniobras correctivas a la máquina.

Con la invención de las primeras máquinas eléctricas la mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso o del uso incorrecto de la maquinaria. Al principio solo se realizaba mantenimiento cuando ya el equipo era inutilizable, a esto se le llamaba “Mantenimiento de ruptura o reactivo”.

El concepto de mantenimiento ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción, hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de predecir, prevenir, corregir y revisar los equipos.

En la historia podemos distinguir cuatro generaciones en la evolución del concepto de mantenimiento. La primera generación, la más larga, va desde la revolución industrial hasta la segunda guerra mundial, aunque todavía impera en muchas industrias, en las que el mantenimiento se ocupa solo de arreglar las averías. La segunda generación entre la segunda guerra mundial y finales de los años 70 se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo. Se inicia con la sustitución preventiva de piezas. La tercera generación surge a principios de los años 80, se empiezan a realizar estudios de causa – efecto para determinar el origen de los problemas, es el mantenimiento predictivo, se comienza a hacer partícipe a producción en las tareas de detección de fallos. La cuarta generación aparece al inicio de los 90, se concibe al mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos; se identifica al mantenimiento como fuente de beneficios. Es cuando el mantenimiento predictivo se empieza a utilizar más por las empresas norteamericanas, ya que se evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no en función de su estado, lo cual le produce grandes ahorros.

Actualmente la filosofía predictiva se aplica en la maquinaria crítica en aquellas plantas que cuentan con una gestión optimizada de sus activos.

Hoy en día existen diferentes técnicas de predicción para una planta industrial y específicamente para motores eléctricos, una de las menos invasivas y rápidas es la termografía.

La historia de la cámara termográfica ha tenido un amplio desarrollo. Antes los dispositivos eran mucho más grandes y poco prácticos, fueron diseñadas principalmente para uso militar, para hacer visible al enemigo en operaciones nocturnas. Dichos dispositivos en la actualidad son más pequeños y prácticos. Hoy en día, una cámara termográfica está destinada incluso para la industria, el campo de la medicina o institutos de investigación. En muchos sectores realizan un trabajo de vital importancia para garantizar la seguridad de instalaciones y personas. Un dispositivo de medición no solamente se utiliza para la inspección de edificios, sino que se utiliza especialmente para reparación y mantenimiento de máquinas e instalaciones.

1.3 Descripción del Problema.

El uso continuo y necesario de los motores eléctricos en la industria ocasiona problemas eléctricos y mecánicos en la máquina, por ello es necesario tener un buen plan de mantenimiento en el que se involucren técnicas predictivas, que identifiquen rápidamente los problemas y se puedan planificar las intervenciones necesarias en los momentos en que menos se interfiere con el programa de producción.

El mantenimiento predictivo es una serie de procesos que se realizan y acciones que se aplican con el único objetivo de detectar posibles fallas y defectos de maquinaria para evitar que estos se manifiesten en un fallo más grande durante su funcionamiento, evitando paros de emergencia y tiempos muertos, causando un impacto financiero negativo. El mantenimiento predictivo es de carácter sistemático, es decir, que se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener problemas.

La termografía es una técnica no invasiva que permite determinar temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto de estudio.

La termografía capta la radiación infrarroja del espectro electromagnético que es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a 0 Kelvin ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$), utilizando cámaras térmicas o de termovisión.

Las imágenes termográficas tienen aplicaciones en numerosos campos: Inspección de eficiencia energética, pérdidas de energía, fallos de aislamiento, mantenimiento predictivo y preventivo, inspecciones mecánicas, etc.

La tecnología termográfica se ha convertido en una de las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo. Detecta anomalías que suelen ser invisibles a simple vista, permite realizar correcciones antes de que se produzcan costosos fallos en un sistema.

Las cámaras termográficas son una herramienta única, que sirve para determinar cuando y donde se necesita un mantenimiento, ya que el incremento en la temperatura es uno de los factores que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen presentar cuando se dan fallas.

1.4 Formulación del problema.

Dada la situación actual de la universidad, la necesidad de la innovación tecnológica y el uso de equipos prácticos (tablets o celulares) en las rutinas de mantenimientos predictivo, es necesaria la implementación de técnicas de inspección con tecnología de punta. Una de las técnicas más utilizadas en el mundo de la predicción es la termográfica por medio de las cámaras termográficas.

Las cámaras termográficas son cada vez más conocidas, hay variedad de modelos para elegir y se presentan con un sin fin de prestaciones, es por eso que se considera conveniente y necesario realizar la presente tesis en aplicaciones que tiene esta potente herramienta en el mantenimiento predictivo a motores eléctricos; el uso de cámaras termográficas se está volviendo una herramienta muy usada en la industria de El Salvador y del mundo.

1.5 Importancia de la investigación.

La tecnología avanza a pasos agigantados y cada día surgen nuevas herramientas de predicción para realizar mantenimientos predictivos. La universidad no cuenta con un equipo de este tipo y ya que es una institución bien establecida y en continuo crecimiento es muy importante la adquisición de tecnología de punta.

El uso de cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo son potentes herramientas no invasivas para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes e instalaciones eléctricas y mecánicas. Con una cámara termográfica, puede identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y resulten más costosos de reparar.

1.6 Justificación.

Hoy en día los problemas más comunes en las empresas son los paros de máquinas, los paros pueden ser de cualquier tipo ya sea eléctrico o mecánico, la mayoría de los casos en los motores eléctricos. Debido a esto las empresas realizan acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad. Dentro de estas acciones podemos mencionar la utilización de diferentes técnicas de predicción en sus planes de mantenimiento predictivo, entre la que podemos encontrar el uso de cámaras termográficas para la inspección de motores eléctricos trifásicos. Es importante para los estudiantes conocer esta técnica y tener una herramienta práctica con la que puedan expandir sus conocimientos y afrontar de diferente manera los problemas que les surjan en el mundo laboral.

A pesar de ser una herramienta costosa económicamente, la tecnología de la termografía permite a las empresas inspeccionar en tiempo real las condiciones eléctricas y mecánicas de un motor eléctrico y realizar las respectivas reparaciones para evitar paros innecesarios de sus líneas de producción, paros que conllevan a pérdidas económicas. Es por todo lo anterior que el uso de cámaras termográficas se ha convertido en una necesidad de la industria.

1.7 Alcances del proyecto.

Construcción de un módulo simulador de fallas para realizar pruebas de termografía a un motor eléctrico para realizar los análisis termográficos, se adquirió una cámara termográfica FLIR ONE PRO para iOS y un iPad (9.ª generación), la FLIR ONE PRO cuenta con las certificaciones MFi (versión iOS), RoHS, CE/FCC, CEC-BC, EN61233. El FLIR ONE PRO da la capacidad de encontrar los problemas invisibles con más rapidez que nunca.

Al combinar un sensor térmico Lepton de la más alta resolución capaz de medir temperaturas de hasta 400 °C (752 °F) con potentes herramientas de medición y la capacidad de generación de informes.

La FLIR ONE PRO permite medir varias temperaturas o regiones de interés de una sola vez y transmitir a un dispositivo compatible de Apple para ver; ya sea que esté inspeccionando

paneles eléctricos, buscando problemas en rodamientos o tratando de encontrar daños causados por malos dimensionamientos de conductores y protecciones eléctricas.

Todo lo anterior con el fin de proporcionar una herramienta y una guía al laboratorio de la universidad, que sirva a todos los estudiantes como material de consulta y que apoye la parte práctica al mismo tiempo, teniendo la capacidad de simular fallas que van desde un conductor mal calculado, hasta el estado de un rodamiento.

MODULO DIDACTICO PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES CON TERMOGRAFIA	
TIPO DE FALLA	FALLAS
FALLA MECANICAS	ROTOR BLOQUEADO
	RODILLOS SOSPECHOSOS
	RODAMIENTOS EN MAL ESTADO
FALLAS ELECTRICAS	CONEXIÓN MAL ASEGURADA
	MOTOR RECALENTADO
	MALA CONEXIÓN Y DAÑOS INTERNOS
	AUSENCIA DE UNA FASE
	DISPOSITIVOS DE CONTROL DETERIORADOS
	DESBALANCE DE VOLTAJE
	DESBALANCE DE BOBINADOS
	MAL DIMENCIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Tabla 1. 1- Fallas que se pueden simular en módulo didáctico.

1.8 Limitantes.

1. En el módulo simulador de fallas solo se podrán evaluar las fallas detalladas en los alcances del proyecto.
2. La limitación de las características técnicas de la cámara termográfica FLIR ONE PRO entre las que se puede mencionar: sensor térmico de la más alta resolución capaz de medir temperaturas de -20 °C (-4 °F) hasta 400 °C (752 °F), precisión ± 3 °C (5.4 °F) o $\pm 5\%$, duración de la batería (1h) y tiempo de carga de batería (40min).

1.9 Delimitación del problema.

La investigación se llevó a cabo en la universidad técnica latinoamericana UTLA, los componentes del módulo simulador de fallas fueron adquiridos localmente, al igual que el iPad (9.ª generación); la cámara termográfica FLIR ONE PRO fue comprada en el extranjero e importada posteriormente al país.

No es necesaria la compra de licencias para el uso de la cámara termográfica, el software de interacción con el dispositivo es una aplicación IOS gratuita que es descargada al iPad desde la Apple store.

La investigación es de tipo *aplicativa y bibliográfica* ya que se centra en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto y proporcionar el conocimiento de las investigaciones ya existentes, a través de la búsqueda de información y conocimiento; todo con el único fin de desarrollar una herramienta práctica donde se pueda demostrar lo anterior.

1.10 Objetivos

1.10.1 Objetivo general.

Construir un módulo de pruebas que permita poner en práctica las diferentes aplicaciones de la cámara termográfica en los mantenimientos predictivos para la inspección de motores eléctricos y sus componentes de control, basados en normas y requerimientos internacionales aplicables a la tecnología.

1.10.2 Objetivos específicos.

1. Definir los conceptos de mantenimiento predictivo, termografía y del software de análisis de la cámara termográfica FLIR ONE PRO.
2. Establecer la normativa que rige la construcción y utilización de la tecnología infrarroja.
3. Realizar guías de práctica para realizar inspecciones termográficas mediante el uso del módulo de pruebas.

CAPITULO II – EL MOTOR ELÉCTRICO, SU CONSTRUCCIÓN Y APLICACIONES.

2.1 Historia del motor eléctrico.

Después del descubrimiento de la relación entre la electricidad y el magnetismo en 1821 por el químico danés Hans Christian Ørsted, los físicos británicos Michael Faraday y Peter Barlow crearon dispositivos años después que demostraban la transformación de la corriente eléctrica en movimiento, pero la "rueda de Barlow" era solo capaz de convertir la electricidad en un movimiento poco potente, no producía una fuerza mecánica real.

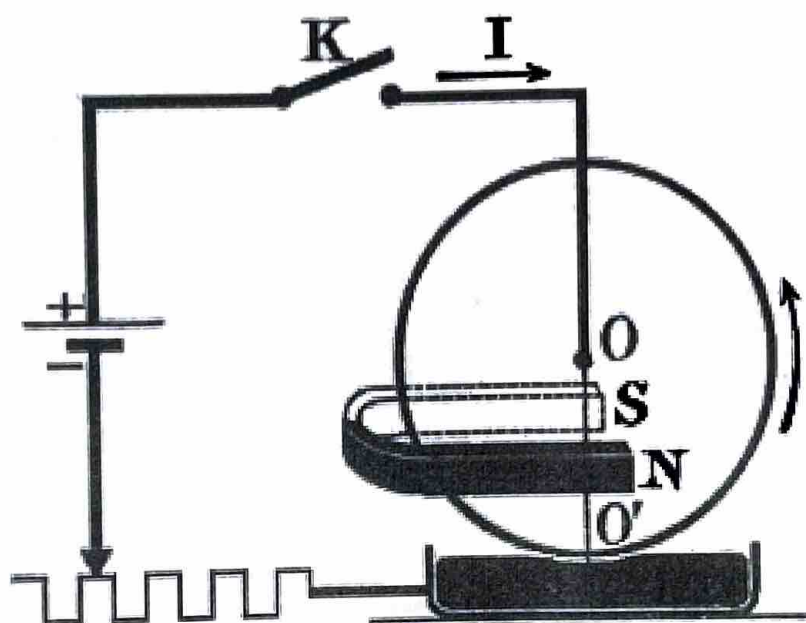


Imagen 2. 1-Rueda de Barlow. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

La rueda de Barlow es un disco de cobre que está situada entre los polos de un imán y cuyo borde está en contacto con un pequeño depósito de mercurio. Se conecta una batería entre el eje de la rueda y el depósito de mercurio y se observa que la rueda empieza a girar alcanzando una velocidad angular límite constante.

En 1871, el físico belga Zénobe Gram presenta en la Academia de Ciencias de París el primer generador industrial de corriente continua.

En 1887, el físico serbio, Nikola Tesla presentó la primera patente del primer motor eléctrico actual de corriente alterna.

Esa fue la base de lo que más adelante sería el motor eléctrico. Además, fue capaz de crear el concepto de Ingeniería eléctrica y en los años 80, gracias a él y a Nikola Tesla, se estableció como disciplina en las universidades.

Una dinamo o dínamo es un generador eléctrico destinado a la transformación de flujo magnético en electricidad mediante el fenómeno de la inducción electromagnética, generando una corriente continua.

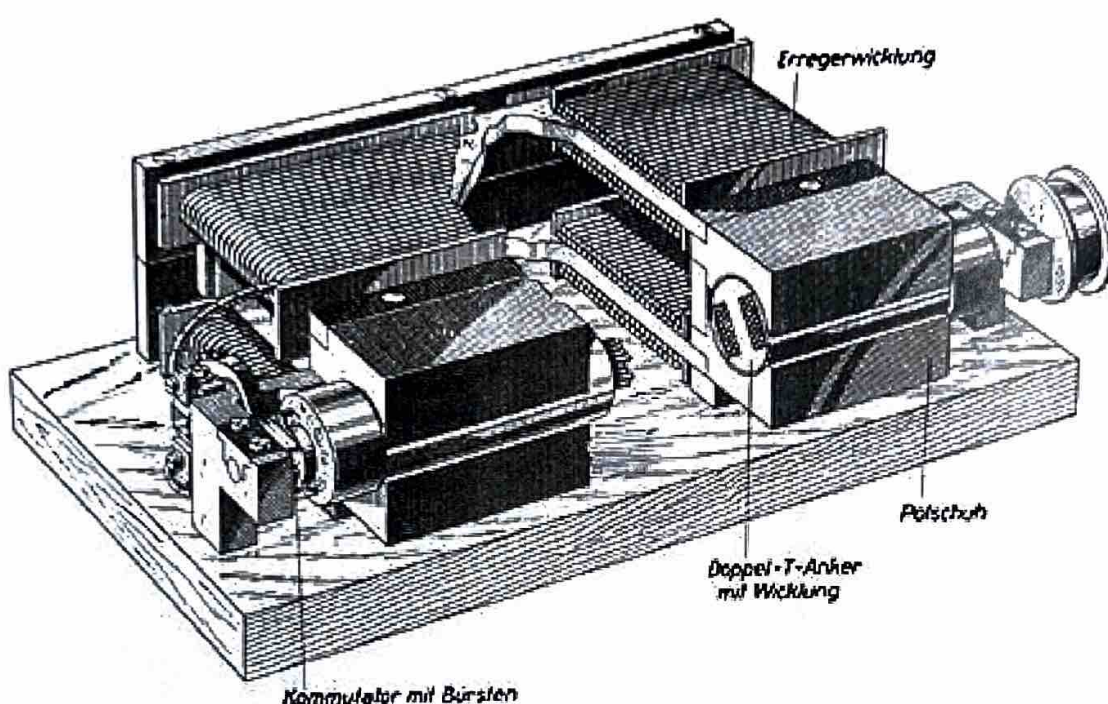


Imagen 2. 2-Dinamo de Werner von Siemens. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

En 1834, el ingeniero Moritz von Jacobi creó el primer motor eléctrico técnicamente utilizable.

La construcción de las primeras máquinas eléctricas fue lograda en parte, sobre la base de experiencia práctica. A mediados de la década de 1880, gracias al avance en el electromagnetismo, con contribuciones como las desarrolladas por Nikola Tesla, Michael Faraday y al éxito de Werner von Siemens, la ingeniería eléctrica se introdujo como disciplina en las universidades. En 1886, el ingeniero español Isaac Peral, desarrollaría el primer sumergible (el Submarino Peral), empleando motores eléctricos.

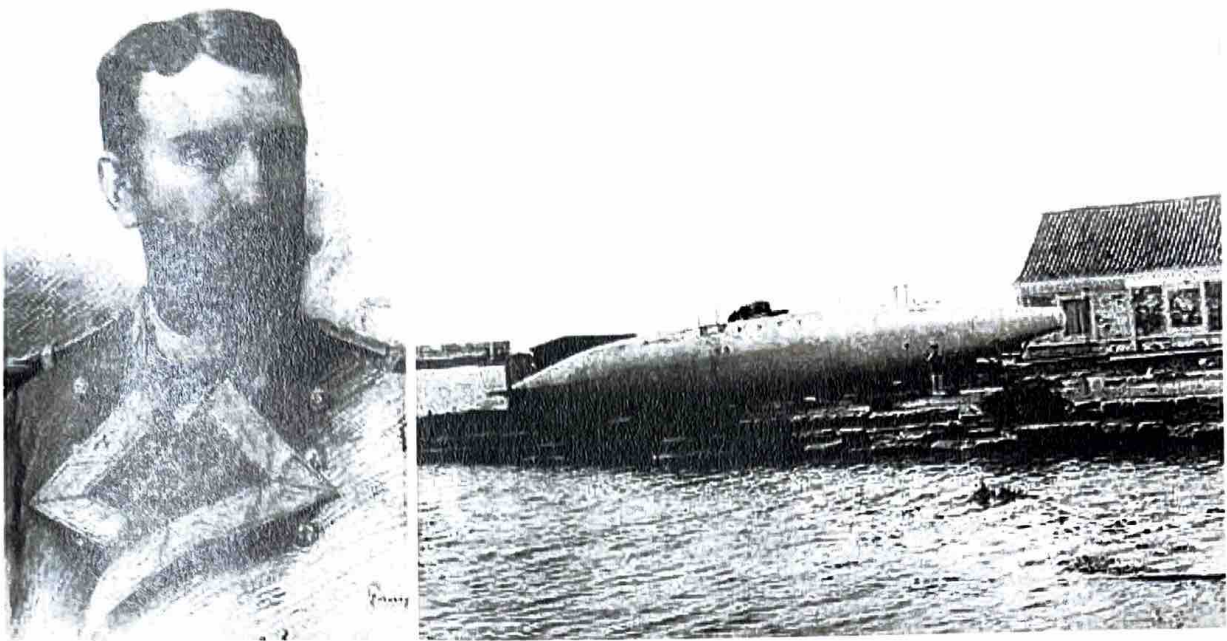


Imagen 2. 3— Submarino Peral. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

La fascinación por la electricidad aumentó con la invención de la dinamo. Karl Marx predijo que la electricidad causaría una revolución de mayores alcances que la que se vivía en la época con las máquinas de vapor. Antonio Pacinotti inventó el inducido en forma de anillo en una máquina que transformaba movimiento mecánico en corriente eléctrica continua con una pulsación, y dijo que su máquina podría funcionar de forma inversa. Ésta es la idea del motor eléctrico de corriente continua.

Los primeros motores eléctricos técnicamente utilizables fueron creados por el ingeniero Moritz von Jacobi, quien los presentó por primera vez al mundo en 1834.

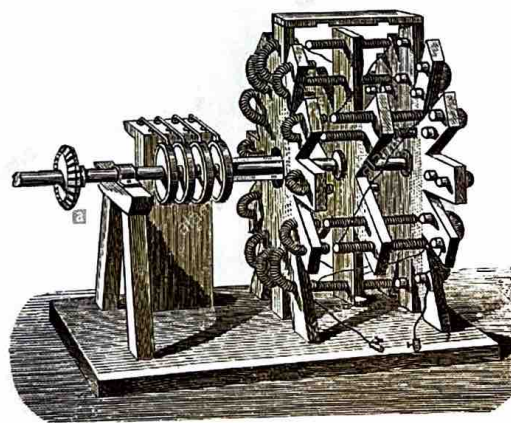


Imagen 2. 4— Motor eléctrico de Moritz von Jacobi. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

El motor de Moritz von Jacobi constaba de dos grupos de imanes: los cuatro que estaban montados en el bastidor, y el resto situados en un rotor giratorio. El sistema ideado para conmutar y cambiar la polaridad de los electroimanes se sigue utilizando hasta la fecha en los motores de tracción. El motor funcionó con pilas galvánicas, y en el momento de su creación fue el dispositivo eléctrico más sofisticado. El motor elevaba una carga de 4 a 5 kg a una velocidad de 1 pie (unos 30 cm) por segundo. La potencia del motor era de unos 15 W y la velocidad del rotor de 80 a 120 rpm. Ese mismo año, Jacobi envía un manuscrito describiendo su trabajo a la Academia de Ciencias de París. El invento se examinó en una reunión de la Academia y el trabajo se publicó de inmediato. Por lo tanto, el motor construido en mayo de 1834 en Königsberg, ya era ampliamente conocido en diciembre de 1834.

2.1.1 Científicos que aportaron a la creación del motor eléctrico.

Werner von Siemens patentó en 1866 la dinamo. Con ello no sólo contribuyó al inicio de los motores eléctricos, sino también introdujo el concepto de Ingeniería Eléctrica, creando planes de formación profesional para los técnicos de su empresa.



Imagen 2. 5– Werner von Siemens. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

Michael Faraday fue un físico y químico británico que estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Sus principales descubrimientos incluyen la inducción electromagnética, el diamagnetismo y la electrólisis.



Imagen 2. 6— Michael Faraday. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

Nikola Tesla fue un inventor, ingeniero mecánico, eléctrico y físico de origen Serbocroata. Se le conoce sobre todo por sus numerosas invenciones en el campo del electromagnetismo, desarrolladas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Las patentes de Tesla y su trabajo teórico ayudaron a forjar las bases de los sistemas modernos para el uso de la energía eléctrica por corriente alterna (CA), incluyendo el sistema polifásico de distribución eléctrica y el motor de corriente alterna, que contribuyeron al surgimiento de la Segunda Revolución Industrial.

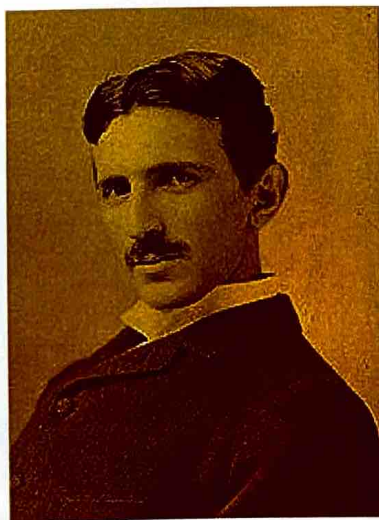


Imagen 2. 7— Nikola Tesla. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

Moritz Hermann von Jacobi fue un ingeniero y físico judío alemán nacido en Potsdam. Jacobi trabajó principalmente en Rusia. Fomentó el progreso en la galvanoplastia, los motores eléctricos y la telegrafía por cables.



Imagen 2. 8– Moritz Hermann von Jacobi. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2 Introducción al motor eléctrico.

Un motor eléctrico es una máquina electromecánica capaz de transformar la energía eléctrica en energía mecánica.

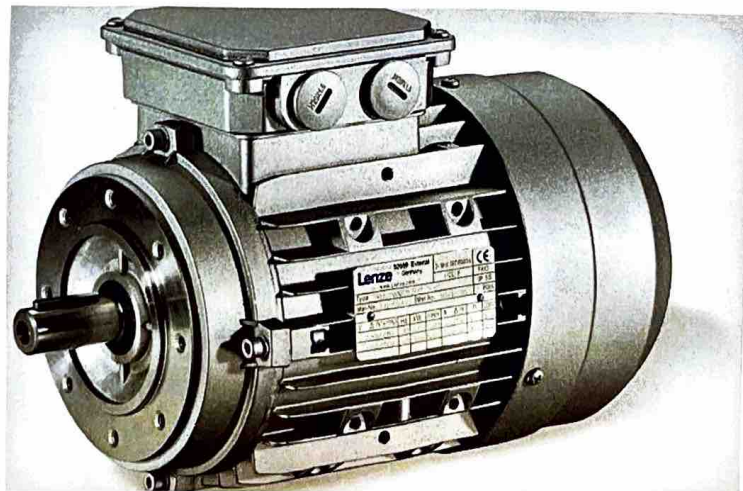


Imagen 2. 9– Motor eléctrico. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

El motor eléctrico es un artefacto que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, de manera que puede impulsar el funcionamiento de una máquina. Esto ocurre por acción de los campos magnéticos que se generan gracias a las bobinas.

Los motores eléctricos son muy comunes, se pueden encontrar en trenes, máquinas de procesos industriales y en los relojes eléctricos; algunos de uso general tienen proporciones estandarizadas, lo que ayuda a mejorar la selección de acuerdo a la potencia que se desea alcanzar para el dispositivo en el que se incluirá.

Las fuentes que alimentan al motor eléctrico pueden ser de corriente alterna (AC) o corriente continua (CC).

Motores de Corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de alternating current).

Un motor eléctrico de AC opera mediante la aplicación de corriente alterna, la cual alimenta al motor. Los motores eléctricos de AC se componen de varias partes, pero las partes principales son el estátor y el rotor.

- El estátor del motor eléctrico de AC tiene bobinas que se suministran con la corriente alterna y producen un campo magnético giratorio.
- El rotor del motor eléctrico de CA gira dentro de las bobinas, y está unido a un eje de salida que produce una torsión por el campo Magnético giratorio.

Cuando se trata de la corriente alterna, las redes eléctricas o las plantas eléctricas son el impulso principal del motor; Hay dos tipos diferentes de motores eléctricos de AC y cada uno de ellos utiliza un tipo diferente de rotor.

El primero se llama motor de inducción (también conocido como motor asíncrono). Un motor de inducción utiliza un campo magnético en el rotor que crea una corriente inducida.

El segundo se llama motor síncrono y gira precisamente en la frecuencia de alimentación o en un submúltiplo de la frecuencia de suministro.

Un motor síncrono es capaz de operar con una frecuencia de alimentación de precisión, ya que no responde en la inducción. El campo magnético de un motor síncrono es generado por la corriente suministrada a través de los anillos de deslizamiento o un imán permanente.

Los motores síncronos corren más rápido que los motores de inducción ya que la velocidad se reduce por el deslizamiento del motor asíncrono.

Motores de corriente continua (abreviada CC en español, así como CD por influencia del inglés DC, de direct current).

Los motores eléctricos de CC son máquinas de conmutación que se alimentan de la energía de la corriente continua. Los motores eléctricos de corriente continua tienen un voltaje inducido giratorio devanado de armadura, y un marco del campo inducido no giratorio devanado que es un campo estático, o un imán permanente.

Los motores eléctricos de CC utilizan diferentes conexiones, y un devanado inducido para producir diferentes velocidades y la regulación de la torsión estos, se clasifican en: motor serie, motor compound, motor shunt y motor eléctrico sin escobillas. El motor universal, por su parte, funciona con ambos tipos de corriente.

El motor eléctrico tiene muchas ventajas, entre ellas se encuentra su tamaño y peso reducido, el hecho de que puede ser construido para casi cualquier tipo de máquina y una potencia bastante alta, su rendimiento está la mayor parte del tiempo en un 75%, no emite ningún tipo de sustancia o gas contaminante y no necesitan una ventilación externa.

2.2.1 Partes de un motor eléctrico.

Dentro de las características fundamentales de los motores eléctricos, éstos se hallan formados por varios elementos, sin embargo, las partes principales son: el estátor, la carcasa, la base, el rotor, la caja de conexiones, los rodamientos y la placa de características.

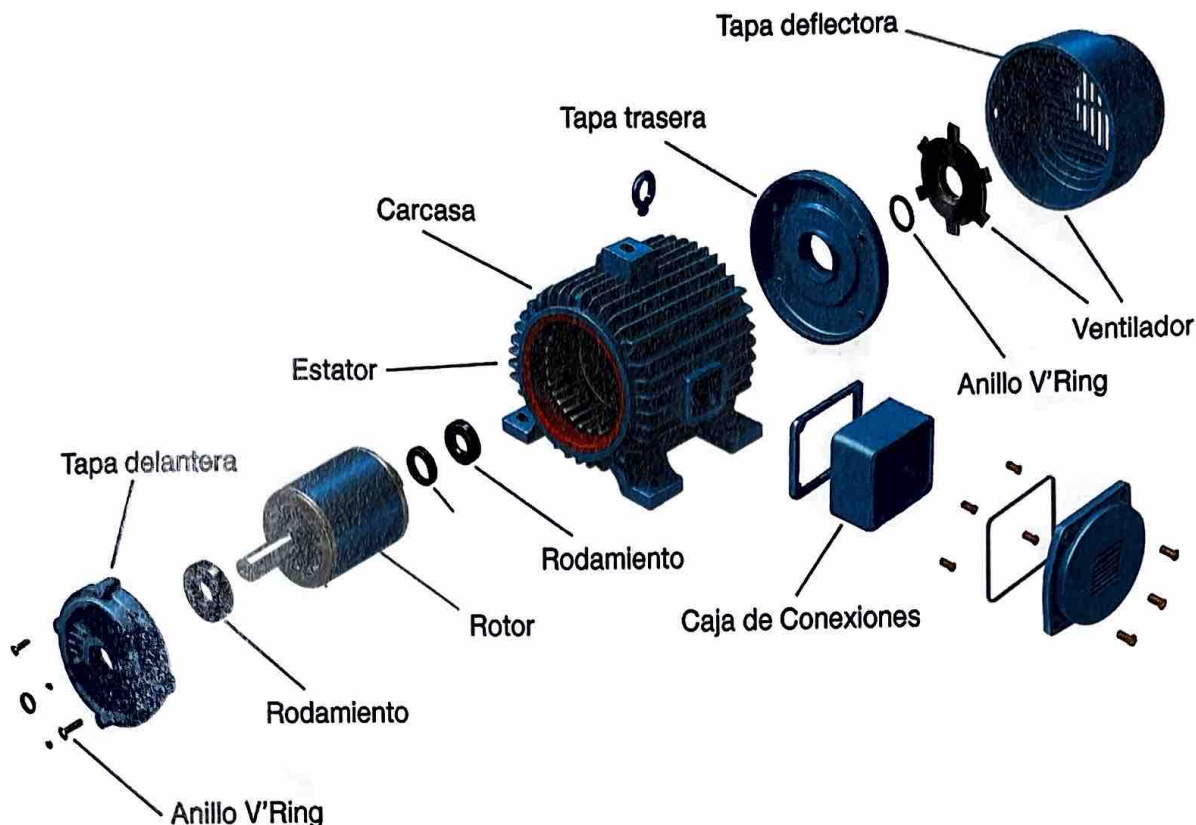


Imagen 2. 10– Partes de un motor eléctrico. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

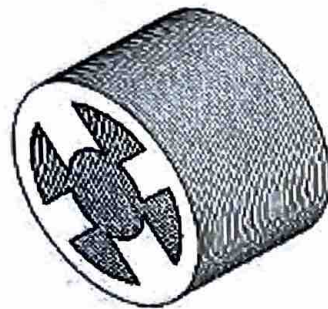
2.2.1.1 Estátor.

Constituye la parte fija del motor. El estátor es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estátor no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente.

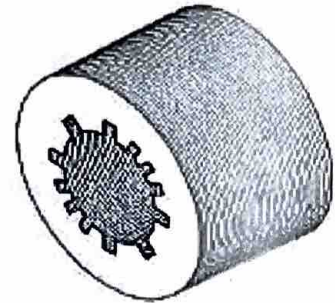
El estátor está constituido principalmente de un conjunto de láminas de acero al silicio (se les llama “paquete”), que tienen la habilidad de permitir que pase a través de ellas el flujo magnético con facilidad; la parte metálica del estátor y los devanados proveen los polos magnéticos. Los polos de un motor siempre son pares (pueden ser 2, 4, 6, 8, 10, etc.), por ello el mínimo de polos que puede tener un motor para funcionar es dos (un norte y un sur).

Existen dos tipos de estatores:

- Estátor de polos salientes.
- Estátor ranurado.



POLOS SALIENTES



RANURADO

Imagen 2. 11- Tipos de estatores. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2.1.2 Carcasa

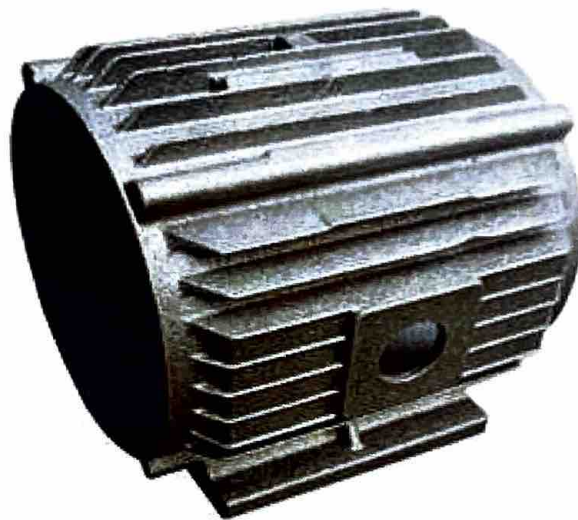


Imagen 2. 12- Carcasa de un motor eléctrico Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

La carcasa es la parte que protege y cubre al estátor y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- Totalmente cerrada.
- Abierta.
- A prueba de goteo.
- A prueba de explosiones.
- De tipo sumergible.

2.2.1.3 La base

La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- Frontal.
- Lateral.



Imagen 2. 13– Base frontal y lateral de un motor eléctrico. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2.1.4 El rotor

El rotor es el componente que gira en una máquina eléctrica, sea ésta un motor o un generador eléctrico. Junto con su contraparte fija, el estátor, forma el conjunto fundamental para la transmisión de potencia en motores y máquinas eléctricas en general.

El rotor está formado por un eje que soporta un juego de bobinas arrolladas sobre un núcleo magnético que gira dentro de un campo magnético creado bien por un imán o por el paso por otro juego de bobinas, arrolladas sobre unas piezas polares, que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina estátor de una corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de máquina de que se trate y pueden ser básicamente de tres tipos:

- Rotor ranurado.
- Rotor de polos salientes.
- Rotor jaula de ardilla.



Imagen 2. 14– Rotor jaula de ardilla. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

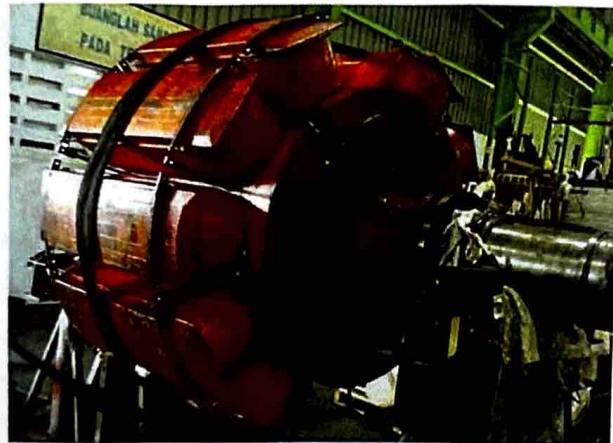


Imagen 2. 15– Rotor de polos salientes. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.



Imagen 2. 16– Rotor ranurado. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2.1.5 Caja de conexiones.

Por lo general, en la mayoría de los casos los motores eléctricos cuentan con caja de conexiones.

La caja de conexiones es un elemento que protege a los conductores que alimentan al motor, resguardándolos de la operación mecánica del mismo, y contra cualquier elemento que pudiera dañarlos.



Imagen 2. 17– Caja de conexiones de un motor eléctrico. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2.1.6 Rodamientos.

Los rodamientos o cojinetes contribuyen a la óptima operación de las partes giratorias del motor. Se utilizan para sostener y fijar ejes mecánicos, y para reducir la fricción, lo que contribuye a lograr que se consuma menos potencia. Los cojinetes pueden dividirse en dos clases generales:

- a) Cojinetes de deslizamiento: Operan basándose en el principio de la película de aceite, esto es, que existe una delgada capa de lubricante entre el eje y la superficie de apoyo.
- b) Cojinetes de rodamiento: Se utilizan preferentemente en lugar de los cojinetes de deslizamiento por varias razones:
 - Tienen un menor coeficiente de fricción, especialmente en el arranque.
 - Son compactos en su diseño.
 - Tienen una alta precisión de operación.
 - No se desgastan tanto como los cojinetes de tipo deslizante.
 - Se rempazan fácilmente debido a sus tamaños estándares.

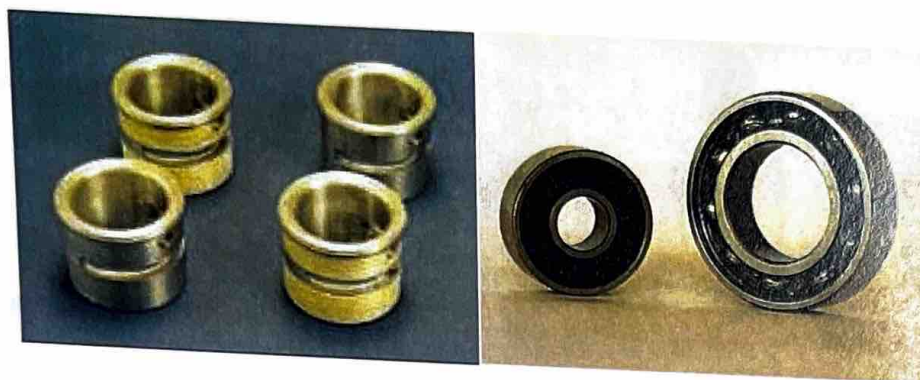


Imagen 2. 18– Cojinetes de desplazamiento y cojinetes de rodamiento. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.2.1.7 Placa de características

Cada motor debe contar con una placa de características, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrirlas, la información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser leída, aunque desaparezcan la coloración e impresiones de superficie.

La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la placa de datos y placas auxiliares, de cualquier motor de corriente alterna monofásico o trifásico, en forma indeleble y en lugar visible.

1			
Typ		2	
3	4	Nr.	5
6	7 V	8	A
9	10	S 11	cos φ 12
13		14 /min	15 Hz
16	17	18 V	19 A
Isol.-KI. 20	IP 21	22 kg	
23			

Imagen 2. 19– Información de una placa de datos. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

A continuación, se muestra un ejemplo de los datos de una placa de características:

1. Nombre del fabricante.
2. Tamaño, forma de construcción.
3. Clase de corriente.
4. Clase de máquina; motor, generador, etc.
5. Número de fabricación.
6. Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.
7. Tensión nominal.
8. Intensidad nominal.
9. Potencia nominal. Indicación en kW para motores y generadores de corriente continua e inducción. Potencia aparente en kVA en generadores síncronos.
10. Unidad de potencia, por ejemplo, kW.
11. Régimen de funcionamiento nominal.
12. Factor de potencia.
13. Sentido de giro.
14. Velocidad nominal en revoluciones por minuto revol/min.
15. Frecuencia nominal.
16. "Err" excitación en máquinas de corriente continua y máquinas síncronas. "Lfr" inducido para máquinas asíncronas.
17. forma de conexión del arrollamiento inducido.
18. Máquinas de cc y síncronas: tensión nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).
19. Máquinas de cc y síncronas: corriente nominal de excitación. Motores de inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del motor.
20. Clase de aislamiento.
21. Clase de protección.
22. Peso en Kg o Toneladas.
23. Número y año de edición de la disposición VDE² tomada como base.

² VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik Informationstechnik e.V): Siglas que corresponden a la Federación Alemana de Industrias Electrotécnicas, Electrónicas y de Tecnología de la Información.

2.3 Funcionamiento del motor eléctrico

Los fundamentos de operación del motor eléctrico se basan en el magnetismo y la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán.

Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estátor y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación.

El funcionamiento del motor asíncrono de inducción se basa en la acción del flujo giratorio generado en el circuito estatórico sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor.

El flujo giratorio creado por el bobinado estatórico corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas. Suponiendo cerrado el bobinado rotórico, es de entender que sus conductores serán recorridos por corrientes eléctricas.

La acción mutua del flujo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor originan fuerzas electrodinámicas sobre los propios conductores que arrastran al rotor haciéndolo girar.

La velocidad de rotación del rotor en los motores asíncronos de inducción es siempre inferior a la velocidad de sincronismo (velocidad del flujo giratorio). Para que se genere una fuerza electromotriz en los conductores del rotor ha de existir un movimiento relativo entre los conductores y el flujo giratorio. A la diferencia entre la velocidad del flujo giratorio y del rotor se le llama deslizamiento.

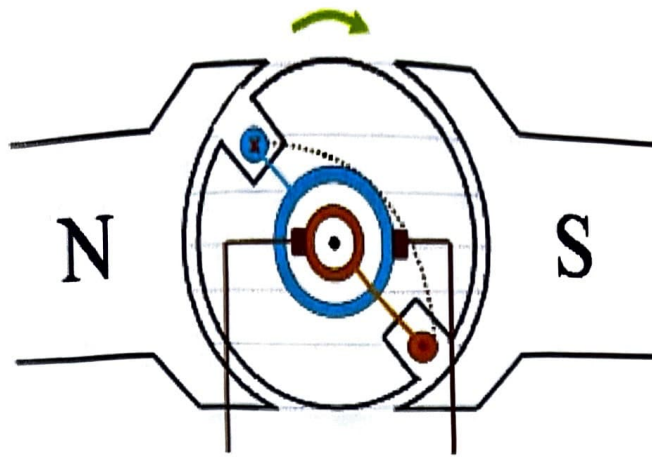


Imagen 2. 20– Rotación de un motor eléctrico. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.4 Clasificación del motor eléctrico, por su importancia y tipo.

Los motores eléctricos son propulsores que no necesitan de una combustión interna para proporcionar la energía, sino que ésta viene a través de la fuerza que producen el estátor y el rotor. Estos sistemas pueden funcionar, tanto a través de baterías, como conectados a una red eléctrica.

Clasificaciones generales de los motores eléctricos.

- Motores de corriente continúa
 - De excitación independiente.
 - De excitación serie.
 - De excitación (shunt) o derivación.
 - De excitación compuesta (compound).
- Motores de corriente alterna
 - Motores síncronos.
 - Motores asíncronos:
 - Monofásicos.
 - De bobinado auxiliar.
 - De espira en cortocircuito.
 - Universal.
 - Trifásicos.
 - De rotor bobinado.
 - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Además de las clasificaciones generales, podemos clasificar a los motores por su importancia. Si hablamos de maquinarias esenciales para el desarrollo de las empresas industriales, tenemos que centrarnos necesariamente en el mundo de los motores eléctricos. ¿Mundo? Así es, porque dependiendo la aplicación que se le dé a estas máquinas podemos encontrar una variedad de tipos, formas y tamaños. Además, que podemos clasificarlos de la siguiente manera:



Imagen 2. 21– Clasificación y Tipos de motores Eléctricos. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

- Motores de corriente alterna (son muy usados, sobre todo los trifásicos asíncronos de jaula de ardilla).
- Motores de corriente continua (perfectos en situaciones donde se requiere precisión y velocidad).
- Motores universales (son los que engloban a los dos anteriores, son utilizados mayormente en electrodomésticos).

Podemos recordar que estos motores eléctricos en el campo industrial generan los medios necesarios para convertir energía eléctrica en una producción significativa y medible. No obstante, su gran capacidad para intervenir en distintos procesos industriales es justamente lo que lo vuelve vulnerable a distintos problemas de funcionamiento.

Pero dentro de los motores eléctricos podemos encontrar una clasificación principal que los distingue en tres tipologías las cuales son:

- Motores universales.

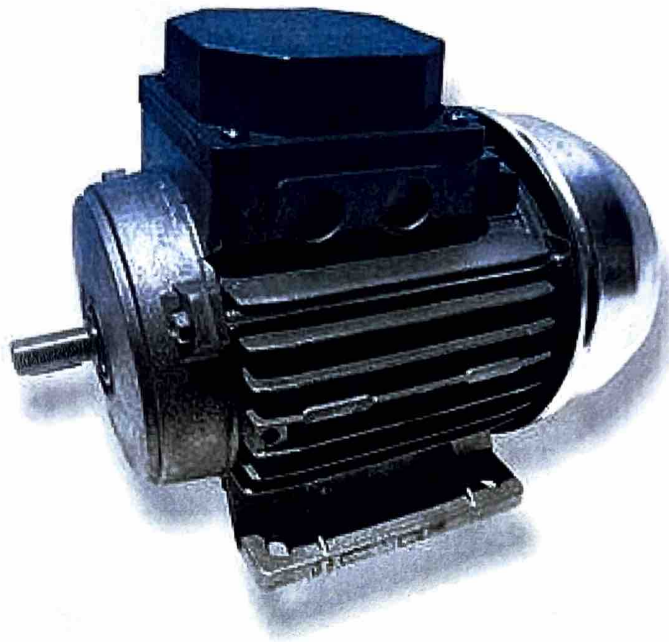


Imagen 2. 22– Motor universal. Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

Pueden funcionar con corriente continua o con corriente alterna, y son ampliamente utilizados tanto a nivel profesional o industrial, como a nivel doméstico para dotar de potencia a diversos electrodomésticos cotidianos.

- Motores de corriente continúa.

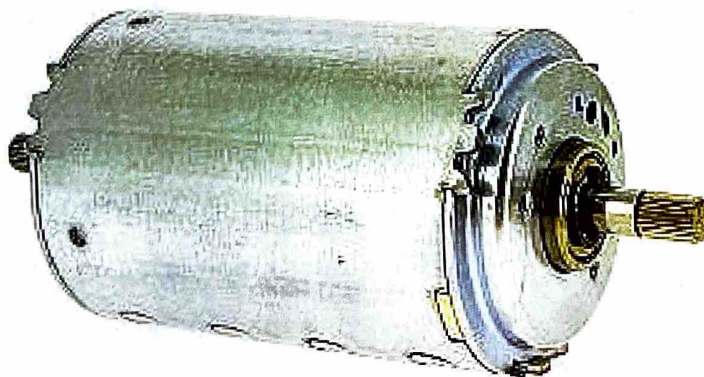


Imagen 2. 23– Motor de corriente continúa. Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

Tienen un diseño bastante complicado y permiten modificar la velocidad simplemente ajustando la tensión. Son más caros de fabricar y sus aplicaciones todavía son limitadas.

- Motores de corriente alterna.



Imagen 2. 24— Motor de corriente alterna. Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

Están diseñados para funcionar a velocidades fijas. Son sencillos, baratos y muy usados tanto a nivel industrial como doméstico.

A continuación, se describe con detalle cada uno de los motores antes mencionados.

2.4.1 Motor de corriente continua.

Un motor de corriente continua está constituido por una parte fija o estátor y una parte móvil o rotor. En la imagen 2.25 se muestra un esquema básico de la forma física que presenta este tipo de máquinas. El estátor está formado por la culata (1) que pertenece al circuito magnético del inductor y que tiene como función, además de conducir el flujo, hacer de soporte mecánico del conjunto. En las máquinas pequeñas se construye de hierro fundido y, en las grandes, con plancha de acero curvada. La culata o carcasa contiene también los pies (13) sobre los que se apoya la máquina.

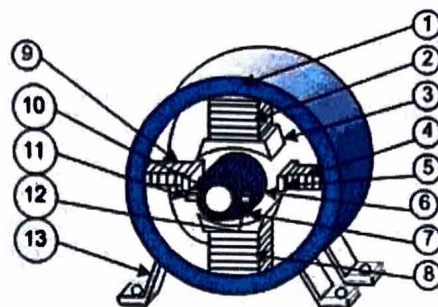


Imagen 2. 25– Esquema básico de un motor CC. Fuente: Diseño y fabricación de un motor de corriente continua, Universidad de Navarra.

En la parte interna de la culata se fijan los polos, que están constituidos por los núcleos (2), realizados en chapas de acero apiladas, sobre los que se coloca el devanado inductor o de excitación (8). La parte de los polos que está enfrentada al rotor a través del entrehierro se ensancha para abarcar una mayor sección mediante la cabeza o zapata polar (3). Para mejorar la conmutación (problemas de la reacción de inducido), estas máquinas suelen llevar otros polos intermedios (4) y (5), que reciben también el nombre de polos auxiliares o de conmutación. El devanado (9) de estos polos se conecta en serie con el inducido. El rotor está formado por el inducido (6) y el colector de delgas o conmutador (10). El inducido se construye con discos de chapa de acero al silicio que presenta una serie de ranuras (y dientes) para alojar en ellas el correspondiente devanado.³

Dentro de los motores de corriente continua también podemos encontrar diferentes variantes que se distinguen según el bobinado del inducido y del inductor. De este modo, se diferencia el motor de excitación en serie, en paralelo o compuesta (una mezcla entre las dos anteriores).

Algunas de las ventajas de los motores eléctricos es que son más pequeños, contaminan menos y ofrecen un rendimiento elevado y constante.

Los motores de corriente continua tienen varias particularidades que los hacen muy diferentes a los de corriente alterna.

³ Diseño y fabricación de un motor de corriente continua. Universidad de Navarra.

Una de las particularidades principales es que pueden funcionar a la inversa, es decir, no solamente pueden ser usados para transformar la energía eléctrica en energía mecánica, sino que también pueden funcionar como generadores de energía eléctrica.

Esto sucede porque tienen la misma constitución física, de este modo, tenemos que un motor eléctrico de corriente continua puede funcionar como un generador y como un motor.

Los motores de corriente continua tienen un par de arranque alto, en comparación con los de corriente alterna, también se puede controlar con mucha facilidad la velocidad. Por estos motivos, son ideales para funciones que requieran un control de velocidad. Son usados para tranvías, trenes, coches eléctricos, ascensores, cadenas productivas, y todas aquellas actividades donde el control de las funcionalidades del motor se hace esencial.

2.4.1.1 Motor de excitación en serie.

La conexión del devanado de excitación se realiza en serie con el devanado del inducido, como se puede observar en la imagen 2.26. El devanado de excitación llevará pocas espiras y serán de una gran sección. La corriente de excitación es igual a la corriente del inducido. Los motores de excitación en serie se usan para situaciones en los que se necesita un gran par de arranque como es el caso de tranvías, trenes, etc.

La velocidad es regulada con un reóstato regulable en paralelo con el devanado de excitación. La velocidad disminuye cuando aumenta la intensidad.

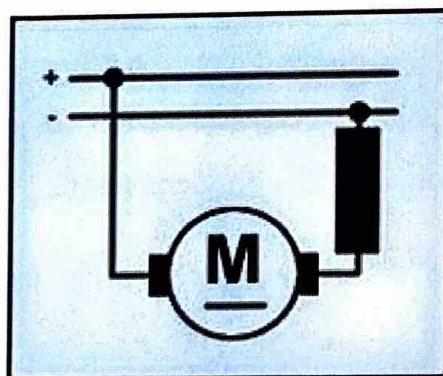


Imagen 2. 26 –Motor de excitación en serie. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.4.1.2 Motor de excitación en derivación o shunt.

Como podemos observar, el devanado de excitación está conectado en paralelo al devanado del inducido. Se utiliza en máquinas de gran carga, ya sea en la industria del plástico, metal, etc. Las intensidades son constantes y la regulación de velocidad se consigue con un reóstato regulable en serie con el devanado de excitación.

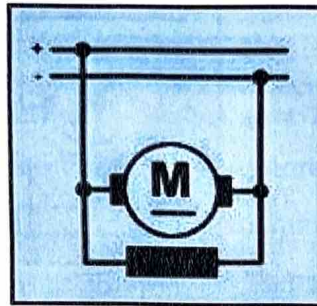


Imagen 2. 27– Motor shunt. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.4.1.3 Motor de excitación compuesta o compound.

El devanado es dividido en dos partes, una está conectada en serie con el inducido y la otra en paralelo, como se puede ver en la imagen 2.28 Se utilizan en los casos de elevación como pueden ser montacargas y ascensores.

Teniendo el devanado de excitación en serie conseguimos evitar el embalamiento del motor (Indica la maniobra errónea de poner el motor a un número de revoluciones notablemente superior al necesario) al ser disminuido el flujo, el comportamiento sería similar a una conexión en shunt cuando está en vacío. Con carga, el devanado en serie hace que el flujo aumente, de este modo la velocidad disminuye, no de la misma manera que si se hubiese conectado solamente en serie.

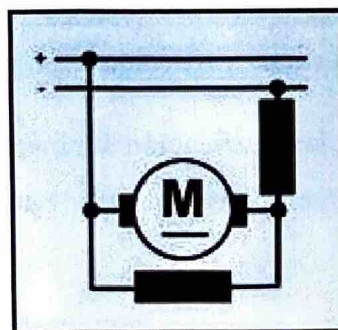


Imagen 2. 28– Motor de excitación compuesta. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

2.4.1.4 Motor de excitación independiente.

Como podemos observar en la imagen 2.29, los dos devanados son alimentados con fuentes diferentes. Tiene las mismas ventajas que un motor conectado en shunt, pero con más posibilidades de regular su velocidad.

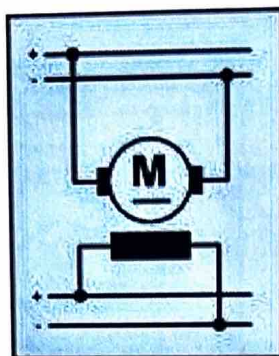


Imagen 2. 29– Motor de excitación independiente. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018

2.4.2 Motor de corriente alterna

En el ámbito de los motores de corriente alterna podemos encontrar diferentes tipos atendiendo a diferentes clasificaciones:

Según la forma en la que gira el rotor nos podemos encontrar con motores síncronos y asíncronos.

La principal diferencia entre ellos es que en el primero el rotor gira a la misma velocidad que el campo electromagnético, mientras que en el segundo puede hacerlo a distinta velocidad. Por otro lado, dentro de los motores eléctricos síncronos también podemos distinguir entre asíncronos sincronizados, trifásicos o con rotor de imán permanente.

Los motores de corriente alternan también pueden ser clasificados según el número de fases de alimentación. En este caso nos encontramos con otros tres tipos principales: monofásicos, bifásicos y trifásicos.

Por otro lado, para completar la clasificación también se ha de tener en cuenta el tipo de rotor que usa el motor. Los más comunes son los de jaula de ardilla, de colector o de anillos rozantes.



Imagen 2. 30– Motor CA con caja de terminales eléctricos en la parte superior y salida de eje de rotación a la izquierda.
Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con este tipo de alimentación eléctrica. Un motor es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.

2.4.2.1 Motores síncronos.

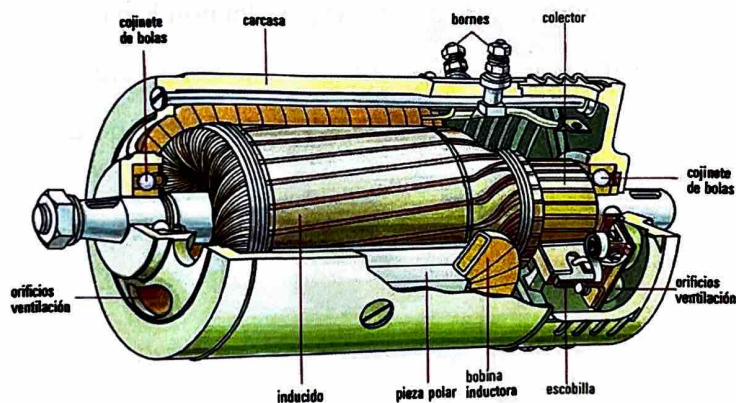


Imagen 2. 31– Motor síncrono Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

Las Máquinas síncronas son máquinas rotatorias eléctricas que pueden trabajar como motor y como generador. Como motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica y viceversa como generador.

Las máquinas síncronas se utilizan en mayor medida como generadores de corriente alterna que como motores de corriente alterna.

Estas máquinas no tienen par de arranque y hay que emplear diferentes métodos de arranque y aceleración hasta la velocidad nominal de sincronismo. Utilizándose también para controlar la potencia reactiva de la red.

Además, los motores síncronos tienen sus propias clasificaciones que son:

- **Asíncronos sincronizados:** El motor asíncrono de inducción trifásico con rotor bobinado (asíncrono sincronizado) está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: Jaula de ardilla, bobinado, y un estátor, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° en el espacio.
- **Trifásicos:** Su ventaja es que giran a una velocidad constante para diferentes regímenes de carga, siempre que se mantenga constante la frecuencia de alimentación.

Pero el inconveniente que poseen es que para arrancar necesitan dispositivos auxiliares de arranque tales como contactores, arrancadores suaves, variadores de frecuencia, entre otros.

- **Con rotor de imán permanente:** La razón del nombre es que el rotor está formado por un imán permanente el cual gira a una velocidad constante síncrona (girando exactamente como el ciclo) con la rotación del campo magnético.

2.4.2.2 Motores asíncronos.

Los motores asíncrónicos o de inducción son un tipo de motores eléctricos de corriente alterna.

El motor asíncrónico está formado por un rotor, que puede ser de dos tipos: de jaula de ardilla o bobinado, y un estátor, en el que se encuentran las bobinas inductoras. Estas bobinas son trifásicas y están desfasadas entre sí 120° .

Según el Teorema de Ferraris, cuando por estas bobinas circula un sistema de corrientes trifásicas, se induce un campo magnético giratorio que envuelve al rotor. Este campo magnético variable va a inducir una tensión en el rotor según la Ley de inducción de Faraday.

Entonces se da el efecto Laplace (o efecto motor): todo conductor por el que circula una corriente eléctrica, inmerso en un campo magnético experimenta una fuerza que lo tiende a poner en movimiento. Simultáneamente se da el efecto Faraday (o efecto generador): en todo conductor que se mueva en el seno de un campo magnético se induce una tensión. El campo magnético giratorio, a velocidad de sincronismo, creado por el bobinado del estátor, corta los conductores del rotor, por lo que se genera una fuerza electromotriz de inducción. La acción mutua del campo giratorio y las corrientes existentes en los conductores del rotor, originan una fuerza electrodinámica sobre dichos conductores del rotor, las cuales hacen girar el rotor del motor. La diferencia entre las velocidades del rotor y el campo magnético se denomina deslizamiento.

Según la fase de alimentación, estos motores de corriente alterna pueden basarse en una clasificación, por lo que se desprenden 3 tipos de motores entre ellos tenemos los principales.

- Monofásicos.

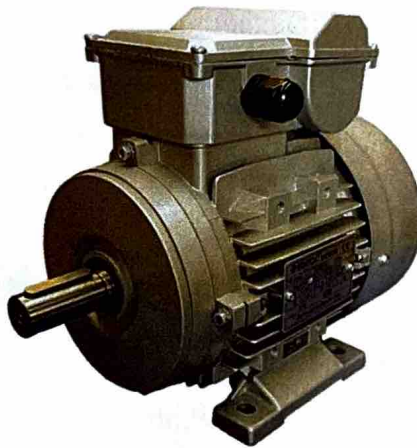


Imagen 2. 32– Motor asíncrono monofásico Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

- Bifásicos.



Imagen 2. 33– Motor asíncrono bifásico Fuente: Imágenes googlee, octubre 2018.

- Trifásicos.



Imagen 2. 34– Motor asíncrono trifásico Fuente: Imágenes Google, octubre 2018.

Además estos motores pueden variar por el tipo de diseño y utilidad, por ejemplo, por el tipo de construcción del rotor entre los cuales encontramos la siguiente clasificación:

- Jaula de ardilla.
- De colector.
- De anillos rasantes.

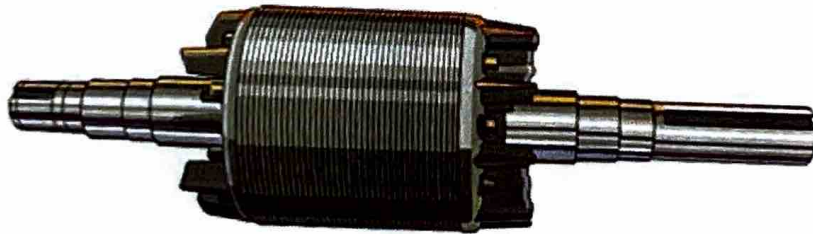


Imagen 2. 35– Rotor jaula de ardilla. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2018.



Imagen 2. 36– Rotor de colector. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2018.



Imagen 2. 37– Rotor de anillos rozantes. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2018

Las máquinas síncronas se caracterizan por una relación fija entre velocidad, frecuencia, número de polos. Los motores síncronos tal como lo indica su nombre, no están sometidos a tal relación fija.

2.4.2.2.1 Aspectos constructivos.

Las máquinas de inducción constan de una parte fija o estátor, y de una parte móvil o rotor, separadas por un pequeño espacio de aire denominado entrehierro. Estas tres partes, estátor, rotor y entrehierro forman parte del circuito magnético de la máquina. El estátor es normalmente el inductor y está alimentado por una red monofásica o trifásica (para la realización de este documento se ha considerado solamente el caso del motor de inducción trifásico) y está formado por un apilamiento de chapas magnéticas. Dispone de unas ranuras uniformemente distribuidas en su periferia interior en las que se sitúa un devanado trifásico de forma que la distribución de conductores sea idéntica para las tres fases del estátor, con la única diferencia de que los conductores que ocupen posiciones homologas en cada fase estén desplazados 120° . El rotor es el inducido, y las corrientes que circulan por él aparecen como consecuencia de la interacción con el flujo del estátor. Está formado también a base de chapas magnéticas, tiene forma de cilindro y las ranuras dónde se sitúa el devanado se encuentran situadas su superficie exterior distribuidas al igual que antes uniformemente. Dependiendo de los devanados del rotor podemos encontrar dos tipos distintos: rotor de jaula de ardilla o en cortocircuito y rotor bobinado o de anillos.

En el primer caso los huecos de las ranuras se rellenan de barras de aluminio fundido (u otro material conductor) que se unen en ambos extremos del rotor mediante unos anillos de cortocircuito conductores que da la forma de jaula por la que estos tipos de rotor reciben su nombre como podemos observar en la figura 2.38.

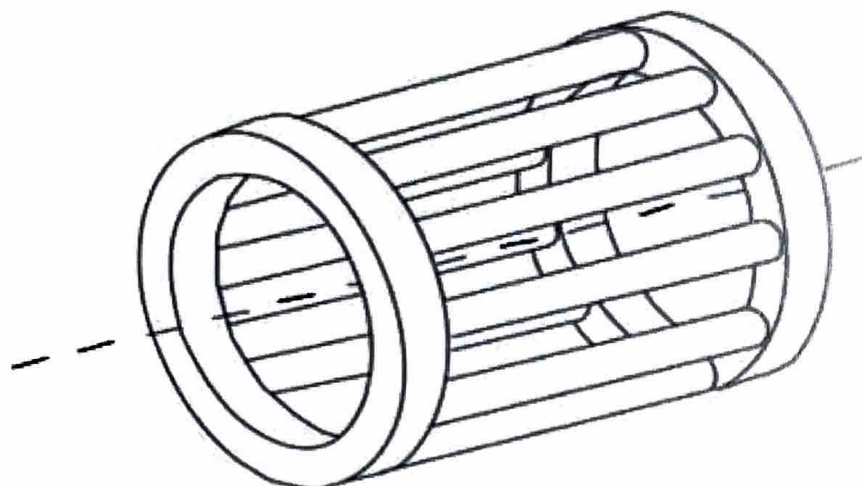


Imagen 2. 38– Estructura del devanado jaula de ardilla. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2020

En el segundo caso se tiene un arrollamiento trifásico similar al del estátor, en el que las tres fases se conectan en estrella, por un lado, y por el otro se conectan a unos anillos conductores, aislados entre sí y respecto del eje, sobre los que hacen contacto unas escobillas. En funcionamiento normal las tres fases del rotor estarán cortocircuitadas, aunque esta disposición hace posible la introducción de resistencias externas por los anillos para limitar las corrientes de arranque, mejorar las características de par o controlar la velocidad. Este tipo de motores es más caro y requiere un mantenimiento mayor. A continuación, mostramos un ejemplo de rotor bobinado en la figura 2.39.

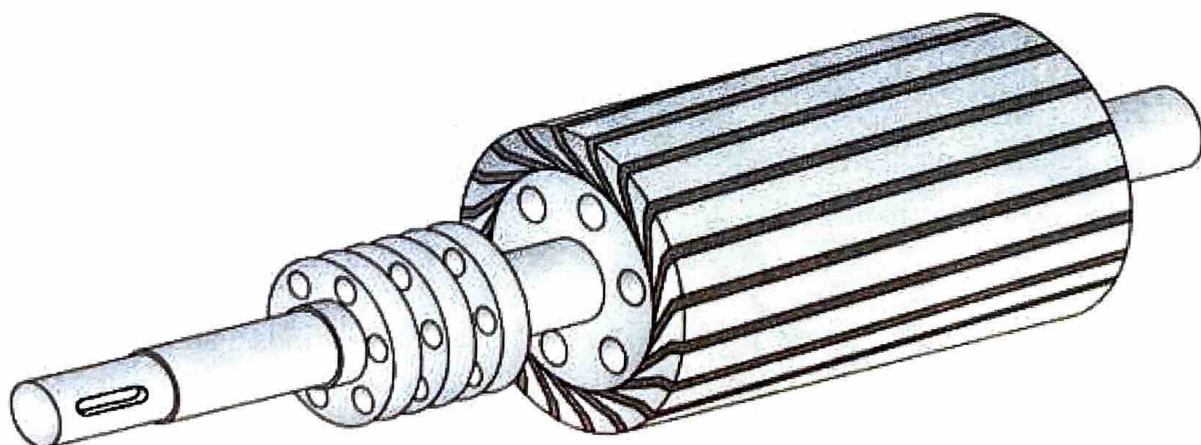


Imagen 2. 39– Rotor bobinado. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2020

2.4.2.2.2 Principios de funcionamiento.

Al introducir una corriente trifásica de frecuencia f_1 , se produce un campo magnético giratorio prácticamente senoidal y cuya velocidad viene expresada por:

$$\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} \text{ [rad/s]}; \quad n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ [r.p.m]}$$

Donde:

- Ω_1 o n_1 es la velocidad de sincronismo (dependiendo de las unidades).
- “p” es el número de pares de polos de la máquina.

Este campo magnético giratorio inducirá una fuerza electromotriz que al estar el devanado rotórico en cortocircuito, produce la circulación de corriente por sus conductores. La interacción del campo del estator con las corrientes del rotor produce un par de giro que trata de oponerse a la causa que lo produce que es el desplazamiento de las líneas de campo respecto de los conductores del rotor. Si en estas circunstancias se deja que el motor gire libremente, el motor se pondrá a seguir el campo magnético en su giro, acelerándose progresivamente.

Una vez que comienza este movimiento, la carga conectada al eje comienza a ofrecer un par resistente que normalmente dependerá de la velocidad. Incluso con el motor en vacío, existirá un pequeño par resistente debido a los rozamientos en los cojinetes, la fricción con el aire, etc.

La velocidad del motor nunca puede alcanzar a la del campo, ya que si esto ocurriese dejaría de inducirse f.e.m. en los conductores del rotor, dejaría de circular corriente a través de los mismos, y el par se haría nulo. Por lo tanto, en motores con diseños normales la velocidad es siempre próxima a la de sincronismo, pero sin llegar a ella.

Una forma usual de referirse a la diferencia de velocidades entre la de sincronismo y la del rotor, es mediante el deslizamiento definido como:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\Omega_1 - \Omega}{\Omega_1}$$

Donde s que representa al deslizamiento, es una magnitud sin dimensiones, y n o Ω representan la velocidad del rotor en r.p.m. o rad/s respectivamente.

Al circular una corriente eléctrica por los devanados polifásicos del rotor se crea otro campo magnético que girará respecto al rotor con una velocidad proporcional a $\omega_s = s \omega_1$ (rad/s). La velocidad de giro respecto al estator del campo creado por el rotor será la suma de la velocidad respecto del rotor más la de arrastre del rotor respecto del estator:

$$s \cdot \omega_1 + \omega = (\omega_1 - \omega) + \omega = \omega_1$$

Lo que quiere decir que ambas fuerzas magnetomotrices giran en sincronismo, y se pueden componer en todo momento para dar lugar a una única onda de fuerza magnetomotriz (a la que se designa f.m.m) resultante:

$$\vec{F}_s + \vec{F}_r = \vec{F}_\mu$$

Para entender el funcionamiento de un motor de inducción se va a partir para explicar el modelo de la máquina de inducción de la fuerza magnetomotriz resultante del apartado anterior, en la que se supondrá que existe linealidad del circuito magnético. Ésta crea una onda de inducción que gira a velocidad constante y es común al estator y al rotor.

El efecto de ésta sobre el estator es que induce una f.e.m. de pulsación, y sobre el rotor también crea una f.e.m. cuya frecuencia será $f_s = s f_1$ (Hz).

Por otro lado, fijándose en la diferencia entre la f.e.m. del estator y la tensión aplicada se comprueba que existe una caída de tensión que se corresponde con la caída de tensión en la resistencia de los devanados y en las reactancias de dispersión, éstas se modelan como una resistencia y una bobina R_s y X_s . En el caso del rotor, también se va a encontrar una caída de tensión en la resistencia de los devanados y la reactancia de dispersión, pero la frecuencia de las intensidades ahora es f_s , y la reactancia de dispersión del rotor será:

$$X_{r(s)} = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_r = s \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_r = s \cdot X_r$$

de con el subíndice (s) se indica que se trata de magnitudes medidas sobre el rotor que
n con un deslizamiento s.

bién se consideran las pérdidas en el hierro (R_{fe}), así como la permeabilidad finita del
erial (X_m).

esto, se plantea el circuito equivalente del estator y del rotor en la figura 2.40, así como
respectivas ecuaciones en términos de fasores:

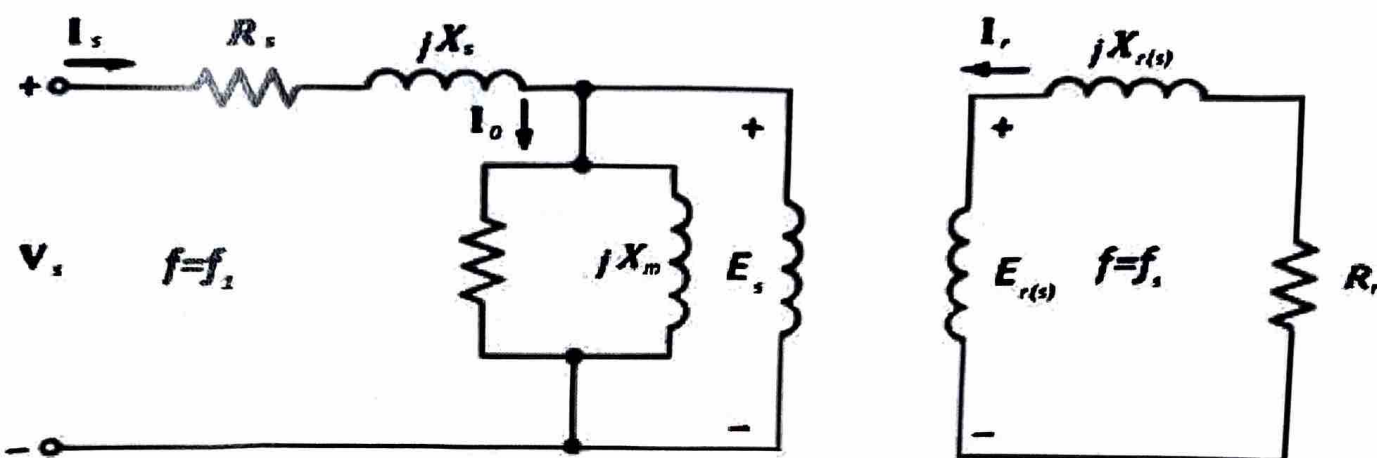


Imagen 2. 40– Circuito equivalente del estator y rotor: Imágenes Google, septiembre 2020

$$U_s = (R_s + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_s) \cdot I_s + E_s$$

$$E_{r(s)} = (R_r + j \cdot X_{r(s)}) \cdot I_r$$

circuito equivalente anterior recuerda al de un transformador, con la diferencia de que el
ito rotórico trabaja a f_s . Para facilitar la utilización de dicho circuito se pondrá a la
a frecuencia que el estator. Para ello se tendrá en cuenta que la f.e.m. es función de la
encia y que por lo tanto ésta será:

$$E_{r(s)} = s \cdot E_r = R_r \cdot I_r + j \cdot X_{r(s)} \cdot I_r$$

divide por el deslizamiento, se obtiene el circuito rotórico a la misma frecuencia del
r quedando cómo a continuación se muestra:

$$E_r = \left(\frac{R_r}{s} + j \cdot X_r \right) \cdot I_r$$

Añadiendo estos términos y refiriendo las magnitudes del rotor al estator cómo se verá de forma más detallada más adelante, se obtiene el circuito equivalente del motor de inducción que se puede observar en la figura 2.41, dónde se ha despreciado la resistencia de pérdidas en el hierro ya que se va a considerar que la intensidad que circula por ésta es mucho menor que la que circula por la reactancia de magnetización de forma que éste término no afecta considerablemente a los resultados.

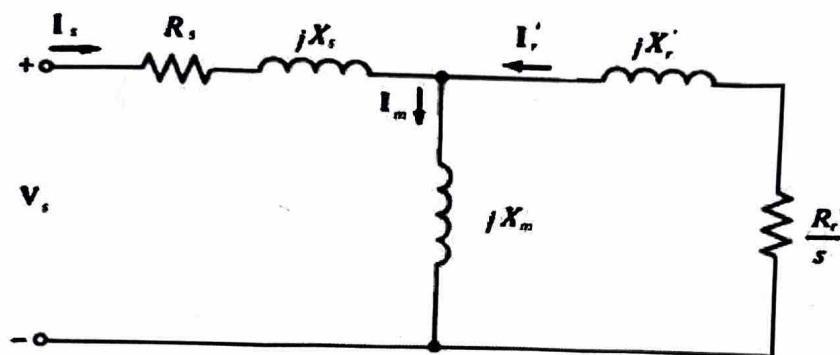


Imagen 2. 41– Circuito equivalente del motor de inducción: Imágenes Google, septiembre 2020

2.4.2.2.3 Motor de corriente alterna de rotor devanado.

El rotor devanado o bobinado, como su nombre lo indica, lleva unas bobinas que se conectan a unos anillos deslizantes colocados en el eje; por medio de unas escobillas se conecta el rotor a unas resistencias que se pueden variar hasta poner el rotor en corto circuito. A estos motores se les conoce con los nombres de motores trifásicos de rotor bobinado de colector de anillos.

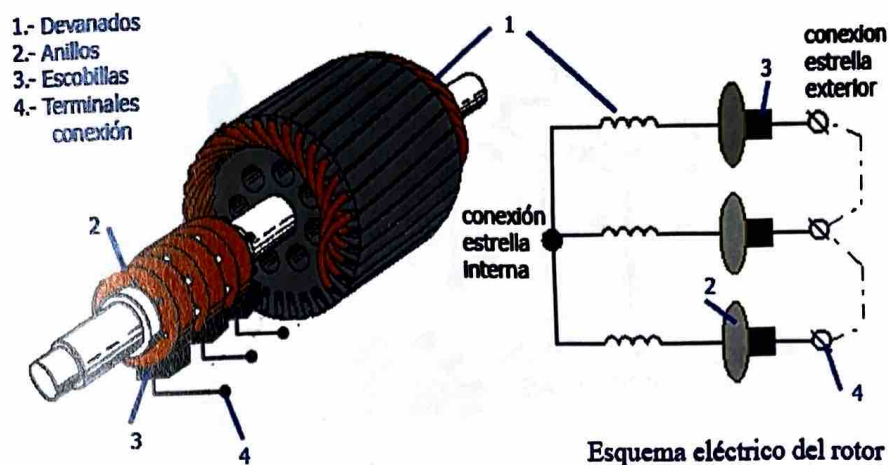


Imagen 2. 42- Esquema Eléctrico del Rotor bobinado. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

Los motores de rotor bobinado tienen el mismo estator que los de jaula de ardilla, pero el rotor lleva un devanado trifásico también, de cobre o aluminio, conectado en estrella por uno de los extremos, y los otros van unidos a un anillo cada uno, montados sobre una base aislante, dando lugar a un colector de anillos (en vez de delgas). Sobre los anillos apoyan las escobillas para sacar estos terminales al exterior y llevarlos a la placa de bornes o placa de conexión. Las letras normalizadas para estos extremos son u, v, w, pero siempre con minúsculas para no confundirlas con las del estator.

El motor de rotor bobinado tiene la gran ventaja de que, mediante un reóstato exterior que regularmente se expresa con una letra (R), se puede regular la resistencia del inducido, y así hacer arranques escalonados, donde R_2 sea igual a $d X_2$ en cada momento, para obtener pares máximos.

Por contraparte tienen de frente a los motores de jaula de ardilla ya que estos son los que tienen muchos más inconvenientes al ser más caros, y de ser mayor gasto en el mantenimiento y número más altos de posibles averías.

El devanado retórico es exactamente igual y tiene el mismo número de fases que el devanado del estator. Posee unos anillos en su eje que permiten la conexión del rotor a un circuito exterior. Son más caros que los motores de jaula de ardilla.

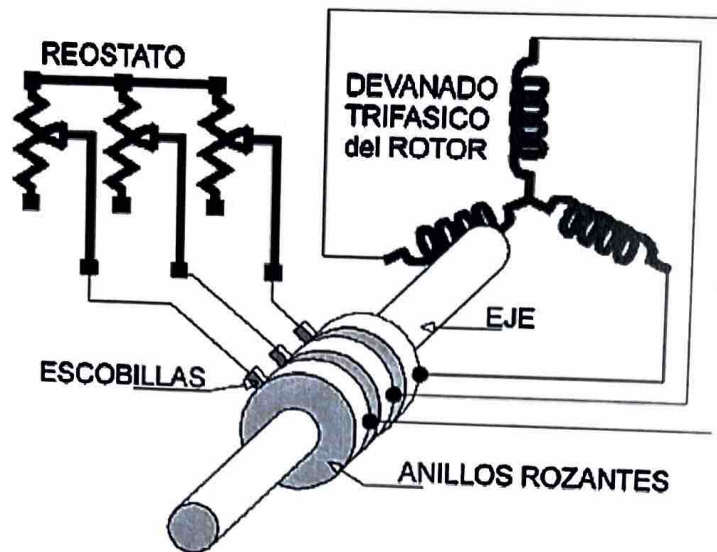


Imagen 2. 43—Partes del motor de rotor bobinado. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

El rotor devanado se compone de un núcleo con tres devanados en lugar de las barras conductoras del rotor jaula de ardilla. En este caso, las corrientes se inducen en los devanados en la misma forma que lo harían las barras en corto circuito. Sin embargo, la ventaja de usar devanados consiste en que las terminales se pueden sacar a través de anillos colectores, de modo que, al conectar una resistencia la corriente que pasa por los devanados, se puede controlar en forma eficaz.

El campo giratorio del estator induce un voltaje alterno en cada devanado del rotor. Cuando el rotor se encuentra estacionario, la frecuencia del voltaje inducido en el rotor es igual a la de la fuente de alimentación. Si el rotor gira en el mismo sentido que el campo giratorio del estator, disminuye la velocidad a la que el flujo magnético corta el devanador del rotor. El voltaje inducido y sus frecuencias bajaran también.

Cuando el rotor gira a la misma velocidad y en el mismo sentido que el campo giratorio del estator, el voltaje inducido y la frecuencia caen a cero. (El rotor está ahora en velocidad síncrona). Por El contrario, si el rotor es llevado a la velocidad síncrona, pero en sentido opuesto al del campo giratorio del estator, el voltaje inducido y sus frecuencias serán el doble de los valores que se tienen cuando el rotor está parado Si los devanados del rotor están en corto circuito, el voltaje inducido producirá grandes corrientes en los devanados. Para suministrar esta corriente en el rotor, la corriente del estator debe aumentar por encima del nivel ordinario de la corriente de excitación.

La potencia en los devanados del rotor debe ser suministrada por los devanados del estator. Por lo tanto, deba suceder lo siguiente:

- Cuando el motor está parado o a baja velocidad las corrientes de rotor, las del estator y el par serán elevadas.
- A la velocidad síncrona, la corriente del rotor y el par serán cero y el estator solo llevara la corriente de excitación.
- A cualquier velocidad del motor las corrientes y el par desarrollado tomaran valores entre ambos extremos.

Una característica del motor de rotor devanado, es su capacidad para operar a velocidades variables. Si se hace variar la resistencia del reóstato, se puede variar el desplazamiento y, por lo tanto, la velocidad del motor. En estos casos, la operación del motor a una velocidad menor que la plena significa que este funciona a una eficiencia y potencias reducidas, además el motor se hace más susceptible a variaciones en velocidad cuando la carga varia, debido a la alta resistencia del rotor.

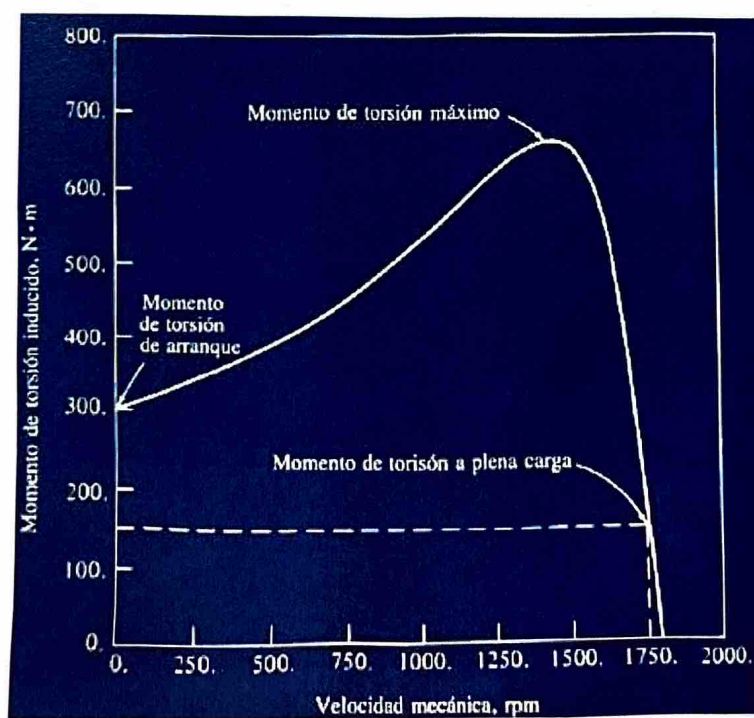


Imagen 2. 44– Grafica de momentos de torsión de un motor. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

2.4.2.2.4 Motor eléctrico rotor jaula de ardilla.

Un rotor de jaula de ardilla es la parte que rota usada comúnmente en un motor de inducción de corriente alterna. Un motor eléctrico con un rotor de jaula de ardilla también se llama "motor de jaula de ardilla". En su forma instalada, es un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.



Imagen 2. 45– Rotor Jaula de ardilla de una bomba centrífuga de agua. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

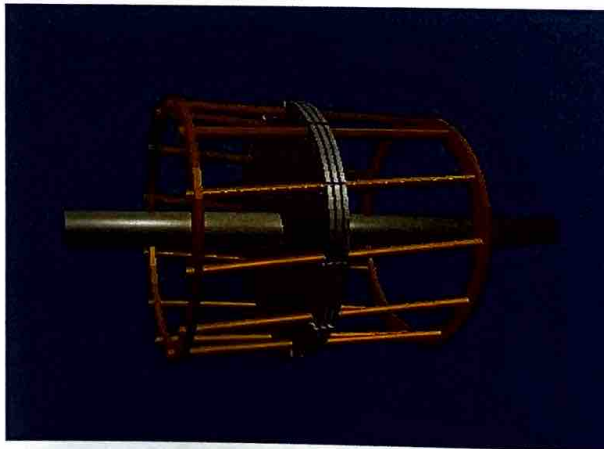


Imagen 2. 46– Esquema del rotor de jaula de ardilla. Fuente: Imágenes Google, julio 2020.

La base del rotor se construye con láminas de hierro apiladas. El dibujo muestra solamente tres capas de apilado, pero se pueden utilizar muchas más.

Los devanados inductores en el estátor de un motor de inducción incitan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, un flujo en las barras conductoras.

Alternadamente estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje. En efecto, el rotor se lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad se llama "deslizamiento" y aumenta con la carga.

A menudo, los conductores se inclinan levemente a lo largo de la longitud del rotor para reducir el ruido y reducir las fluctuaciones del esfuerzo de torsión que pueden resultar, algunas velocidades, y debido a las interacciones con las barras del estátor. El número de barras en la jaula de la ardilla se determina según las corrientes inducidas en las bobinas del estátor y por lo tanto según la corriente a través de ellas. Las construcciones que ofrecen menos problemas de regeneración emplean números primos de barras. El núcleo de hierro sirve para llevar a cabo el campo magnético a través del motor. En estructura y material se diseña para reducir al mínimo las pérdidas. Las láminas finas, separadas por el aislamiento de barniz, reducen las corrientes parásitas que circulan resultantes de las corrientes de Foucault (en inglés, 'Eddy current'). El material, un acero bajo en carbono, pero alto en silicio, con varias veces la resistencia del hierro puro, en la reductora adicional. El contenido bajo de carbono le hace un material magnético suave con pérdida baja por histéresis. El mismo diseño básico se utiliza para los motores monofásicos y trifásicos sobre una amplia gama de tamaños. Los rotores para trifásica tienen variaciones en la profundidad y la forma de las barras para satisfacer los requisitos del diseño. Este motor es de gran utilidad en variadores de velocidad.

2.4.3 Motores universales

Los motores universales trabajan con voltajes de corriente continua o corriente alterna. Tal motor, llamado universal, se utiliza en sierras eléctricas, taladros, utensilios de cocina, ventiladores, sopladores, batidoras y otras aplicaciones donde se requiere gran velocidad de giro con cargas débiles o fuerzas resistentes pequeñas.

Estos son motores para corriente alterna y directa, incluyendo los universales, se distinguen por su conmutador devanado y las escobillas. Los componentes de este motor son: Los campos (estátor), la masa (rotor), las escobillas (los excitadores) y las tapas (las cubiertas laterales del motor).

El circuito eléctrico es muy simple, tiene solamente una vía para el paso de la corriente, porque el circuito está conectado en serie. Su potencial es mayor por tener mayor flexibilidad en vencer la inercia cuando está en reposo, o sea, tiene un par de arranque excelente, pero tiene una dificultad, y es que no está construido para su uso continuo o permanente (durante largos períodos de tiempo).

Otra dificultad de los motores universales son las emisiones electromagnéticas. Las chispas del colector ("chisporroteos") junto con su propio campo magnético generan interferencias o ruido en el espacio radioeléctrico. Esto se puede reducir por medio de los condensadores de paso, de $0,001 \mu\text{F}$ a $0,01 \mu\text{F}$, conectados de las escobillas a la carcasa del motor y conectando ésta a masa. Estos motores tienen la ventaja de que alcanzan grandes velocidades de giro, pero con poca fuerza. Existen también motores de corriente alterna trifásica que funcionan a 380 V y a otras tensiones.

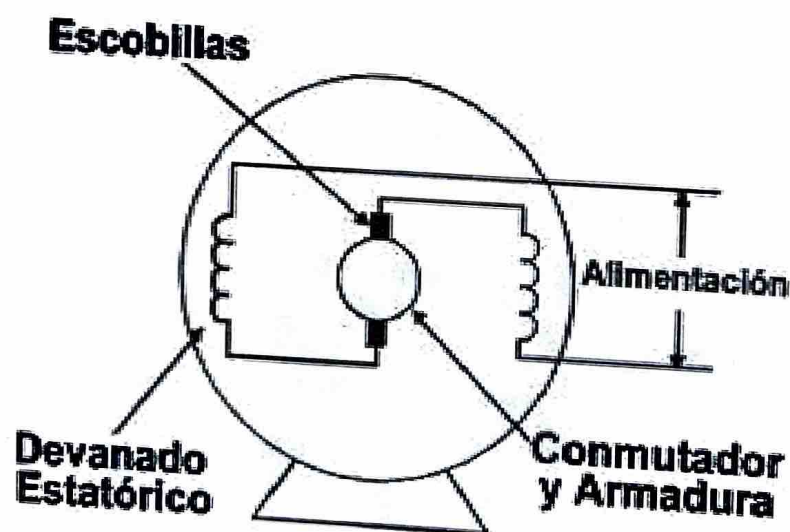


Imagen 2. 47– Diagrama básico de un motor universal. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2018.

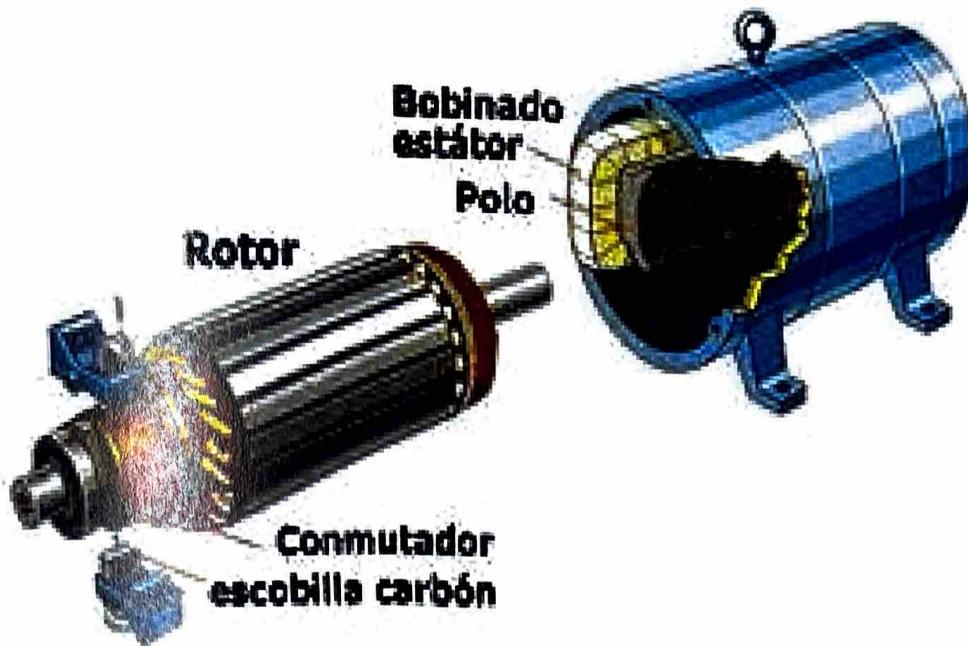


Imagen 2. 48– Partes de un motor universal. Fuente: Imágenes Google, septiembre 2018.

2.5 Mantenimiento a un motor eléctrico

Realizar mantenimientos a los Motores Eléctricos es de carácter delicado y se necesita realizar mantenimientos preventivos que permitan el óptimo funcionamiento y así evitar las paradas de equipos productivos.

Algunas recomendaciones básicas con el motor apagado:

- limpieza interior con aire seco a baja presión con aspirador.
- Comprobar conexiones y devanados.
- Examinar si existen señales de humedad grasa o aceite en el devanado.
- Probar resistencia en aislamiento y conexión a tierra.
- Comprobar carga en el arranque.
- Comprobar engrase y estado de los rodamientos cambiándolos si fuese necesario.
- Comprobar y equilibrar el motor.
- Comprobar el estado de la carcasa, amarres, conexiones, tornillos, ventilación.

Con el motor en marcha:

- Limpieza exterior.
- Comprobar la buena ventilación y calentamientos anormales.
- Observar ruidos anormales, olor a quemado, vibraciones.
- Comprobar estado de rodamientos.
- Comprobar carga en los aparatos de medida.
- Comprobar que las partes en movimiento giren libremente, por ejemplo: cadenas, bandas o correas, poleas sobre las protecciones.
- comprobar influencia de los agentes exteriores tales como el polvo, agua, aceite, ácidos o gases.

2.5.1 Programa de mantenimiento preventivo de un motor eléctrico

Este programa será abordado detenidamente en el capítulo VI de este documento. Para tener una idea de un plan de mantenimiento preventivo adelante se enumeran algunas actividades de mantenimiento para motores eléctricos.

- ☐ Limpieza exterior = cada dos semanas.
- ☐ Comprobar vibración y calentamientos anormales = cada 3 semanas.
- ☐ Comprobar estado de rodamientos = cada 4 meses.
- ☐ Comprobar carga = cada 4 meses.
- ☐ Comprobar roses de cadenas poleas y bandas = cada 4 meses.
- ☐ Limpieza general (interior-exterior) = anual.
- ☐ Comprobar conexiones = anual.
- ☐ Observar si hay presencia de humedad, aceite o grasa = anual.
- ☐ Probar resistencia de aislamientos y puesta a tierra = semestral.
- ☐ Comprobar carga en vacío y en trabajo = trimestral.
- ☐ Comprobar lubricación y estado de rodamientos a detalle = anual.
- ☐ Comprobar y equilibrar el rotor = cada dos años.
- ☐ Comprobar estado de carcasa, amares, conexiones, tornillos y tuercas de sujeción. = anual.

2.6 Aplicaciones de los motores eléctricos

Un motor eléctrico usa la energía eléctrica para producir energía mecánica, a través de la interacción de campos magnéticos y conductores corriente. El proceso inverso, produce energía eléctrica desde la energía mecánica y es llevado a cabo por un generador o dínamo. Los motores de tracción usados en vehículos a menudo realizan ambas tareas. Muchos tipos de motores eléctricos pueden ser usados como generadores, y viceversa.

Los motores eléctricos son encontrados en aplicaciones tan diversas como:

- abanicos industriales, sopladores y bombas, máquinas, herramientas, aparatos electrodomésticos, herramientas eléctricas, y unidades de disco. Estos pueden ser impulsados por la corriente directa o por la corriente alterna de una rejilla de distribución eléctrica central.

Los motores más pequeños pueden ser encontrados en:

- Relojes de pulsera eléctricos.

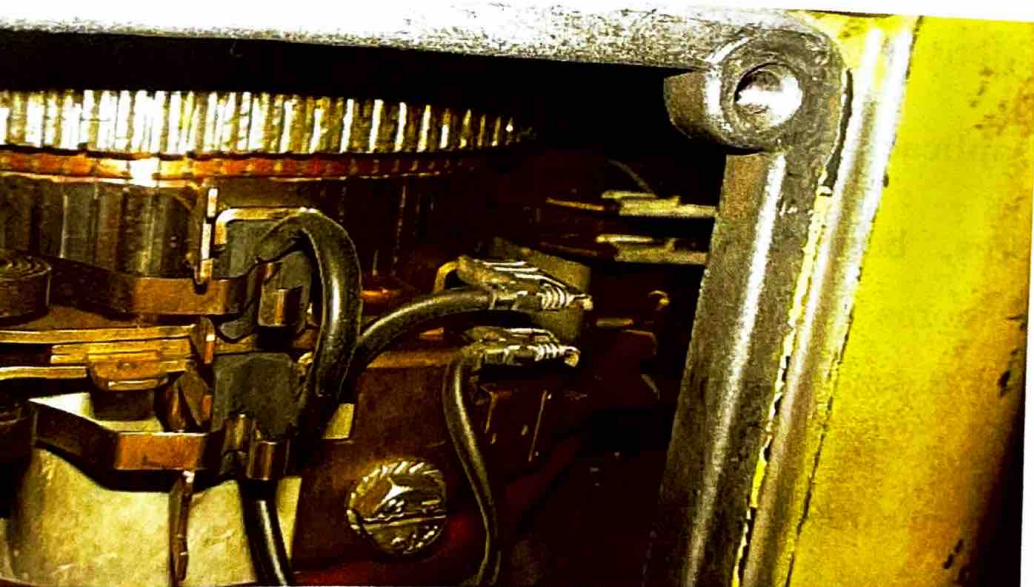
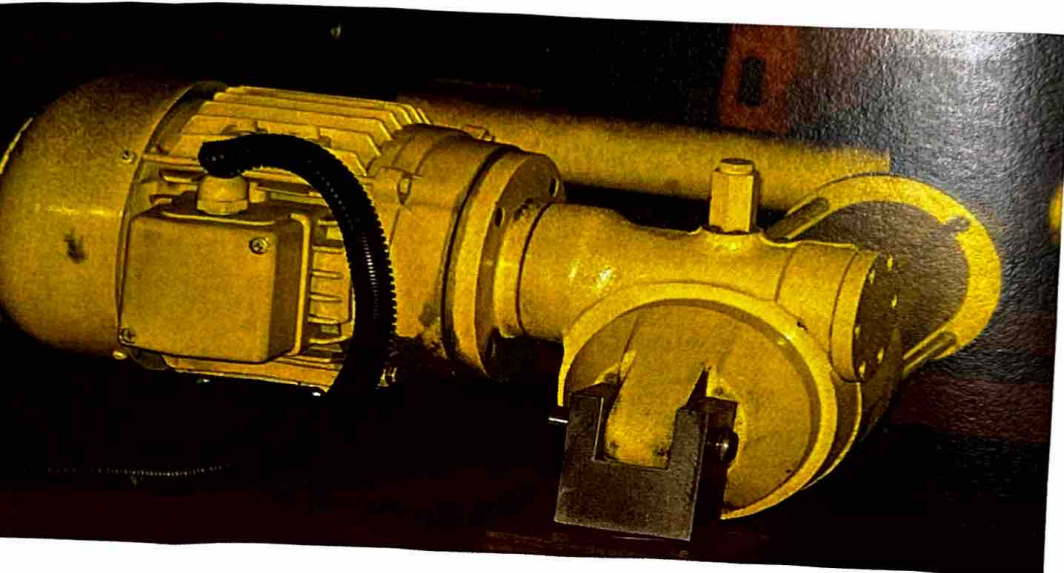
Los motores de tamaño medio de dimensiones y características muy estandarizadas proporcionan el poder mecánico conveniente para usos industriales.

Los motores eléctricos mucho más grandes son usados para la propulsión de grandes barcos, y para objetivos tales como compresores de tubería.

Lista de aplicaciones de los motores eléctricos

Ascensores, bombas centrifugadas, bombas de desplazamiento alternativo, bandas transportadoras, trituradoras, ventiladores, máquinas tipo herramientas, embotelladoras, compresoras de arranque sin carga, hiladoras, desmenuzadoras de alimentos, industria textil, roscadoras, cepilladoras, grúas, sopladoras, molinos, industrias de cauchos, industria petrolera, máquinas de labrar madera, sierras, amoladoras, montacargas, máquinas de lavanderías, industria papelera, fábricas de cemento.

En las siguientes imágenes se puede observar una Cortadora automática Bierrebi LTE 208 donde se pueden apreciar los diferentes tipos de motores que la componen.



motores eléctricos de una Cortadora automática Bierrebi LTE 208. Fuente: Imagen propia

CAPITULO III – EL DESARROLLO DE LA TERMOGRAFÍA

3.1 Historia

Con el descubrimiento de la electricidad y el magnetismo surge al mismo tiempo el término de espectro electromagnético.

Durante las primeras tres cuartas partes del siglo veinte, el espectro electromagnético tuvo un papel determinante no sólo en la creación de nuevas y vastas industrias, sino que también modificó la comunicación entre los seres humanos.

El conocimiento del magnetismo, aunque no la comprensión del mismo, tiene sus orígenes en la Antigüedad. Desde Tales, que, según la tradición, fue el primero en advertir que ciertas rocas atraían el hierro, pasando por Petrus Peregrinus, que inventó la aguja de la brújula, se llega a William Gilbert, quien introdujo el estudio del magnetismo a la era del experimento numérico.

Mucho tiempo después de Gilbert, el conocimiento de los fenómenos eléctricos progresaba paralelamente a la investigación sobre el magnetismo, sin relacionarse con ella. Esta relación ocurrió hasta 1819, cuando el físico danés Hans Oersted, al impartir una clase en la Universidad de Copenhague, acercó la aguja de la brújula a un alambre a través del cual pasaba corriente eléctrica. La aguja se crispó y luego giró; haciendo un ángulo recto con la corriente.

André Marie Ampere, George Ohm y Charles Augustin de Coulomb son tres de los científicos que en el primer tercio del siglo diecinueve empezaron a reconocer los vínculos existentes entre la electricidad y el magnetismo. Luego vinieron Faraday y Maxwell, y así empezaron a nacer aplicaciones que hoy son cotidianas en nuestra vida, tales como: los rayos X, los radares, la radio y la televisión.⁴

Gran parte de los conocimientos que tenemos del Universo, los obtenemos a través del análisis del espectro. Con él, podemos averiguar parámetros físicos tan importantes como la

⁴ SEARS, Francis. ZEMANSKY, Mark. Física Universitaria volumen 2. 2005

composición química, temperatura, presión, densidad, velocidad radial, frecuencia de rotación, entre otros.

En 1666 Isaac Newton hizo uno de los más importantes descubrimientos en la historia de la Astronomía: el espectro. En una habitación oscura, hizo pasar luz solar a través de una pequeña abertura circular en una persiana. Colocó varias lentes y un prisma, y detrás de éste vio diferentes colores. Encontró una explicación más aclaradora cuando cubrió el agujero con un trozo de papel en el que había realizado una hendidura paralela a una de las caras del prisma. Los colores se superponían uno sobre otro. El prisma había dividido la luz solar en los colores del arco iris. Dio a este fenómeno el nombre latino "spectrum", en inglés "ghost".

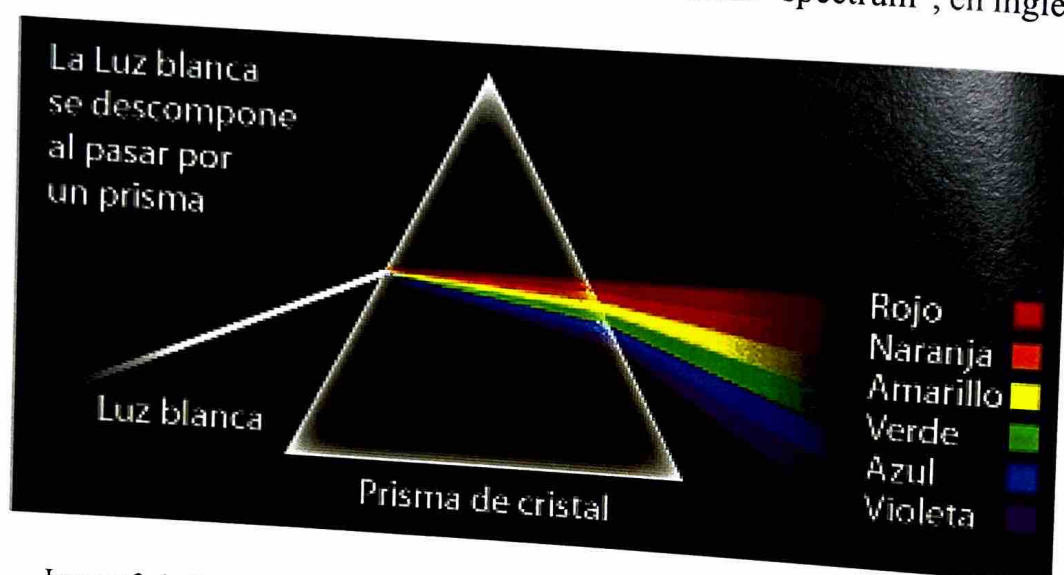


Imagen 3. 1– Experimento Isaac Newton “espectro”. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

La conclusión de Newton fue que la luz estaba constituida por innumerables partículas microscópicas coloreadas (corpúsculos), que eran emitidas a altas velocidades por una fuente de luz como el Sol. Todas juntas, parecían blancas ante nuestros ojos. Un prisma es capaz de separarlas según su color.⁵

La radiación infrarroja tal y cual como la conocemos se descubrió en el año 1800, y lo hizo Sir Frederick William Herschel (1738-1822) fascinado con el descubrimiento anterior que había realizado Sir Isaac Newton, que la luz se descomponía en los colores que descomponen el arcoíris, hizo estudios mediante el uso de termómetros de bulbo, y un prisma

⁵ Alberto García. Breve historia del espectro. Revista “ESTELA” 1999

para descomponer la luz, buscaba cual era la temperatura de cada uno de los colores en los cuales se descompone la luz blanca, utilizó diferentes termómetros, uno de ellos alejado de la luz, fuera del espectro visible, para su sorpresa, a pesar de no tener incidencia directa de algún rayo de luz, la temperatura de este estaba elevada aún más que los demás que tenían incidencia directa de la luz, Sir Frederick William Herschel había descubierto un espectro de luz, que a nuestro ojos no era percibida, en su momento la llamo “rayos caloríficos” y descubrió que tenía un comportamiento similar a la luz visible, encontró que eran reflejados, refractados, absorbidos y transmitidos igual que la luz visible.

Sir Frederick William Herschel descubrió lo que ahora llamamos radiación infrarroja, un espectro de luz imperceptible a nuestros ojos, el cual no sería perceptible a los ojos humanos hasta 1920 en el cual los avances técnicos permitieron medir esta radiación, fue hasta después que se logró medir la temperatura mediante el uso de esta radiación. En la segunda guerra mundial, tiene un auge muy importante en el desarrollo armamentístico, se implementa la radiación infrarroja con fines bélicos, cuyo principal uso era el de guiar misiles mediante el uso de infrarrojos.

Tras el final de la guerra el desarrollo de las cámaras termográficas continuó en 1960 la empresa sueca AGA lanzó la primera cámara termográfica con propósitos civiles y fines comerciales, en 1965 lo que más tarde se convertiría en FLIR Systems vendería su primer cámara termográfica de uso comercial para la inspección de cables de alimentación de alta tensión.

Hasta entonces las cámaras termográficas eran grandes y pesadas, fue después de 1980 cuando aparecieron mucho más manejables, con el desarrollo de la informática en los 90 provocó un desarrollo importante convirtiéndolas en parte importante del mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las máquinas, entre ellas el motor eléctrico.

3.2 Espectro electromagnético

El espectro electromagnético (o simplemente espectro) es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo. Se piensa que el límite de la longitud de onda corta está en las cercanías de la longitud Planck (el valor es muy pequeño cerca de $1,6 \cdot 10^{-35}$ metros), mientras que el límite de la longitud de onda larga es el tamaño del universo mismo, aunque en principio el espectro sea infinito y continuo.

El espectro electromagnético cubre longitudes de onda muy variadas. Existen frecuencias de 30 Hz y menores que son relevantes en el estudio de ciertas nebulosas. Por otro lado se conocen frecuencias cercanas a $2,9 \times 10^{27}$ Hz, que han sido detectadas provenientes de fuentes astrofísicas.

La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia f asociada y una energía de fotón E . Por tanto, el espectro electromagnético puede ser expresado igualmente en cualquiera de esos términos. Se relacionan en las siguientes ecuaciones:

$$c = f\lambda \text{ o lo que es lo mismo } \lambda = \frac{c}{f}$$

$$E = hf \text{ o lo que es lo mismo } E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde $c = 299,792,458$ m/s (Velocidad de la luz); λ = longitud de onda; f = frecuencia

h = Constante de Planck = 6.626069×10^{-34} J · s = 4.13567 μ eV/GHz

Por lo tanto, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía mientras que las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y poca energía.

Ejemplo.

Las ondas de radio en la región AM tienen frecuencias en el rango de 550 kHz a 1600 kHz. Para calcular la longitud de onda que corresponde a una onda de radio de una frecuencia de 1,255 MHz se sigue el siguiente procedimiento.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299,792,458 \frac{m}{s}}{1,255 \times 10^6 \frac{1}{s}} = 0.23 \text{ m}$$

El espectro electromagnético es un conjunto de ondas que van desde las ondas con mayor longitud como las ondas de radio, hasta los que tienen menor longitud como los rayos Gamma. Entre estos dos límites están:

- las ondas de radio.
- las microondas.
- los infrarrojos.
- la luz visible.
- la luz ultravioleta y
- los rayos X.

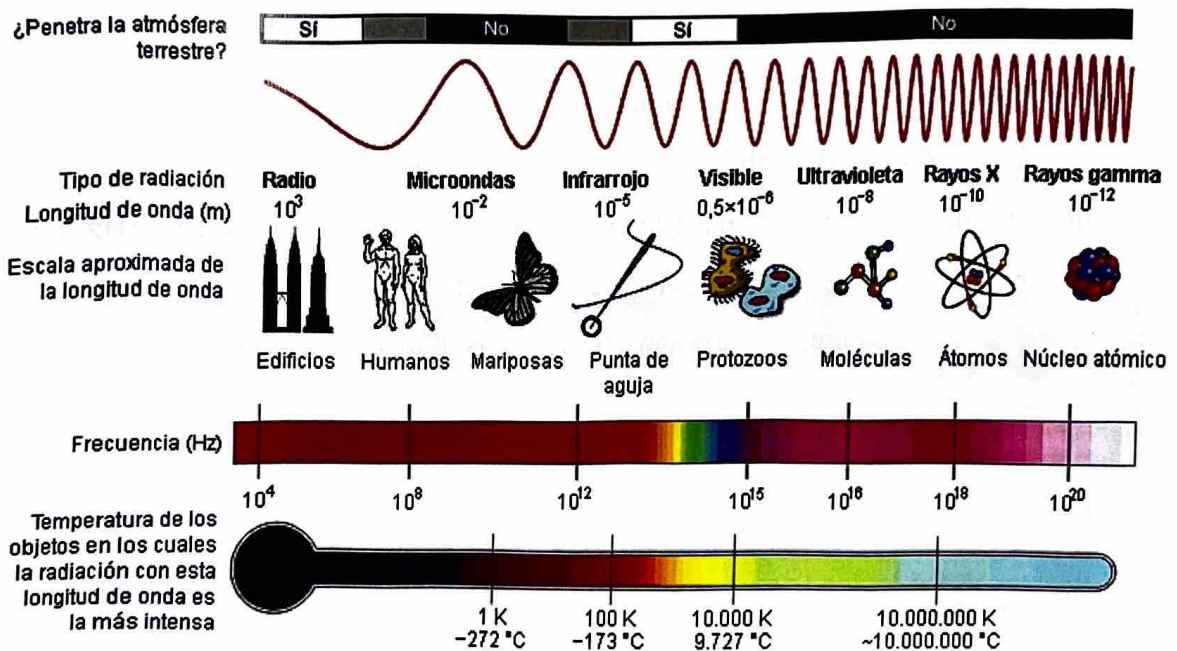


Imagen 3. 2– Espectro electromagnético. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

La imagen 3.2 muestra características adicionales de las diferentes longitudes de onda como son: su capacidad de ingresar en la atmósfera terrestre, una comparación de las mismas con objetos conocidos incluyendo seres vivos y la temperatura a la que, cada una de esas radiaciones, es más intensa.

En la siguiente tabla se muestra cómo se divide el espectro electromagnético, empezando con la que tiene mayor longitud de onda o frecuencia más baja.

www.moncler.com		Longitud de onda	Frecuencia	Energía
Radio	Muy Baja Frecuencia	> 10 km	< 30 KHz	< $1.99 \cdot 10^{-29} \text{ J}$
	Onda Larga	< 10 km	> 30 KHz	> $1.99 \cdot 10^{-29} \text{ J}$
	Onda media	< 650 m	> 650 KHz	> $4.31 \cdot 10^{-26} \text{ J}$
	Onda corta	< 180 m	> 1.7 Mhz	> $1.13 \cdot 10^{-27} \text{ J}$
	Muy alta frecuencia	< 10 m	> 30 Mhz	> $2.05 \cdot 10^{-26} \text{ J}$
	Ultra alta frecuencia	< 1 m	> 300 Mhz	> $1.99 \cdot 10^{-25} \text{ J}$
Microondas		< 30 cm	> 1.0 Ghz	> $1.99 \cdot 10^{-24} \text{ J}$
Infrarrojo	Lejano / submilimétrico	< 1 mm	> 300 Ghz	> $199 \cdot 10^{-24} \text{ J}$
	Medio	< 50 μm	> 6.0 Thz	> $3.98 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
	Cercano	< 2.5 μm	> 120 Thz	> $79.5 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
Luz Visible		< 780 nm	> 384 Thz	> $255 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
Ultravioleta	Cercano	< 380 nm	> 789 Thz	> $523 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
	Extremo	< 200 nm	> 1.5 Phz	> $993 \cdot 10^{-21} \text{ J}$
Rayo X		< 10 nm	> 30.0 Phz	> $19.9 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
Rayos Gamma		< 10 pm	> 30.0 Ehz	> $19.9 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

Imagen 3. 3– División del espectro electromagnético. Fuente: Imágenes Google, agosto 2018.

3.2.1 Ondas de radio

Longitudes de onda entre 10 m a 10,000 m; frecuencias entre 104 Hz a 107 Hz. Las ondas electromagnéticas en esta parte del espectro se reflejan muy bien en las capas de iones, cargadas eléctricamente, que existen en las capas altas de la atmósfera (ionosfera). Esta reflexión hace que sea posible detectar ondas de radio a grandes distancias de la fuente. Como las señales de radio tienen longitudes de onda desde decenas a miles de metros, pueden difractarse alrededor de pequeños obstáculos, como árboles o edificios, que no impiden su transmisión, pero colinas de cierta consideración y cadenas montañosas generan “zonas de sombra” donde la señal no llega.

Las ondas de radio que pueden viajar largas distancias, bien directamente o usando repetidores, son muy útiles para transportar información. Se emplean no solo para las transmisiones de radio convencional sino también en telefonía móvil mediante “células” geográficas (de aquí, telefonía celular) cuyo núcleo es un solo transmisor de radio (antena de telefonía). Un teléfono móvil no deja de ser un transceptor de radio celular, puesto que recibe y envía señales de radio.

El descubrimiento de las ondas de radio y su uso en comunicaciones era algo que tenía que suceder tarde o temprano después de los experimentos de Hertz y, por ello, en la última década del XIX y primeros años del siglo XX el descubrimiento se produce de forma independiente en varios lugares. Así, Aleksandr Stepánovich Popov hizo sus primeras demostraciones en San Petersburgo (Rusia); Nikola Tesla en San Luis (Misuri, EE.UU.); Guglielmo Marconi en el Reino Unido o el comandante Julio Cervera en España.

Con todo, su desarrollador comercial fue Marconi, quien en 1909 recibiría el premio Nobel de física, compartido con Karl Ferdinand Braun, de quien Marconi admitió haber tomado “prestada” la patente del rectificador de cristal en sus experimentos de “telegrafía sin hilos”. También tomó prestadas varias patentes de Tesla, quien, se dice, rechazó el premio por no querer compartirlo con Marconi, a quien consideraba indigno del honor.

La cuestión es que Marconi, el más industrial de todos los implicados, consiguió enviar una señal de radio desde Nueva Escocia (Canadá) a Irlanda en diciembre de 1902. En enero de 1903 el presidente de los Estados Unidos mandaba un mensaje por radio desde una estación construida por Marconi en Massachusetts al rey Eduardo VII de Inglaterra. En 1904 los barcos que cruzaban el Atlántico ya podían suscribirse a un servicio de noticias nocturno.⁶

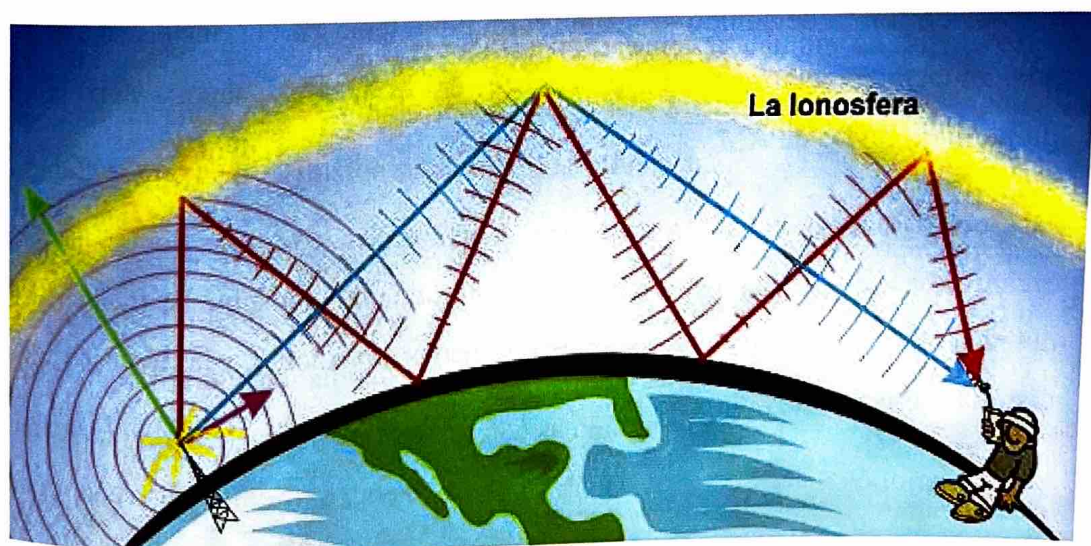


Imagen 3. 4- Ondas de radio frecuencia. Fuente: Cuaderno de cultura científica, agosto 2016.

⁶ Cesar López. Electromagnetismo. Cuaderno de cultura científica, agosto 2016.

Quedaba así demostrado que la comunicación a larga distancia por ondas de radio era posible porque las ondas se reflejaban en, por la entonces solo hipotética, ionosfera, salvando de esta manera la curvatura de la Tierra. La hipótesis de la existencia de la ionosfera la formuló en 1839 Carl Friedrich Gauss para explicar las variaciones observadas en el magnetismo terrestre.

La comunicación por radio se consigue cambiando la señal según un código preacordado entre emisor y receptor. Las primeras comunicaciones por radio se consiguieron simplemente encendiendo y apagando el transmisor según un patrón. El patrón más popular fue el desarrollado por Samuel Morse y Alfred Vail para su uso en el telégrafo; hoy diríamos que el código Morse es digital. Posteriormente, se codificaron sonidos mediante variaciones continuas en la amplitud (la intensidad) de la onda que se emitía. Esto se conoce como modulación de amplitud o amplitud modulada (AM); los receptores domésticos pueden captar la “onda media” (OM) en AM, esto es, entre los 500 y los 1700 kilohertz. Más recientemente, la información pudo codificarse como variaciones en la frecuencia de la onda emitida, lo que se conoce como frecuencia modulada (FM).

En radiodifusión, la decodificación se realiza en el receptor llevando la señal a un altavoz, que realiza el proceso inverso al micrófono en el emisor, teniendo el mensaje que sale del receptor en forma de sonido la misma forma que tenía en el transmisor. Las emisoras de radio anuncian regularmente su frecuencia de emisión, en megahertz (MHz) las de FM y en kilohertz (kHz) las de AM.

Para evitar que las emisoras se interfirieran entre sí o con otras comunicaciones existen organismos locales, nacionales e internacionales que regulan tanto las frecuencias, como las potencias de emisión, generales y en determinadas direcciones, y las horas de emisión de las distintas emisoras de radio.

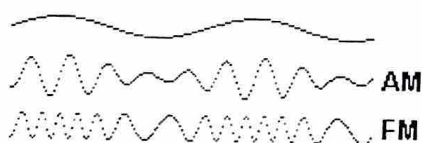


Imagen 3. 5– Tipos de ondas de radio. Fuente: Cuaderno de cultura científica, agosto 2016

3.2.2 Televisión y radar.

Longitudes de onda de alrededor de 1 m; frecuencias del orden de 10^8 Hz.

Las ondas con frecuencias de 10^8 Hz no se reflejan en las capas cargadas de la parte alta de la atmósfera conocidas como ionosfera. Por contra, las señales enviadas en estas frecuencias viajan prácticamente en línea recta llegando al espacio. De ahí que estas ondas electromagnéticas se usen en la comunicación con los satélites artificiales. Pero siguen viajando indefinidamente, por ello Carl Sagan consideró la posibilidad de que el discurso de inauguración de las Olimpiadas de Berlín de 1936 de Adolf Hitler, retransmitido por televisión en este rango de frecuencias, hubiese sido recibido por alienígenas.

Pero, sin la capacidad de reflejarse en la ionosfera como las ondas de radio, las señales de televisión no pueden recibirse directamente entre puntos que disten más de 80 km, aunque no haya montañas de por medio. Por eso la televisión moderna emplea satélites como repetidores de la señal, que la reenvían bien a un particular equipado con una antena parabólica o bien a una empresa de telecomunicaciones que después envía la señal a los hogares bien a través de una red de repetidores, bien vía cable.

En la televisión se transmiten tanto el sonido como la imagen desglosada en tres colores primarios, empleando para ello tanto la modulación de amplitud como la de frecuencia (véase 3.2.1 Ondas de radio). La frecuencia de la onda se cambia de tal manera que se convierte en un análogo del sonido, mientras que la imagen se transmite modulando la amplitud. Este tipo de transmisión se conoce como onda análoga.

La televisión basada en ondas análogas, televisión analógica, se está viendo reemplazada por la televisión digital (con el adjetivo “terrestre”, TDT, si usa repetidores en tierra). En la televisión digital la onda análoga se aproxima mediante una serie de ceros y unos que se convierten en pulsos electromagnéticos y que se comprimen por el emisor, se transmiten al receptor, que los descomprime y reconvierte en ondas de luz y sonido continuas.

Las señales con longitudes de onda de solo un 1 m no se difractan demasiado por los objetos que tengan dimensiones de varios metros, como coches, barcos o aviones. Por eso las partes reflejadas de las señales que van de 1 m a 1 mm pueden usarse para detectar dichos objetos a distancia.

De hecho, la interferencia entre las ondas directas y las reflejadas por los aviones pueden distorsionar la imagen de televisión considerablemente.

Pero si la señal se emite en forma de pulsos, el tiempo entre la emisión de un pulso y la recepción de su eco, no solo sirve para detectar un objeto distante, sino que además permite medir fácilmente la distancia a la que se encuentra el objeto que origina la reflexión. Esta técnica pasó a llamarse detección y medición de distancia por radio o, en inglés, radio detection and ranging, radar para abreviar.

Usando la reflexión de un haz electromagnético emitido en forma de pulsos, la técnica del radar permitía determinar la distancia y la dirección (por mediciones repetidas) de un objeto, especialmente una aeronave. Esto es muy útil en los aeropuertos, pero su primer uso importante fue para alertar a los pilotos de los cazabombarderos de la RAF británica de que se aproximaban bombarderos alemanes durante la Segunda Guerra Mundial, en el intento de Hitler de arrasarse Londres.⁷

3.2.3 Microondas e infrarrojo

Microondas. Longitudes de onda de 10^{-1}m a 10^{-4}m ; frecuencias entre 10^9 y 10^{12}Hz .

Al igual que las ondas de televisión, las microondas tampoco rebotan en la ionosfera. Por el contrario, atraviesan esta capa atmosférica con facilidad. Estas ondas pueden emplearse, por tanto, para comunicarse con dispositivos mucho más allá de la atmósfera terrestre, como los que se emplean en la exploración espacial.

La radiación de microondas también interactúa fuertemente con las partículas cargadas de la materia ordinaria, de ahí que tenga otros usos además de las comunicaciones. Cuando se irradia con microondas la materia absorbe la energía de las microondas. Este comportamiento se usa en los hornos microondas, en los que la energía cinética de las cargas de la comida que oscilan por efecto de la radiación aparece como energía térmica, calentando la comida muy rápidamente.

⁷ Cesar López. Electromagnetismo. Cuaderno de cultura científica “Televisión y radar”, agosto 2016.

El agua, por ejemplo, absorbe energía muy rápidamente si la radiación incidente tiene una longitud de onda del orden de 10 cm. Cualquier sustancia con un mínimo de humedad, sea carne, pescado, sopa, o masa pastelera, que esté en una región del espacio donde existe una intensa radiación de esta longitud de onda, como un horno microondas, se calentará muy rápidamente. Como el calor se genera en el interior de la propia materia, en vez de llegar por conducción desde un exterior más caliente, como en el caso de un horno convencional, la comida se cocina más rápidamente en un horno microondas.

Es importante asegurarse de que la radiación se mantiene dentro del horno comprobando que no tiene desperfectos, porque la exposición repetida de tejido vivo a las microondas lo puede dañar.

Radiación infrarroja. Longitudes de onda de 10^{-4}m a 10^{-6}m ; frecuencias entre 10^{12} y 10^{-14} Hz.

La radiación en esta región del espectro electromagnético, justo por debajo (infra) del rojo del espectro visible, se suele conocer como radiación térmica, porque transmite, precisamente, la energía térmica. Como resultado de las vibraciones de las cargas dentro de las moléculas, que no son otra cosa esas vibraciones que la propia energía térmica de las moléculas, todos los objetos por encima del cero absoluto, no digamos ya a la temperatura de una hoguera o a la de cualquier animal de sangre caliente, emite radiación electromagnética infrarroja.

La detección de infrarrojos es una forma que tienen algunos depredadores nocturnos de detectar a sus presas y su uso es uno de los métodos que emplean las cámaras de visión nocturna humanas. Lo que conocemos vulgarmente como el calor del Sol también llega a la Tierra en forma de radiación infrarroja.

El problema tecnológico y medioambiental que supone el calentamiento global está íntimamente relacionado con la radiación infrarroja. Como la Tierra recibe radiación infrarroja del Sol, su superficie se calienta, por lo que también emite radiación infrarroja que puede escapar al espacio. Sin embargo, la presencia de determinadas moléculas, como el vapor de agua del aire o las nubes, pueden reflejar parte de esta radiación de nuevo al suelo.

De hecho, la vida tal y como la conocemos es posible por este efecto, que mantiene la temperatura de la Tierra en un rango de equilibrio adecuado.

Es lo que se conoce como efecto invernadero, ya que los invernaderos, y los coches puestos al sol con las ventanillas cerradas, funcionan de la misma manera. Simplificando, las paredes y techo de vidrio de los invernaderos permiten que los rayos visibles del Sol los atraviesen, pero impiden que la radiación (y lo que es igualmente importante, el aire caliente) escapen, calentando el interior. Este efecto podemos comprobarlo a nivel atmosférico muy fácilmente, cuando el cielo está cubierto durante la noche la temperatura baja mucho menos que cuando el cielo está despejado.

Desde la Revolución Industrial del siglo XIX, los humanos hemos emitido y emitimos gran cantidad de gases producto de la quema de combustibles fósiles como el dióxido de carbono, el dióxido de azufre, el vapor de agua entre otros gases, además de partículas, que están contribuyendo a atrapar la radiación infrarroja que emite la superficie de la Tierra y que debería estar llegando al espacio, provocando de esta manera un calentamiento global.⁸

La luz infrarroja fue descubierta en el año 1800 por William Herschel (1738-1822), un astrónomo británico nacido en Alemania. Herschel estaba interesado en aprender cuánto calor pasaba a través de los filtros coloreados con los que observaba el Sol, ya que había notado que la cantidad de calor que transmitían dependía del color. Herschel pensó que los colores en sí podrían filtrar distintas cantidades de calor, por lo que diseñó un experimento muy original para comprobar su hipótesis. Herschel colocó un termómetro de mercurio en el espectro obtenido por un prisma de cristal con el fin de medir el calor emitido por cada color. Descubrió que el calor era más fuerte al lado de la franja roja del espectro, aunque observó que allí no había luz.

Esta fue la primera experiencia que demostró que el calor puede transmitirse por una forma invisible de luz. Herschel denominó a esta radiación “rayos calóricos”, denominación bastante popular a lo largo del siglo XIX que, finalmente, fue dando paso al más moderno de “radiación infrarroja”.

⁸ Cesar López. Electromagnetismo. Cuaderno de cultura científica “Microondas e infrarrojo”, agosto 2016.

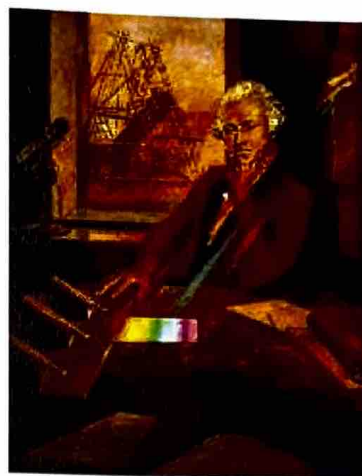


Imagen 3. 6– Experimento de William Herschel. Fuente: Imágenes de Google.

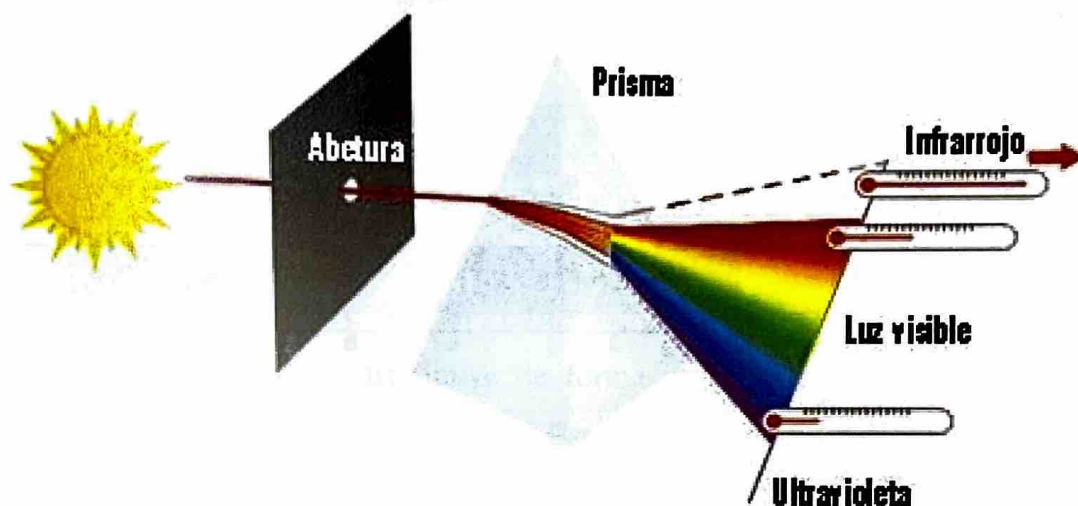


Imagen 3. 7– Experimento de William Herschel. Fuente: Imágenes de Google.

La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que el cero absoluto $0\text{ }^{\circ}\text{K}$ (grados kelvin), es decir, $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (grados Celsius).

El infrarrojo es un tipo de luz que no se puede ver con los ojos, estos solamente pueden ver lo que se llama luz visible. La luz infrarroja brinda una información especial que no se puede obtener de la luz visible: indica la temperatura de un objeto.

El nombre de infrarrojo significa por debajo del rojo pues su comienzo se encuentra adyacente al color rojo del espectro visible. Los infrarrojos se pueden categorizar en:

- Infrarrojo cercano ($0,78\text{-}1,1\text{ }\mu\text{m}$).
- Infrarrojo medio ($1,1\text{-}15\text{ }\mu\text{m}$).
- Infrarrojo lejano ($15\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$).

Lo más habitual es que los objetos emitan radiación en todas las longitudes de onda del espectro electromagnético. De todas estas radiaciones las cámaras termográficas suelen sólo trabajar entre 8µm y 14 µm porque las partículas (sobre todo las partículas de vapor de agua y las de dióxido de carbono) de la atmósfera absorben ciertas longitudes de onda y dejan lo que se llama “la ventana infrarroja” que permite que la energía captada por la cámara sea máxima.

Espectro electromagnético

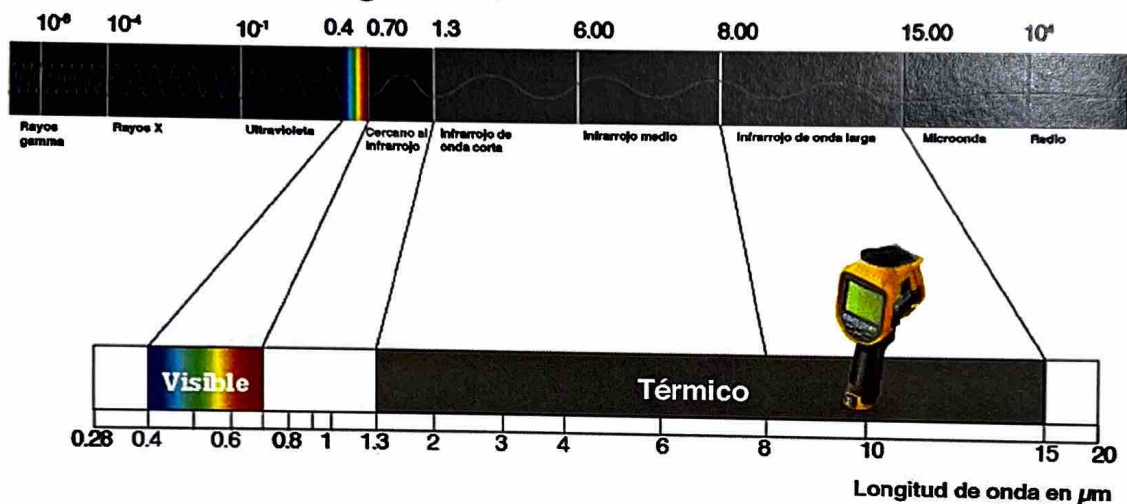


Imagen 3. 8– Espectro electromagnético “Radiación Infrarroja”. Fuente: Imágenes de Google.

3.2.4 Visible y ultravioleta.

Visible. Longitudes de onda de 7×10^{-7} m a 4×10^{-7} m; frecuencias entre 4×10^{14} y 8×10^{14} Hz

Esta pequeña banda de frecuencias se conoce como luz visible porque los receptores visuales de los ojos humanos solo son sensibles a estas frecuencias. Si la luz de este rango de frecuencias atraviesa un prisma de cristal o gotas de lluvia, la refracción diferente que experimentan las distintas frecuencias hace que los humanos perciban cada una como un color diferente (esta descomposición la llaman arco iris). Los humanos discriminan entre el rojo en un extremo (4×10^{14} Hz) y el violeta en el otro (8×10^{14} Hz).

Las frecuencias de la luz visible son aquellas en las que el Sol irradia energía en grandes cantidades. A lo largo de la evolución el ojo humano se ha ido especializando en usar esta abundancia. En la lucha por la supervivencia y la reproducción los humanos se convirtieron en criaturas diurnas. Otras especies, como muchos depredadores nocturnos, lo que incluye a gatos, perros y algunos marsupiales, han desarrollado la capacidad de usar pequeñas cantidades de luz visible para la visión nocturna, y algunos son incluso capaces de ver usando frecuencias que caen en la región infrarroja, invisible para los humanos.

Ultravioleta. Longitudes de onda de 10^{-7} m a 10^{-8} m; frecuencias entre 10^{15} y 10^{16} Hz.

Las ondas electromagnéticas con frecuencias, y energías, por encima del rango visible, a saber, ultravioleta, rayos X y rayos gamma, tienen en común que pueden dañar el tejido vivo, y pueden causar cáncer y mutaciones genéticas.

Si bien los rayos X y los rayos gamma son radiaciones perfectamente naturales en nuestro entorno, son mucho menos abundantes que los rayos ultravioletas, que nos llegan directamente del Sol y que, en cantidades moderadas, necesitamos para vivir. La existencia de una capa en la atmósfera disminuye de forma importante la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre. Esta capa contiene un alótropo del oxígeno, el ozono (O_3), que le da nombre.

En condiciones de la superficie terrestre dos átomos de oxígeno se combinan para formar oxígeno molecular, O_2 , que es el que respiramos. Sin embargo, en determinadas circunstancias, como las que provoca un rayo, tres átomos de oxígeno se unen débilmente para formar ozono. Este ozono en días calurosos puede combinarse con los gases de escape de los motores de combustión, creando las nubes de contaminación de las grandes ciudades. Sin embargo, en la parte alta de la atmósfera, el hecho de que esta molécula vibre con la frecuencia de los rayos ultravioletas hace que absorba (excitándose) y refleje parte de esta radiación de vuelta al espacio (al relajarse la molécula, emite en todas direcciones, incluidas la del espacio).

Desafortunadamente el desarrollo de los clorofluorocarbonos en los años treinta del siglo XX, ampliamente usados en la industria y en los hogares del mundo desarrollado en aerosoles y sistemas de refrigeración, se descubrió cincuenta años más tarde, que se emiten a la

atmósfera y alcanzan las capas superiores donde reaccionan con el ozono convirtiéndolo en oxígeno molecular, en una reacción en la que el cloro actúa como catalizador y donde la energía la proporciona la ultravioleta. Un solo ion cloro es capaz de destruir miles de moléculas de ozono.

La desaparición de la capa de ozono, especialmente apreciable en los polos terrestres, originó un aumento de los cánceres de piel y de las cataratas oculares.

Los clorofluorocarbonos se prohibieron en el año 2000, pero el cloro en la atmósfera emitido durante setenta años aún continuará ralentizando la restauración de la capa de ozono bastantes años más.⁹

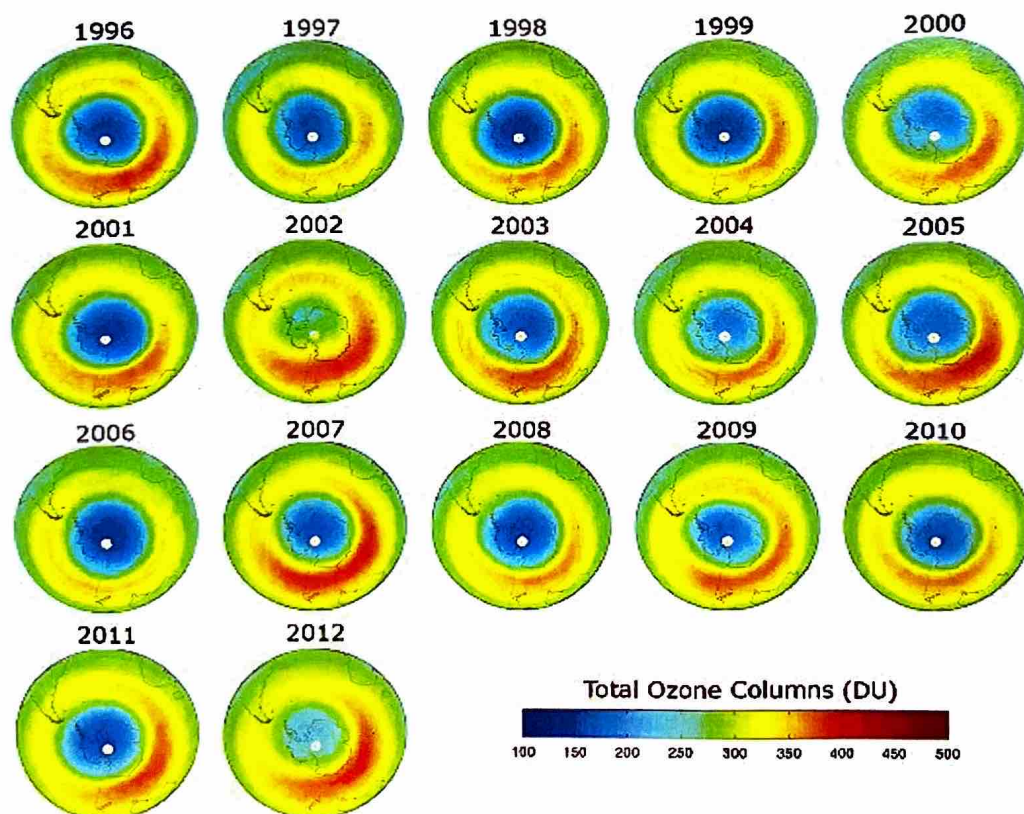


Imagen 3. 9- Evolución de la capa de ozono. Fuente: Cuaderno de cultura científica, agosto 2016.

⁹ Cesar López. Electromagnetismo. Cuaderno de cultura científica “Visible y ultravioleta”, agosto 2016.

3.2.5 Rayos X y Gamma.

Rayos X. Longitudes de onda entre 10^{-8} y 10^{-17} m; frecuencias entre 10^{16} y 10^{25} Hz.

Los átomos emiten radiación X cuando los electrones experimentan transiciones entre las capas más internas de los átomos. Este tipo de transiciones pueden producirse cuando un haz de los electrones rebota o se ve detenido por un blanco metálico.

La frecuencia y, por tanto, la energía máxima de la radiación que se genera viene determinada por la energía con la que los electrones llegan a la diana bombardeada (blanco con haz de electrones de alta energía). A su vez, esta energía depende del voltaje por el que se han acelerado los electrones. Por lo tanto, la frecuencia máxima de los rayos X depende del voltaje en el acelerador de electrones.

Cuanta más alta es la energía de los rayos X mayor es su capacidad de penetrar la materia. Pero la distancia de penetración también depende de la naturaleza del material a penetrar. Los rayos X se absorben fácilmente por los huesos, que contienen calcio, mientras que atraviesan con mucha más facilidad materiales mucho menos densos como la carne, que está constituida básicamente por átomos mucho más ligeros: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Estas propiedades de los rayos X, combinadas con su capacidad para interactuar con una placa fotográfica, han permitido el desarrollo de usos médicos espectaculares de la fotografía de rayos X. Como pueden dañar a las células vivas e incluso causar mutaciones genéticas, los rayos X deben emplearse con sumo cuidado y solo por personal cualificado. Estos mismos efectos permiten el uso de rayos X en algunos casos, en los que las células enfermas son más sensibles que las sanas, para el tratamiento con haces muy controlados de células cancerosas.¹⁰

Los rayos X producen efectos de interferencia cuando inciden en un cristal, en el que los átomos o las moléculas están ordenados siguiendo un patrón regular. Diferentes partes del haz de rayos X incidente se ven reflejados o difractados por los diferentes planos de átomos o moléculas que forman la estructura cristalina.

¹⁰ Cesar López. Electromagnetismo. Cuaderno de cultura científica "Rayos X y gamma", agosto 2016

Estos rayos reflejados pueden interferir constructivamente y este hecho puede usarse de dos maneras distintas. Si el espaciado de los átomos en el cristal es conocido, eso permite calcular la longitud de onda de los rayos X. Si, por el contrario, conocemos la longitud de onda de los rayos X, del patrón de difracción se puede deducir la distancia entre los planos del cristal y, de ahí, la estructura del cristal. Los rayos X se emplean en la actualidad de forma sistemática por químicos, físicos, cristalógrafos y biólogos para estudiar la estructura de cristales y moléculas complejas.

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el científico alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). En el primer párrafo de su comunicado a la Sociedad de Física y Medicina de Würzburg (1895) relata su descubrimiento del siguiente modo: “Cuando se deja pasar la descarga de una bobina de Ruhmkorff a través de un tubo de vacío Hittorf o de un Lenard suficientemente evacuado, Crooks o cualquier otro tubo parecido, cubierto con una camisa ceñida de cartón negro y fino, y en la habitación totalmente a oscuras se deja una placa de papel previamente recubierta de una capa de cianuro de bario y platino, ésta se ilumina cada vez que se produce una descarga, independientemente de que la superficie recubierta esté apuntando o no hacia el tubo. Dicha fluorescencia se produce hasta 2 metros de distancia del aparato. Es fácil convencerse de que la fluorescencia proviene del aparato de descarga eléctrica y no de cualquier otra parte de la línea.”¹¹



Imagen 3. 10- Descubrimiento de los rayos X en 1895. Fuente: Cristalografía “Rayos X”. Julio 2018.

¹¹ Dept. de Cristalografía y Biol. Estruct. Cristalografía “Rayos X”. Julio 2018.

Rayos gamma. Longitud de onda igual o menor a 10^{-17} m. Frecuencia igual o superior a 10^{25} Hz.

La región de los rayos gamma del espectro electromagnético se solapa con la de los rayos X. La radiación gamma es producto principalmente de los núcleos inestables de materiales radiactivos artificiales y naturales. También son un componente de la llamada radiación cósmica, radiación que baña la Tierra procedente del espacio exterior.

Los rayos gamma son la radiación más energética conocida y, en el caso de la radiación cósmica, están producidos por los acontecimientos más energéticos del universo, como las explosiones de supernovas. Muchos de los acontecimientos cósmicos que producen los rayos gamma observados no son comprendidos del todo y se está desarrollando toda una astronomía de rayos gamma para intentar comprenderlos.



Imagen 3. 11- Paul Ulrich Villard. Fuente: Imágenes de Google.

Paul Ulrich Villard (Saint-Germain-au-Mont-d'Or, Rhône, 28 de septiembre de 1860 - Bayona, 13 de enero de 1934) fue un químico y físico francés, recordado por su descubrimiento en 1900 de los rayos gamma mientras estudiaba la radiación que emana del radio.

Villard investigó la radiación de las sales de radio que escapaban por una estrecha abertura en un recipiente protegido sobre una placa fotográfica, atravesando una fina capa de plomo que se conocía era capaz de detener los rayos alfa. Fue capaz de demostrar que la radiación restante consistía en un segundo y tercer tipo de rayos: uno de ellos era desviado por un campo magnético y pudieron ser identificados por Ernest Rutherford como los rayos beta; el otro, era un tipo de radiación muy penetrante que no había sido identificada antes.

Villard era un hombre modesto y no sugirió nombre alguno para el tipo de radiación que había descubierto. En 1903, fue Rutherford quien propuso llamar rayos gamma a los rayos de Villard porque eran mucho más penetrantes que los rayos alfa y rayos beta que él mismo ya había diferenciado y nombrado (en 1899) basándose en su poder de penetración. El nombre propuesto por Rutherford quedo establecido desde esa fecha.

3.3 Teoría de termografía y calor.

El descubrimiento de la radiación infrarroja se produjo en 1800, por el astrónomo y músico alemán Sir Frederick William Herschel, descubridor del planeta Urano en 1781. Al hacer pasar la luz solar a través de un prisma, observó, al igual que ya había descrito el investigador italiano Landriani en 1777, que la temperatura aumentaba al desplazar un termómetro desde la zona de color violeta hacia la zona de color rojo del espectro visible. Sin embargo, Herschel fue el primero en darse cuenta de que al mover el termómetro más allá de la zona del rojo, la temperatura seguía aumentando. Por primera vez se demostró empíricamente que existían formas de luz invisibles al ojo humano.

El espectro electromagnético se divide arbitrariamente en varias zonas con distintas longitudes de onda. Todas las radiaciones que forman parte del espectro están regidas por las mismas leyes, las únicas diferencias se deben a su longitud de onda.

Nuestros ojos son órganos fotorreceptores que han evolucionado para detectar la radiación electromagnética exclusivamente en el espectro de la luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como la infrarroja, es invisible para el ojo humano.

Todos los días estamos expuestos a la intensa radiación infrarroja emitida por el Sol, el fuego o un radiador. Aunque nuestros ojos no la vean, tenemos terminaciones nerviosas en la piel que perciben la correspondiente sensación térmica. Cuanto mayor sea la temperatura de un objeto, más radiación infrarroja emitirá.

En 1909, el físico alemán Max Planck enunció la ley que describe la emisión térmica. De esta ley se deducen las leyes de Wien y la de Stefan-Boltzmann (Tipler y Mosca 2010)¹², que se discuten a continuación.

Para expresar matemáticamente la observación empírica de que los colores varían del rojo al naranja o amarillo a medida que aumenta la temperatura de un radiante térmico, el físico alemán y premio Nobel en 1911, Wilhelm Wien, enunció la ley que indica que la longitud de onda a la que se irradia la máxima energía ($\lambda_{\text{máx}}$) multiplicada por la temperatura absoluta T tiene un valor constante: $\lambda_{\text{máx}} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Por lo tanto, $\lambda_{\text{máx}} = 2898 \mu\text{m} \cdot \text{K} / T$.

La longitud de onda del color es la misma que la longitud de onda calculada para la $\lambda_{\text{máx}}$. Así, un objeto de hierro a temperatura ambiente (300 K), presenta un pico de emitancia¹³ radiante a $9,7 \mu\text{m}$, en el infrarrojo lejano, que nuestros ojos no son capaces de percibir, pero sí puede detectarse mediante una cámara de infrarrojos. Sin embargo, al calentarlo, la longitud de onda emitida se aproxima a la zona del espectro visible, por el lado del color rojo, y el metal adquiere una tonalidad anaranjada. Conforme a la ley de Wien, al aumentar la temperatura la longitud de onda emitida por la radiación va disminuyendo.

¹² Tipler y Mosca (2010) Física para la ciencia y la tecnología 6ta edición,

¹³ Emitancia: En fotometría, la emitancia o emitancia luminosa, es la cantidad de flujo luminoso que incide por unidad de área.

A partir la ley de Wien, de gran utilidad para el análisis de los astrofísicos, se ha podido determinar que la superficie del Sol se encuentra a unos 6000 K, emite luz amarilla y el máximo de su espectro se sitúa a unos 0,5 μm , en el centro del espectro de la luz visible.

La estrella más brillante del firmamento sirio (Alfa Canis Maioris), con temperatura superficial de 10000 K, emite una luz blanca azulada, con el pico de su emitancia radiante espectral dentro de la banda del ultravioleta invisible, a una longitud de onda de 0,27 μm .

La ley de Stefan-Boltzmann, enunciada por los austriacos Josef Stefan y Ludwig Boltzmann, afirma que la intensidad irradiada E (energía por unidad de superficie y de tiempo; también denominada emitancia) por el cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta: $E = \sigma T^4$, siendo $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$. Así, un pequeño aumento de la temperatura se traduce en un gran aumento de la luminosidad. Esto significa que si un cuerpo se encuentra a una temperatura de 576 K (273 °C) emitirá dieciséis veces más energía que cuando se encuentre a la mitad de temperatura, esto es, a 273 K (0 °C).

La ecuación de Stefan-Boltzmann describe las relaciones que permiten que el calor se transmita en forma de radiación. Por tanto, todos los cuerpos por encima del cero absoluto (0 K, -273 °C) emiten radiación e irradian calor.

Cuando se trata de un cuerpo real (cuerpo gris), la ley de Stefan-Boltzmann se expresa en la forma $E = \epsilon \sigma T^4$, donde ϵ es la emisividad ($0 < \epsilon < 1$), propiedad que indica la relación entre la radiación emitida por una superficie real y la emitida por el cuerpo negro a la misma temperatura.

Para el cuerpo negro $\epsilon = 1$; cuanto menor sea el valor de la emisividad, como la que presentan los metales pulidos, mayor será el porcentaje de radiación reflejada (reflectancia).

Un cuerpo negro es un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él. Nada de la radiación incidente se refleja o pasa a través del cuerpo negro.

La tecnología infrarroja ha desarrollado dispositivos ópticos que detectan y miden la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. A mediados del siglo XX se crearon, con fines militares, las primeras cámaras que detectaban la radiación infrarroja. Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XXI en que, gracias al rápido progreso de la microtecnología se

diseñaron cámaras infrarrojas mucho más sencillas, ligeras y asequibles. A medio plazo, esta tecnología estará presente en todo tipo de dispositivos electrónicos de captación de imágenes y su uso será masivo.

Los objetos con alta emisividad tienen baja reflectancia (capacidad de un cuerpo de reflejar luz) y su temperatura puede medirse fácilmente con una cámara térmica. De forma que, a partir de la medida de la radiación emitida, es posible obtener la temperatura superficial de cualquier objeto y mostrarla en un monitor en forma de imagen. Los distintos tonos y colores que ofrecen las imágenes térmicas corresponden a diferentes temperaturas superficiales del objeto.

Cualquier objeto cuya temperatura sea superior al cero absoluto ($0 \text{ Kelvin} = -273.15^\circ \text{C}$) emite radiación infrarroja la cual según sea su espectro electromagnético es imperceptible en la mayoría de casos para el ojo humano.

Max Planck demostró que hay una correlación entre la temperatura del cuerpo y la intensidad de radiación infrarroja que este emite.

Las cámaras termográficas mediante su sensor permiten calcular la temperatura del objeto del cual está recibiendo radiación infrarroja, todo esto teniendo en cuenta los factores de emisividad de la superficie del objeto a medir, así como la compensación de la temperatura reflejada (RTC). Los anteriores parámetros se pueden ajustar de manera manual en las cámaras de termografía.

Numerosos procesos físicos y químicos pueden analizarse bajo la sorprendente visión que ofrece una cámara infrarroja. Gracias a ello, la cámara favorece la realización de pequeñas investigaciones, el diseño de nuevas experiencias de laboratorio y la iniciación en algunas aplicaciones técnico-profesionales. Todo ello con el fin de hacer la Ciencia más comprensiva y atractiva a los estudiantes de cualquier nivel educativo.

3.3.1 Transmisión de calor por convección.

La convección es la transferencia de calor que se produce cuando las corrientes circulan entre las zonas calientes y frías de los fluidos. La convección se produce tanto en líquidos como en gases e implica el movimiento en masa de moléculas a diferentes temperaturas.

Por ejemplo, las nubes son un ejemplo de convección producida a gran escala donde las masas de aire caliente suben y las de aire frío bajan. A pequeña escala, la convección se da cuando se vierte leche fría en una taza de café caliente, yéndose la leche al fondo de la taza.

La transferencia de calor por convección también queda determinada en parte por las diferencias de temperatura y superficie. Por ejemplo, el radiador de un motor grande transfiere más calor que el de un motor pequeño debido a su mayor superficie. Hay otros factores que también afectan a la transferencia de calor por convección: la velocidad del fluido, la dirección del flujo y el estado de la superficie del objeto. El radiador de un motor que está bloqueado por el polvo no transfiere el calor con la misma eficiencia que un radiador limpio. Como en el caso de la conducción, la mayoría de nosotros tenemos un buen sentido práctico de estas relaciones, que fueron descritas más formalmente en la ley de enfriamiento de Newton. La convección se da naturalmente cuando los fluidos más calientes suben y los más fríos bajan, como ocurre en los tubos de enfriamiento de los transformadores de aceite.

3.3.2 Transmisión de calor por conducción

El calor se puede transferir por contacto directo de un cuerpo sólido a otro que se encuentre a diferente temperatura. Este mecanismo se denomina conducción. Según la teoría cinética molecular y la termodinámica, las moléculas que tienen mayor energía cinética (mayor temperatura) transfieren energía directamente a las moléculas adyacentes, que tienen menor energía cinética (menor temperatura).

Para comprobar la transferencia de calor por conducción, se coloca la mano sobre una hoja de papel de un libro durante un par de minutos (imagen 3.12). Al retirarla, la imagen térmica muestra la impronta térmica que ha dejado la mano en la hoja de papel (imagen 3.13). Asombrosamente, al pasar las hojas del libro, se aprecia cómo el calor se ha ido propagando, página a página, por el resto de las hojas, y por ambas caras.



Imagen 3. 12– Mano sobre una hoja de papel. Fuente: Imagen propia.



Imagen 3. 13– Impronta térmica de la mano sobre una hoja de papel. Fuente: Imagen propia.

3.3.3 Conductores térmicos.

Los materiales que son buenos conductores térmicos, como los sólidos metálicos, transfieren calor fácilmente. Si realizamos el experimento anterior (3.3.1 transmisión de calor por conducción), pero ahora poniendo la mano sobre una bandeja metálica, curiosamente no se observa ni la huella térmica ni una elevación de temperatura en la superficie metálica, como en el caso del papel. Esto se debe a la mayor conductividad del metal, que conduce rápidamente el calor a todo el material metálico de la bandeja. Por esta misma razón, las superficies metálicas parecen estar a menor temperatura que las superficies de materiales que no son buenos conductores del calor. La diferente conductividad entre un material metálico y otro no metálico (papel, madera, vidrio, plástico, etc.), se puede visualizar al calentar una sartén con asa de plástico termoestable. La imagen térmica muestra la gran diferencia de temperaturas entre ambos materiales (imagen 3.14).

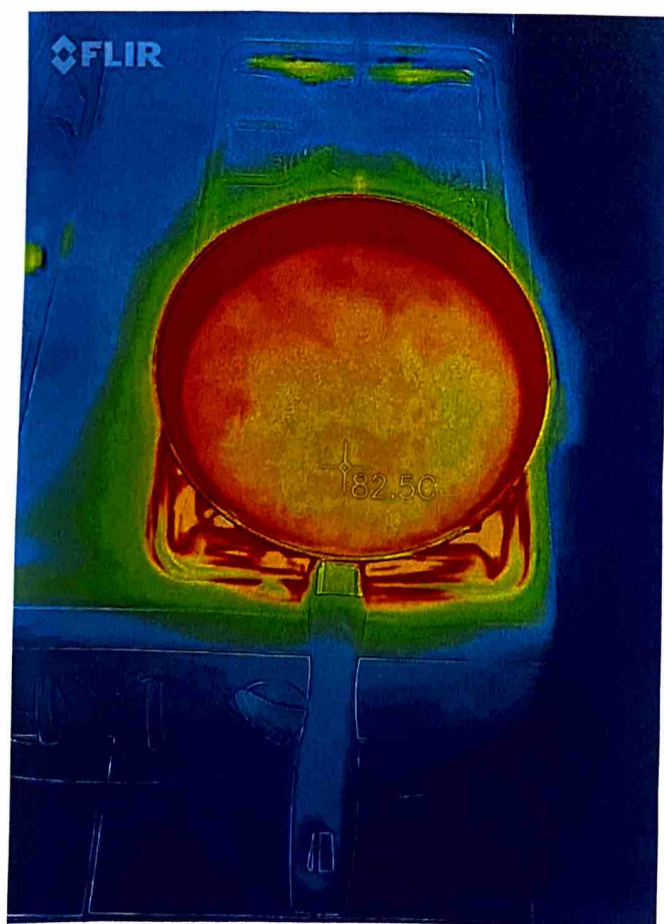


Imagen 3. 14 – Sartén con asa de plástico termoestable Fuente: Imagen propia.

Los materiales malos conductores del calor son los más adecuados para evitar pérdidas de energía por diferencia de temperatura, al actuar como aislantes.

3.3.4 Radiación visible frente a infrarroja.

La radiación es una forma de propagación de energía que no necesita soporte material. Cuando la energía radiante es absorbida por un cuerpo, aumenta su temperatura. Aunque también puede ser reflejada o refractada.

Todas las radiaciones cumplen las leyes de la reflexión, pero no se comportan igual al atravesar ciertos materiales. Así, frente a una bandeja metálica pulida podemos ver nuestra imagen; tanto la reflejada por la radiación visible, como la térmica utilizando la cámara infrarroja. Sin embargo, si tapamos la bandeja con un fino plástico opaco, ya no podemos ver nuestra imagen formada por la radiación visible reflejada, pero seguimos viendo la imagen térmica, ya que la radiación infrarroja atraviesa el plástico.

De igual forma, si colocamos un plástico opaco tapando una parte del cuerpo (imagen 3.15). Las longitudes de onda que forman la luz visible son absorbidas por el plástico y no dejan ver lo que hay detrás. Por contraste, las longitudes de onda infrarrojas pueden atravesar un plástico fino, como muestra la imagen 3.16.

La capacidad de un material de transmitir (ser permeable a) la radiación infrarroja se conoce con el nombre de transmitancia.



Imagen 3. 15– Plástico opaco tapando una parte del cuerpo. Fuente: Imagen propia.



Imagen 3. 16– Radiación infrarroja atraviesa plástico fino. Fuente: Imagen propia.

3.3.5 Disipación de la energía mecánica.

El principio de conservación de la energía mecánica afirma que, en las transformaciones, en ausencia de rozamiento, la energía mecánica se mantiene constante. Pero si se tiene en cuenta el rozamiento no se cumple, ya que cuando dos superficies deslizan entre sí, la energía mecánica, por efecto del rozamiento, se transforma en energía interna.

Para comprobar visualmente cómo la energía mecánica (cinética) se disipa, hacemos deslizar con fuerza una goma de borrar sobre la superficie de una mesa de madera, trazando un dibujo. La imagen térmica muestra un aumento de temperatura en la zona por donde se ha trazado el dibujo (imagen 3.17); este efecto dura solo unos breves segundos hasta que se alcanza el equilibrio térmico. Un efecto semejante se observa en los neumáticos de caucho de las ruedas de un vehículo después de circular durante varios kilómetros. Al rodar, la temperatura del neumático aumenta varios grados, a causa de la energía disipada por el trabajo que realizan las fuerzas de rozamiento (imagen 3.18).



Imagen 3. 17 – Goma de borrar frotada en cerámica. Fuente: *Imagen propia*.



Imagen 3. 18 – Rueda de un vehículo después de circular durante varios kilómetros. Fuente: *Imagen propia*.

3.3.6 Transformaciones de energía.

Una clásica pregunta, relacionada con la energía y sus transformaciones, es ¿qué ocurre con la energía de una bola cuando se deja caer al suelo? Aparentemente parece que la energía desaparece, sin embargo, la imagen térmica detecta un momentáneo y ligero aumento de temperatura en el punto de impacto. Mientras la bola cae, sin tener en cuenta el rozamiento, la energía potencial se va transformando en energía cinética, que es máxima en el punto más bajo. En el momento del impacto contra el suelo, al ser un choque no elástico, una parte de la energía cinética de la bola se invierte en trabajo de deformación de la bola y del suelo, y otra se transfiere como calor. Cuando se aplica una fuerza a un material elástico, sus partículas se desplazan ligeramente y el cuerpo se deforma. Al cesar la fuerza externa, y si no se ha superado el límite de elasticidad, las fuerzas internas tienden a restituir la posición inicial y el cuerpo vuelve a su forma primitiva.

El trabajo requerido para la deformación se convierte en energía potencial elástica almacenada en el cuerpo, que se reconvierte en trabajo al retornar a la forma inicial una vez haya cesado la fuerza deformadora. Pero una parte de la energía inicial se disipa internamente, como se puede visualizar con la cámara térmica al golpear con un martillo una goma o borrador. La imagen térmica 3.19 muestra un incremento de la temperatura de la goma golpeada.

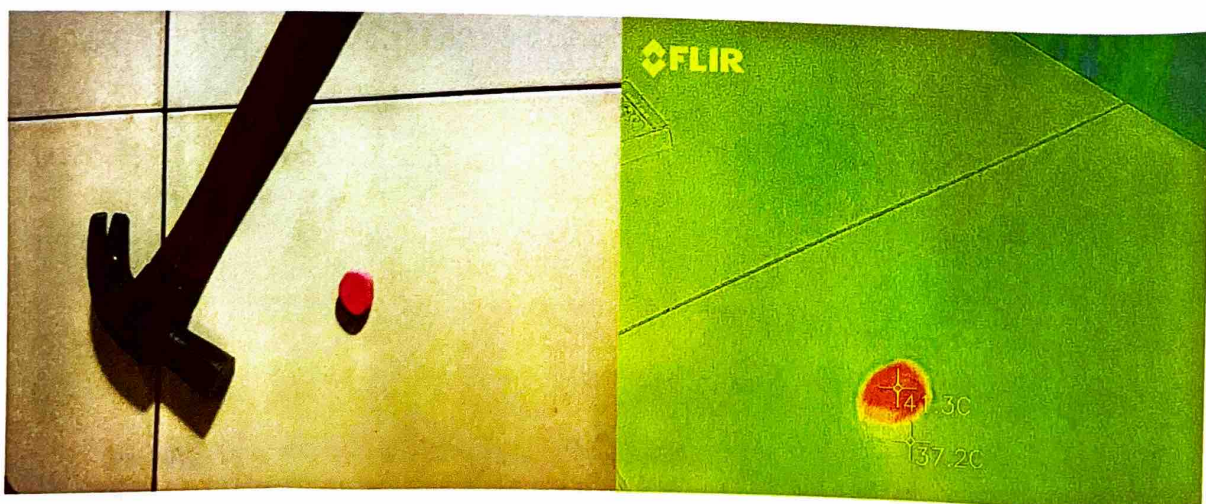


Imagen 3. 19– Goma golpeada repetitivamente por martillo. Fuente: Imagen propia.

3.3.7 Efecto térmico de la corriente eléctrica.

Todos los dispositivos electrónicos experimentan el efecto Joule, que consiste en la disipación de la energía eléctrica en forma de calor. Los electrones que recorren los circuitos eléctricos adquieren energía del generador, pero la disipan (en función de la resistencia) en los choques que se producen con los átomos del conductor, en forma de calor irradiado al ambiente.

Para visualizar la diferente cantidad de energía que disipan mediante calor dos tipos diferentes de bombillas, una de incandescencia (con filamento de wolframio) y otra de bajo consumo (como una lámpara compacta fluorescente) se deja luciendo ambas bombillas durante varios minutos. La imagen térmica revela una gran diferencia de temperatura en la superficie de los dos sistemas de iluminación (imágenes 3.20 y 3.21).



Imagen 3. 20– Bombillo ahorrador. Fuente: Imagen propia.

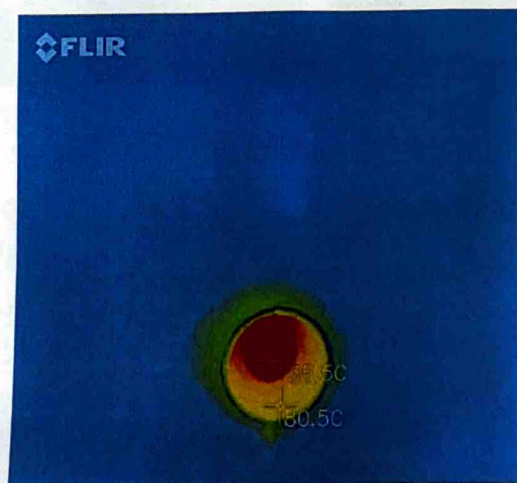


Imagen 3. 21– Bombillo de filamento. Fuente: Imagen propia.

Las bombillas incandescentes son poco eficaces energéticamente, ya que la cantidad de luz que proporcionan es pequeña en comparación con la potencia radiante total que generan (alrededor del 15 % de radiación visible, 84 % de infrarroja y 1 % de ultravioleta). La mayor parte de energía que consumen se disipa como calor a causa de la elevada resistencia del filamento de wolframio. En cambio, las bombillas de bajo consumo son dispositivos de iluminación más eficaces, ya que con un consumo eléctrico mucho menor producen una iluminación similar, disipándose mucha menos energía, por lo que el calentamiento de la lámpara es mucho menor.

El efecto Joule también se visualiza en la imagen térmica de dispositivos electrónicos, como en la de un pendrive después de haber estado conectado a un ordenador varios minutos (imagen 3.22).



Imagen 3. 22– Pendrive conectado al ordenador durante varios minutos. Fuente: Imagen propia.

3.3.8 Emisividad

La emisividad se define como la capacidad que tiene un cuerpo para emitir infrarrojos. Depende en gran medida de las propiedades de los materiales del cuerpo.

Todos los objetos emiten radiación infrarroja. Cuanto más caliente está un objeto más radiación emite. Pero la cantidad de radiación que emite un objeto, y que por tanto llega a la cámara no sólo depende de su temperatura, hay otros elementos que afectan a la termografía,

de todas aquellas circunstancias la que más puede equivocarte y la más complicada de conocer es la emisividad o emitancia. Por eso es fundamental tener claro qué es la emisividad para poder calcularla con precisión y por tanto poder confiar de las temperaturas que aparecen en la imagen termográfica.

La capacidad de un objeto de emitir radiación infrarroja depende de diversos factores, incluyendo, tipo de material, condición de superficie y longitud de onda. De esta manera la emisividad se expresa como:

$$\varepsilon = \frac{\text{Radiacion emitida por una superficie}}{\text{Radiacion emitida si fuera un cuerpo negro}}$$

Un cuerpo negro, por consiguiente, tiene un coeficiente $\varepsilon = 1$, mientras que, en un objeto real, ε siempre se mantiene menor a 1.

Las cámaras termográficas de FLIR Systems tienen ajustes predefinidos de emisividad para muchos materiales. Si no se encuentra alguno, use una tabla de emisividad.

Material	Emisividad (ε)
Cuerpo negro	1
Piel humana	0.98
Agua	0.98
Amianto	0.95
Cerámica	0.95
Barro	0.95
Cemento	0.95
Tejido	0.95
Grava	0.95
Papel	0.95
Plástico	0.95
Goma	0.95
Madera	0.95
Cobre (oxidado)	0.68
Acero inoxidable	0.1
Cobre (pulido)	0.02
Aluminio (pulido)	0.05

Tabla 3. 1-Tabla de valores de emisividad.

3.3.9 Reflexión de la radiación infrarroja.

Algunos materiales reflejan la radiación térmica del mismo modo que un espejo refleja la luz visible. Entre estos están los metales no oxidados, especialmente si se han pulido. Las reflexiones pueden provocar una interpretación incorrecta de la termografía. Así, por ejemplo, la reflexión de la radiación térmica del propio operador podría indicar falsos puntos calientes. Por lo tanto, el operador debe elegir cuidadosamente el ángulo desde el que la cámara termográfica apunta al objeto, con el fin de evitar dichas reflexiones.

Si el material de la superficie del objeto tiene una baja emisividad, como el metal no oxidado mencionado anteriormente, y existe una gran diferencia de temperatura entre el objeto y la temperatura ambiente, la reflexión de la temperatura ambiente influirá en las lecturas de temperatura de la cámara termográfica. Para solucionar este problema, FLIR ha incluido la opción en sus cámaras termográficas de definir la temperatura ambiente y compensar la temperatura aparente reflejada.

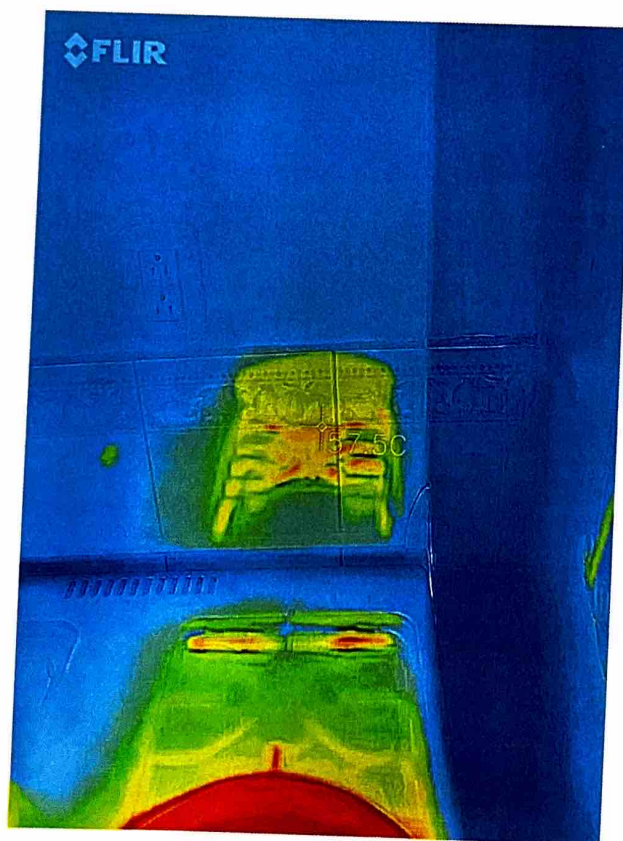


Imagen 3. 23– Reflexión en vidrio templado. Fuente: Imágenes de Google.

En la imagen 3.23 podemos observar la reflexión de la radiación infrarroja en un vidrio templado que está emitiendo una sartén que se encuentra calentándose en la estufa.

Es importante saber seleccionar el ángulo donde se realizará la captura de la imagen termográfica y que la reflexión no vaya a incidir en la temperatura del objeto que queremos medir.

En definición la reflexión es la medida de la capacidad de un material de reflejar la radiación infrarroja. Depende de las propiedades de la superficie, la temperatura y el tipo del material. En general las superficies lisas y brillantes reflejan de forma más intensa que las rugosas y mate del mismo material.

3.4 Cámaras termográficas.

Una cámara termográfica registra la intensidad de la radiación en la zona infrarroja del espectro electromagnético y la convierte en una imagen visible.

Nuestros ojos son detectores diseñados para detectar la radiación electromagnética en el espectro de luz visible. Cualquier otro tipo de radiación electromagnética, como la infrarroja, es invisible para el ojo humano.

Los infrarrojos están a medio camino entre el espectro visible y las microondas del espectro electromagnético. La fuente principal de radiación de infrarrojos es el calor o la radiación térmica. Cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ o 0 Kelvin) emite radiación en la región infrarroja. Hasta los objetos más fríos que podamos imaginar, como los cubitos de hielo, emiten rayos infrarrojos.

Todos los días estamos expuestos a rayos infrarrojos. El calor de la luz solar, del fuego o de un radiador son formas de infrarrojos. Aunque nuestros ojos no los vean, los nervios de nuestra piel los perciben como calor. Cuanto más caliente es un objeto, más radiación de infrarrojos emite.

La cámara termográfica dispone de un sensor térmico llamado microbolómetro que al recibir la radiación infrarroja se calienta y cambia su resistencia eléctrica. Este cambio de resistencia se mide y se equipara a una determinada temperatura, siendo asignado un color para cada temperatura y formando una imagen coloreada que será la que veamos en pantalla.

La ventaja de estos sensores es que pueden trabajar a temperatura ambiente y no necesitan refrigeración, por lo que son más económicos que los de uso militar.

Desde que, en 1965, la compañía IR Systems y que más tarde se convertiría en FLIR Systems, vendió la primera cámara termográfica comercial para inspecciones de cables de alimentación de alta tensión, el uso de cámaras termográficas para el mantenimiento predictivo en aplicaciones industriales ha sido un importante segmento del mercado para FLIR.

Desde entonces, la tecnología termográfica ha evolucionado. Las cámaras termográficas se han convertido en sistemas compactos con el aspecto de una cámara de vídeo o de fotos digital. Son fáciles de usar y producen imágenes nítidas de alta resolución en tiempo real.

La tecnología termográfica se ha convertido en una de las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo. Al detectar anomalías que suelen ser invisibles a simple vista, la termografía permite realizar correcciones antes de que se produzcan costosos fallos en el sistema.

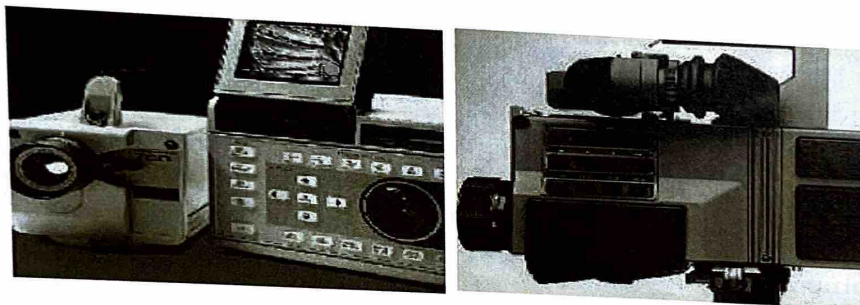


Imagen 3. 24– Evolución de las cámaras termográficas. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

Las cámaras termográficas son una herramienta única que sirve para determinar cuándo y dónde se necesita mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al descubrir estos puntos calientes con una cámara termográfica, se puede llevar a cabo una medida preventiva. De este modo, es posible evitar costosas averías o, aún peor, incendios.

Una cámara termográfica es un fiable instrumento a distancia capaz de analizar y visualizar la distribución de temperatura de superficies completas de equipamiento eléctrico y

maquinaria con rapidez y precisión. Los programas de termografía permiten lograr sustanciales ahorros en los costes.¹⁴

3.4.1 Funcionamiento de una cámara termográfica.

La energía de infrarrojos (Imagen 3.25, literal A) que irradia un objeto se enfoca con el sistema óptico (Imagen 3.25, literal B) sobre un detector de infrarrojos (Imagen 3.25, literal C). El detector envía los datos al sensor electrónico (Imagen 3.25, literal D) para procesar la imagen. Y el sensor traduce los datos en una imagen (Imagen 3.25, literal E), compatible con el visor y visualizable en un monitor de vídeo estándar o una pantalla LCD.

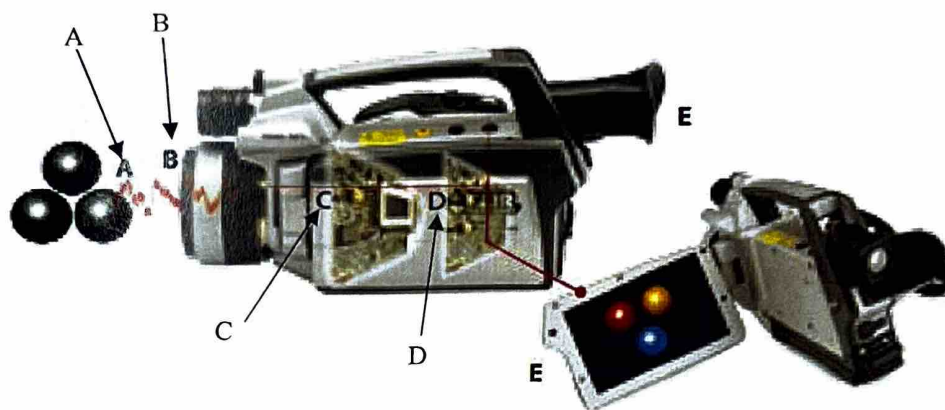


Imagen 3. 25– Funcionamiento de cámara termográfica. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

La termografía de infrarrojos es el arte de transformar una imagen de infrarrojos en una imagen radiométrica que permita leer los valores de temperatura. Por tanto, cada píxel de la imagen radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura. Para ello, se incorporan complejos algoritmos a la cámara de infrarrojos. Esto hace de la cámara termográfica una herramienta perfecta para el mantenimiento predictivo.

3.4.2 Selección de cámaras termográficas.

Según los profesionales de la termografía existen básicamente seis requisitos esenciales que se deben evaluar al investigar una combinación apropiada de la cámara termográfica, el software y la formación:

- Resolución de la cámara / calidad de la imagen.

¹⁴ FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

- Sensibilidad térmica.
- Precisión.
- Funciones de la cámara.
- Software.
- Formación profesional.

3.4.2.1 Resolución de la cámara.

La calidad de la imagen o resolución de la cámara es un factor importante. Los modelos básicos más económicos tienen una resolución de 60 x 60 píxeles, mientras que los modelos avanzados de alta gama tienen una resolución de 640 x 480 píxeles.

Las cámaras termográficas con una resolución de 320 x 240 o 640 x 480 píxeles ofrecen una calidad de imagen superior. Para inspecciones más avanzadas, la resolución de 640 x 480 píxeles se está convirtiendo en la referencia para los termógrafos profesionales.

Una cámara con 640 x 480 píxeles tiene 307.200 puntos de medición en una imagen, cuatro veces más que una cámara con 320 x 240 píxeles y 76.800 puntos de medición. No solo mejora la precisión de la medición, sino que también existe una gran diferencia en la calidad de la imagen.

Una alta resolución ayuda a ver, medir e interpretar con mayor precisión.

Mediante una cámara con una resolución mayor, se puede cubrir un objeto de mayor tamaño en una sola imagen. Con una resolución inferior, se necesitan más imágenes para cubrir la misma zona con el mismo nivel de detalle. Mediante una cámara de 640 x 480 píxeles equipada con una lente de 45 grados, es posible inspeccionar un área de alrededor de 4 m x 3 m a 5 metros de distancia con solo una imagen.

Para inspeccionar la misma instalación con una cámara de 320 x 240 píxeles con una lente también de 45 grados, se necesitarían cuatro imágenes a la mitad de distancia. Esto no solo aumenta la eficiencia sobre el terreno, sino que la menor cantidad de imágenes que se toman ahorra tiempo en la fase de documentación.

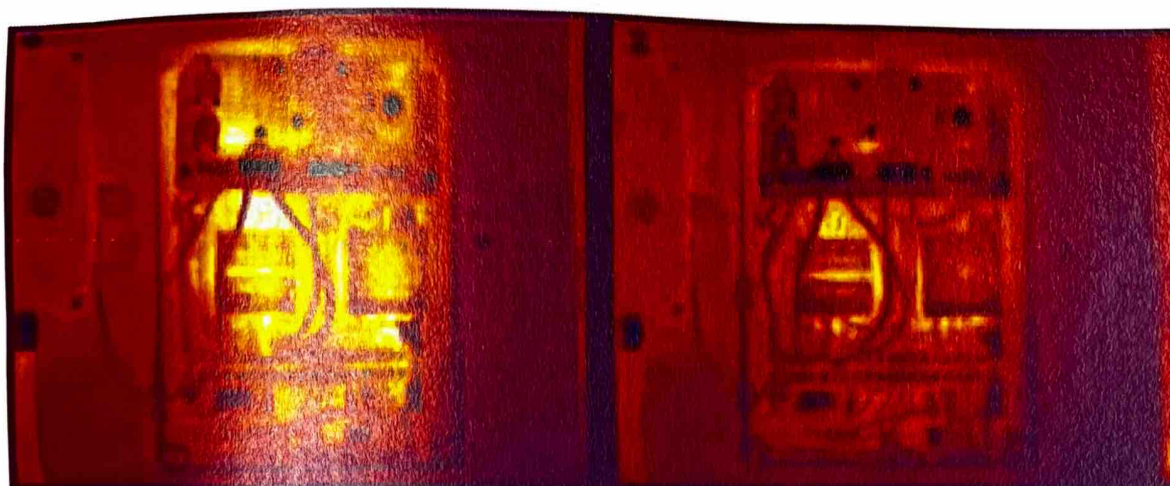


Imagen 3. 26– Termografía 640 x 480 píxeles vs 320 x 240 píxeles. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

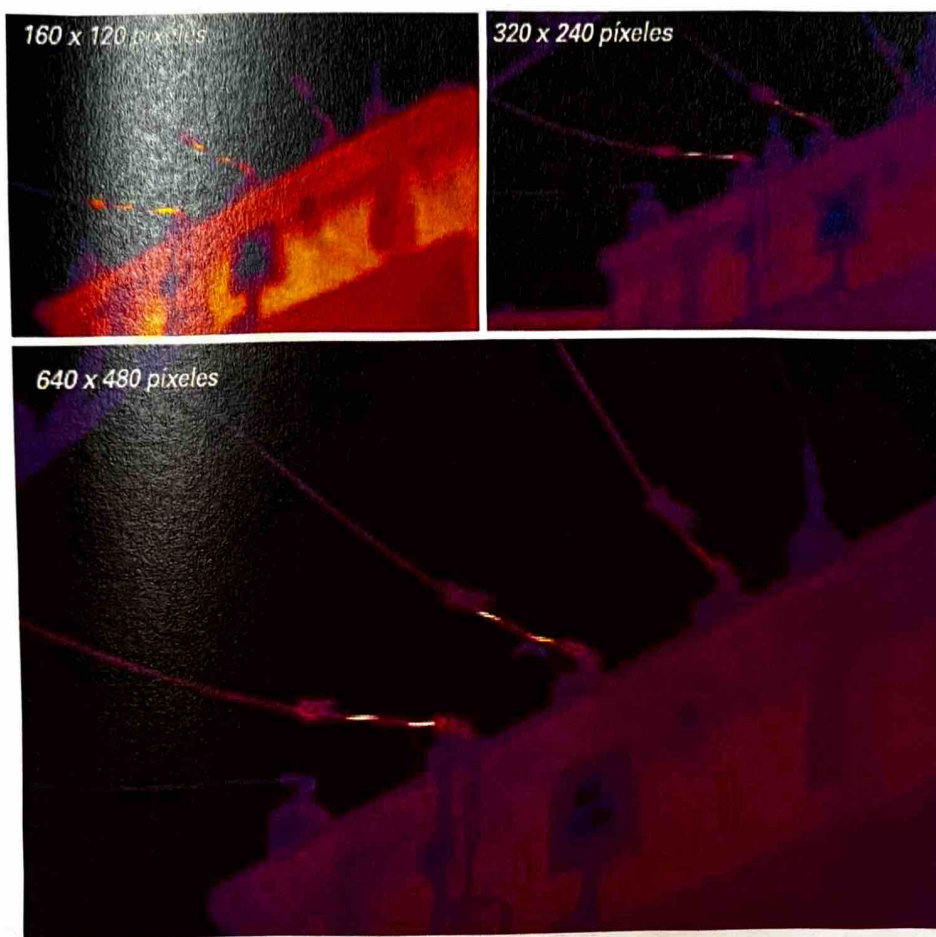


Imagen 3. 27– Mayor resolución cubre áreas más grandes. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

La sensibilidad térmica define la magnitud de una diferencia de temperatura que la cámara puede detectar. Mientras mejor sea la sensibilidad térmica, menor será la diferencia de temperatura mínima que la cámara termográfica puede captar y mostrar. Por lo general, la

sensibilidad térmica se describe en °C o mK. Las cámaras termográficas más avanzadas para mantenimiento predictivo tendrán una sensibilidad térmica de 0,03 °C (30 mK).

La capacidad de detectar estas diferencias de temperatura en minutos es importante en la mayoría de las aplicaciones termográficas.

Una sensibilidad alta de la cámara es particularmente importante en aplicaciones de mantenimiento predictivo en las que las diferencias de temperatura son pequeñas. Estas pequeñas diferencias de temperatura pueden aportar información esencial para diagnosticar el problema y planificar nuevas acciones.

3.4.2.2 Precisión.

Todas las mediciones pueden presentar errores y, desafortunadamente, las mediciones de temperatura con termografía no son una excepción. Aquí es donde la precisión termográfica entra en acción.

En los documentos técnicos de termografía, la precisión se expresa en porcentajes y en grados centígrados. Este es el margen de error en el que operará la cámara. La temperatura medida puede variar desde la temperatura real al porcentaje mencionado o la temperatura absoluta, la que sea mayor.

El estándar del sector actual para la precisión es de $\pm 2\%$ / ± 2 °C. Las cámaras termográficas más avanzadas de FLIR Systems obtienen una puntuación aún mejor: $\pm 1\%$ / ± 1 °C.

3.4.2.3 Funciones de la cámara.

Una de las especificaciones que interesan al personal encargado del mantenimiento predictivo son las funciones con las que cuenta la cámara termográfica. Estas funciones van desde la más básica a la más compleja, entre las cuales podemos encontrar:

- Capacidad de definir la reflexión y emisividad.
- Corrección de niveles manualmente.
- Cámara digital y cámara térmica.
- Iluminación LED.
- Fusión térmica.

- Imagen e imagen. (Capacidad de mostrar la imagen en formato real y térmico).
- Puntero laser.
- Lentes intercambiables.
- Diseño ergonómico y facilidad de uso.
- Formato de imagen.
- Galerías de imagen en miniatura.
- Comentarios de voz y texto.
- Localización por GPS.
- Conectividad inalámbrica.

3.4.2.4 Software.

Tras realizar la inspección, es probable que tenga que presentar los resultados de la misma a sus responsables o clientes. El análisis de termografías y la creación de informes de inspección completos son tareas importantes.

Es recomendable que se asegure de que su cámara termográfica incluye un paquete de software básico que le permita hacer esto. La mayoría del software incluido en cámaras termográficas le permitirá hacer informes y análisis básicos. Se incluirán herramientas para realizar mediciones de la temperatura en un solo punto u otro tipo de mediciones básicas.

Si necesita más opciones de análisis e informes, el fabricante de la cámara termográfica debe ofrecer un paquete de software más avanzado. Entre las funciones que se incluyen en este paquete deben estar las siguientes:

- Diseño de página de informes flexible para informes personalizados.
- Herramientas potentes de análisis de temperatura: medición de varios puntos, áreas y diferencias de temperatura.
- Fusión triple de Imagen en imagen (se puede mover, cambiar de tamaño y escalar).
- Funcionalidad de tendencias.
- Creación de fórmulas mediante valores de medición termográficos.
- Reproducción de secuencias radiométricas directamente en el informe.
- Funcionalidad de búsqueda para encontrar rápidamente imágenes para el informe.

- Herramienta panorámica para combinar varias imágenes en una más grande.

Gracias a una buena información de análisis y un buen informe térmico, podrá mostrar con claridad a sus responsables o clientes dónde se encuentran los posibles problemas y convencerlos de las medidas preventivas que se deben tomar.

3.4.2.5 Demandas de información.

FLIR coopera con el Centro de Formación de Infrarrojos (ITC), un centro de formación internacional independiente que cuenta con la certificación ISO. El ITC ofrece desde breves cursos de introducción hasta cursos de certificación. Se puede obtener más información en www.infraredtraining.com.



Imagen 3. 28– ITC. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.4.3 Ventajas del uso de cámaras termográficas.

Mayor rapidez y máxima eficacia al menor coste. Para alcanzar estos objetivos, las plantas industriales necesitan operar sin interrupciones: 24 horas al día, 365 días al año.

Con solo poder prever qué componentes están a punto de averiarse, podría precisar en qué momento adoptar las debidas medidas correctivas. Por desgracia, los peores problemas permanecen ocultos hasta que es demasiado tarde.

Las cámaras termográficas son la herramienta perfecta para predecir fallos ya que consiguen hacer visible lo invisible. En una termografía, los problemas saltan a la vista de inmediato.

Con el fin de mantener sus plantas operativas en todo momento, muchas empresas han combinado sus programas de mantenimiento predictivo con las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo del mercado: las cámaras termográficas.¹⁵

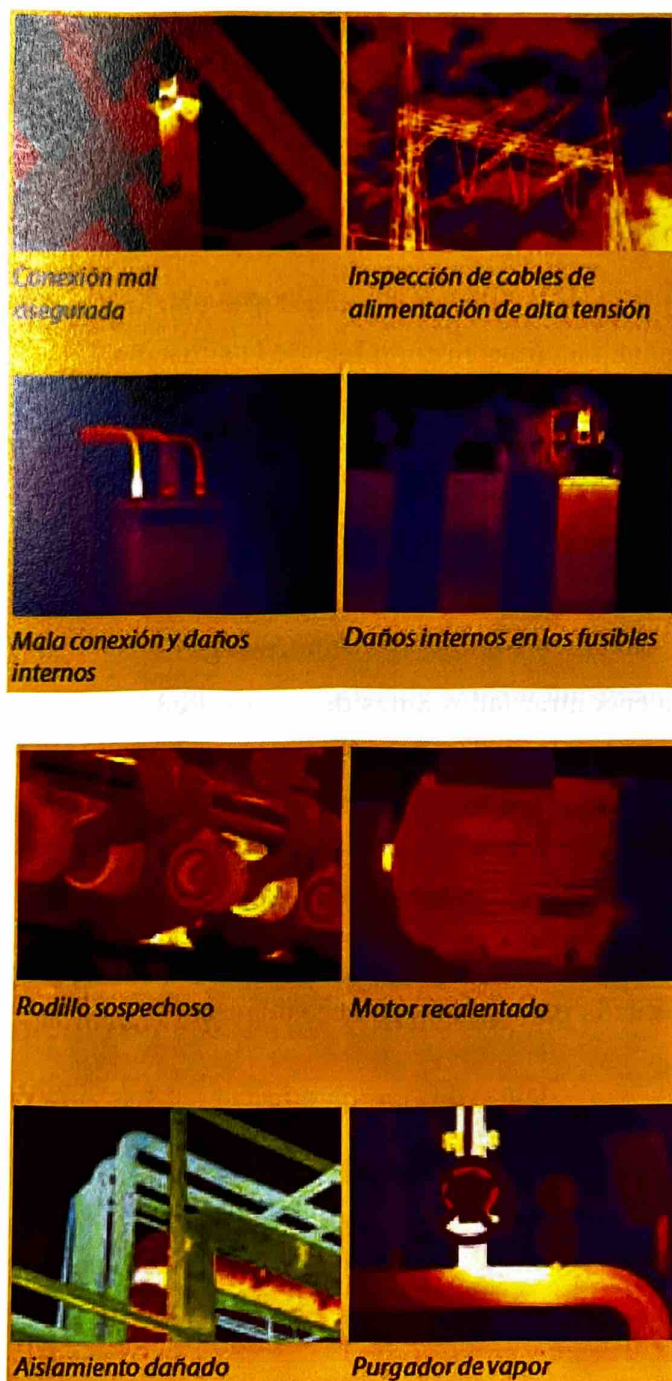


Imagen 3. 29– Aplicaciones de cámaras termográficas. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

¹⁵ FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5 Uso de termografía para mantenimiento predictivo.

Las cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo son potentes herramientas no invasivas para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes e instalaciones eléctricas y mecánicas. Con una cámara termográfica, puede identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y resulten más costosos de reparar.

Las cámaras termográficas:

- Son tan fáciles de usar como una videocámara o cámara digital.
- Proporcionan una imagen completa de la situación.
- Permiten llevar a cabo inspecciones mientras los sistemas están cargados.
- Identifican y encuentran el problema.
- Miden temperaturas.
- Guardan información.
- Indican exactamente qué se necesita corregir.
- Ayudan a encontrar fallos antes de que se produzcan problemas reales.
- Permiten ahorrar valioso tiempo y dinero.

FLIR Systems ofrece una amplia gama de cámaras termográficas. Tanto si usa la termografía para una inspección de grandes instalaciones industriales como para una inspección de una caja de fusibles en una residencia doméstica, FLIR puede proporcionar la cámara termográfica adecuada para diferentes necesidades.

Una termografía con datos de temperatura precisos proporciona al responsable de mantenimiento información importante acerca del estado del equipamiento inspeccionado. Estas inspecciones se pueden realizar mientras el proceso de producción se encuentra en pleno funcionamiento y, en muchos casos, el uso de una cámara termográfica puede incluso ayudar a optimizar el propio proceso de producción.

Las cámaras termográficas son una herramienta tan valiosa y versátil que resulta imposible enumerar todas sus posibles aplicaciones. Cada día se desarrollan nuevas e innovadoras formas de emplear la tecnología.

Algunas de las formas en las que se pueden usar las cámaras termográficas en el contexto del mantenimiento predictivo se explican a continuación.

3.5.1 Sistemas Eléctricos.

Las cámaras termográficas se suelen utilizar para inspecciones de componentes y sistemas eléctricos de todos los tamaños y formas.

La gran variedad de posibles aplicaciones para las cámaras termográficas en el rango de los sistemas eléctricos se puede dividir en dos categorías: instalaciones de alta y de baja tensión.

3.5.1.1 Instalaciones de alta tensión.

El calor es un factor importante en las instalaciones de alta tensión. Cuando la corriente eléctrica pasa a través de un elemento resistivo, genera calor. Una mayor resistencia produce un aumento del calor.

Con el tiempo, la resistencia de las conexiones eléctricas aumenta, debido, por ejemplo, a la holgura y la corrosión. El correspondiente incremento de la temperatura puede hacer que los componentes fallen, lo que puede provocar cortes de tensión inesperados e incluso lesiones. Además, la energía empleada en generar calor provoca pérdidas de energía innecesarias. Si no se comprueba, el calor podría acumularse hasta el punto de fundir conexiones y provocar averías e incluso incendios.

Ejemplos de fallos en instalaciones de alta tensión que se pueden detectar con termografía:

- Oxidación de interruptores de alta tensión.
- Conexiones recalentadas.
- Conexiones mal aseguradas.
- Defectos de aislamiento.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica. Una cámara termográfica le ayudará a localizar el problema con precisión, determinar la gravedad del mismo y calcular el tiempo en el que se debe reparar el equipo.

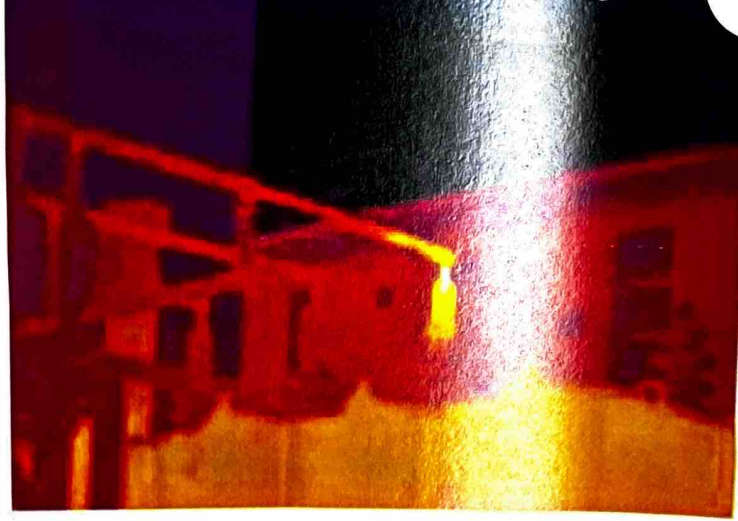
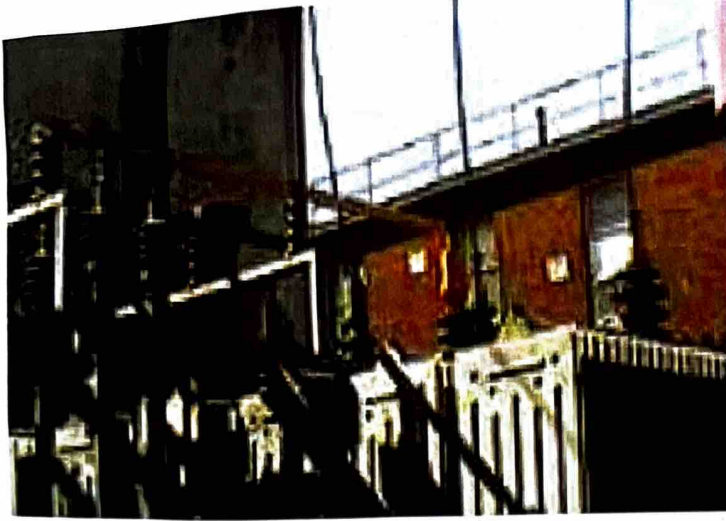


Imagen 3. 30– Visión amplia de una subestación. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

Una de las múltiples ventajas de la termografía es la capacidad para llevar a cabo inspecciones mientras los sistemas eléctricos están cargados. Al tratarse de un método de diagnóstico sin contacto, el termógrafo puede inspeccionar rápidamente un componente concreto de un equipo a una distancia de seguridad, abandonar la zona de riesgo, regresar a su oficina y analizar los datos sin exponerse a ningún peligro.

Gracias a que las cámaras termográficas para mantenimiento predictivo son todas manuales y funcionan con batería, también se pueden utilizar para inspecciones en el exterior: mediante una cámara termográfica es posible inspeccionar de manera rápida y eficaz subestaciones de alta tensión, conmutadores, transformadores y disyuntores externos.

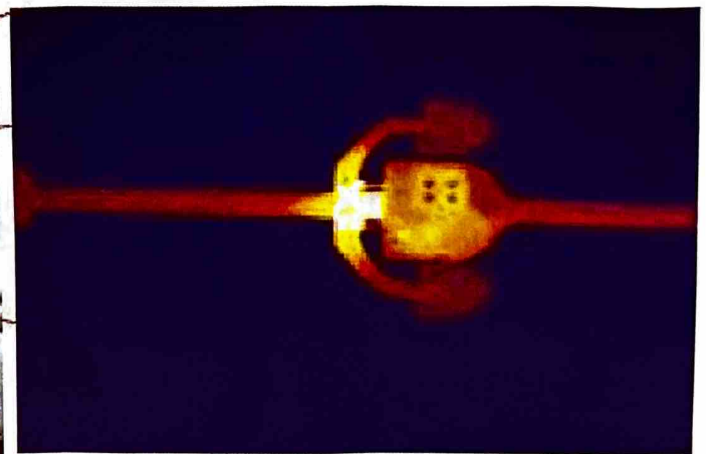
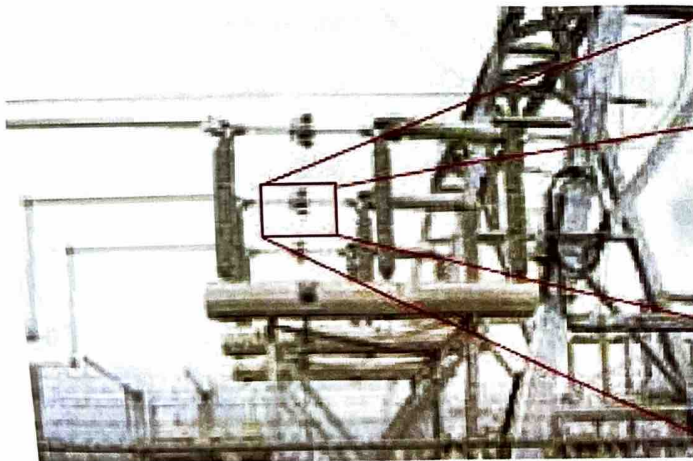


Imagen 3. 31– Inspección en alta tensión desde una distancia segura. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

Dada la confiabilidad que brindan los equipos y software, las inspecciones termográficas se han convertido en parte esencial de los programas de mantenimiento preventivo en todo el mundo.

3.5.1.2 Instalaciones de baja tensión.

Las cámaras termográficas se utilizan para inspecciones de componentes y sistemas eléctricos de todos los tamaños y formas y su empleo no se limita únicamente a aplicaciones de alta tensión.

Con ellas podrá examinar regularmente cuadros eléctricos y centros de control de motores. Si no lo hace, el calor podría acumularse hasta el punto de fundir conexiones y provocar averías e incluso incendios.

Además de conexiones sueltas, los sistemas eléctricos sufren desequilibrios de carga, corrosión y aumentos de impedancia de corriente. Las inspecciones térmicas permiten localizar rápidamente puntos calientes, determinar la gravedad del problema y calcular el tiempo en el que se debe reparar el equipo.

Ejemplos de fallos en equipamiento de baja tensión que se pueden detectar con termografía:

- Conexiones de alta resistencia.
- Conexiones corroídas.
- Daños internos en los fusibles.
- Fallos internos en los disyuntores.
- Malas conexiones y daños internos.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica. De este modo, se evitarán costosos daños y situaciones peligrosas.



Imagen 3. 32– Conexión recalentada. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

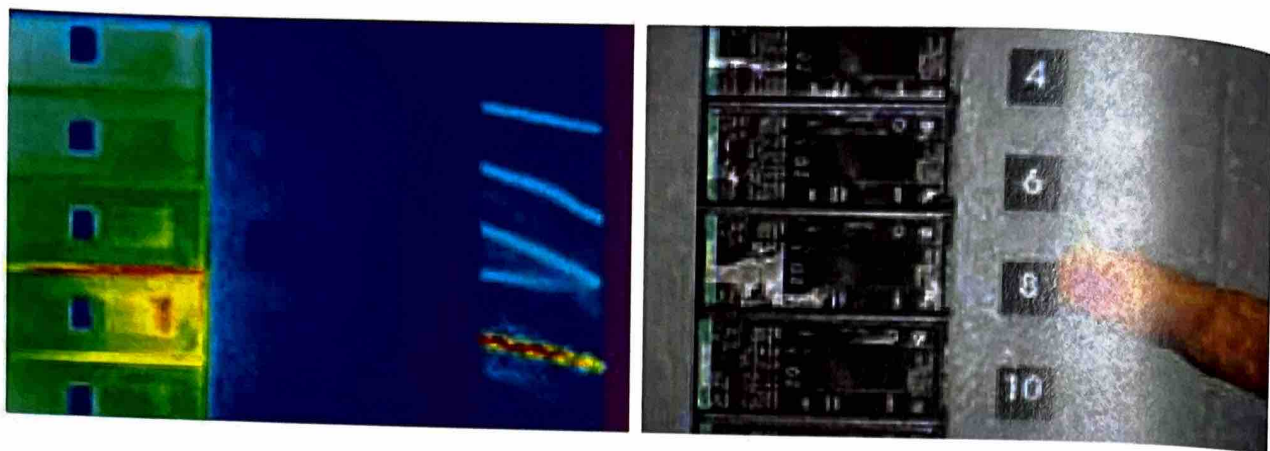


Imagen 3. 33– Protección sobrecalentada. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

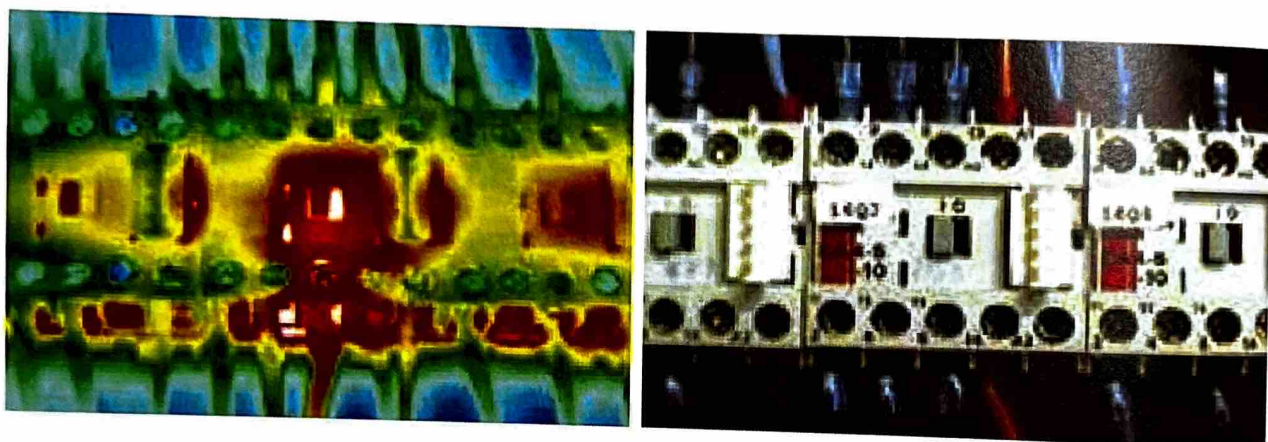


Imagen 3. 34– Contactor sobrecalentado. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5.2 Instalaciones mecánicas.

En muchos sectores, si no es que en la mayoría de industria productiva salvadoreña los sistemas mecánicos son la espina dorsal de todas las operaciones.

Los datos térmicos recopilados con una cámara termográfica pueden ser una fuente muy valiosa de información complementaria para los estudios de vibración y la supervisión de los equipos mecánicos.

Los sistemas mecánicos se recalientan si hay errores de alineamiento en ciertos puntos del sistema. Las cintas transportadoras son un buen ejemplo. Si un rodillo está gastado, aparecerá claramente en la termografía, indicando que debe cambiarse.

Cuando los componentes mecánicos se desgastan y pierden eficiencia suelen disipar más calor. Como resultado, los equipos o sistemas defectuosos aumentan rápidamente su temperatura antes de averiarse.

También se pueden inspeccionar motores mediante una cámara termográfica. Los fallos en el motor, como los signos de desgaste en el contacto de las escobillas y los cortocircuitos en los armazones, suelen producir un calor excesivo antes del fallo, pero son imposibles de detectar mediante un análisis de vibraciones puesto que con frecuencia generan poca o ninguna vibración. La termografía ofrece una visión completa y permite comparar las temperaturas de distintos motores.

Otros sistemas mecánicos que se supervisan con cámaras termográficas son conexiones, transmisiones, cojinetes, bombas, compresores, correas, turbinas y cintas transportadoras.

Por ser uno de los componentes primordiales y de vital importancia en la industria, el motor eléctrico, es imprescindible mantenerlos funcionales durante toda la producción ya que son los encargados de mover las bandas transportadoras y todos los mecanismos de las máquinas. El uso de la termografía es de mucha ayuda al momento de realizar mantenimiento predictivo, ya que se puede corregir las fallas antes que el motor falle.

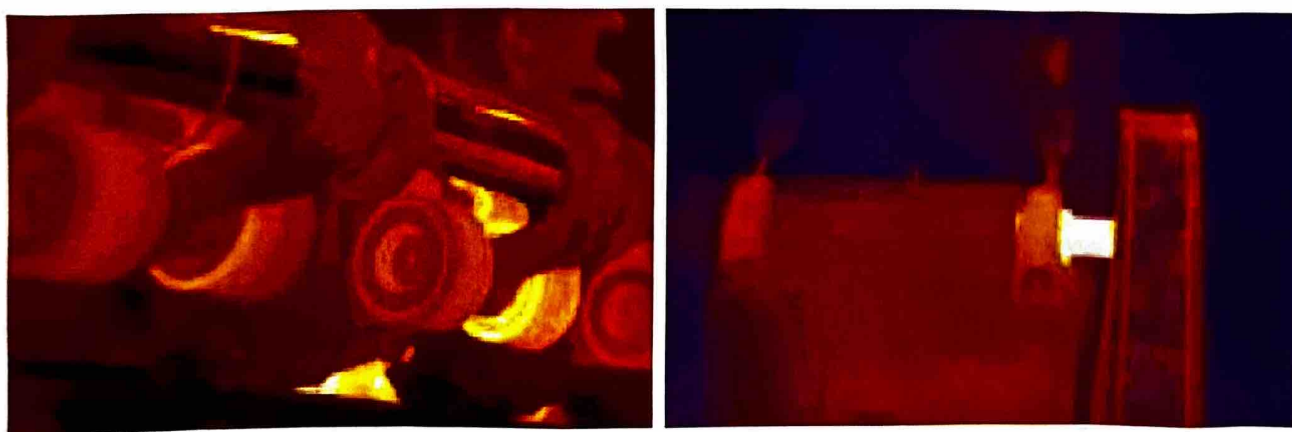


Imagen 3. 35– Rodillo sospechoso y rodamiento sobrecalentado. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

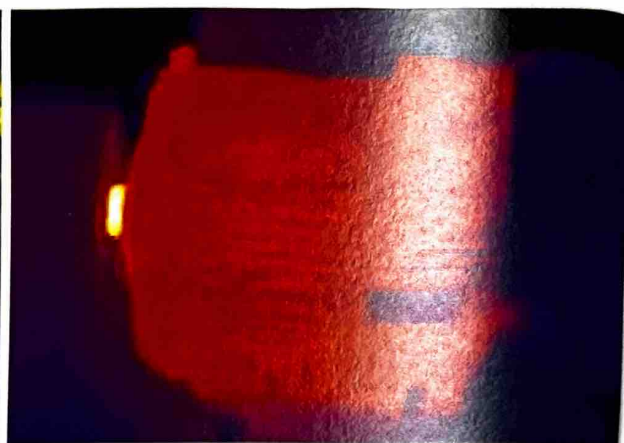
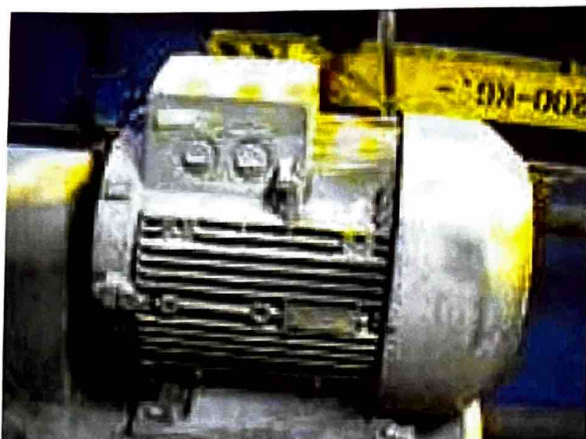


Imagen 3. 36– Motor eléctrico en funcionamiento. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

Ejemplos de averías mecánicas que se pueden detectar con la termografía:

- Problemas de lubricación.
- Errores de alineación.
- Motores recalentados.
- Rodillos sospechosos.
- Bombas sobrecargadas.
- Ejes de motor recalentados.
- Rodamientos calientes.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica. Esto ayudará a evitar que se produzcan daños costosos y a garantizar la continuidad de la producción.

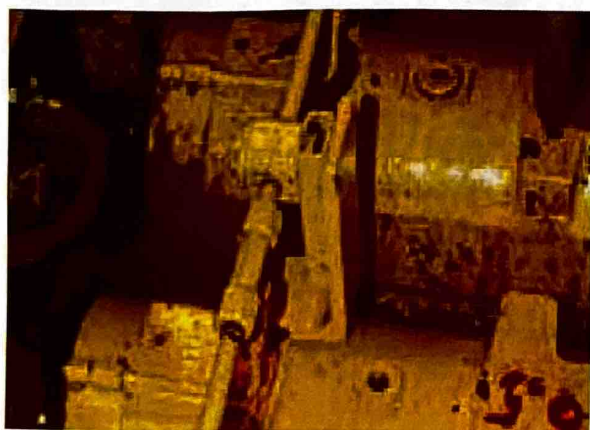


Imagen 3. 37– Motor eléctrico con problema de rodamiento. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

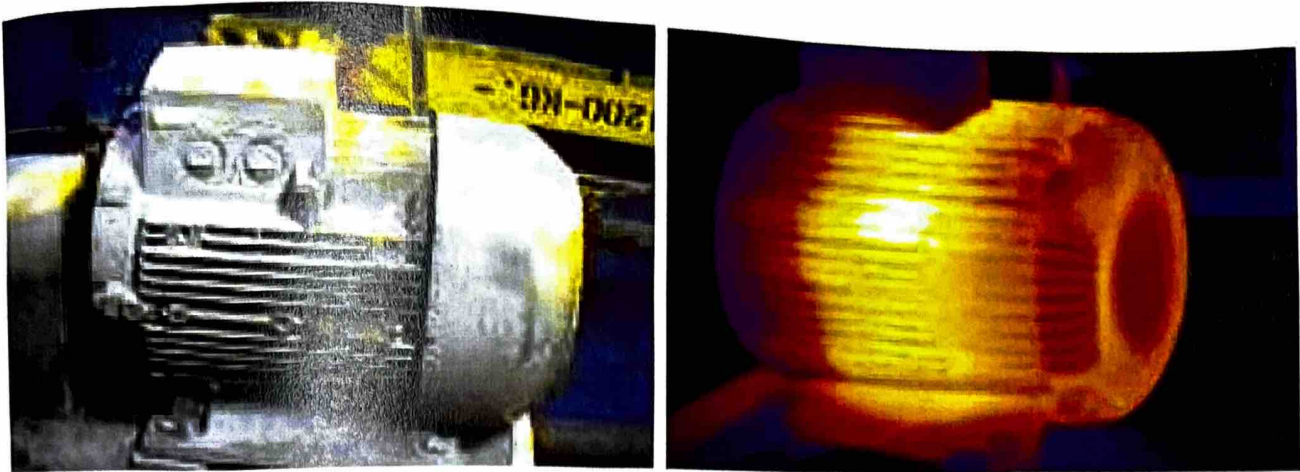


Imagen 3. 38– Motor eléctrico con problema de bobinado. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5.3 Tuberías

La termografía también ofrece información muy valiosa sobre el estado del aislamiento de conductos, tuberías y válvulas.

La inspección del estado del material de aislamiento que rodea las tuberías puede ser vital. Las pérdidas de calor por un aislamiento defectuoso se detectan con mucha claridad en la termografía, lo que permite reparar rápidamente el aislamiento y evitar importantes pérdidas de energía u otros daños.

Las válvulas de proceso son otro buen ejemplo de equipamiento de tuberías que se suele inspeccionar con cámaras termográficas. Además para la detección de fugas, una cámara termográfica también se puede utilizar para determinar si la válvula se encuentra abierta o cerrada, incluso a distancia.

Ejemplos de averías en tuberías que se pueden detectar con la termografía:

- Fugas en bombas, tuberías y válvulas.
- Averías del aislamiento.
- Obstrucciones en tuberías.

Todos los tipos de fugas, obstrucciones y defectos en el aislamiento se percibirán claramente en la termografía. Además, dado que una termografía puede proporcionar rápidamente una visión general de una instalación completa, no será necesario comprobar cada tubería individualmente.

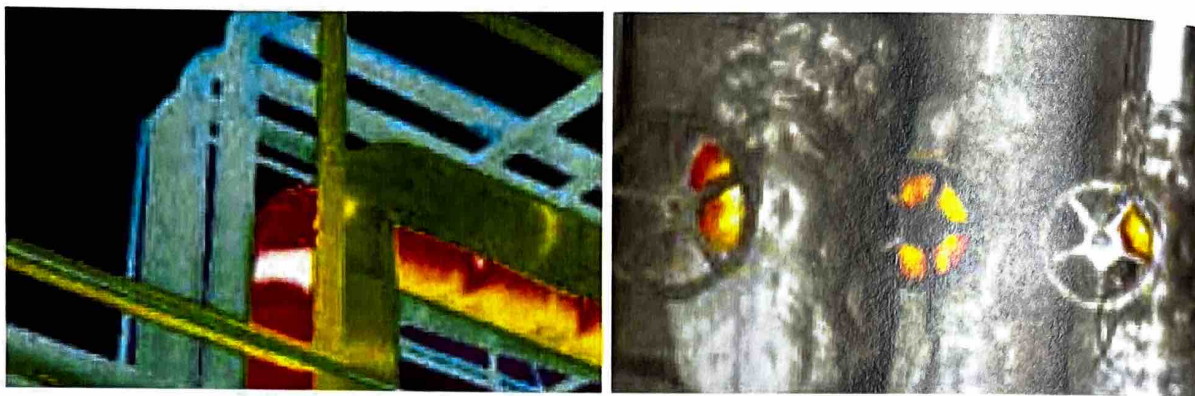


Imagen 3. 39– Daño de aislamiento y fuga de vapor. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

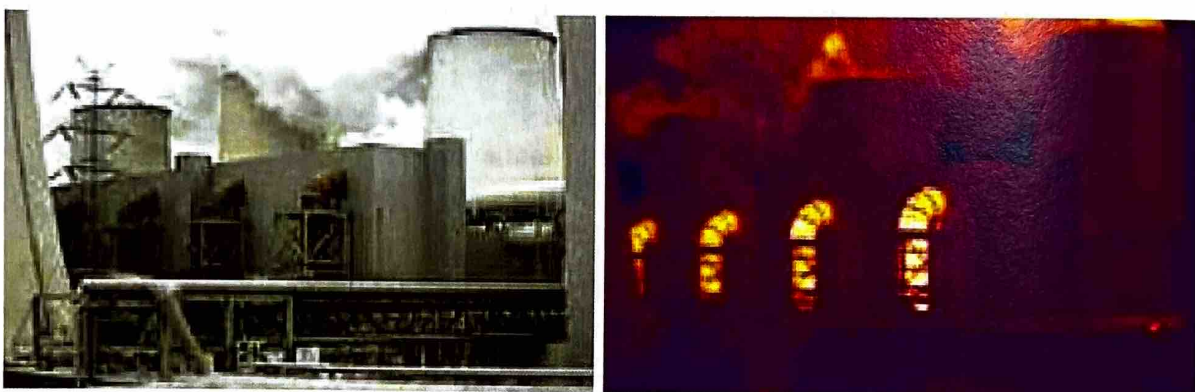


Imagen 3. 40 – Inspección de aislamiento. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5.4 Otras aplicaciones.

Además de las aplicaciones ya mencionadas, hay muchas más aplicaciones en las que se emplea la tecnología termográfica.

3.5.4.1 Detección de llamas.

Ciertos procesos de producción generan gases que arden en forma de llamas. Estas llamas a veces son invisibles al ojo humano. Es importante comprobar que la llama esté ardiendo, ya que, de lo contrario, podrían liberarse gases dañinos a la atmósfera. Las termografías permiten ver fácilmente si la llama está ardiendo o no.



Imagen 3. 41– Llama invisible a simple vista. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5.4.2 Detección de nivel de depósitos.

Las termografías también se utilizan para detectar niveles en depósitos. Gracias a los efectos de emisividad o a las diferencias de temperatura, son capaces de indicar de forma clara el nivel de líquido.

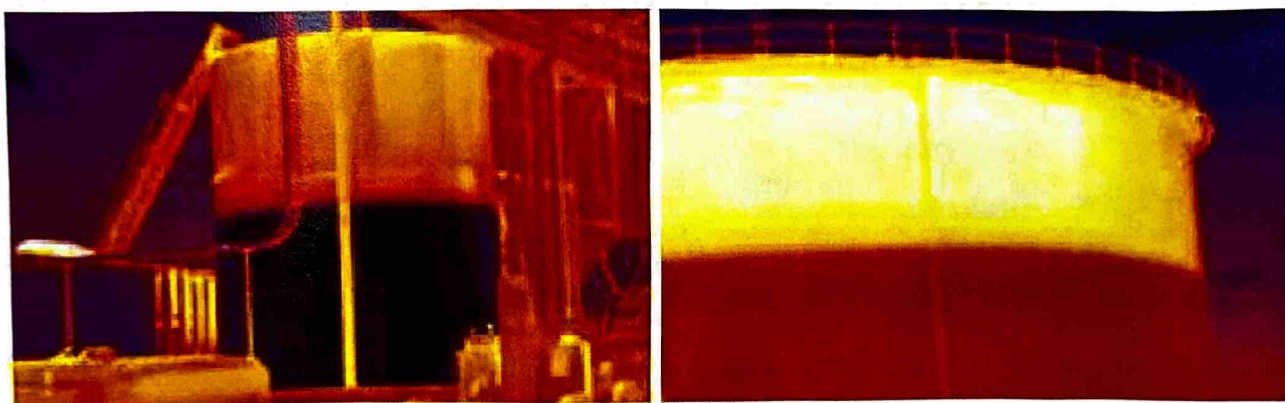


Imagen 3. 42 – Nivel de líquido en depósitos de almacenamiento. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.5.4.3 Instalaciones refractarias y petroquímicas.

Una gran variedad de industrias emplea hornos y calderas en sus procesos, sin embargo, las tuberías refractarias de los hornos, calderas, estufas, incineradoras, equipos de craqueo y reactores tienden a la degeneración y a la pérdida de rendimiento. Mediante una cámara termográfica, el material refractario dañado y la correspondiente pérdida de calor se pueden localizar con facilidad, puesto que la transmisión de calor se observará claramente en la termografía.

Las cámaras termográficas también se utilizan ampliamente en el sector petroquímico. Ofrecen un método de diagnóstico rápido y preciso para el mantenimiento de hornos, la gestión de la pérdida refractaria y la inspección de aletas de condensador. Los intercambiadores de calor se pueden inspeccionar para detectar conductos obstruidos.

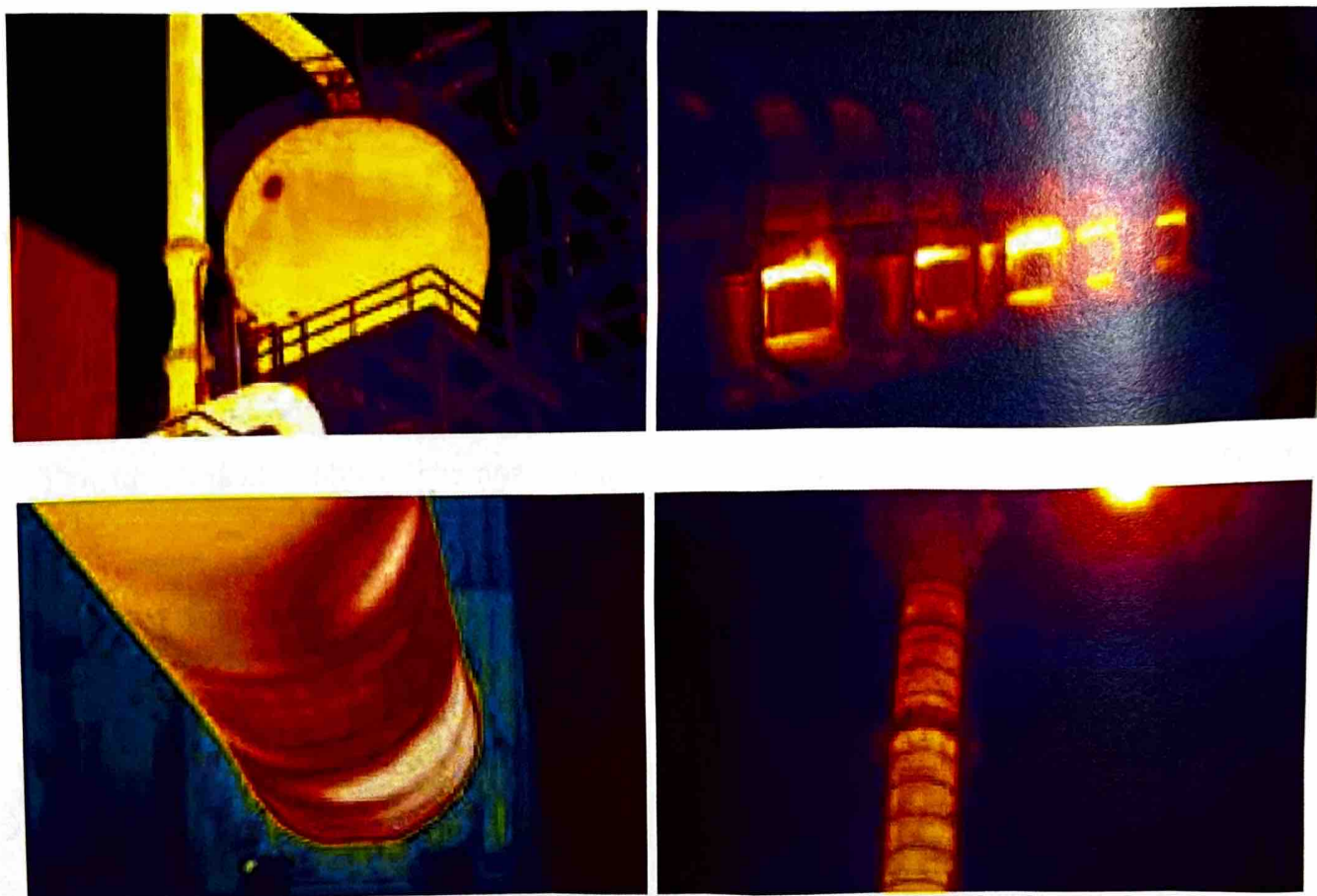


Imagen 3. 43– Inspección de aislamiento refractario. Fuente: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

3.6 Normativa aplicable a la termografía.

3.6.1 Normativa acerca de especificaciones técnicas.

Las siguientes normativas y directrices describen los requisitos acerca de las especificaciones técnicas a seguir durante las termografías:

DIN EN 13187 – Normativa europea sobre el rendimiento térmico de los edificios y la detección de irregularidades térmicas en los cerramientos mediante métodos por infrarrojos.

DIN 54191 – Normativa alemana sobre la comprobación no destructiva de instalaciones eléctricas mediante comprobaciones por termografía.

VdS Requisitos mínimos para cámaras termográficas – El VdS Schadenverhütung GmbH establece estos requisitos mínimos que las cámaras termográficas deben cumplir para asegurar una investigación termográfica efectiva en equipamiento eléctrico.

CNPP Especificaciones Técnicas de las Cámaras por Infrarrojos – descripción de los requisitos técnicos mínimos para cámaras termográficas por el French Centre National de Prévention et de Protection (Centro Nacional Francés para la Prevención y Protección).

3.6.2 Normativa acerca de la cualificación y certificación.

Las siguientes normativas describen las especificaciones para la formación y cualificación de los operarios que trabajan en el campo de la termografía.

DIN EN 473 – Normativa europea sobre comprobaciones no destructivas - Cualificación y certificación de personal relacionado con la NDT (non destructive testing – comprobaciones no destructivas).

DIN 54162 – Normativa alemana sobre comprobaciones no destructivas - Cualificación y certificación de personal relacionado con la comprobación mediante termografía - Principios generales y específicos para los niveles 1, 2 y 3.

ASNT SNT-TC-1A – Normativa americana de la American Society for Nondestructive Testing (Sociedad Americana para las Comprobaciones No Destructivas), sobre las comprobaciones no destructivas, la cualificación y la certificación de personal relacionado con la comprobación mediante termografía.

3.6.3 Normativa relacionada a la inspección de maquinaria.

ISO 18434-1: 2008 Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas - Termografía: Procedimientos generales. Proporciona una introducción del uso de la termografía infrarroja a la supervisión y diagnóstico de condición de la maquinaria, donde se incluye a auxiliares de la máquina tales como válvulas, líquido y las máquinas eléctricamente accionadas, y equipo relacionado con el intercambio de calor. Además, se tratan los usos de termografía infrarroja referente a la evaluación del funcionamiento.

ISO 18436-1: 2004 Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas – Requisitos para el entrenamiento y la certificación del personal: Requisitos para certificar organismos y el

proceso de la certificación. Define los requisitos para los organismos que ofrecen los sistemas de certificación para el personal que realiza la supervisión de condición de la maquinaria, identifica averías de la máquina, y recomienda la acción correctiva.

Se especifican los procedimientos para la certificación de la supervisión de condición y del personal de diagnóstico.

ISO 18436-7: 2008 Supervisión de condición y diagnóstico de máquinas – Requisitos para la calificación y la evaluación del personal: Termografía. Define los requisitos para la calificación y la evaluación del personal que realiza la supervisión y el diagnóstico de condición de la maquinaria usando la termografía infrarroja.

ISO/DIS 18436-8 Condición de vigilancia y diagnóstico de máquinas – Requisitos de formación y certificación del personal: Comportamiento térmico. En esta se recomienda que los candidatos hayan probado la percepción de los colores con los criterios del test de Ishihara, donde se exigirá a los empleadores determinar si el incumplimiento de los requisitos de esta prueba afectará a la capacidad del candidato para llevar a cabo el análisis de los datos de la termografía infrarroja mediante paletas de colores.

ISO 9712:2005 Prueba no destructiva - Calificación y certificación del personal. En esta se especifica la calificación y la certificación del personal implicado en la prueba no destructiva (NDT). Es aplicable a la habilidad en uno o más de los métodos siguientes: prueba de la emisión acústica; prueba de la corriente de Foucault; prueba de termografía infrarroja; prueba de fugas (la presión hidráulica prueba excluido); prueba de partículas magnéticas; prueba penetrante; prueba radiográfica; prueba de la tensión; prueba ultrasónica; prueba de la representación visual.

ASNT CP-189 Norma para la calificación y certificación del personal que realiza los ensayos no destructivos”.

ASTM E1934 - 99a (2005) Guía estándar para examinar el equipo eléctrico y mecánico con la termografía infrarroja.¹⁶

¹⁶ Juan Montes. Tesis “Estudio termográfico de las condiciones operativas de equipos instalados a media tensión” 2016 UTLA

3.6.4 Normativa medioambiental.

La FLIR ONE Pro y todos los dispositivos electrónicos para inspección cumplen con la certificación RoHS (Restriction of Hazardous Substances), se refiere a la restricción de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, también es conocida como Directiva 2002/95/CE, se originó en la Unión Europea en 2002 y restringe el uso de seis materiales peligrosos que se encuentran en productos eléctricos y electrónicos. Todos los productos aplicables en el mercado desde el 1 de julio de 2006 deben cumplir con RoHS.

En el año 2015 la UE publica la directiva 2015/863, que se conoce como RoHS 3 en la cual se agregan cuatro sustancias restringidas adicionales a la lista de seis.

RoHS especifica los niveles máximos para las siguientes 10 sustancias restringidas. Los primeros seis se aplicaron al RoHS original, mientras que los últimos cuatro se agregaron al RoHS 3.

- Plomo (Pb): <1000 ppm.
- Mercurio (Hg): <100 ppm.
- Cadmio (Cd): <100 ppm.
- Cromo hexavalente: (Cr VI) <1000 ppm.
- Bifenilos polibromados (PBB): <1000 ppm.
- Éteres de difenilo polibromados (PBDE): <1000 ppm.
- Bis (2-etilhexil) ftalato (DEHP) : <1000 ppm.
- Bencilo butil ftalato (BBP): <1000 ppm.
- Dibutil ftalato (DBP): <1000 ppm.
- Ftalato de diisobutilo (DIBP): <1000 ppm.

CAPITULO IV - EL MANTENIMIENTO

4.1 Antecedentes históricos.

4.1.1 Desarrollo del mantenimiento.

Desde inicios de la historia el mantenimiento ha sido parte primordial en todas las herramientas que se desarrollan para las diferentes actividades que ayudaban a obtener diferentes objetivos.

Durante la primera revolución industrial, se consideró que para fabricar cualquier producto era necesario emplear un 90% de mano de obra y el resto lo proporcionaban las máquinas.

Debido a la necesidad de mantener las máquinas y equipos en óptimas condiciones, surge la necesidad del mantenimiento, ya que había descomposturas en los equipos, por desgaste o por mala operación. El mantenimiento se daba cuando la máquina dejaba de funcionar, se le llamó mantenimiento reactivo o de ruptura, mejor conocido como mantenimiento correctivo.

Durante el desarrollo de la primera Guerra Mundial (1914) las máquinas trabajaron a toda capacidad y sin interrupciones, el funcionamiento de esta era de vida o muerte; debido a la necesidad que se tenía en la época; motivo por el cual la máquina tuvo cada vez más importancia y aumentaron en cuanto a cantidad y el cuidado de estas, de esta manera nace el mantenimiento predictivo, el cual consiste en la detección de anomalías en etapas tempranas, y que se puedan realizar las debidas correcciones antes que cause defectos en esta o pérdidas en producción, se aceptó esta práctica en la época de los veinte, se convirtió en un mantenimiento necesario.

El “mantenimiento” preventivo, el cual en la década de 1920 se aceptó prácticamente como una labor que, aunque onerosa, era necesaria. Sin embargo, este procedimiento seguía guardando un enfoque exclusivamente en la máquina y las reparaciones que se le hacían eran con el criterio de que si la máquina funcionaba bien, ésta daría el producto o servicio adecuado.¹⁷

¹⁷ DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. La productividad en el mantenimiento industrial: Nuevas bases filosóficas para el mantenimiento industrial. México. Grupo editorial Patria y CECSA.

4.1.2 Del mantenimiento correctivo al mantenimiento productivo total.

En los 70, y con base al nuevo surgimiento de concepto de mantenimiento, el japonés Seichi Nakjima desarrolla el sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en ingles), el que hace énfasis de la importancia de incluir al personal de producción en labores de mantenimiento productivo; esto arroja buenos resultados en producción.

En los años 1880 se consideraba que en la elaboración de un producto el trabajo en que un humano intervenía era de un 90% y el restante 10% lo realizaba la máquina; sin embargo, desde hace ya varios años esta relación se ha invertido ya que en algunos casos las máquinas intervienen en un 90% de la producción y el restante 10% lo realizan los humanos, es por tal razón que el mantenimiento correctivo no resulta en la mejor opción en la industria, ya que las pérdidas en producción al aplicar este tipo de mantenimiento resultan grandes.

Tabla 4.1. Evolución del mantenimiento industrial.

ÉPOCA	TIPO DE MANTENIMIENTO	PAÍSES DE APLICACIÓN
ANTES - SIGLO XIX	Mantenimiento de conservación correctiva: solo se arreglaban las máquinas cuando presentaban paros o fallas.	PAISES INDUSTRIALIZADOS DE LA EPOCA.
1916 - 1950	Mantenimiento preventivo, detección y tratamiento de anomalías antes de que causen defectos o pérdidas	ESTADOS UNIDOS DE AMERICA.
AÑOS 50'S y 60's	Se complementa al mantenimiento preventivo con el mantenimiento productivo, se le da más importancia a la fiabilidad para la entrega de servicio al cliente.	JAPON.

AÑOS 70'S y 80's	Mantenimiento Productivo Total TPM, basado en el respeto y participación de todo el personal de las compañías.	JAPON Y ALGUNOS PAISES OCCIDENTALES.
AÑOS 90'S Y PRINCIPIO DE SIGLO XXI	Se presenta un mantenimiento más participativo y enfocado a la eliminación de desperdicios y pérdida en cualquier área de las compañías a partir de la aplicación del TPM.	GLOBALIZACIÓN, EN TODO EL MUNDO.

Tabla 4. 1– Evolución del mantenimiento industrial. Fuente: LOPEZ ARIAS, Ernesto. “EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN”

4.2 Tipos de mantenimiento.

Según el desarrollo anterior se determina que existen diferentes tipos de mantenimiento, cada cual, con diferentes beneficios y aplicaciones, ya que dependiendo de la etapa en que se realice, es necesario definir cuáles son los tipos de mantenimiento.

4.2.1 Mantenimiento reparativo o correctivo.

Es el mismo de conservación correctiva, el cual se realiza cuando ya se presentó la avería o falla, y la desventaja de este es que al aplicarlo representa pérdidas en producción, paros de procesos. No es recomendable aplicarlo en equipos de uso crítico solo en equipos secundarios.¹⁸

Muchas empresas optan por el mantenimiento correctivo, es decir, la reparación de averías cuando surgen, como base de su mantenimiento: más del 90% del tiempo y de los recursos empleados en mantenimiento se destinan a la reparación de fallos.

¹⁸ RENOVETEC, Mantenimiento Correctivo, Organización y gestión de la reparación de averías, España, Editorial RENOVETEC 2009.

4.2.1.1 Tipos de mantenimiento correctivo

Podemos diferenciar entre dos tipos de mantenimiento correctivo los cuales se explican a continuación:

4.2.1.1.1 No planificado.

Es en el que se debe de actuar de la manera más rápida posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y humanos mayores.

Debe efectuar de manera urgente ya sea por avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición de operación que haya que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.)

4.2.1.1.2 Planificado.

En este es el mantenimiento que se sabe con anticipación, lo que se debe de hacer, de modo que cuando el equipo pare se efectúa la reparación, y se trata de disponer del personal, repuesto y documentos técnicos para realizar correctamente la reparación. Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho.

La distinción entre correctivo programado y correctivo no programado afecta en primer lugar a la producción. No tiene la misma afección el plan de producción si la parada es inmediata y sorpresiva que si se tiene cierto tiempo para reaccionar. Por tanto, mientras el correctivo no programado es claramente una situación indeseable desde el punto de vista de la producción, los compromisos con clientes y los ingresos, el correctivo programado es menos agresivo con todos ellos.

4.2.1.2 Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo.

4.2.1.2.1 Ventajas.

Como todos los mantenimientos el mantenimiento correctivo tiene ventajas entre las cuales se pueden destacar:

- No genera gastos fijos.
- No se vuelve necesario un plan de mantenimiento.
- Solo hay carga monetaria cuando es realmente necesario.
- A corto plazo representa un buen resultado económico.

- Hay equipos en los cuales el mantenimiento correctivo no tiene ningún efecto tal es el caso de los dispositivos electrónicos.

4.2.1.2.2 Desventajas.

La mayoría de empresas como se mencionó anteriormente prefieren el mantenimiento correctivo antes que cualquier otro tipo de mantenimiento; sin embargo, la mayoría de ocasiones no se considera que este tipo de mantenimiento tiene inconvenientes importantes entre los que se puede mencionar:

- La producción se vuelve impredecible y poco fiable, ya que por el tipo de mantenimiento que se aplica no hay una garantía de producción. Los fallos y paros pueden producirse en cualquier momento, por lo cual no se recomienda practicar este mantenimiento en plantas de un alto valor añadido al producto final, si se tiene compromisos de producción con clientes, o cuando son periodos de producción cortos.
- Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser importantes.
- La vida útil de los equipos se acorta.
- Impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc. Por ello, la avería puede repetirse una y otra vez.
- Hay tareas que siempre son rentables en cualquier tipo de equipo. Difícilmente puede justificarse su no realización en base a criterios económicos: los engrases, las limpiezas, las inspecciones visuales y los ajustes. Determinados equipos necesitan además de continuos ajustes, vigilancia, engrase, incluso para funcionar durante cortos periodos de tiempo.
- Los seguros de maquinaria o de gran avería suelen excluir los riesgos derivados de la no realización del mantenimiento programado indicado por el fabricante del equipo.
- Las averías y los comportamientos anormales no sólo ponen en riesgo la producción: también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente.

- Basar el mantenimiento en la corrección de fallos supone contar con técnicos muy cualificados, con un stock de repuestos importante, con medios técnicos muy variados, etc.

En la mayor parte de las empresas difícilmente las ventajas del mantenimiento correctivo superan los inconvenientes que este representa. En general las empresas que aplican este tipo de mantenimiento no han analizado a profundidad si les es rentable o no.

4.2.2 Mantenimiento preventivo.

Es el que se programa para cambios de piezas con intervalos de tiempo establecidos según las estadísticas para evitar paros innecesarios que conlleven pérdidas en producción, ya que con este tipo de mantenimiento se pretende aumentar el tiempo entre averías, así como la vida útil de la máquina en cuestión.

Un mantenimiento preventivo sirve para encontrar, corregir y prever los problemas menores de un equipo antes que este provoque fallas; es recomendable aplicar este en las inspecciones de deben revisar los elementos de seguridad, ajustes, análisis, limpieza, lubricación entre otros.¹⁹ De esta manera se podrá mantener la máquina en óptimas condiciones de operación, logrando que esta tenga un funcionamiento adecuado y una eficiencia de operación mayor.

4.2.2.1 Aspectos a considerar en el mantenimiento preventivo.

- Las actividades se hacen a diario, normalmente las ejecuta el personal de operación.
- Las actividades se llevan a cabo durante horas programadas.
- Protocolo de mantenimiento.
- Las actividades programadas que se realizan durante el año.
- Qué tipo de tarea se realizará, el tiempo que demora la inspección.
- Especialidad del trabajo, que tipo de profesional hará la inspección.
- Si la máquina debe estar parada o en marcha a la hora de hacer la inspección.

¹⁹ Víctor Zárate, Mantenimiento Preventivo, Revista digital cero grados Celsius, México

4.2.2.2 Procedimiento para un mantenimiento preventivo.

- Inspección de las condiciones ambientales en el entorno de trabajo de la máquina. Se evalúa la humedad, vibraciones mecánicas, si hay presencia de contaminantes como polvo, seguridad de la instalación y la temperatura tanto ambiental como la de la máquina.
- Limpieza e inspección externa del equipo. Durante los procedimientos de mantenimiento preventivo se puede incluir limpieza externa de la maquinaria, junto a la revisión física externa de sus mecanismos, sean estos eléctricos o mecánicos.
- Limpieza e inspección interna del equipo, se incluye en esta limpieza interna del equipo, tableros electrónicos, pantallas, contactos eléctricos, rodillos, entre otros.
- Lubricación y engrase, ya sea a través de forma directa o en depósitos, motores bisagras valeros, y cualquier mecanismo móvil que necesite de este tipo de mantenimiento.
- Reemplazo de parte intercambiables, paso esencial para el mantenimiento preventivo, se puede realizar al momento de la inspección dependiendo de la pieza que necesite ser sustituida.
- Ajuste y calibración de todos los componentes eléctricos, mecánicos, neumáticos, hidráulicos, entre otros.
- Revisiones de elementos de seguridad, esto depende del tipo de protección que se espera en cuestión, según las normas establecidas por el fabricante de la maquinaria.

4.2.2.3 Costos de implementación del mantenimiento predictivo.

A la hora de implementar este mantenimiento se deben considerar los costos, se debe seleccionar la maquinaria y el equipo que se incluirá para este, se deben incluir todos los elementos tanto la mano de obra como las herramientas y los conocimientos técnicos para la implementación de esta labor, se necesita una herramienta especial. Se debe poner especial cuidado en la selección de la maquinaria ya que muchos programas se ven afectados por la no consideración de este punto, ya que no se incluye herramientas verdaderamente necesarias para el mantenimiento.

4.2.2.4 Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

Ventajas	Desventajas
Los equipos operan en mejores condiciones de seguridad.	Se requiere experiencia del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer mantenimientos los equipos.
Mejores condiciones de funcionamiento.	
Disminución del tiempo que no operan los equipos debido a fallas.	
Se extiende la vida útil de los equipos.	
Reducción de costos.	No permite determinar con exactitud el desgaste de las piezas de los equipos.
Carga de trabajo del personal de mantenimiento con actividades programadas.	

Tabla 4. 2– Ventajas y desventajas de mantenimiento preventivo. Fuente: LOPEZ ARIAS, Ernesto. “EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN”

4.2.3 Mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan de mantenimiento, justo antes de que falle. De tal manera que no existan los paros repentinos de producción maquinaria.

Mediante una constante verificación de la máquina o motor en cuestión, se verifican diferentes parámetros de la máquina.

Pretende detectar las fallas antes que se desarrollen en una ruptura u otras interferencias en producción. Basado en inspecciones periódicas.

A diferencia del Mantenimiento Preventivo que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico. El mantenimiento predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.

4.2.3.1 Aspectos a considerar en el mantenimiento predictivo.

Durante el desarrollo del mantenimiento predictivo se deben de tener en cuenta y dependiendo el tipo de maquinaria: la vibración, el ruido, la temperatura, la velocidad, el consumo de corriente, revoluciones por minuto, etc.

El mantenimiento predictivo como la palabra dice trata de dar una predicción de cuando un componente o una maquina fallará mediante lecturas constantes de vibración, temperatura, consumo de corriente se puede decir cuando fallará algún componente, esto permite mantener en stock al momento de suscitarse la falla o cuando se predice que esta sucederá. Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones.

4.2.3.2 Procedimiento para el mantenimiento predictivo.

Se debe determinar la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. Se debe tomar en cuenta los equipos que se utilizaran para realizar el mantenimiento predictivo, si se cuenta con ellos o como se hizo el análisis de factibilidad si se pueden costear esos equipos. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo, se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. De acuerdo a los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

4.2.3.2.1 Diferentes monitoreos de máquinas y equipos.

Vigilancia de máquinas: Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.

Protección de máquinas: Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.

Diagnóstico de fallas: Su objetivo es definir cuál es el problema específico. Pronóstico de vida la esperanza a. Su objetivo es estimar cuánto tiempo más Podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica.

En el último tiempo se ha dado la tendencia a aplicar mantenimiento predictivo o sintomático, sea, esto mediante vibro-análisis, análisis de aceite usado, control de desgastes, etc.

4.2.4 Mantenimiento proactivo.

Este tipo de mantenimiento busca las causas de las pérdidas de tiempo, paros en producción, y lo que se pretende con este tipo de mantenimiento es anteponerse a las fallas, de tal manera que se pueda hacer algún tipo de modificación a la máquina incluso si es mérito a rediseño de esta.

4.3 Mantenimiento con termografía infrarroja.

Las cámaras termográficas son una herramienta única que sirven para determinar cuándo y dónde se necesita mantenimiento, puesto que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen calentarse antes de fallar. Al descubrir estos puntos calientes con una cámara termográfica, se puede llevar a cabo una medida preventiva. De este modo, es posible evitar costosas averías o, aún peor, incendios.

Una cámara termográfica es un fiable instrumento a distancia capaz de analizar y visualizar la distribución de temperatura de superficies completas de equipamiento eléctrico y maquinaria con rapidez y precisión. Los programas de termografía han permitido a nuestros clientes de todo el mundo lograr sustanciales ahorros en los costes.

Numerosas industrias de todo el mundo han descubierto las ventajas de incorporar cámaras infrarrojas en sus programas de mantenimiento predictivo.

Al realizar este tipo de inspección, hay muchos detalles que se deben considerar. Además de conocer cómo funciona la cámara termografía y cómo tomar imágenes, es importante conocer la física de la instalación eléctrica o mecánica que se inspecciona y cómo se construye.

La Termografía Infrarroja juega un rol cada vez más importante en las actividades de Mantenimiento.²⁰ Esta técnica de producir imágenes a partir de la radiación térmica invisible que emiten los objetos, es un medio que permite identificar, sin contacto alguno, componentes eléctricos y mecánicos más calientes que su operación normal indicando áreas de fallas inminentes o áreas con excesiva pérdida de calor, que usualmente son síntomas de falla.

Usando la Termografía Infrarroja, permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de fallas imprevistas o no programadas en equipos e instalaciones.

Los beneficios de la reducción de costos a partir del uso de la termografía infrarroja, incluyen ahorros de energía, protección de equipos costosos, velocidad de inspección, diagnóstico y chequeo post-reparación, además de incrementar el tiempo de producción maximizando la disponibilidad de equipos.

4.3.1 Uso de termografía para mantenimiento predictivo.

Las cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo son potentes herramientas no invasivas para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes e instalaciones eléctricas y mecánicas. Con una cámara termográfica, puede identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir que se agraven y resulten más costosos de reparar.

La Termografía es la manera más segura, confiable y rápida de detectar cualquier tipo de fallo a través la temperatura del objeto o sistema.

²⁰ Castillo, José, Mantenimiento Industrial, Termografía, Monografía.

Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura debido principalmente a malos funcionamientos, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc.

Esta pérdida de calor no puede ser apreciada a simple vista por el ojo humano. Pero los equipos termográficos, pueden captarlo perfectamente.

4.3.2 Usos de las cámaras termográficas.

Las cámaras termográficas poseen una matriz de sensores, que captan las señales infrarrojas que emite el objeto que se desea analizar, a cada una le asignan un color. La composición de todos los colores da como resultado una imagen, donde cada uno representa una zona con una imagen determinada y cada color representa un rango de temperatura expresada en grados centígrados (°C) o Fahrenheit (°F).²¹

Las cámaras de imágenes infrarrojas son similares en sus lentes, típicamente hechos de germanio o cuarzo, enfocan la radiación sobre un detector sensible a longitudes de onda infrarroja. El detector responde produciendo pequeñas señales eléctricas que cuando se amplifican, producen una imagen electrónica correspondiente a la localización e intensidad de la radiación infrarroja total que éste ve.

Las cámaras infrarrojas poseen una serie de características y usos entre los cuales se pueden mencionar:

- Son fáciles de usar como una vigilancia.
- Proporcionan imagen completa de la situación.
- Permite llevar a cabo inspecciones mientras los sistemas están en operación.
- Identifican y encuentra problemas.
- Mide temperatura.
- Almacenamiento de la información recolectada.
- Indica al termógrafo exactamente lo que se necesita corregir.
- Ayuda a encontrar fallas antes que se produzcan problemas en la línea de producción.
- Permite ahorrar valiosos tiempos.

²¹ Castillo, José, Mantenimiento Industrial, Termografía, Monografía.

Una termografía con datos de temperatura precisos proporciona al responsable de mantenimiento información importante acerca del estado del equipamiento inspeccionado. Estas inspecciones se pueden realizar mientras el proceso de producción se encuentra en pleno funcionamiento y, en muchos casos, el uso de una cámara termográfica puede incluso ayudar a optimizar el propio proceso de producción.

Las cámaras termográficas son una herramienta tan valiosa y versátil que resulta imposible enumerar todas sus posibles aplicaciones. Cada día se desarrollan nuevas e innovadoras formas de emplear la tecnología. Algunas de las formas en las que se pueden usar las cámaras termográficas en el contexto del mantenimiento predictivo se explican en el capítulo VI de este documento.

4.3.3 Mantenimiento a sistemas eléctricos mediante el uso de termografía.

Las cámaras termográficas debido a su versatilidad se pueden utilizar para inspeccionar sistemas eléctricos de diferentes tamaños, configuraciones y no importando el nivel de tensión o corriente que en este pueda haber.

La clasificación de las cámaras termográficas se puede aplicar en sistemas de alta y de baja tensión, en los cuales se incluyen motores eléctricos y las instalaciones industriales, sin dejar la aplicación a sistemas eléctricos básicos.

4.3.3.1 Fallas que se pueden detectar en sistemas eléctricos con el uso de termografía.

En los sistemas eléctricos la termografía infrarroja permite identificar problemas causados por las relaciones corriente/resistencia, las fallas son causadas usualmente por conexiones sueltas o deterioradas, corto circuitos, sobrecargas, cargas desbalanceadas, componentes que se han instalado inapropiadamente o falla del componente en sí.

Causas más comunes que causan fallas en sistemas eléctricos:

- **Corto Circuito:** Cuando ocurre un corto en una línea de potencia, la duración es usualmente breve, con resultados inmediatos y desastrosos. Sin embargo, un corto circuito dentro de un componente en operación se puede detectar y diagnosticar usando la Termografía Infrarroja ya que la sección en corto causará excesivo flujo de corriente generando calentamiento.

- **Circuito Abierto:** En un sistema trifásico, por ejemplo, se puede determinar cuándo una de las fases no está presente, debido a la baja temperatura que la misma presentará con respecto a las otras dos.
- **Corrientes Inductivas:** Las corrientes inductivas pueden causar excesivo calentamiento dentro del elemento o componente ferroso que están dentro del campo magnético de un equipo de gran capacidad como por ejemplo un generador principal.
- **Alta Resistencia Eléctrica:** Es la causa más común de exceso de temperatura en equipos eléctricos y líneas de potencia. ²²De acuerdo con la ley de Ohm, la potencia disipada del elemento (y el calentamiento resultante) es igual al cuadrado de la corriente multiplicada por la resistencia ($P=I^2R$). Cuando la corriente de línea se mantiene constante y la resistencia es mayor que la nominal, se disipa una potencia adicional y ocurre un incremento anormal de temperatura, significando costos y peligro. Cuando se tiene un punto con alta resistencia, el calor generado se transfiere al conductor adyacente y al aire. Una imagen termográfica de este punto mostrará el área caliente en la conexión y una disminución gradual de la temperatura a medida que aumenta la distancia desde la conexión.
- **Circulación de corriente en las redes de tierra:** Las redes de tierra energizadas son un fenómeno común en las instalaciones de una planta. Cuando esto ocurre, usualmente se genera alta temperatura, por lo que no es difícil identificarla con termografía infrarroja.

4.3.3.2 Instalaciones de alta tensión.

El calor es un factor importante en las instalaciones eléctricas tanto en baja como en alta tensión. Debido al efecto Joule cuando una corriente eléctrica circula por elemento resistivo, generan calor. Una mayor resistencia produce un aumento de calor.

Con el tiempo la resistencia de las conexiones eléctricas aumenta debido a los materiales que se utilizan, a la holgura y la corrosión. El correspondiente incremento de la temperatura hace que los elementos fallen, por lo que se pueden dar cortes en tensión e incluso lesiones. Además, la energía empleada en generar calor provoca pérdidas de energía innecesarias.

²² Grupo E-Ducativa. «El efecto Joule». <http://e-ducativa.catedu.es/>. Consultado junio 2018

Si tal problema no se detecta a tiempo podría ser un punto de alto calor, el cual terminará por fundir las conexiones y provocar averías o lesiones.

Algunos de los fallos habituales que se pueden detectar con termografía son los siguientes:

- Oxidación de interruptores de alta tensión.
- Conexiones recalentadas.
- Conexiones mal aseguradas.
- Defectos de aislamiento.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica. Una cámara termográfica le ayudará a localizar el problema con precisión, determinar la gravedad del mismo y calcular el tiempo en el que se debe reparar el equipo.

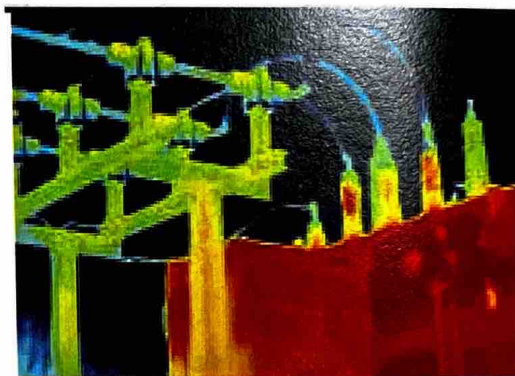


Imagen 4. 1—Termografía de un Transformador de Potencia. Fuente: Interempresas.net, agosto 2018.

En la imagen 4.1 se tiene una visión amplia de una subestación que puede mostrar rápidamente las zonas en las que existen conexiones de alta resistencia no deseadas. Ninguna otra tecnología de mantenimiento predictivo es tan eficaz para las inspecciones eléctricas como la termografía.

Una de las múltiples ventajas de la termografía es la capacidad para llevar a cabo inspecciones mientras los sistemas eléctricos están cargados. Al tratarse de un método de diagnóstico sin contacto, el termógrafo puede inspeccionar rápidamente un componente concreto de un equipo a una distancia de seguridad, abandonar la zona de riesgo, regresar a su oficina y analizar los datos sin exponerse a ningún peligro.

Gracias a que las cámaras termográficas son todas manuales y funcionan con batería, se pueden utilizar para inspecciones en el exterior: mediante una cámara termográfica es posible inspeccionar de manera rápida y eficaz subestaciones de alta tensión, conmutadores, transformadores y disyuntores externos.

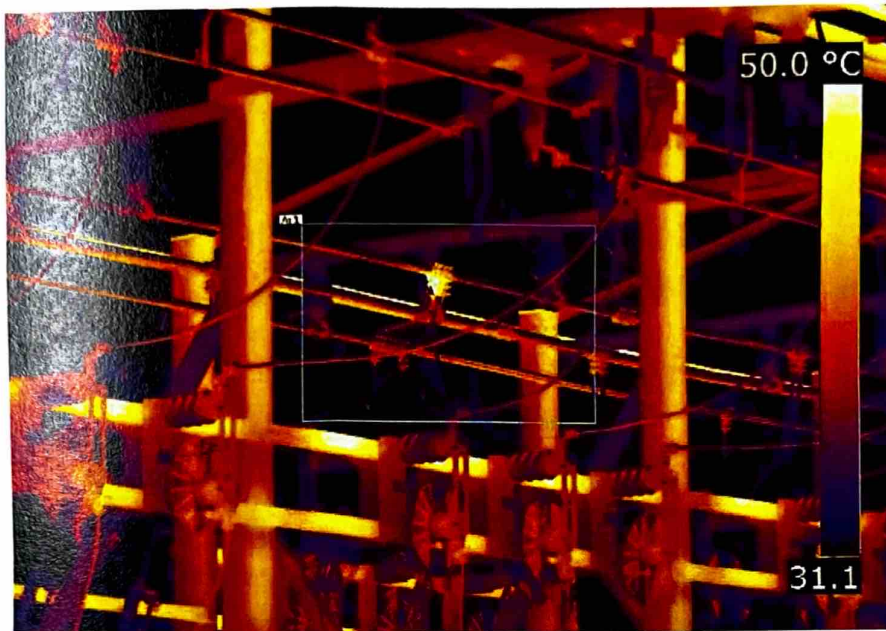


Imagen 4. 2-Termografía de una Subestación. Fuente: www.eneca.com, agosto 2018.

En la imagen 4.2 se puede apreciar una instalación de alta tensión desde una distancia considerable, lo que permite una condición segura para los operarios.

La confiabilidad es muy importante, por este motivo, las inspecciones termográficas se han convertido en parte esencial de los programas de mantenimiento preventivo en todo el mundo.

Imagen Visual.



Termografía

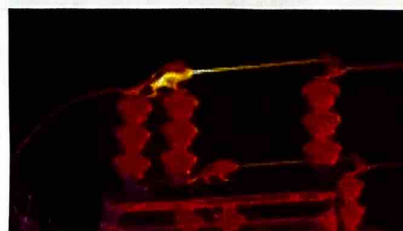


Imagen de fusión térmica

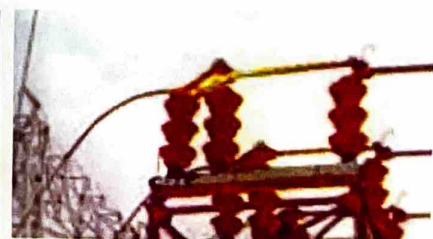


Imagen 4. 3 – Inspección de conectores en alta tensión desde una distancia segura: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

Áreas en alta tensión donde se puede aplicar mantenimiento con termografía infrarroja:

- Subestaciones Eléctricas: Transformadores de potencia y monitoreo, seccionadores, interruptores, trampas de onda, barrajes, aisladores, transformadores de potencial, transformadores de corriente, banco de baterías, tableros de control de los equipos, etc.
- Redes de Distribución: Puntos de conexión entre los aisladores y la línea, conexiones de tierra de las estructuras, transformadores de potencia, cortacircuitos, pararrayos, empalmes primarios y secundarios.

4.3.3.3 Termografía en instalaciones de baja tensión.

Las cámaras termográficas se utilizan para inspecciones de componentes y sistemas eléctricos de todos los tamaños y formas y su empleo no se limita únicamente a aplicaciones de alta tensión.

Con ellas podrá examinar regularmente cuadros eléctricos y centros de control de motores. Si no lo hace, el calor podría acumularse hasta el punto de fundir conexiones y provocar averías e incluso incendios.

Además de conexiones sueltas, los sistemas eléctricos sufren desequilibrios de carga, corrosión y aumentos de impedancia de corriente.

Las inspecciones térmicas permiten localizar rápidamente puntos calientes, determinar la gravedad del problema y calcular el tiempo en el que se debe reparar el equipo.

Ejemplos de fallos en equipamiento de baja tensión que se pueden detectar con termografía:

- Conexiones con alta resistencia.
- Conexiones corroídas.
- Daños internos en los fusibles.
- Fallos internos en los disyuntores.
- Malas conexiones y daños internos.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica, de este modo, se evitarán costosos daños y situaciones peligrosas.

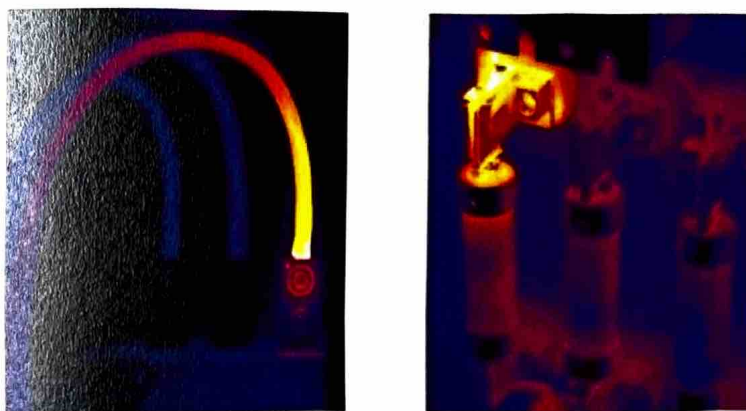


Imagen 4. 4- Inspección de tablero en baja tensión desde una distancia segura, en las imágenes se muestran ejemplos de conexiones recalentadas Fuente: Termografía, ARGEN SRL.

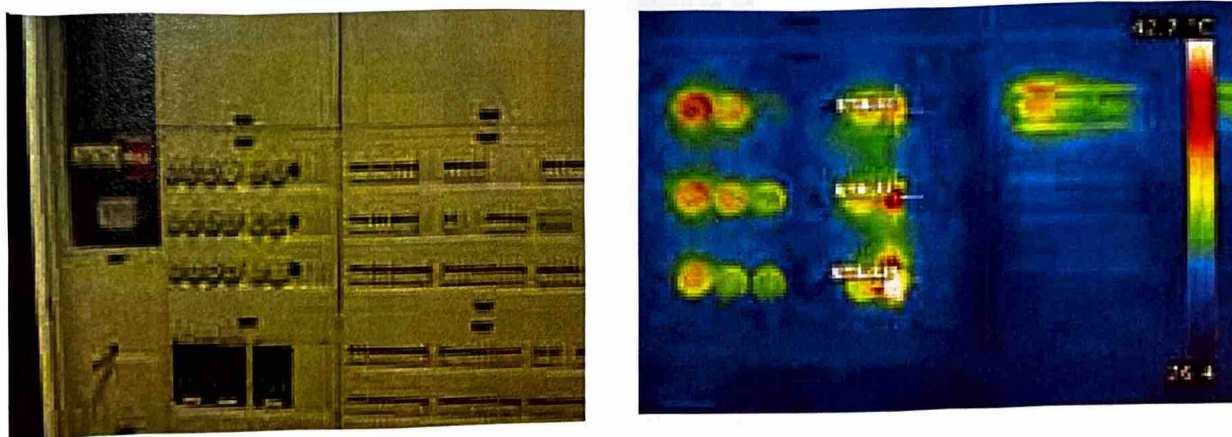


Imagen 4. 5- Inspección de tablero de distribución., Esta termografía muestra que la carga no está uniformemente distribuida entre las cajas de fusibles: FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.

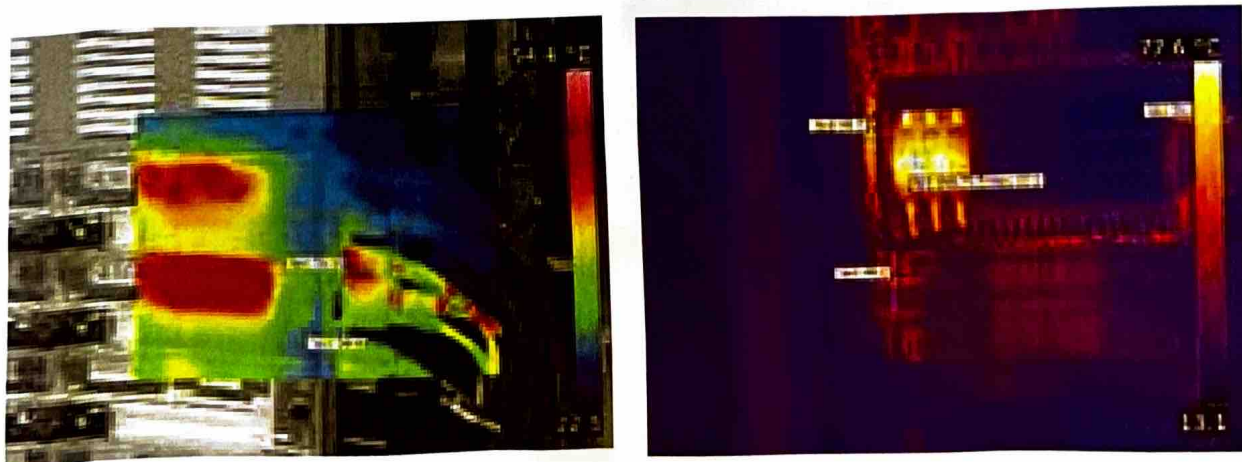


Imagen 4. 6- Inspección de tablero de distribución. En la fotografía de la izquierda se muestra la imagen de fusión térmica, en la de la derecha un fusible sobrecargado que debe ser remplazado FLIR. Guía de termografía para mantenimiento predictivo.



Imagen 4. 7– Puntos calientes en contactor monofásico 240 v. Fuente: Propia

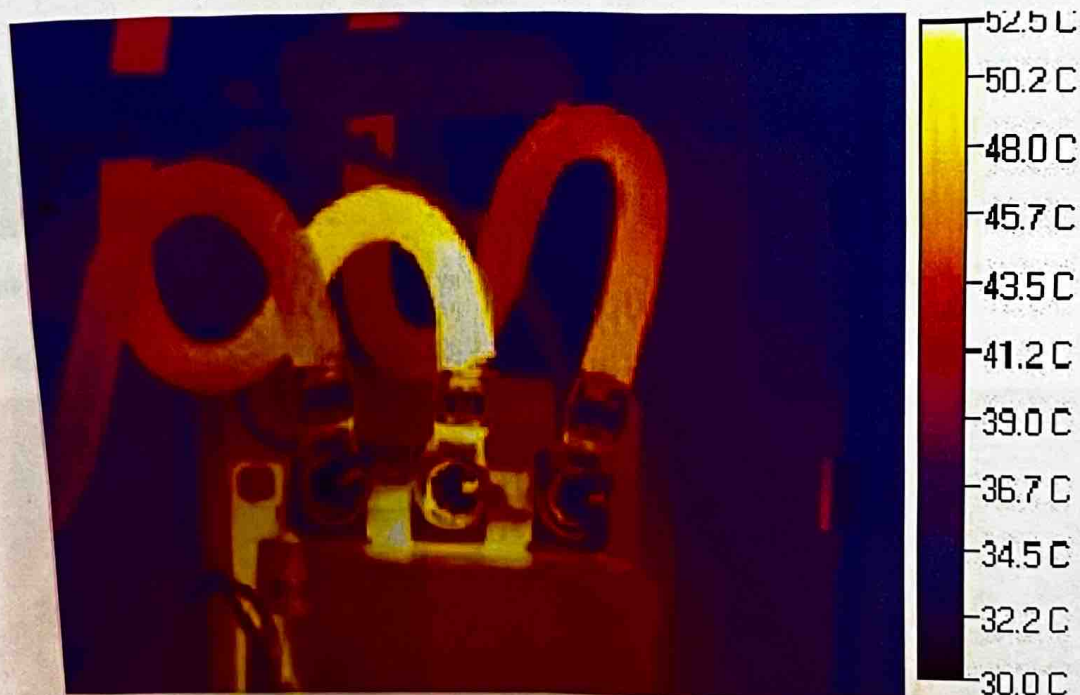


Imagen 4. 8– Puntos calientes en Protección, El punto caliente indica una falla podría provocar un incendio. Fuente: ESTUDIOS DE TERMOGRAFÍA INFRARROJA, FRANCOR.

4.3.3.4 Procedimiento para el uso de termografía en instalaciones eléctricas.

Las inspecciones con termografía son un tipo de mantenimiento predictivo por lo cual se pueden agregar en los programas de mantenimiento para su uso, los pasos a seguir en el uso de termografía en instalaciones eléctricas son:

1. Seleccionar e identificar la instalación a inspeccionar: ²³Se debe tener un programa anual de inspecciones termográficas donde se incluye todo el sistema eléctrico y donde se establezca el número de inspecciones por instalación de esta manera podrá programarse y planificarse el itinerario de inspección con antelación.
2. Preparación y conexión de la cámara: Se refiere a la puesta a punto del equipo, se deben verificar los valores de emisividad utilizados, calibración del equipo y muy importante el ajuste entre conexiones de la cámara y el sistema de suministro de carga en caso que sea necesario.
3. Verificación de funcionamiento, se debe verificar si las actividades en el área donde se usará termografía están en operación, si esta al máximo de carga de operación o en qué porcentaje, una protección eléctrica si no está a plena carga podría dar una lectura falsa de termografía.
4. Barrido general en toda la instalación eléctrica para detectar posibles puntos calientes haciendo énfasis en grapas de su unión, bushing, seccionadores, salidas de transformadores y por último se debe tomar un termograma global de todo el conjunto de equipos que conforman la instalación, si se detecta algún punto caliente se realizará medición de temperatura en la zona afectada para determinar algún grado de sobrecalentamiento se deben realizar medidas comparativas con elementos de igual función, esto permitirá determinar el grado de sobrecalentamiento presente y permitirá fácilmente indicar cuál es la acción.
5. Dependiendo del modelo de cámara termográfica, tomar capturas de termografía y fotografía normal, en el caso de la cámara termográfica FLIR ONE PRO, permite tener ambas imágenes en un solo archivo.

²³ Castillo, José, Mantenimiento Industrial, Termografía, Monografía.



Imagen 4. 9 – Imagen termográfica, y fotografía normal de tablero. Fuente: Propia

6. Emitir reporte: Se debe plasmar en un reporte todos los resultados obtenidos identificando claramente cuáles son los puntos con problemas y dando claramente la localización exacta, además demarcar en la fotografía a color con un círculo las zonas afectadas. En caso de tratarse de una reparación inmediata se deberá introducir recomendación con orden de prioridad al sistema de mantenimiento para realizar un seguimiento continuo a dicha acción y asegurar de esta manera su corrección.
7. Archivar: Esta información es útil para estudios estadísticos, análisis y comportamiento del índice de fallas por lo que se recomienda archivar copia de todos los reportes emitidos.

4.3.4 Mantenimiento a instalaciones mecánicas mediante el uso de termografía infrarroja.

Los sistemas mecánicos son parte primordial en la industria ya que junto con los sistemas eléctricos realizan las diferentes operaciones.

Los datos térmicos recopilados con la ayuda de una cámara termográfica puede ser una fuente valiosa de información complementaria en los estudios de vibración y las diferentes inspecciones de los sistemas mecánicos.

Los sistemas mecánicos se recalientan si hay errores de alineamiento o problemas de lubricación en algunos puntos del sistema.

Como un ejemplo donde se dan fallos de los anteriormente descritos son las cintas transportadoras, si un rodillo está dañado y tiene mal funcionamiento, aparecerá claramente en la termográfica, indicando que tal rodillo debe ser sustituido o si tiene falla de alineación debe solventarse.

Los sistemas mecánicos debido a los materiales de los cuales están hechos y los tipos de operaciones que estos tienen, cuando se desgastan y pierden eficiencia disipan energía en forma de calor. Como resultado, los equipos con sistemas mecánicos defectuosos aumentan de manera rápida la temperatura antes de averiarse.

Un buen mantenimiento predictivo ayuda a encontrar dichas averías de manera temprana, al hacer comprobaciones termográficas de manera periódica se crea un perfil de la temperatura media de funcionamiento de los sistemas mecánicos en condiciones de operación normales, si al hacer la comprobación aparecen parámetros diferentes se puede concluir de manera temprana un posible fallo en el sistema mecánico.

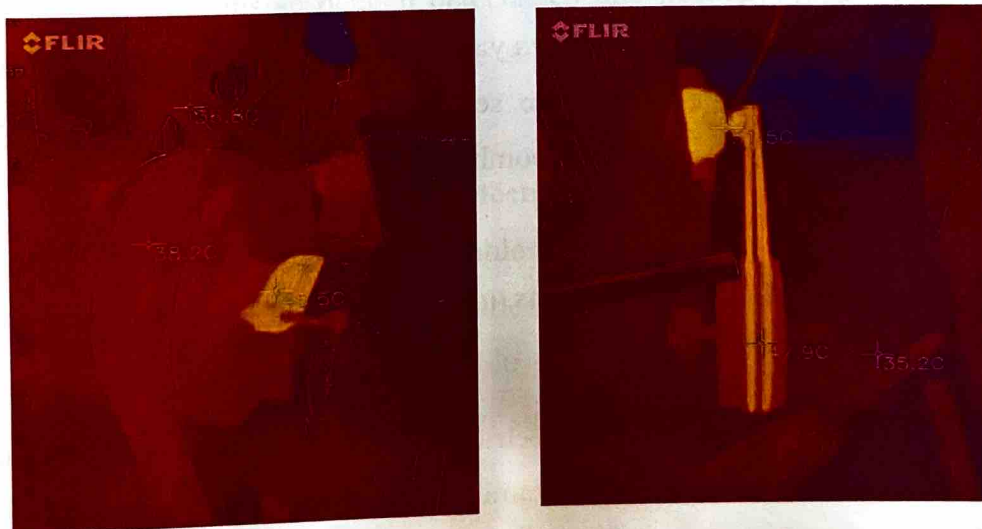


Imagen 4. 10- Rodillo sospechoso y banda con calentamiento. Fuente: Propia



Imagen 4. 11–Imagen termográfica de motor en funcionamiento. Fuente: Propia.

También se pueden inspeccionar motores mediante una cámara termográfica. Los fallos en el motor, como los signos de desgaste en el contacto de las escobillas y los cortocircuitos en los armazones, suelen producir un calor excesivo antes del fallo, pero son imposibles de detectar mediante un análisis de vibraciones puesto que con frecuencia generan poca o ninguna vibración.

La termografía ofrece una visión completa y permite comparar las temperaturas de distintos motores. Otros sistemas mecánicos que se supervisan con cámaras termográficas son conexiones, transmisiones, cojinetes, bombas, compresores, correas, turbinas y cintas transportadoras.

4.3.4.1 Ejemplos de averías mecánicas que se pueden detectar con la termografía infrarroja.

Los equipos rotativos como motores eléctricos, turbinas, reductores de velocidad, poleas, cuando presentan fallas muestran calentamiento en algunas de las partes más críticas, el exceso de calor se puede generar debido a diferentes circunstancias entre las que se destacan:

- Cuando soporta una carga con desalineamiento o un centro de gravedad desviado genera una fuerza extra que puede generar calentamiento en las partes móviles de una maquinaria o puede ser que se encuentra con lubricación inadecuada.²⁴
- Se puede generar exceso de calor por fricción sobre las pistas de una polea cuando existe tensionamiento inadecuado o desigual en las correas, cuando existe desalineamiento en este tipo de acoplamientos, cuando existen diferencias importantes entre la potencia suministrada y la requerida entre el motor y el equipo conducido.
- Se puede generar exceso de calor al interior de un acople mecánico directo entre el equipo motor y el equipo conducido, cuando existe desalineamiento.
- Motores recalentados por posibles fallas internas de este.
- Rodillos sospechosos, se puede detectar en las primeras etapas de fallas.
- Bombas sobrecargadas, la temperatura sería alta porque la máquina no tiene la capacidad que se le está demandando.
- Ejes de motor recalentado, por una posible torsión que se le está generando y el eje no está capacitado para ello.

Estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica. Esto ayudará a evitar que se produzcan daños costosos y a garantizar la continuidad de la producción.

4.4 Crear un plan de Mantenimiento efectivo.

Los planes de manteniendo son tan variables como lo es la industria, un buen programa de mantenimiento incluye revisión completa de todos los parámetros de las diferentes máquinas que se poseen, así como verificación de otros complementos, pero hay unos pasos básicos que se pueden que se pueden implementar sin importar el tipo de maquinaria que se posea:

4.4.1 Definir objetivos.

Cuando hablamos de un plan, se supone que ese plan se concibe para cumplir determinados objetivos.

²⁴ Castillo, José, Mantenimiento Industrial, Termografía, Monografía.

Por lo tanto, el primer paso para crear un plan de mantenimiento preventivo es definir las metas que quiere alcanzar.

Al momento de definir qué es lo que se quiere lograr con el programa de mantenimiento se debe tener en cuenta si se pretende: prevenir los tiempos muertos, aumentar la fiabilidad de un equipo, reducir los costes que genera un mantenimiento correctivo.

Algo que ayuda a definir el objetivo que se tiene es hacer análisis de las máquinas que han fallado que componente y se les pone especial cuidado, de tal manera que se consideran tareas primordiales.

4.4.2 Inventario adecuado

Un inventario eficaz ayuda a que el mantenimiento de diferentes máquinas y componentes de estas, es una de las fases que dependiendo el tipo de industria, complejidad de maquinaria y tamaño de estas dificultan el inventario.

4.4.3 Definir Prioridades

Se debe tener claro cuáles son las máquinas o equipos que se les prestará más atención esto con el objeto de definir cuál será el plan de acción.



Imagen 4. 12– Uso de cámara termografía en Planta Potabilizadora las Pavas (ANDA). Fuente:” Propia”.

En la imagen 4.1 se puede apreciar como el operario asignado verifica la temperatura de motor actividad que realiza cara hora, con el objetivo de ante cualquier cambio de temperatura actuar, se ha definido como prioridad ya que los motores eléctricos mueven las bombas, al fallar se detiene toda la línea de producción.

4.4.4 Verificar si se cumple el plan de mantenimiento.

Se debe evaluar periódicamente si se cumplen los objetivos que se definieron en la primera etapa, en este proceso se trata de verificar que fallos se han tenido en el plan y como se pueden corregir, es importante definir cuáles son los indicadores del buen funcionamiento del plan de mantenimiento.

Algunos de los indicadores más comunes son el porcentaje de mantenimiento preventivo, el índice de cumplimiento del mantenimiento preventivo, la eficacia general del equipo, el porcentaje crítico de mantenimiento programado y el tiempo medio entre averías.

4.4.5 Mejora continua.

Un plan de mantenimiento no es perfecto, la mejora continua permitirá que este plan de mantenimiento surta efectos y cumplir los objetivos que se definieron, ver los indicadores de rendimiento permitirá, saber si nuestro plan de mantenimiento fue efectivo.

La aplicación de tecnologías innovadoras como la termografía infrarroja permitirá dar mantenimiento de parámetros de temperatura de los equipos. Es aplicable en la mayoría de la industria por lo cual se debe tener en cuenta la mejora de los equipos para la realización de los planes de mantenimiento.

CAPITULO V – USO DE LA CAMARA TERMOGRAFICA FLIR ONE PRO

5.1 Especificaciones técnicas.



Imagen 5. 1 – Cámara termográfica FLIR ONE Pro. Fuente: FLIR ONE PRO “Guía del usuario”.

El FLIR ONE Pro da la capacidad de encontrar los problemas invisibles con más rapidez que nunca. Al combinar un sensor térmico Lepton de la más alta resolución capaz de medir temperaturas de hasta 400 °C (752 °F) con potentes herramientas de medición y la capacidad de generación de informes. El revolucionario procesamiento de imágenes VividIR™ permite ver más detalles y darles a los clientes pruebas de que resolvió el problema que los afectaba desde la primera vez. El diseño actualizado incluye el revolucionario conector ajustable OneFit™ que se adapta al iPhone o iPad. La aplicación FLIR ONE le permite medir varias temperaturas o regiones de interés de una vez y transmitir a su smartwatch para ver remotamente si así lo desea. Ya sea que esté inspeccionando paneles eléctricos, buscando problemas de climatización o tratando de encontrar daños causados por el agua, el nuevo FLIR ONE Pro es una herramienta sin la cual no debe estar el profesional.²⁵

El Lepton® de FLIR es una solución de cámara LWIR²⁶ con capacidad radiométrica más pequeña que una moneda que cabe en el interior de un smartphone, y cuesta una décima parte de lo que cuestan las cámaras IR tradicionales. Con matrices de plano focal de 160 x 120 o 80 x 60 píxeles activos, el Lepton se integra fácilmente en los dispositivos móviles nativos y otros equipos electrónicos, como un sensor de IR o un generador de imágenes térmicas. El sensor Lepton® de FLIR no requiere calibración.

²⁵ www.flir.com - 17-1746-OEM-FLIROne_Pro_ES

²⁶ Longwave Infrared (Infrarrojo de onda larga)

5.1.1 Procesamiento de imágenes VividIR.

La FLIR ONE Pro cuenta con el más nítido rendimiento de la termografía móvil, le permite detectar problemas con precisión y exactitud, y luego documentar su reparación para el cliente.

- La más avanzada mejora de la resolución de la imagen detecta los detalles térmicos que necesita para encontrar rápido los problemas.
- Con una resolución térmica de 160 x 120, FLIR ONE Pro usa la micro cámara térmica de más alta resolución de FLIR y puede medir temperaturas tan altas como 400 °C (752 °F)
- FLIR MSX® estampa los bordes visibles de la cámara HD de 1440 x 1080 en las imágenes térmicas para crear una imagen más nítida y más fácil de comprender.

5.1.2 Conector OneFit.

Contar con el conector ajustable significa que no tendrá que elegir entre disponer de la visión térmica y proteger su dispositivo si utiliza fundas compatibles.

- Longitud de ajuste del conector USB-C y del conector Lightning de hasta 4 mm adicionales.
- Conectores reversibles para Android e iOS.
- Ajuste el FLIR ONE a su dispositivo móvil al tiempo que mantiene seguro el teléfono.

5.1.3 Características técnicas de la cámara FLIR ONE Pro.

Aspectos Generales	FLIR One Pro
Certificaciones	MFi (versión iOS), RoHS, CE/FCC, CEC-BC, EN61233
Temperatura de funcionamiento	De 0 °C a 35 °C (de 32 °F a 95 °F), carga de batería de 0 °C a 30 °C (de 32 °F a 86 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a 60 °C (de -4 °F a 140 °F)
Tamaño	68 mm An x 34 mm Al x 14 mm P (2.7 " x 1.3 " x 0.6 ")
Peso	36.5 g
Golpes	Caída desde 1.8 m (5.9 pies)

Video

Cámara visual y cámara térmica con MSX

Sensor térmico	Tamaño de píxel 12μM, de 8 a 14 μM de rango espectral
Resolución térmica	160 x 120 píxeles
Resolución visual	1440 x 1080
HFOV/VFOV	55 ° ± 1 ° / 43 ° ± 1 °
Frecuencia de imagen	8.7Hz
Enfoque	15 cm fijo - Infinito

Radiometría

Rango dinámico de escena	De -20 °C a 400 °C (de -4 °F a 752 °F)
Precisión	±3 °C (5.4 °F) o ±5%, normal Porcentaje de la diferencia entre la temperatura ambiente y de la escena. Se aplica a 60 segundos tras el inicio cuando la unidad está entre 15 y 35 °C (59 °F a 95 °F) y la escena está entre 5 y 120 °C (41 °F a 248 °F).
Sensibilidad térmica (MRDT)	150 mK
Ajustes de emisividad	Mate: 95 %, semimate: 80 %, semibrillante: 60 %, brillante: 30% La temperatura de fondo reflejada es de 22 °C (72 °F)
Obturador	Automático/Manual

Alimentación

Duración de la batería	Aproximadamente 1h
Demora para cargar la batería	40 min

Interfaces

Video	Lightning macho (iOS), USB-C macho (Android)
Carga	USB-C hembra (5 V/1 A)

Aplicación	
Visualización/captura de video e imagen fija	Guardado como 1440 x 1080
Formatos de archivo	Foto – jpeg radiométrico Video – MPEG-4 (formato de archivo MOV (iOS), MP4 (Android))
Modos de captura	Video, foto, temporizador
Paletas de color	Gris (blanco cálido), más cálido, más frío, hierro, arcoíris, contraste, ártico, lava y rueda.
Medidor puntual	Desactivado / °C / °F. Resolución 0.1 °C / 0.1 °F
Distancia MSX regulable	0.3 m – Infinito
Monitor de carga de la batería	0- 100 %

Tabla 5. 1– Características técnicas de la FLIR ONE Pro. Fuente: FLIR ONE PRO “Guía del usuario”

5.2 Partes de la cámara termográfica FLIR ONE PRO.

La FLIR ONE Pro permite ver el mundo de una forma completamente nueva, con una exclusiva combinación de imágenes térmicas y visibles. A continuación, se enumeran las partes que necesitará conocer para usar la FLIR ONE Pro.

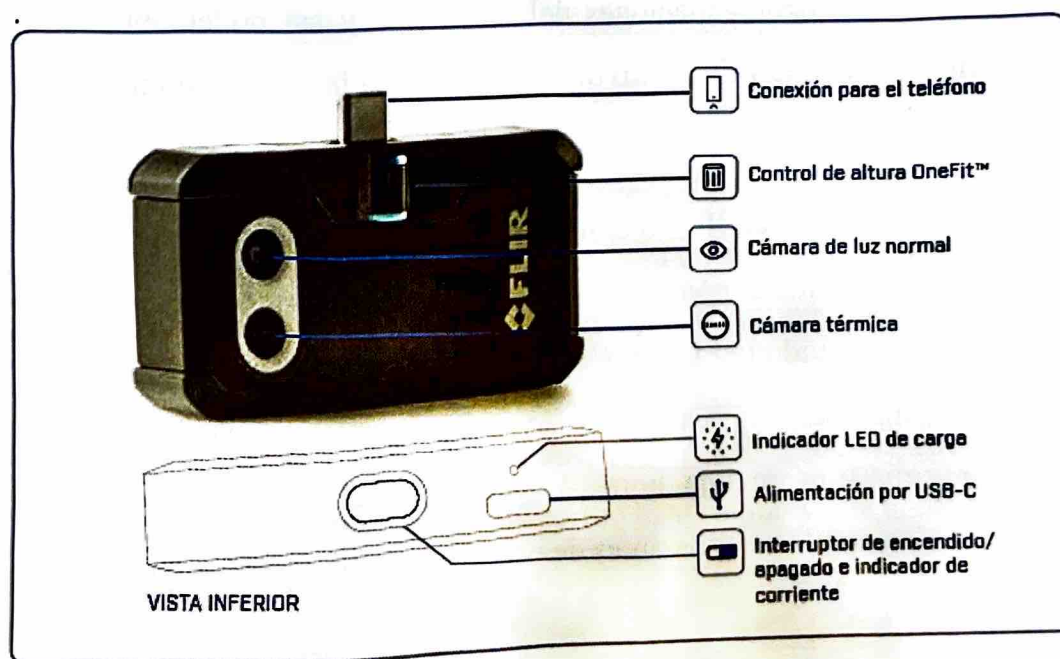


Imagen 5. 2– Partes de la FLIR ONE Pro. Fuente: FLIR ONE PRO “Guía del usuario”

- **Conexión para iPad:** El conector Lightning es un cable de transferencia de datos y de corriente creado por Apple, para el uso de productos de esta empresa tal como iPod, iPhone y iPads.
- **Control de altura OneFit:** Permite el ajuste del conector Lightning hasta 4 mm adicionales.
- **Cámara de luz normal:** Cámara digital con resolución de 1440 x 1080.
- **Cámara térmica:** A partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano, resolución de 160 x 120 píxeles.
- **Indicador led de carga:** Indica cuando el dispositivo se encuentra cargando.
- **Alimentación por USB-C:** Es una especificación USB para un conector pequeño de 24 pines, de conexión reversible, para dispositivos y cables de carga USB. Suministro 5 voltios y 1 amperio.
- **Interruptor de encendido/apagado e indicador de corriente:** Botón para encender y apagar el dispositivo e indica cuando la cámara se encuentra en línea con la aplicación del iPad.

5.3 Puesta en marcha de la FLIR ONE Pro.

Para la puesta en marcha de la cámara termográfica FLIR ONE Pro es necesario seguir al pie de la letra las recomendaciones del fabricante y así poder obtener los resultados y rendimiento esperado del dispositivo. Los pasos para la puesta en marcha de la FLIR ONE Pro son los siguientes:

1. Cargue la FLIR ONE Pro con el cable de energía USB-C incluido, conectado a una fuente de alimentación de 1 A. El LED indicador de carga junto a la conexión USB parpadea cuando la FLIR ONE Pro está cargando y permanece estático cuando ya se ha completado la carga. La carga completa de la FLIR ONE Pro tardará aproximadamente una hora. Asegúrese de que la cámara FLIR ONE Pro está completamente cargada antes de usarla por primera vez.

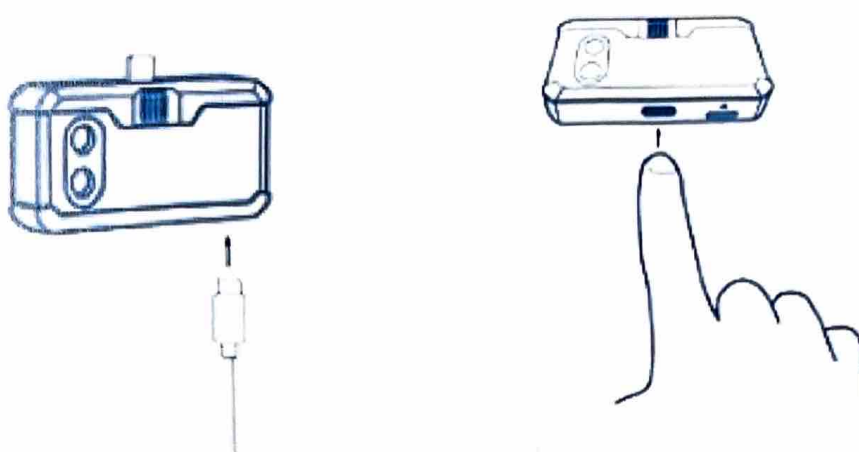


Imagen 5. 3– Forma correcta de cargar la FLIR ONE Pro. Fuente: FLIR ONE Pro “Guía de inicio rápido”.

2. Descargue e instale la aplicación de FLIR ONE, que está disponible en las tiendas de Apple Store y Google Play. Cuando abra la aplicación FLIR ONE, la guía de usuario para la primera vez le ayudará a empezar a usar la FLIR ONE.



Imagen 5. 4– Icono de Aplicación FLIR ONE. Fuente: Apple Store.

3. Pulse el botón de encendido en la parte inferior de la FLIR ONE para encenderla. La luz del indicador se pondrá naranja. Parpadeará en verde cuando el dispositivo esté listo. Si es necesario, ajuste el dial azul del OneFit™ y extienda el conector hasta la longitud adecuada para que pase por la funda protectora de su Smartphone. Conecte el FLIR ONE al iPad e inicie la aplicación FLIR ONE. Se le pedirá que cree una cuenta de usuario con su dirección de correo electrónico y una contraseña.

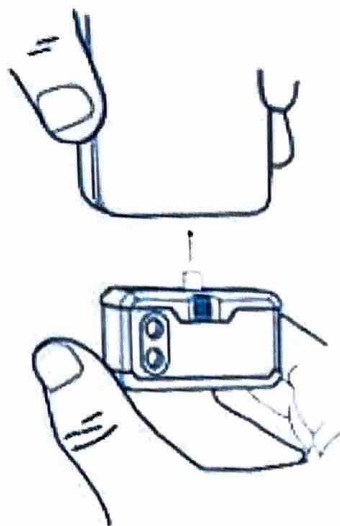


Imagen 5. 5– Forma correcta de conectar la FLIR ONE Pro al iPad. Fuente: FLIR ONE Pro – Guía de inicio rápido.

4. Vaya a la pantalla de inicio de la aplicación para acceder a su galería, obtener los consejos y trucos para utilizar su FLIR ONE, compartir fotos y vídeos con la comunidad de FLIR ONE, y estar al día sobre las últimas noticias y promociones de FLIR.
5. Explore todas las funciones de cámara de la FLIR ONE Pro.

Paletas de colores

- Toque el ícono de funciones en la parte inferior derecha de la pantalla.
- Elija entre 9 paletas de colores diferentes

Medidores puntuales y regiones de interés (roi)

- Toque el ícono de medidor puntual de la esquina superior izquierda para ver una lista de medidores puntuales y ROI. Añada el número que desea y vuelva a hacer clic en el ícono. Pueden mostrarse hasta tres medidores puntuales, tres ROI cuadradas y tres ROI circulares al mismo tiempo.
- Mantenga pulsado el medidor puntual para moverlo por la pantalla. Con los dedos ajustar el tamaño de las ROI o manténgalas pulsadas para moverlas por la pantalla.

Temporizador

- Ajuste un temporizador a 3 o 5 segundos.

Cambiar modos de cámara

- Seleccione vídeo, foto o lapso de tiempo.

MSX® PARALLAX

- La imagen que muestra la aplicación es una combinación de una imagen térmica y una imagen de luz normal a través de un proceso único llamado MSX. La cámara térmica FLIR ONE Pro puede producir una imagen incluso en la oscuridad total. Cuando hay luz normal, la cámara diurna FLIR ONE Pro se usa para mejorar el detalle de la cámara térmica de FLIR ONE Pro.
- Al mirar una imagen de cerca, o de lejos, puede ajustar la alineación MSX para el objeto para alinear las imágenes térmicas y de luz normal. Toque el botón de funciones de la esquina inferior derecha, toque Distancia MSX y ajuste como sea necesario.

5.4 Manejo de la aplicación FLIR ONE, Flir Systems, INC.

La versión más reciente de la aplicación FLIR ONE está disponible en la App Store de Apple para iOS y en la Google Play Store para Android. Es necesario descargar e instalar la aplicación para luego iniciarla. Luego encender la FLIR ONE Pro y conectarla al iPad. Si la FLIR ONE Pro se apaga, la aplicación le pedirá que conecte la cámara FLIR ONE Pro antes de que pueda ver la función de la cámara.

5.4.1 Descripción general de la aplicación.

La aplicación FLIR ONE junto con el dispositivo FLIR ONE Pro convierte el iPad en una cámara térmica. La resolución mejorada a través de VividIR™ permite a los profesionales identificar problemas rápidamente y demostrar que han resuelto el problema por primera vez. Su avanzado procesamiento de imágenes incluye FLIR MSX®, que combina los detalles de la imagen de la cámara a color con la imagen térmica para brindarle lo mejor de ambos mundos.

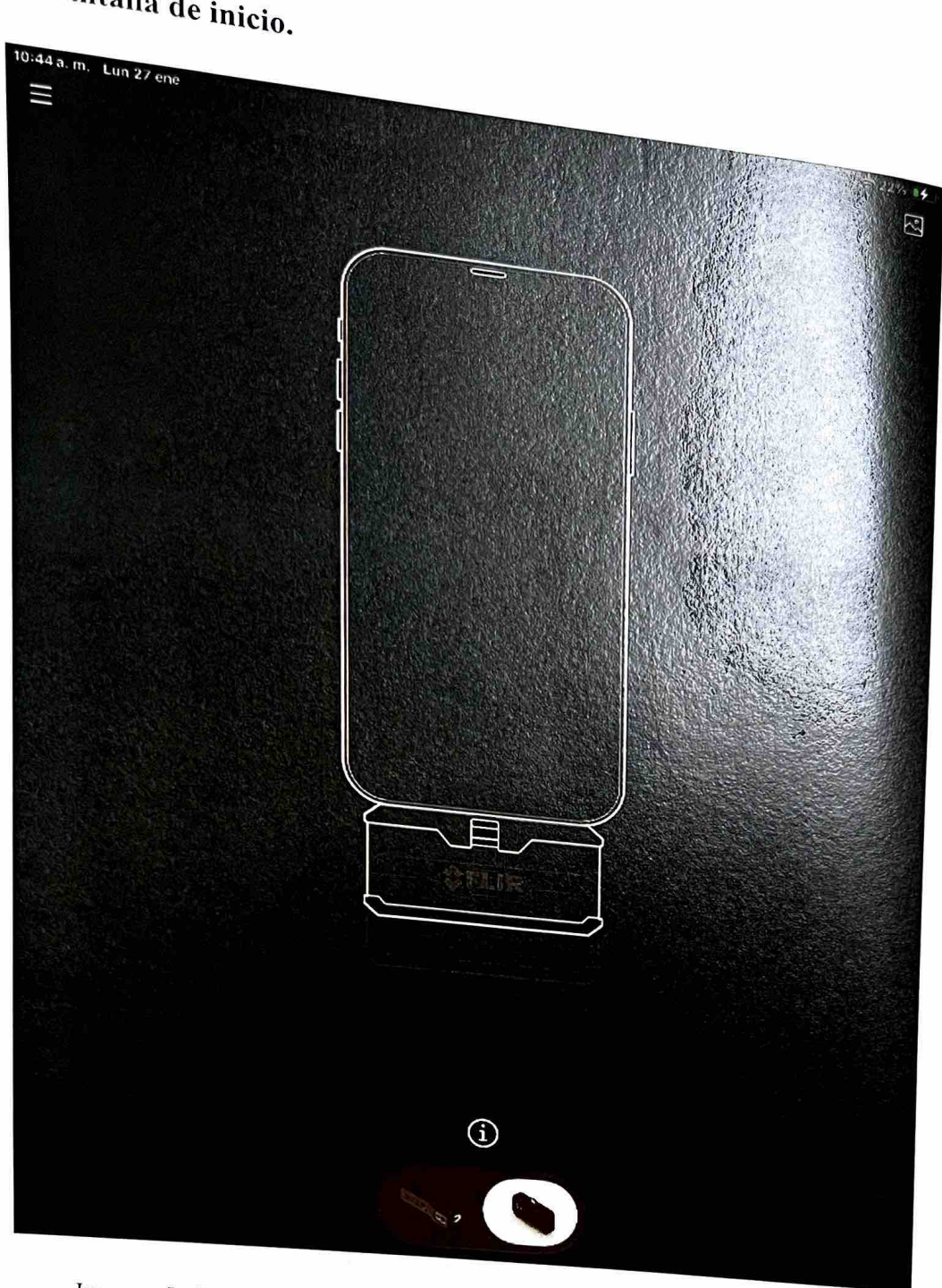


Imagen 5. 6– Pantalla de inicio aplicación FLIR ONE. Fuente: Imagen propia.

En la parte superior se encuentran los accesos al menú general de la aplicación y a la captura de imágenes térmicas. En los recuadros de abajo encontramos una vista previa de la galería de las capturas térmicas que se han realizado con la FLIR ONE Pro; además, una guía de consejos y trucos para el uso de la cámara y acceso a las redes sociales de FLIR.

5.4.1.2 Menú principal.

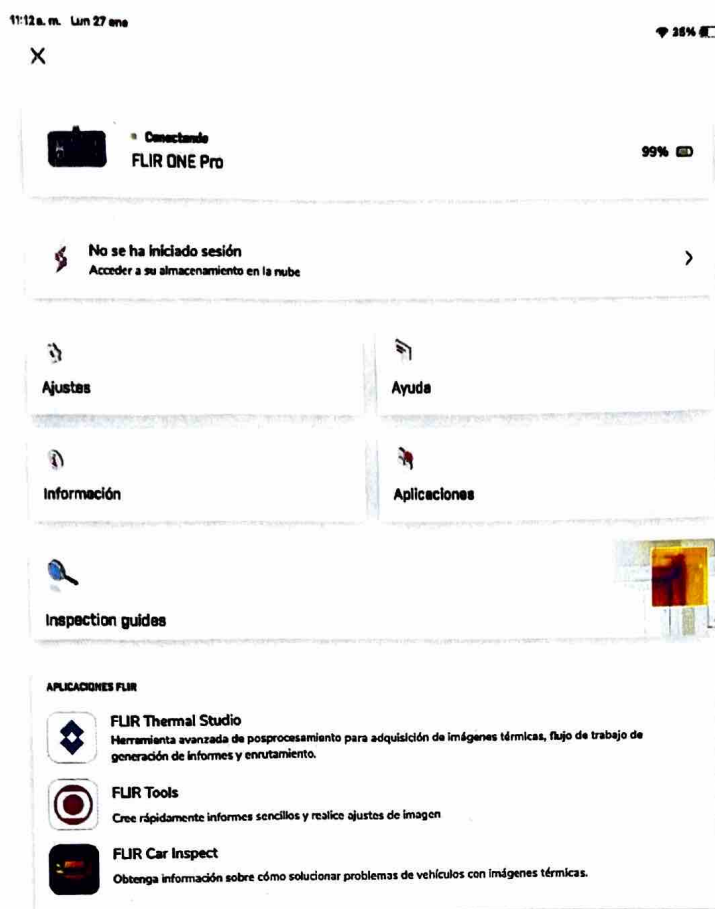


Imagen 5. 7– Menú principal de la aplicación FLIR ONE. Fuente: Imagen propia.

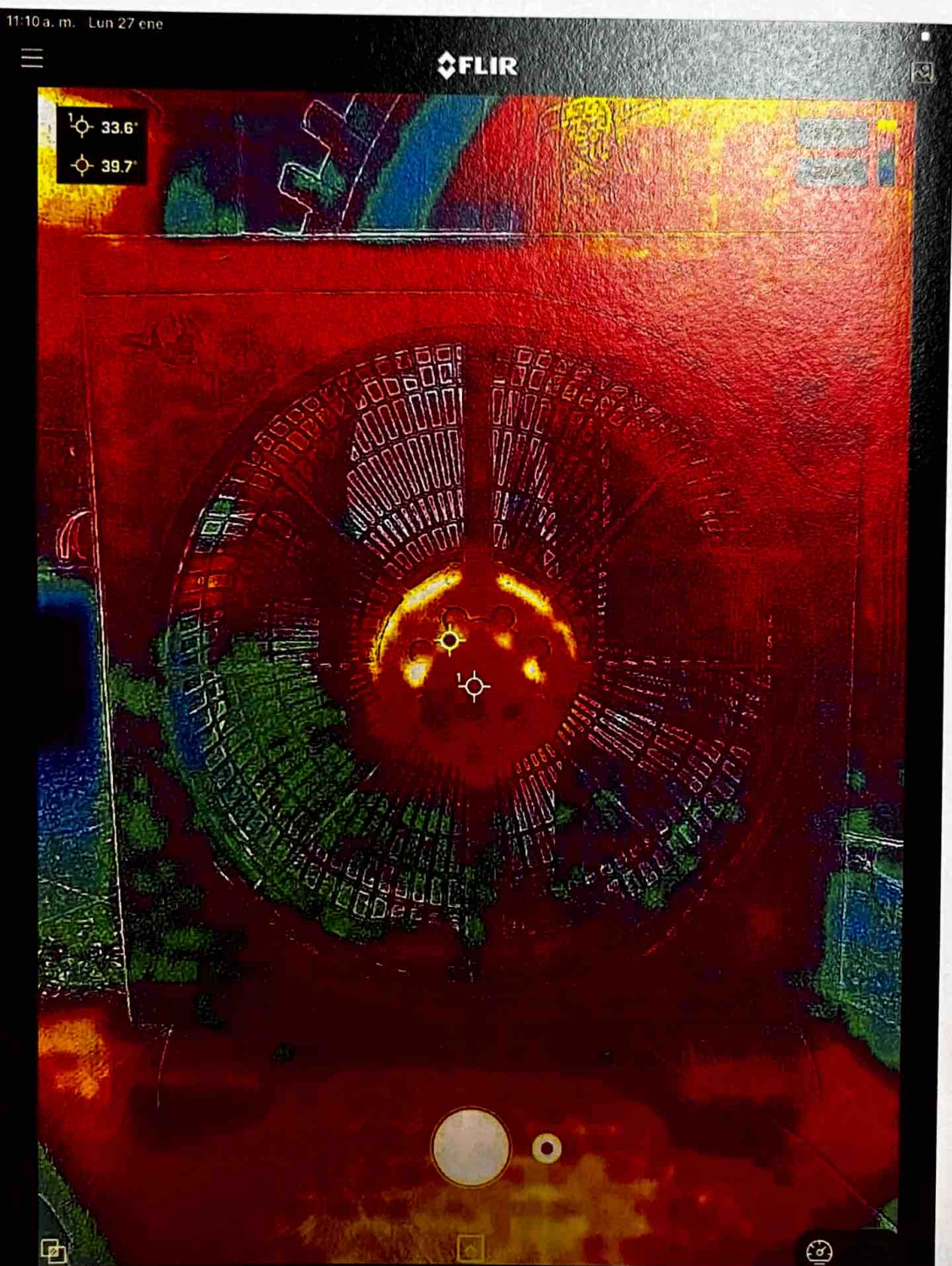
En el menú principal de la aplicación se tienen los siguientes accesos:

- **Conecte sus dispositivos:** Permite ver el estatus de la cámara, si está conectada y el estado de la batería.
- **Ajustes:** Este apartado permite acceder al menú de configuración de unidades, fecha y formato, además de ajustar la emisividad según el material que se medirá. También ofrece la opción de agregar la ubicación geográfica a las tomas termográficas.
- **Ayuda:** Se despliega un menú que ofrece guías sobre cómo utilizar los diferentes productos de FLIR, incluye una sección de preguntas frecuentes, permite realizar consultas y brinda la opción de compartir comentarios directamente con FLIR.
- **Información:** Información de la aplicación y el fabricante.
- **Aplicaciones FLIR ONE:** Abre un portal donde se muestra una serie de aplicaciones similares o complementos para la FLIR ONE Pro.

ection Guides: Brinda acceso a guías impartidas por FLIR para diversas
caciones.

ras de herramientas.

ámara es la función principal de la aplicación FLIR ONE, es donde se realiza la
imágenes térmicas. A continuación, una visualización general de la aplicación.



Barra de herramientas superior FLIR ONE.



Imagen 5.9– Barra de herramientas superior aplicación FLIR ONE Pro. Fuente: Imagen propia.

1. Menú principal: Accede al menú principal de la cámara para ver configuraciones y estatus de batería descritos anteriormente.
2. Galería: Las imágenes y los videos tomados se pueden ver y editar al seleccionar la imagen en miniatura de la esquina inferior izquierda de la pantalla. Se pueden compartir mediante mensaje de texto o correo electrónico y se pueden editar cambiando la paleta de colores o la escala de temperatura. Mientras se observa una imagen, es posible deslizar hacia arriba o hacia abajo para ver la imagen visible que se usa para la combinación MSX®.

Barra de herramientas inferior FLIR ONE.

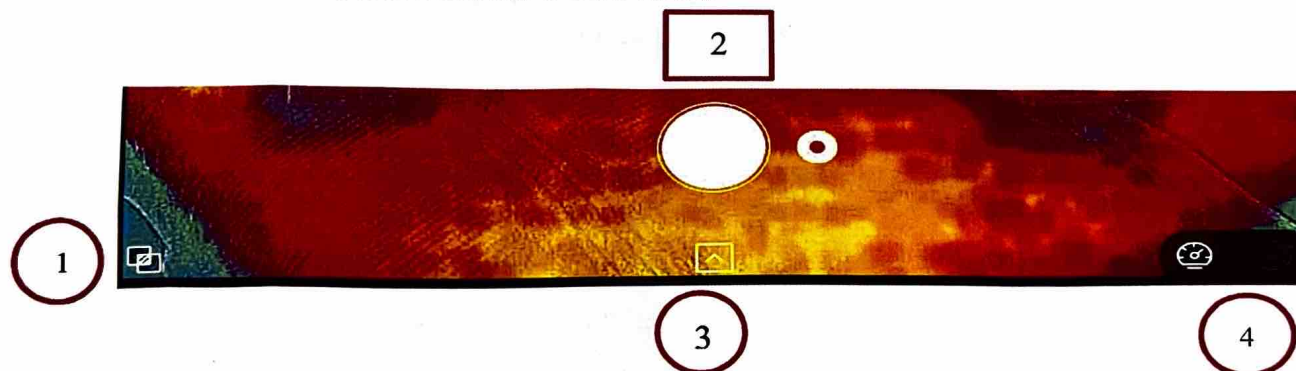


Imagen 5.10– Barra de herramientas inferior aplicación FLIR ONE Pro. Fuente: Imagen propia.

1. Alineación de cámaras: Permite controlar las cámaras tanto como la digital como la termográfica, alineando ambas cámaras y permitiendo que la combinación MSX® sea adecuada.
2. Modo de captura: Foto, video y lapso de tiempo
3. Controles de imagen: Los controles de imagen permiten obtener el máximo resultado de la cámara termográfica FLIR ONE Pro. En esta barra se encuentran los controles MSX, las paletas de colores, los rangos de temperatura y la escala de infrarrojos.



Imagen 5. 11 controles de imagen aplicación FLIR ONE Pro. Fuente: Imagen propia.

MSX: Permite una visualización separada o combinada de los detalles de la imagen de la cámara a color con la imagen térmica para brindarle lo mejor de ambos mundos.

a. Auto/Manual: Modo Automático: En este modo, la cámara ajusta de manera dinámica el rango de temperaturas y la escala de colores según la escena capturada. Esto permite optimizar la visualización de diferencias térmicas sin necesidad de realizar ajustes manuales, facilitando la interpretación de las imágenes.

Modo Manual: En este modo, el usuario puede establecer un rango de temperaturas fijo. Esto es particularmente útil cuando se requiere mantener una escala térmica constante entre diferentes imágenes o cuando se desea analizar un intervalo de temperaturas específico sin que la cámara realice ajustes automáticos.

b. Color: Esta opción permite seleccionar diferentes paletas de colores para la representación térmica de la imagen. Cada paleta enfatiza distintas características térmicas, facilitando la interpretación de los datos según el tipo de análisis requerido. Las opciones disponibles son:

Ártico: Presenta una gama de colores fríos con tonalidades azuladas, lo que facilita la detección de fuentes de calor en entornos fríos.

Mínimo: Reduce la saturación de colores para resaltar solo las diferencias térmicas más relevantes.

Contraste: Ajusta la intensidad de los colores para enfatizar las variaciones de temperatura más significativas.

Gris: Representa las temperaturas en escala de grises, útil en entornos donde los colores pueden generar distracción o cuando se requiere una imagen más neutra.

Máximo: Realza las áreas de mayor temperatura con colores más intensos para facilitar su identificación.

Hierro: Utiliza una transición de colores desde negro y azul para temperaturas bajas hasta rojo y amarillo para temperaturas altas, proporcionando una visualización intuitiva del calor.

Lava: Representa el calor con tonos rojizos y anaranjados, similar a la apariencia del magma, lo que facilita la detección de puntos calientes.

Arcoíris: Utiliza una amplia gama de colores para diferenciar pequeñas variaciones de temperatura, siendo ideal para análisis detallados.

Paleta de colores: Permite al usuario seleccionar un esquema de colores personalizado para adaptar la visualización según sus preferencias o necesidades específicas.

c. Medida: Permite visualizar y ajustar los puntos de medición de temperatura en la imagen térmica. Se pueden colocar diferentes marcadores para identificar temperaturas máximas, mínimas o promedio en áreas específicas, lo que facilita el análisis térmico de los objetos inspeccionados.

d. Modo: Permite seleccionar el tipo de imagen que se mostrará en pantalla, combinando o separando la imagen térmica y la imagen digital para mejorar la interpretación de los datos. Los modos disponibles son:

Imagen Dinámica Multiespectral (MSX®): Superpone detalles de la imagen visible sobre la imagen térmica, mejorando la nitidez y permitiendo identificar con mayor claridad los objetos en la escena.

Infrarrojos: Muestra únicamente la imagen térmica capturada por el sensor, sin detalles de la imagen visible, ideal para análisis térmicos puros.

Cámara Digital: Muestra únicamente la imagen capturada por la cámara visible, sin superposición de datos térmicos, útil para referencia visual. Utilizar esta función la visualización de la captura aparecerá invertida.

5.4.2 Tomar fotografías, videos y lapsos de tiempo.

En la parte superior de la barra inferior, deslice hacia la derecha o la izquierda para seleccionar el modo foto, video o lapso de tiempo. Toque el botón blanco redondo en la base de la pantalla para guardar una instantánea. Las imágenes y videos se guardan en la galería.

En ajustes de la aplicación, también es posible guardar las imágenes en la biblioteca de imágenes del teléfono. Para ver la imagen guardada más reciente, toque la miniatura de la esquina inferior izquierda. Cuando vea una imagen, deslice hacia arriba o hacia abajo para ver la imagen subyacente de la cámara visible. No es necesario que la cámara FLIR ONE Pro esté conectada al teléfono para ver las imágenes guardadas.

Cuando se selecciona el modo video o lapso de tiempo, toque el botón rojo para comenzar a grabar. Toque nuevamente el botón para detener la grabación y guardar el video en la biblioteca de FLIR. Para ver el video grabado, toque la imagen en miniatura de la esquina inferior izquierda de la pantalla para tener acceso a la galería.²⁷

5.5 Software para generación de informes FLIR TOOLS

FLIR Tools / Tools + es un paquete de software diseñado específicamente para proporcionar una manera fácil de crear informes de inspección.

5.5.1 Requerimientos del sistema

5.5.1.1 Sistema operativo

- Microsoft Windows 7, 32 bit.
- Microsoft Windows 7, 64 bit.
- Microsoft Windows 8, 32 bit.
- Microsoft Windows 8, 64 bit.
- Microsoft Windows 10, 32 bit.
- Microsoft Windows 10, 64 bit.
- Microsoft Windows 11, Home, Pro, Pro Education, y Pro for Workstations

5.5.1.2 Hardware

- Computadora personal con un procesador de 1 GHz de 32 bits (x86).
- Mínimo 2 GB de RAM (se recomiendan 4 GB).
- Disco duro de 40 GB, con al menos 15 GB de espacio disponible en el disco duro.
- Unidad de DVD-ROM.

²⁷ FLIR ONE PRO “Guía del usuario”

- Soporte para gráficos DirectX 9.
- Controlador WDDM
- 128 MB de memoria de gráficos (mínimo)
- Pixel Shader 2.0 en hardware
- 32 bits por píxel.
- Monitor SVGA (1024 × 768) (o resolución más alta).
- Acceso a Internet.
- Salida de audio.
- Teclado y mouse, o un dispositivo señalador compatible

5.5.2 Instalación de FLIR Tools/Tools +

Sigue este procedimiento:

1. Inserte el CD / DVD de instalación de FLIR Tools / Tools + en la unidad de CD / DVD. La instalación debería comenzar automáticamente.
2. En el cuadro de diálogo Reproducción automática, haga clic en Ejecutar setup.exe (Publicado por FLIR Systems).
3. En el cuadro de diálogo Control de cuentas de usuario, confirme que desea instalar FLIR Tools / Herramientas +.
4. En el cuadro de diálogo Preparado para instalar el programa, haga clic en Instalar.
5. Haga clic en Finalizar. La instalación está completa. Se pedirá reiniciar la computadora.



Imagen 5.12 – Ventana de inicio de sesión FLIR Tools. Fuente: Manual de usuario FLIR Tools/Tools+

La primera vez que se inicia FLIR Tools / Tools +, se debe iniciar sesión con un servicio de atención al cliente de FLIR. Si ya tiene una cuenta existente de Soporte al cliente de FLIR, se puede usar las mismas credenciales de inicio de sesión y si no posee cuenta, seleccionar crear una nueva cuenta. Cuando inicie sesión, su computadora debe tener acceso a Internet. A menos que cierre la sesión, no necesita iniciar sesión nuevamente para usar FLIR Tools / Tools +.

5.5.3 Generación de informes con FLIR Tools.

Flir Tools es el software gratuito de generación de informes de la FLIR Corp. A continuación, una descripción de las funciones con las que cuenta la aplicación.

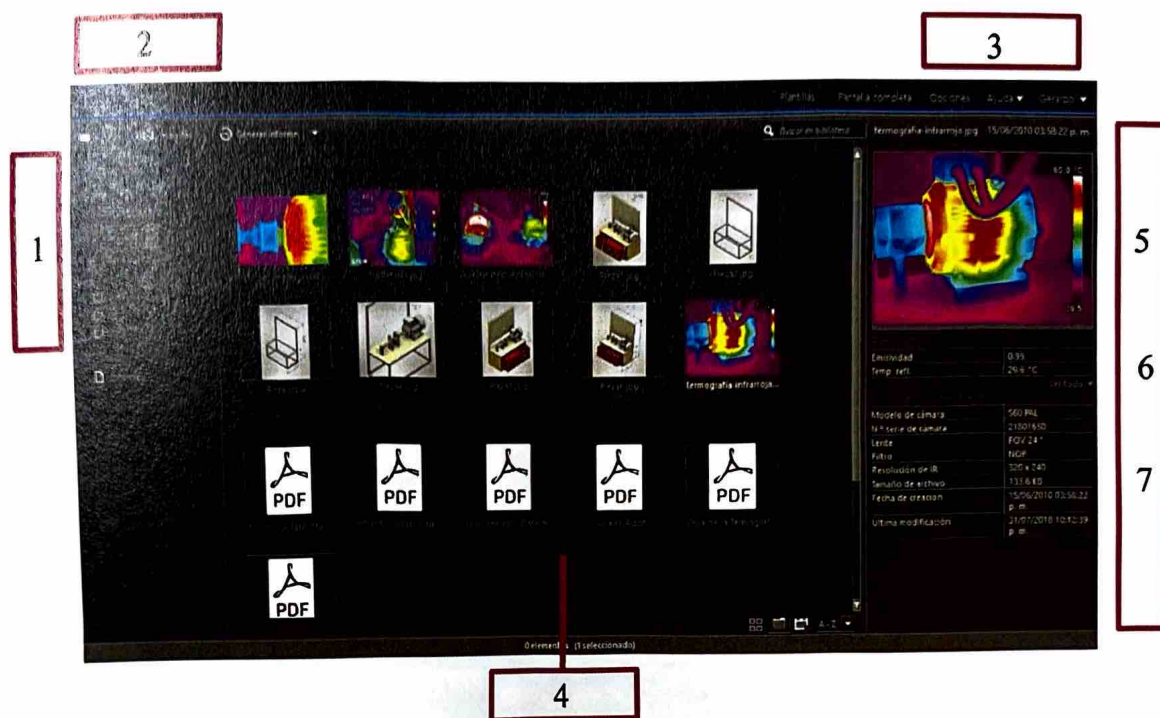


Imagen 5.13 – Elementos de pantalla FLIR Tools. Fuente: Manual de usuario FLIR Tools/Tools+

1. Pestaña de programas: Pestañas de navegación de la FLIR Tools:
 - a. Biblioteca.
 - b. Informe.
2. Barra de menú: Pestañas de configuración de la FLIR Tools:
 - a. Plantillas.
 - b. Pantalla completa.
 - c. Opciones.
 - d. Ayuda.
 - e. Perfil de usuario.
3. Vista en miniatura de la carpeta seleccionada.
4. Vista en miniatura de la imagen infrarroja.
5. Parámetros de la imagen.
6. Información de la imagen.

En el caso de la cámara FLIR ONE Pro, no tiene la capacidad de conectarse directamente con el software FLIR Tools, ya que no cuenta con memoria para almacenar las capturas termográficas; es necesario conectar el iPad a la computadora y transferir las imágenes a una carpeta del disco duro de la computadora. Una vez con las capturas termográficas almacenadas en el disco duro de la computadora sincronizamos la carpeta donde están almacenadas con el software FLIR Tools.

En la pestaña biblioteca en la parte inferior se encuentran tres íconos esenciales para la sincronización de las imágenes y generación de informe.

- **Agregar:** Agrega una carpeta existente del disco duro a la biblioteca.
- **Importar:** Importa imágenes e informes de una cámara termográfica o tarjeta de memoria.
- **Generar informe:** Genera un informe a partir de las imágenes seleccionadas con la plantilla predeterminada.

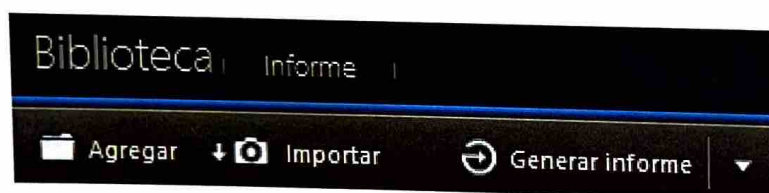


Imagen 5.14— Iconos básicos de creación de informes. Fuente: Imagen propia.

Una vez cargadas las imágenes en el software, basta con seleccionar una imagen termográfica y tocar el ícono de generar informe. Existen diferentes plantillas de generación de informes, se selecciona la que más convenga.

Con el informe creado el software permite tres alternativas de rescatar el trabajo: exportar a PDF, guardar en el almacenamiento de la computadora e imprimir el informe.



Imagen 5.15— Almacenamiento de informe. Fuente: Imagen propia.

El informe consta del logotipo de la FLIR Corp. Y un espacio para asignar un título al informe, al centro la imagen termográfica con la fecha y hora de la captura, la escala de infrarrojos y los parámetros de la imagen. Existen diferentes plantillas de informes, desde la más simple a la más compleja, todo dependerá del tipo de informe que se desee crear.

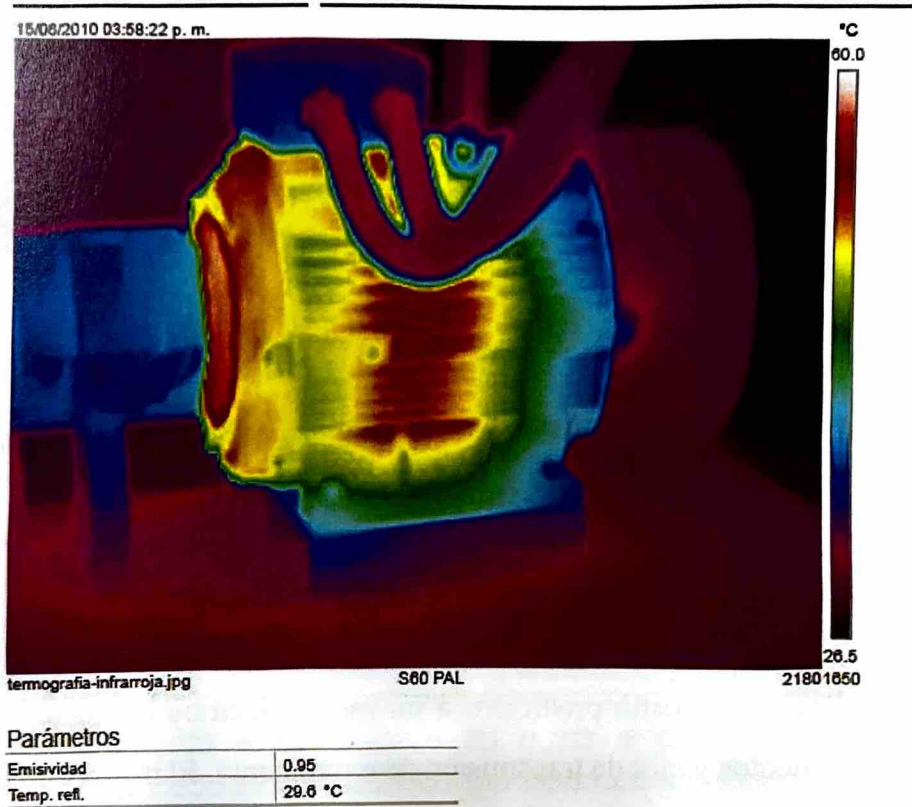


Imagen 5.16– Informe de inspección termográfica. Fuente: Imagen propia.

CAPITULO VI – MÓDULO SIMULADOR DE FALLA

6.1 Descripción del módulo.

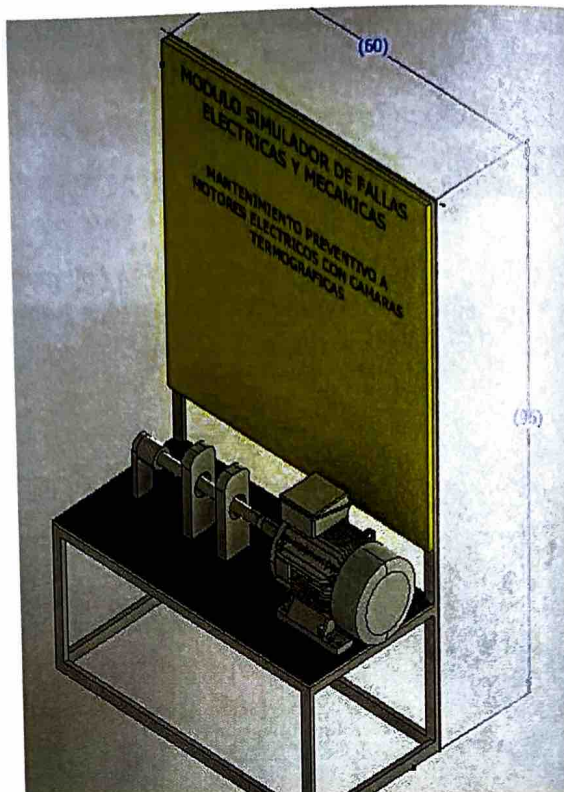


Imagen 6. 1– Diseño de módulo. Fuente: Autodesk Inventor Profesional 2016, diseño propio.

La construcción e implementación del módulo didáctico es con la finalidad de poder realizar prácticas de mantenimiento predictivo a un motor eléctrico trifásico, sus dispositivos de control, rodamientos y ejes de transmisión de movimiento. El marco está construido en tubo industrial de 1x1", con altura de 96 cm, ancho 60 cm y fondo 30 cm.

El panel de control está fabricado en acrílico cristal de 5 mm, impresión digital full color tipo espejo, de 60 x 60 cm de dimensiones, fondo de color amarillo y textos en color negro.

Los elementos de control son de marca ABB, Onesto y Omrom.

La Imagen 6.2 muestra la distribución de todos los elementos de control en el acrílico y las descripciones de todos los elementos de panel de control.

6.1.1 Panel de control.

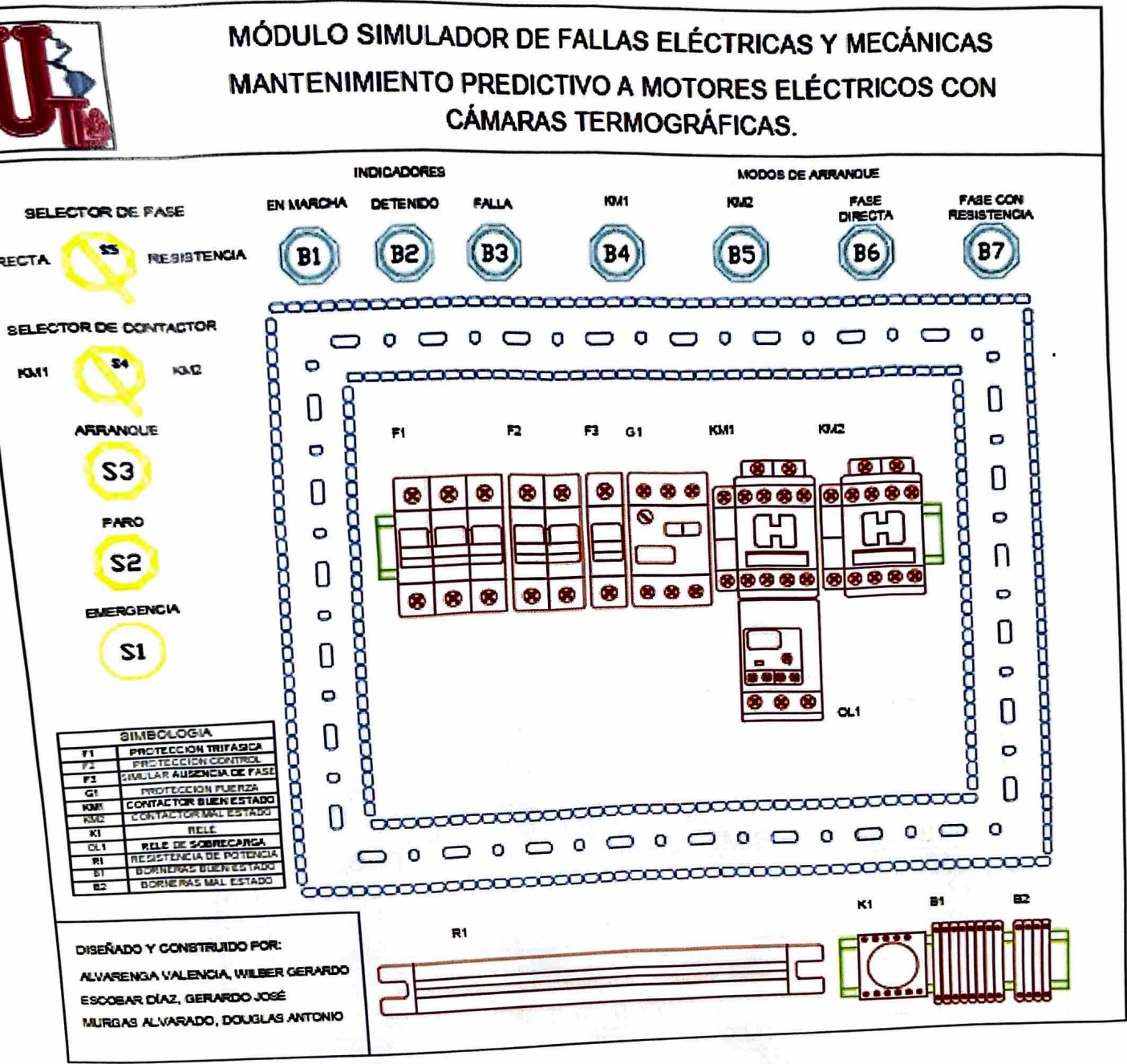
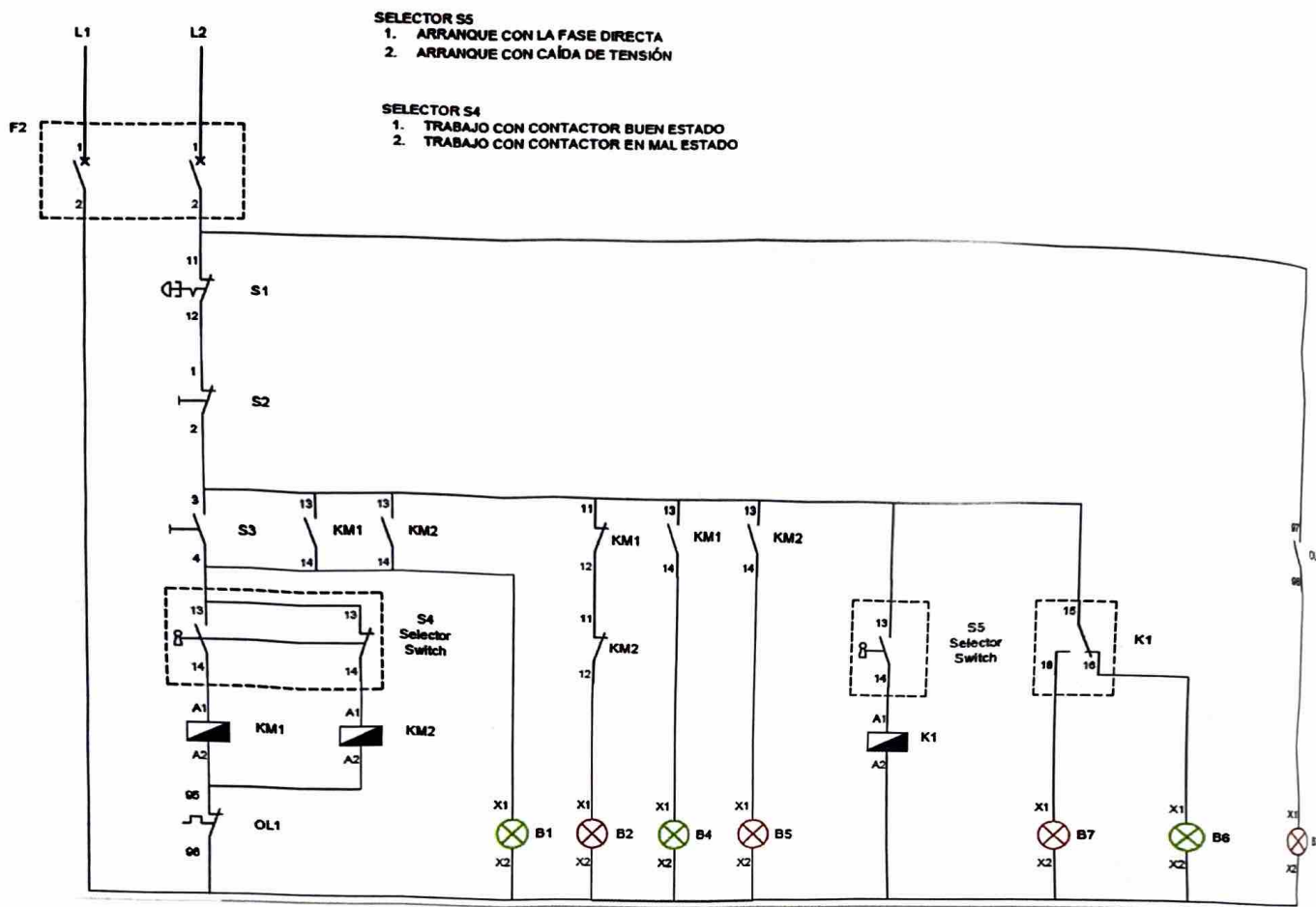


Imagen 6. 2– Diseño de panel de control. Fuente: AutoCAD Electrical 2016, diseño propio.

En la Imagen 6.3 se muestra el diagrama de conexión eléctrico de control y en la Imagen 6.4 el diagrama de fuerza del panel de control.

6.1.2 Diagrama de control.

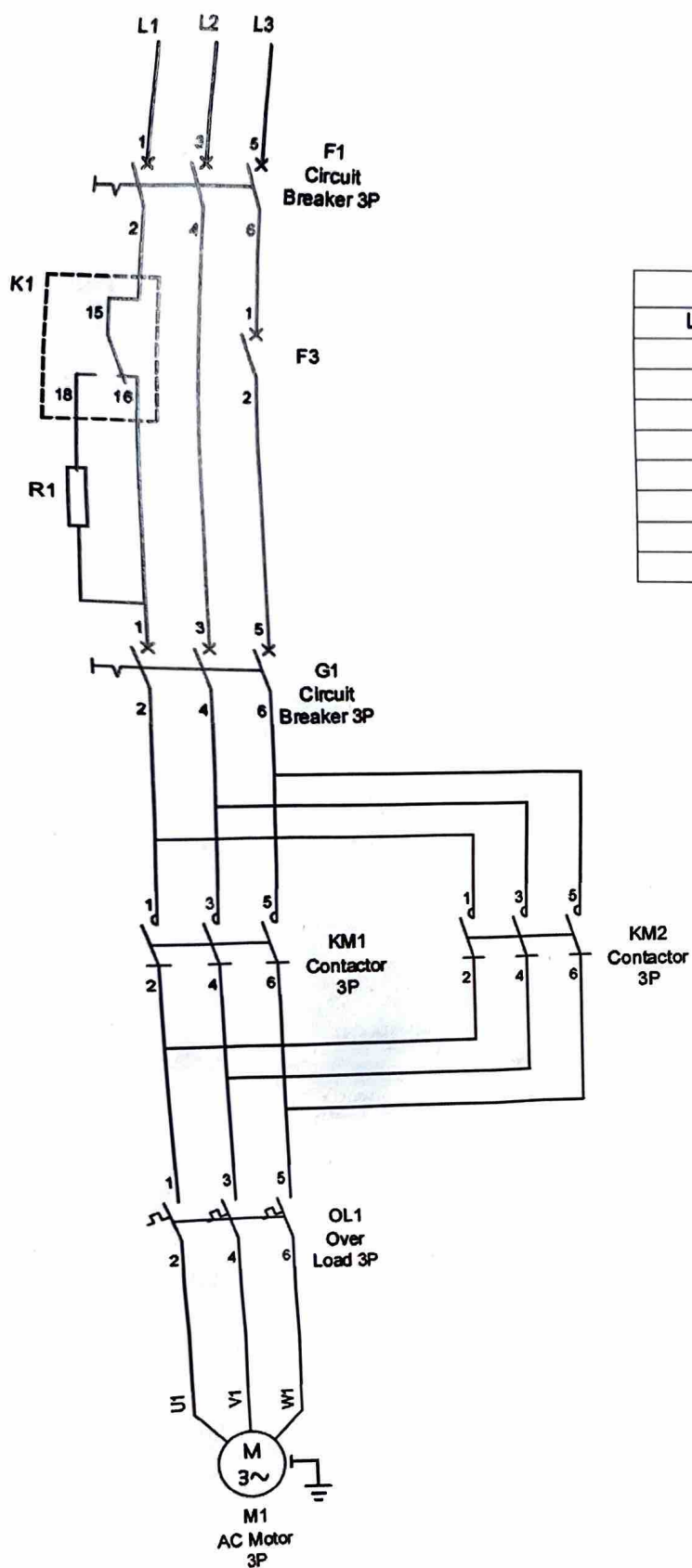


DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA	
L1 - L2	ALIMENTACIÓN
F2	AUTÓMATA 2 POLOS 10 A
S1	SEGURIDAD
S2	STOP
S3	START
S4	SELECTOR DE CONTACTOR
S5	SELECTOR DE FASE
KM1	CONTACTOR BUEN ESTADO
KM2	CONTACTOR MAL ESTADO
K1	RELE
OL1	SOBRECARGA
Bx	INDICADOR LUMINOSO

DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA	
INDICADORES	
B1	MOTOR EN MARCHA
B2	MOTOR DETENIDO
B3	MOTOR EN FALLA
B4	CONTACTOR KM1 ACTIVADO
B5	CONTACTOR KM2 ACTIVADO
B6	FASE DIRECTA EN FUNCION
B7	FASE CON RESISTENCIA EN FUNCION

Imagen 6. 3.- Diagrama de control. Fuente: AutoCAD Electrical 2022, diseño propio.

6.1.3 Diagrama de fuerza.



DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA	
L1 - L2 - L3	ALIMENTACIÓN
F1	AUTÓMATA 3 POLOS 10 A
F3	AUTÓMATA 1 POLO 10 A
K1	RELE
R1	RESISTENCIA DE POTENCIA
G1	GUARDA MOTOR
KM1	CONTACTOR BUEN ESTADO
KM2	CONTACTOR MAL ESTADO
OL1	SOBRECARGA

Imagen 6. 4- Diagrama de fuerza. Fuente: AutoCAD Electrical 2016, diseño propio.

6.1.4 Presentación de módulo didáctico.

6.1.4.1 Vista frontal.

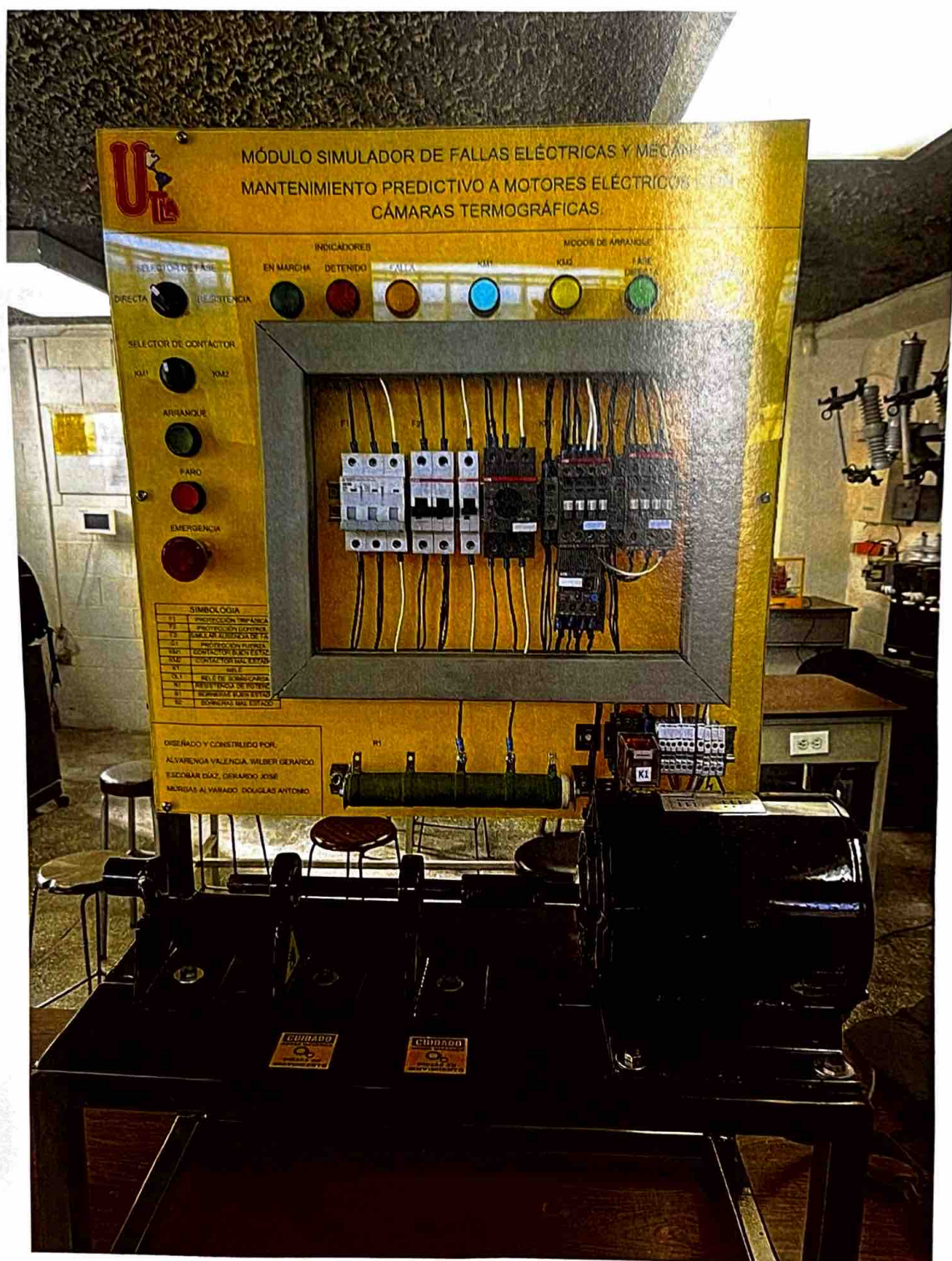


Imagen 6. 5 - Módulo simulador de fallas, vista frontal. Fuente: Imagen propia.

6.1.4.2 Vista trasera.



Imagen 6. 6- Módulo simulador de fallas, vista trasera. Fuente: Imagen propia.

6.1.4.3 Vista en funcionamiento.

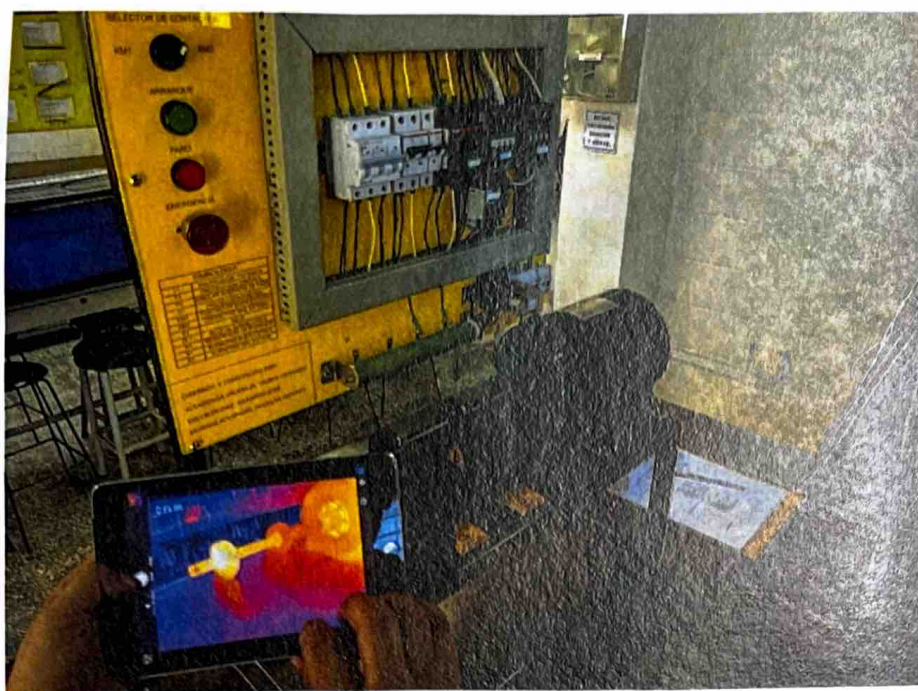


Imagen 6. 7- Módulo simulador de fallas en funcionamiento. Fuente: Imagen propia.

6.2 Fallas

Las cámaras termográficas son herramientas perfectas para predecir fallos ya que consiguen hacer visible lo invisible. En una captura termográfica, los problemas saltan a la vista de inmediato. Con el fin de mantener los equipos operativos en todo momento, muchas empresas están combinando sus programas de mantenimiento predictivo con las herramientas de diagnóstico más valiosas para el mantenimiento predictivo del mercado: las cámaras termográficas.

Las cámaras termográficas son una herramienta tan valiosa y versátil que resulta imposible enumerar todas sus posibles aplicaciones. Cada día se desarrollan nuevas e innovadoras formas de emplear la tecnología. Algunas de las formas en las que se pueden usar las cámaras termográficas en el contexto del mantenimiento predictivo y que serán posibles simular en el módulo de entrenamiento se mencionan en la Tabla 6.1.

MODULO DIDACTICO PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE MOTORES CON TERMOGRAFIA	
TIPO DE FALLA	FALLAS
FALLA MECANICAS	ROTOR BLOQUEADO
	RODILLOS SOSPECHOSOS
	RODAMIENTOS EN MAL ESTADO
	CONEXIÓN MAL ASEGURADA
FALLAS ELECTRICAS	MOTOR RECALENTADO
	MALA CONEXIÓN Y DAÑOS INTERNOS
	AUSENCIA DE UNA FASE
	DISPOSITIVOS DE CONTROL DETERIORADOS
	DESBALANCE DE VOLTAJE
	DESBALANCE DE BOBINADOS
	MAL DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES

Tabla 6. 1– Aplicaciones de cámaras termográficas en módulo didáctico.

6.2.1 Fallas mecánicas.

6.2.1.1 Rotor bloqueado.

Se define como rotor bloqueado de un motor eléctrico cuando el rotor del motor se encuentra detenido completamente por algún factor mecánico. Estando bloqueado el rotor, la potencia mecánica es cero y el motor desarrolla un par elevado.

El factor de potencia es bajo, debido a que se requiere de un valor considerable de potencia reactiva para producir el flujo disperso en los devanados del rotor y el estátor. La corriente a rotor bloqueado es del orden de 5 a 6 veces la corriente a plena carga.



Imagen 6. 8-Bobinado con daño a causa de rotor bloqueado. Fuente: WEG Daños en los bobinados.

Cuando un motor se atasca durante la secuencia de arranque, este se calienta muy rápidamente, y después de un tiempo de atascamiento permisible, alcanza la temperatura límite que su aislamiento soporta. La temperatura límite de un motor eléctrico viene dada en la placa de características como clase de aislamiento, Tabla 6.2.

TEMPERATURA LÍMITE POR CLASE DE AISLAMIENTO

Clase de Aislamiento	Temperatura Límite, °C (°F)	
E	120	248
B	130	266
F	155	311
H	180	356
N	200	392
R	220	428
S	240	464
C	+240	+464

Tabla 6. 2- Temperatura máxima según clase de aislamiento.

6.2.1.2 Rodamientos y rodillos sospechosos o en mal estado.

Los rodamientos son elementos mecánicos con un amplio campo de aplicación. Su fiabilidad ha quedado demostrada incluso en condiciones de servicio severas. Los fallos prematuros son poco frecuentes. Las averías en los rodamientos se pueden reconocer ante todo por un comportamiento irregular en la aplicación del rodamiento. En la mayoría de los casos, para encontrar la causa de la avería no basta con el simple reconocimiento del rodamiento; también se han de tener en cuenta sobre todo las piezas del entorno, la lubricación y la obturación, así como las condiciones de servicio y las relacionadas con el medio ambiente.

Los "enemigos" de los rodamientos son una serie de condiciones que pueden causar daños en los sistemas de rodamientos y provocar el fin prematuro de su vida útil. Cuando un rodamiento no llega al final de su vida útil, suele ser por una o varias de estas causas. Las cuatro causas más comunes son:

- Lubricación inadecuada.
- Contaminación.
- Sobrecarga.
- Manipulación e instalación inadecuadas

Errores de alineación, ejes de motor recalentados estos y otros problemas se pueden detectar en una fase temprana mediante una cámara termográfica.

6.2.2 Fallas eléctricas.

6.2.2.1 Conexión mal asegurada o mala conexión.

Cuando una conexión está suelta o tiene algún tipo de corrosión, su resistencia aumenta y dado que al aumentar la resistencia también aumenta la caída de tensión y se genera un aumento del calor, podemos detectar un fallo antes de que se produzca una avería utilizando la Termografía. Con esta técnica, nos centraremos en el uso de la termografía para la detección y solución de deterioros en conexiones de sistemas eléctricos que se hayan aflojado, apretado en exceso o con corrosión mediante la comparación de temperaturas de las conexiones de cuadros eléctricos.

Existen varias causas por las que se produce esta falla, las principales son dos:

- **Envejecimiento de la instalación:** Las instalaciones antiguas son proclives a este tipo de fallas; el desgaste de sus componentes y la falta de mantenimiento son los principales factores que desencadenan este problema.
- **Errores de instalación:** Esta es una de las causas más comunes, en instalaciones nuevas inclusive; empalmes mal hechos, bornes mal ajustados y conexiones improvisadas, están entre los principales motivos.

Los falsos contactos producen un arco eléctrico, éste hace que la parte metálica de un borne eléctrico se perfore, se oxide y se queme; si la carga eléctrica del artefacto conectado es de alto consumo de energía eléctrica, el arco es más fuerte y más dañino.

Otra de las consecuencias de esta avería es la elevación de la temperatura y por ende el recalentamiento de los componentes de la instalación. Como es sabido, las subidas de temperatura por encima de los valores normales no son buenos en un circuito eléctrico; al menos que ésta sea una característica propia del circuito, como en una máquina de soldar.

Como efecto del calentamiento los cables sufren un fenómeno llamado cristalización, esto provoca que el conductor se vuelva frágil o quebradizo; inclusive llega a tomar un color negruzco y verdoso. En el caso de los empalmes la cinta aislante que los cubre se reseca, se quema y se derrite.

6.2.2.2 Motor recalentado o con daños internos.

Las imágenes térmicas de los motores eléctricos muestran sus condiciones de funcionamiento a través de la temperatura de superficie. Lo ideal sería realizar comprobaciones de los motores cuando estuvieran trabajando bajo condiciones normales de funcionamiento.

La mayoría de los motores están diseñados para funcionar a una temperatura que no supere nunca los 40°C. En general, un aumento de 10°C sobre la temperatura indicada reduce a la mitad la vida útil del motor.

Mediante una primera imagen térmica, se puede comprobar esto último, así como ésta puede indicar si un motor está trabajando a una temperatura superior a la de un motor similar que esté realizando la misma acción.

Una temperatura de trabajo elevada en un motor puede deberse a: flujo de aire insuficiente, desequilibrio de tensión de sobrecarga, fallo inminente de un rodamiento, fallo del aislamiento, Desalineamiento del componente, Etc.²⁸

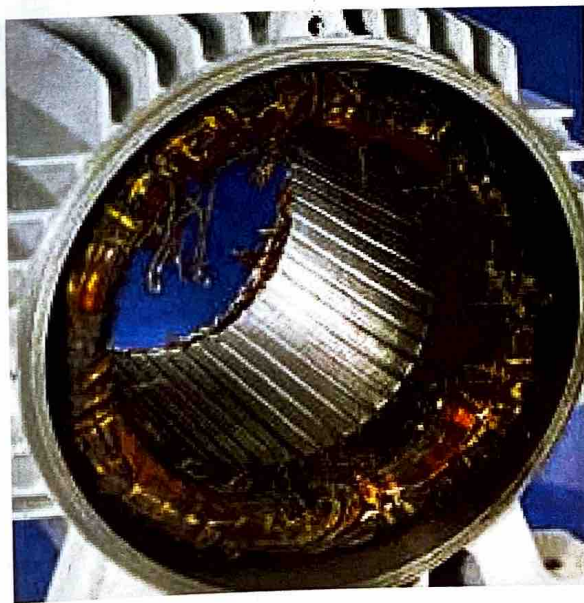


Imagen 6. 9.– Motor recalentado. Fuente: WEG Daños en los bobinados.

²⁸ Johan Driesen “Desequilibrio de tensión”. URL: <https://constructorelectrico.com/desequilibrio-de-tension/>

6.2.2.3 Desequilibrio de corriente.

Una de las fallas que más perjudiciales son para el motor eléctrico y todos los componentes que lo acompañan son las variaciones de corriente, las causas más comunes de variaciones de corriente son las siguientes:

- Desbalance de voltaje en la línea.
- Impedancias desiguales en los devanados del motor.
- Desigual longitud en los conductores.

El desequilibrio de tensión es un problema de la calidad de la energía que afecta gravemente a los motores eléctricos.

La ausencia de una fase o el desequilibrio en la tensión de alimentación afecta directamente al estátor y especialmente al rotor ocasionando una elevación de temperatura excesiva, lo que conducirá a un envejecimiento acelerado de las bobinas del motor.

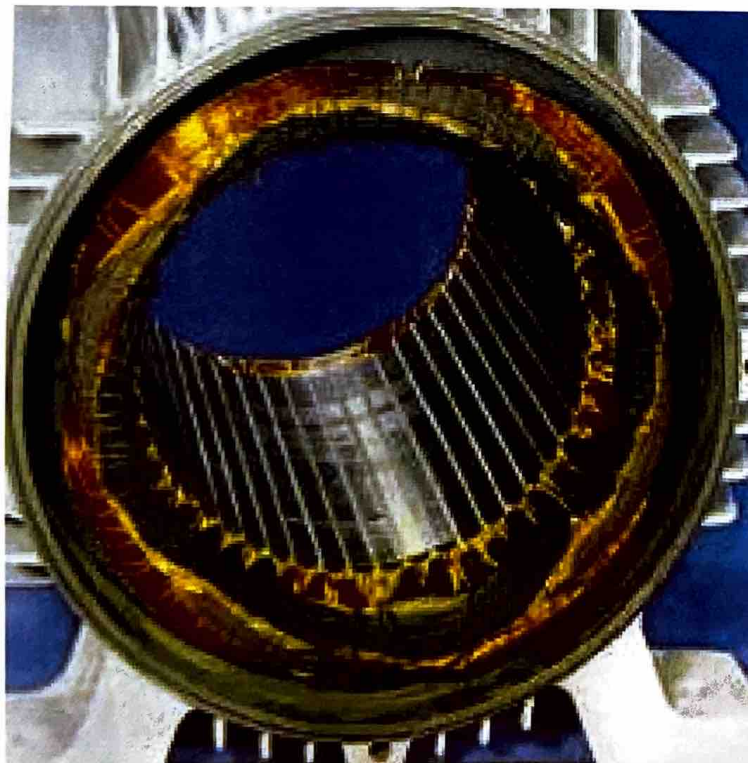


Imagen 6. 10 Desequilibrios de tensión (Driesen, 2014). Fuente: WEG Daños en los bobinados.

6.2.2.4 Conductores mal dimensionados o sobrecargados.

Una mala selección en el calibre del conductor produce efectos dañinos y funcionamiento irregular en los equipos eléctricos, genera pérdida de energía por calor en el conductor y disminuye su vida esperada. Detectar un conductor mediante la termografía se vuelve una tarea fácil.²⁹

Un mal dimensionamiento de conductores eléctricos puede ocasionar los siguientes problemas:

- Variaciones de voltaje.
- Cortes de suministro.
- Pérdida de energía.
- Corto circuito.
- Sobrecalentamiento de líneas.
- Riesgo de incendio .

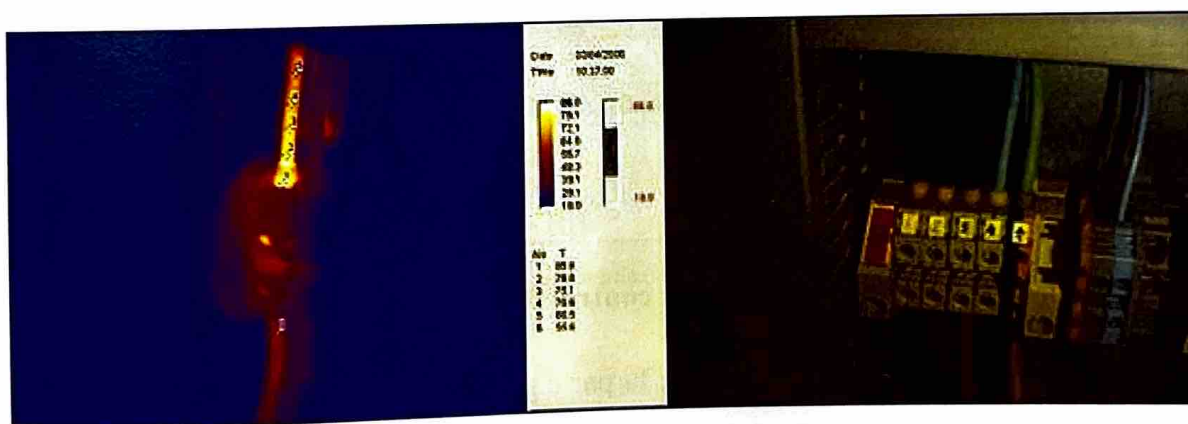


Imagen 6. 11– Conductor mal dimensionado. Fuente: Indunova “¿Cuáles son las causas que originan puntos calientes en un sistema eléctrico?

²⁹ Programa casa segura “La importancia de la selección del calibre en los conductores eléctricos”. URL: <http://programacasasegura.org/cl/2012/06/21/la-importancia-de-la-seleccion-del-calibre-en-los-conductores-electricos-2/>

6.2.2.5 Pérdida de una fase.

La pérdida de una fase es una de las causas principales de falla en los motores eléctricos trifásicos, puede ser ocasionado por un fusible quemado o por circuito abierto. Una de las consecuencias de pérdida de una fase es incremento de corriente en las fases restantes.

El efecto corriente en las fases que quedan en servicio se eleva de manera considerable, en la siguiente imagen se muestra el efecto.

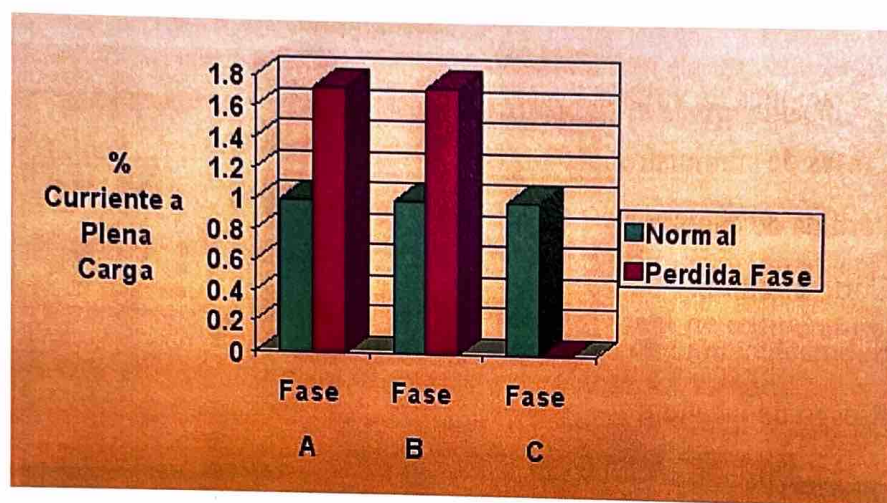


Imagen 6. 12– Efecto corriente en la pérdida de fase. Fuente: Pablo Turnero “Protección de motores”.

6.2.2.6 Elementos de control dañados.

Los elementos de control conforman la parte primordial del circuito de funcionamiento del motor eléctrico, son fabricados en gran variedad de marcas y diversas funciones. Entre algunos de los elementos básicos se pueden mencionar las protecciones, contactores, relé de seguridad contra sobrecargas, pulsadores, interruptores, seleccionares, entre otros; todos estos conforman el circuito de control.

La selección de los elementos dependerá de la necesidad que se desee cubrir. En la industria se encuentra un sin fin de circuitos de control, por ejemplo, arranque sencillo, arranque desde dos puntos, arranque secuencial y arranque estrella delta.

Todos los elementos mencionados anteriormente están sujetos a corrientes eléctricas que pasan por sus contactos, por efecto de la corriente eléctrica se genera un calentamiento en los contactos de los elementos. El calentamiento permitido para cada elemento está definido por el fabricante en la hoja técnica de cada elemento.

Un elemento de control dañado es fácil de detectar con termografía infrarroja, el dispositivo presentará una temperatura fuera del rango establecido por el fabricante.

En la tabla 6.3 se establecen las temperaturas límites por fabricante de cada elemento que conforma el panel de control del módulo simulador de fallas.

Elemento	Marca	Modelo	Temperatura máxima
Autómata tres polos 10 A	Onesto	KC10N – C10	55 °C
Autómata dos polos 10 A	ABB	S 202 C10	55 °C
Autómata un polo 10 A	ABB	S 201 C10	55 °C
Guardamotor 4 – 6.3 A	ABB	MS132	70 °C
Contactador 240V	ABB	AF09-30-01-13	60 °C
Contactador 240V	ABB	AF16-30-10-13	70 °C
Relé de sobrecarga 4.2 – 5.7 A	ABB	TF42	50 °C
Relé 220V	OMRON	MK3P-1	55 °C
Pulsador verde NO	ABB	CP1-10G-10	85 °C
Pulsador rojo NC	ABB	CP1-10R-11	85 °C
Interruptor selector	ABB	C2SS2-10B-20	85 °C
Borneras	ABB	SZ2	110 °C

Tabla 6. 3– Temperatura máxima de los elementos de control

6.3 Guías prácticas de laboratorio.

La tecnología avanza a pasos agigantados y cada día surgen nuevas herramientas para realizar mantenimientos predictivos. La universidad no cuenta actualmente con un módulo para realizar prácticas de aplicación de termografía y ya que es una institución bien establecida y en continuo crecimiento es muy importante la adquisición de tecnología de punta.

A pesar de ser una herramienta costosa económicamente, la tecnología de la termografía permite a las empresas inspeccionar en tiempo real las condiciones eléctricas y mecánicas de un motor eléctrico y realizar las respectivas reparaciones para evitar paros innecesarios

de sus líneas de producción, paros que conllevan a pérdidas económicas. Es por todo lo anterior que el uso de cámaras termográficas se ha convertido en una necesidad de la industria.

Las prácticas de laboratorio se desarrollan mediante el uso de la cámara termográfica FLIR ONE Pro acoplada al iPad, con esto se tiene por objetivo contribuir al desarrollo de conocimiento en termografía infrarroja y a las aplicaciones que se pueden realizar con la tecnología en la inspección de motores eléctricos trifásicos.

En el presente documento las prácticas están divididas tres grupos de la siguiente manera:

a. Generales.

- Práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
- Práctica 2 – Software para generación de informes FLIR Tools.
- Práctica 3 – Módulo simulador de fallas.

b. Fallas mecánicas.

- Práctica 4 – Rotor bloqueado.
- Práctica 5 – Rodillos sospechosos y rodamientos en mal estado.

c. Fallas eléctricas.

- Práctica 6 – Conexión mal asegurada o mala conexión.
- Práctica 7 – Ausencia de fase.
- Práctica 8 – Desbalance de corriente.
- Práctica 9 – Mal dimensionamiento de conductores.
- Práctica 10 – Dispositivos de control deteriorados o en mal estado.
- Práctica 11 – Motor sobrecalentado.



**UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA**

6.3.1 PRÁCTICA 1 – USO DE CÁMARA FLIR ONE PRO.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

**LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
L-1**

OBJETIVOS:

- Conocer la forma correcta de encendido y apagado de la cámara termográfica FLIR ONE Pro.
- Usar de manera eficaz la aplicación para la captura de imágenes.

INTRODUCCIÓN

El uso de cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo son potentes herramientas no invasivas para la supervisión y el diagnóstico del estado de componentes e instalaciones eléctricas y mecánicas. Con una cámara termográfica, se logra identificar problemas en una fase temprana, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y resulten más costosos de reparar.

La FLIR ONE PRO permite medir varias temperaturas o regiones de interés de una sola vez y transmitir a un dispositivo compatible de Apple para ver; ya sea que esté inspeccionando paneles eléctricos, buscando problemas en rodamientos o tratando de encontrar daños causados por malos dimensionamientos de conductores y protecciones eléctricas.

La FLIR ONE Pro combina un sensor térmico de la más alta resolución capaz de medir temperaturas de hasta 400 °C (752 °F) con potentes herramientas de medición y la capacidad de generación de informes.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).

PROCEDIMIENTO

1. Sacar cuidadosamente el iPad de donde se encuentra almacenada.
2. Encender el iPad, presionar la tecla ubicada en la parte superior derecha. Ver imagen 6.13.

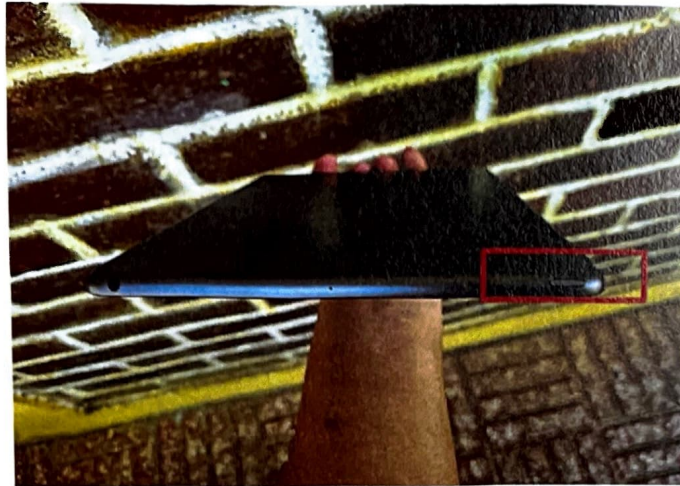


Imagen 6. 13-Tecla de encendido y apagado iPad (9.^a generación). Fuente: Propia

3. Esperar que el sistema cargue e ingresar el código de desbloqueo (Código: utla18). Ver imagen 6.14.

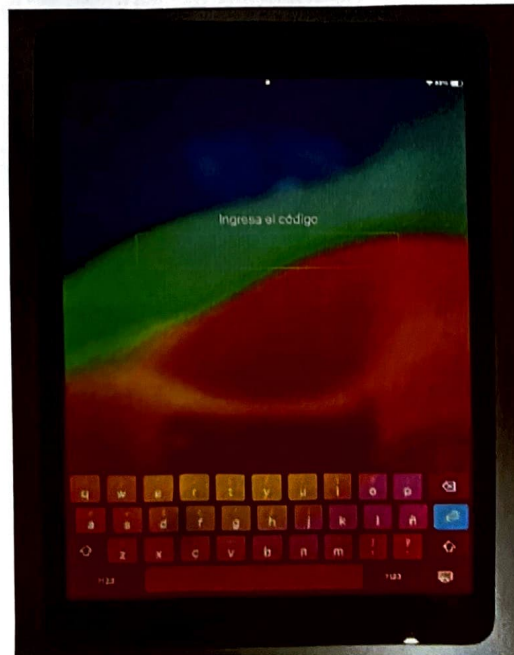


Imagen 6. 14-Pantalla de bloqueo inicial iPad (9.^a generación). Fuente: Propia

4. Abrir la aplicación “FLIR One”. Ver imagen 6.15

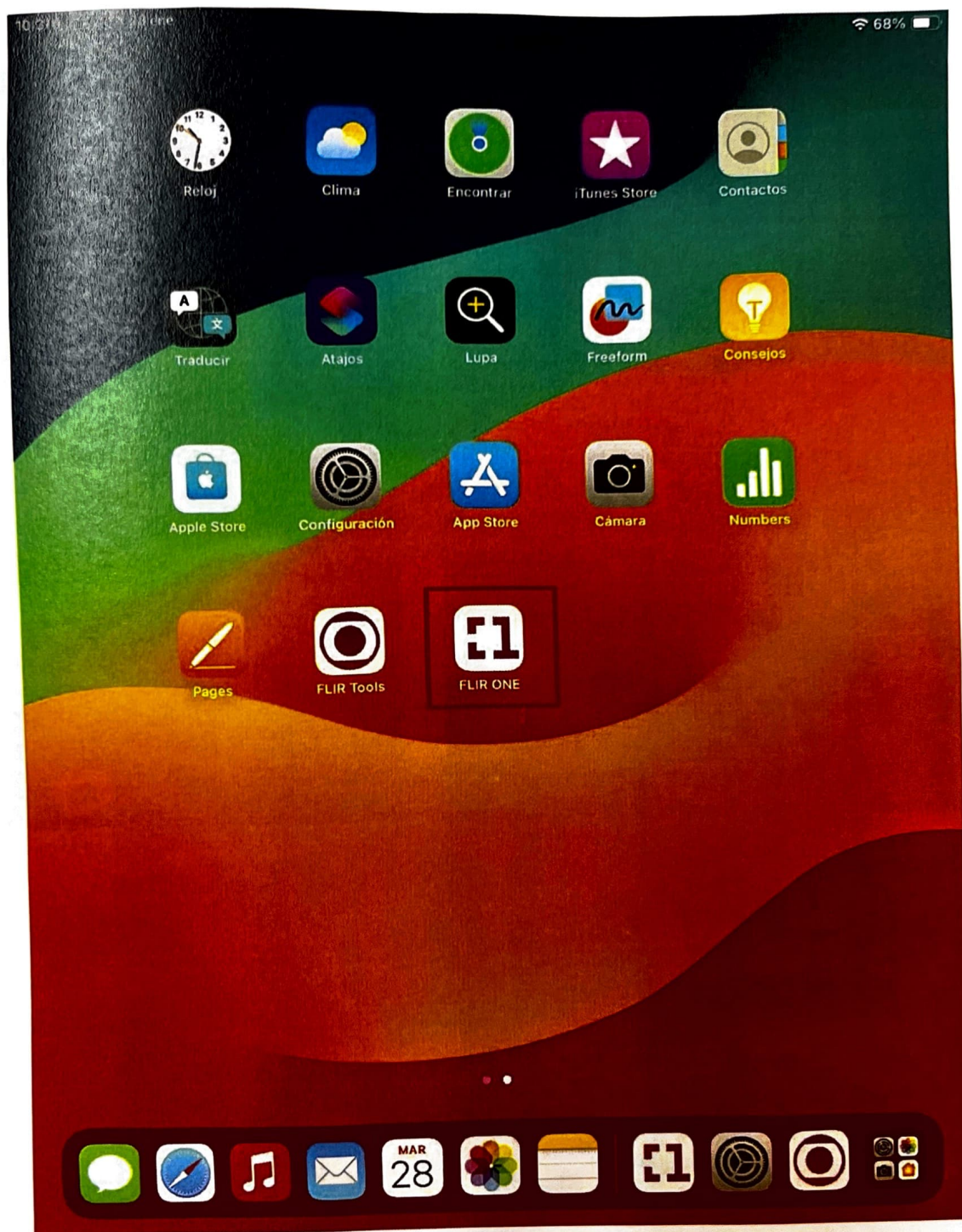


Imagen 6. 15-Pantalla de inicio iPad (9.ª generación). Fuente: Propia.

5. La aplicación pedirá que conecte la cámara termográfica FLIR ONE Pro. Ver imagen



Imagen 6. 16- Pantalla de inicio de Aplicación: FLIR ONE. Fuente: Propia

6. Colocar el iPad sobre una superficie segura y saque cuidadosamente la FLIR ONE Pro de donde se encuentra almacenada.

7. Conecte la FLIR ONE Pro al puerto Lightning del iPad. Ver imagen 6.17.



Imagen 6. 17- puerto Lightning del iPad (9.ª generación).. Fuente: Propia.

8. Encienda la FLIR ONE Pro. Mantenga presionada la tecla ubicada en la parte inferior de la cámara hasta que una luz roja fija lo ilumine. Ver imagen 6.18.

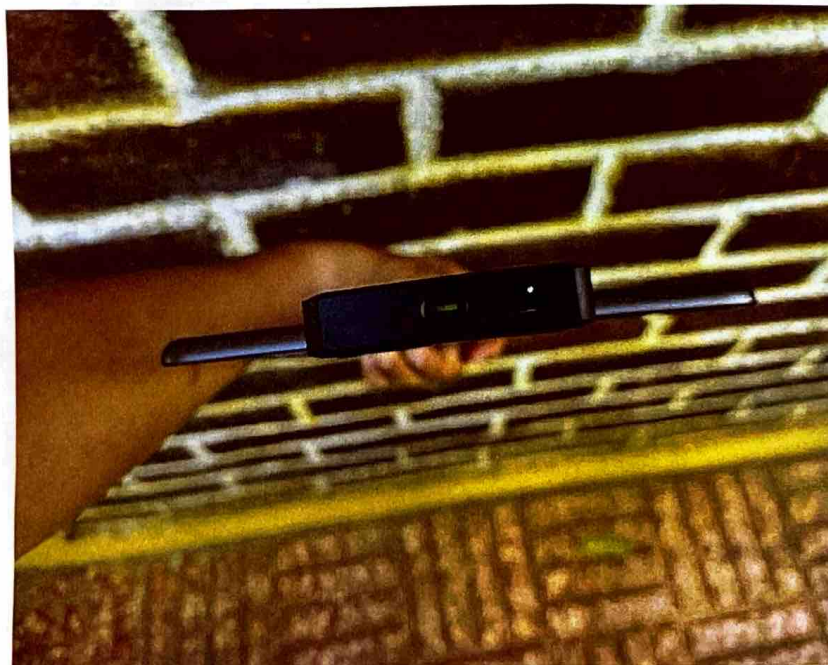


Imagen 6. 18-Tecla de encendido y apagado de cámara FLIR ONE PRO. Fuente: Propia

9. Esperar que la aplicación detecte la presencia de la FLIR ONE Pro por 20 segundos.
La luz roja del botón pasara de roja a verde intermitente.
10. Una vez detectada la cámara, los dispositivos están listos para realizar captura de imágenes. Ver imagen 6.19.

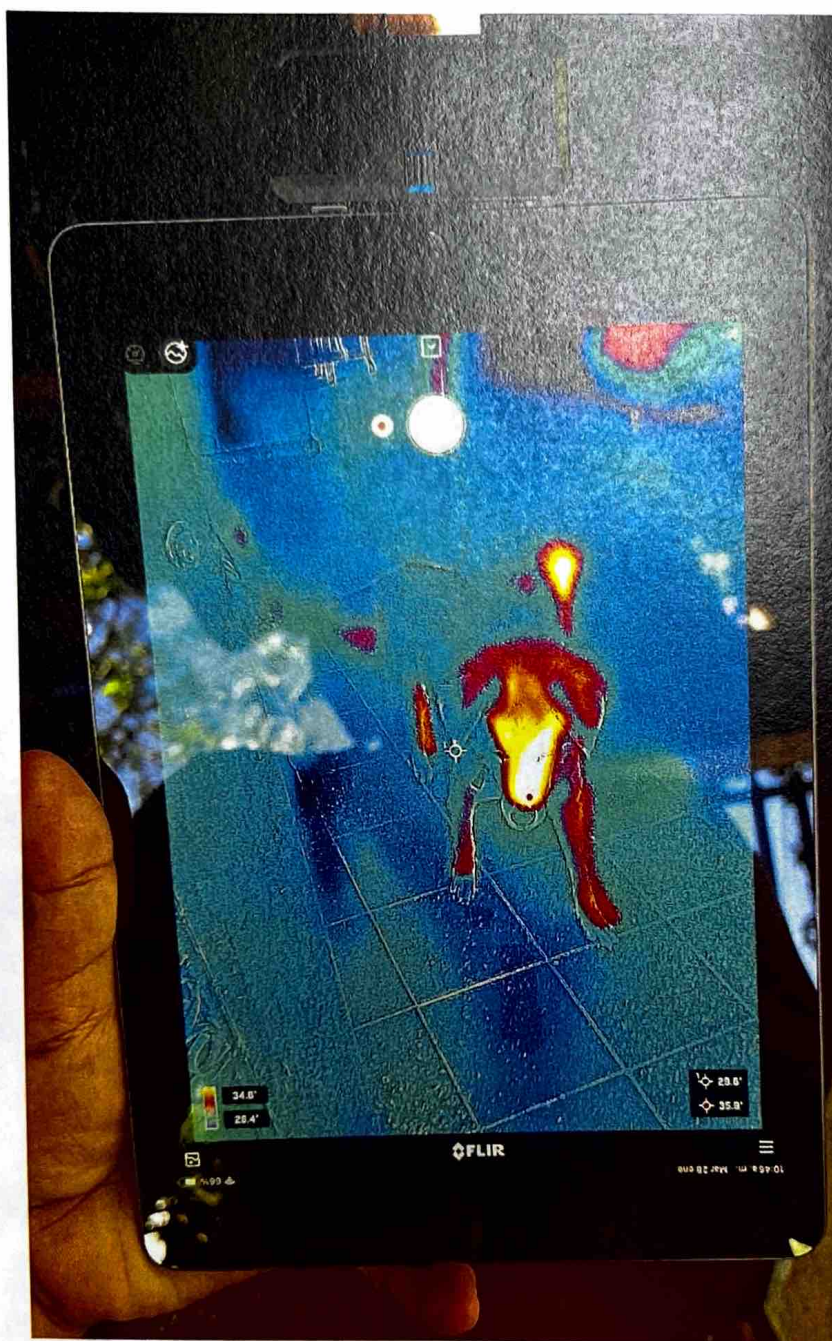


Imagen 6. 19- iPad (9.ª generación).. y cámara termográfica FLIR ONE PRO preparadas. Fuente: Propia

11. Para realizar una captura de imagen, enfocar el área que se desea inspeccionar y presionar el obturador “foto” ubicado en la parte inferior de la pantalla. Ver imagen 6.20. Para conocer todas las funciones que posee la aplicación referirse al Capítulo V de este documento.

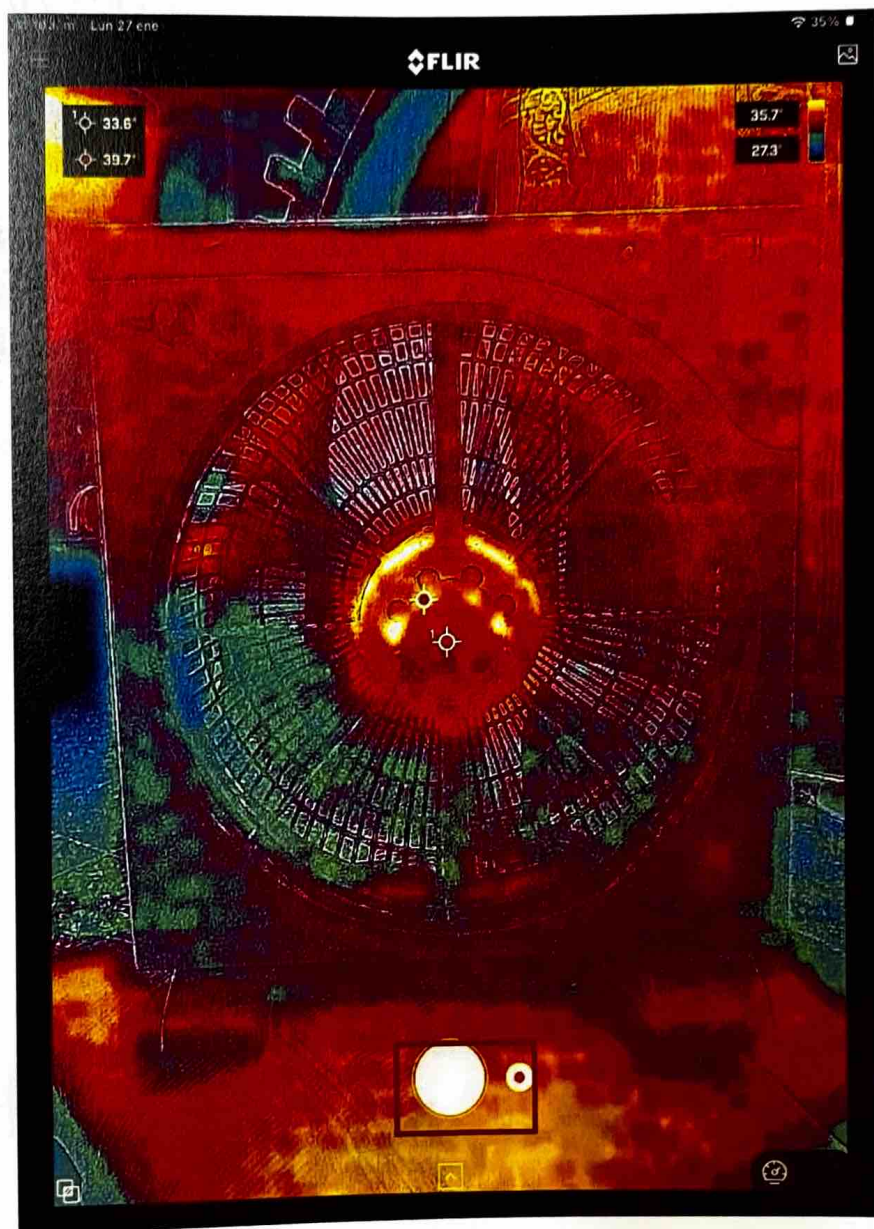


Imagen 6. 20-Pantalla de Aplicación FLIR ONE, posición del obturador. Fuente: Propia

12. Para insertar hasta tres puntos de medición y mediciones por áreas referirse al Capítulo V, sección 5.4.1.3 “Barra de herramientas”.
13. Luego de haber realizado las capturas termográficas, apague la FLIR ONE Pro presionando la tecla ubicada en la parte inferior de la cámara (mantenerlo presionado al menos 5 segundos).

14. Cuando la aplicación FLIR One detecte que la cámara ha sido apagada, desconecte la FLIR ONE Pro del puerto Lightning del iPad.
15. Salga de la aplicación FLIR One presionando el botón de “home” ubicado al centro en la parte inferior del iPad. Ver imagen 6.21.
16. Apague el iPad, mantenga presionado el botón ubicado en la parte superior derecha del equipo.

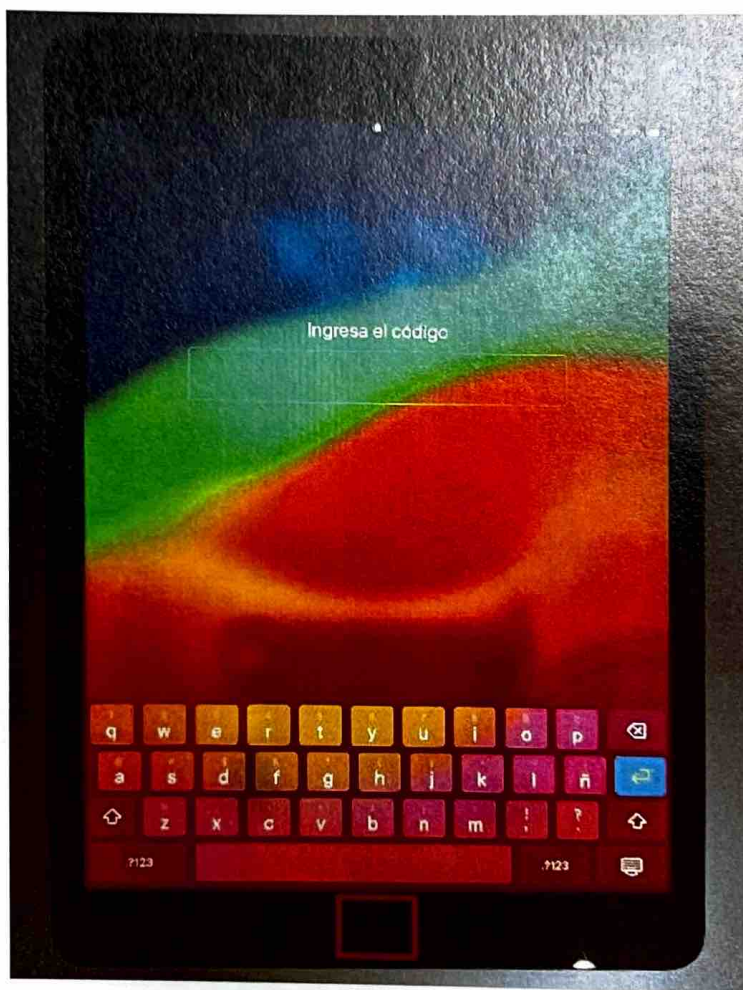


Imagen 6. 21- Tecla HOME iPad (9.ª generación) . Fuente propia

17. Almacenar adecuadamente el iPad y la cámara termográfica FLIR ONE Pro.



**UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA**

**6.3.2 PRÁCTICA 2 – SOFTWARE PARA GENERACIÓN DE INFORMES FLIR
TOOLS MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.
TEMA: SOFTWARE PARA GENERACIÓN DE INFORMES FLIR TOOLS.
LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
L-1**

OBJETIVOS

- Conocer las ventajas que ofrece el software FLIR Tools para la generación de informes termográficos.
- Aprender a generar informes termógrafos con FLIR Tools.

INTRODUCCIÓN

FLIR Tools es una solución de software gratuito y potente que permite importar, editar y analizar imágenes con rapidez, así como convertirlas en informes de inspección profesionales en formato PDF. Es una manera más efectiva de mostrar los problemas que se encontraron con la cámara termográfica FLIR. La aplicación permite: ajustar térmicamente el nivel y el tramo, cambiar la paleta de colores, ajustar parámetros como la emisividad, la temperatura reflectante y mucho más.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.ª generación).
- Software FLIR Tools.
- Computadora con acceso a internet.

PROCEDIMIENTO

1. Abrir el software FLIR Tools en su computadora. Si aún no tiene instalado el software solicítelo al instructor del laboratorio y referirse al Capítulo V de este documento, en la sección 5.5.2 “Instalación de FLIR Tools”, para la instalación.



Imagen 6. 22– Acceso directo a FLIR Tools.

2. Para tener acceso a las imágenes del iPad se tienen dos diferentes maneras de poder obtenerlas, una es conectando directamente el iPad a la computadora y transferir directamente las imágenes al disco duro; otra manera, es mediante iCloud, a continuación, se detalla ese proceso.
- Es necesario tener conectada a una red wifi el iPad e ingresar desde la computadora a la siguiente página de internet: <https://www.icloud.com/>. Aparecerá la pantalla de la imagen 6.23, iniciamos sesión con las siguientes credenciales:

Correo electrónico: termografia_utla@icloud.com

Contraseña: Termica2018-2022



Imagen 6. 23– Pantalla de inicio de sesión en iCloud. Fuente: Imagen propia.

- Luego de haber iniciado sesión y vincular el iPad, se mostrará la siguiente pantalla (imagen 6.24) con toda la información que tenemos almacenada en el iPad, incluyendo las imágenes.

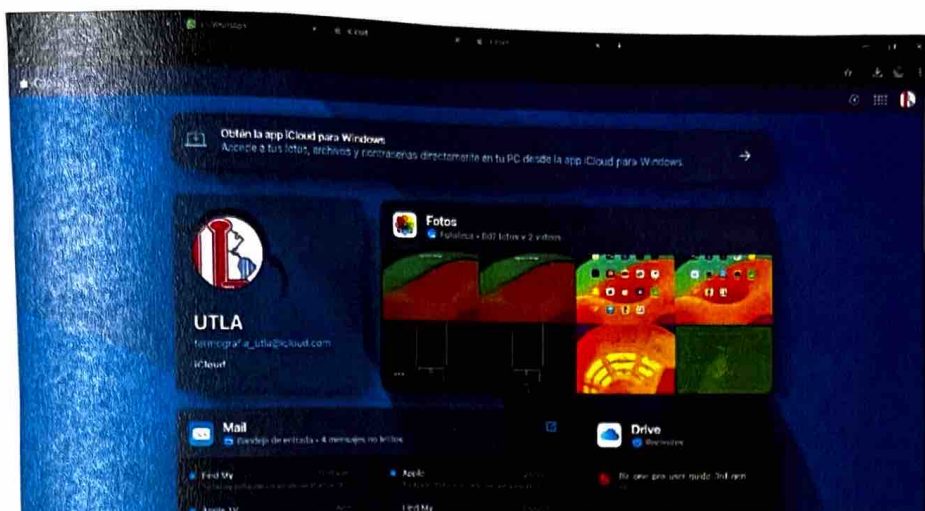


Imagen 6. 24– Información almacenada en el iPad. Fuente: Imagen propia.

- Se ingresa al ícono fotos y dentro proceder a descargar las imágenes que deseamos sincronizar con FLIR Tools.

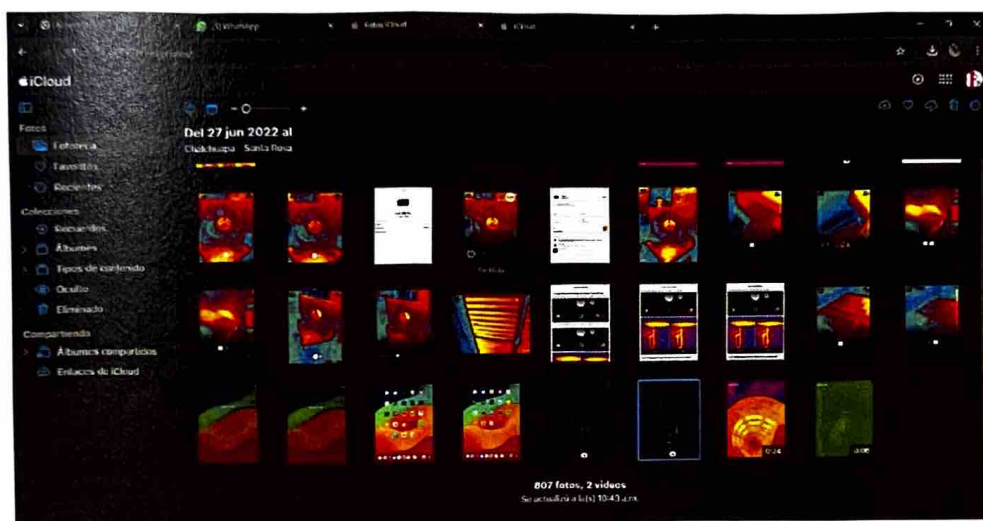


Imagen 6. 25– Imágenes almacenadas en el iPad. Fuente: Imagen propia.

3. Con las imágenes termográficas almacenadas en el disco duro de la computadora y el software FLIR Tools abierto, el siguiente paso es vincular la carpeta donde tenemos almacenadas las imágenes termográficas. En la pantalla que se muestra en la imagen 6.26, seleccionar el icono ubicado en la parte superior izquierda “Agregar” y seleccionar la carpeta donde tenemos almacenadas las imágenes termográficas.

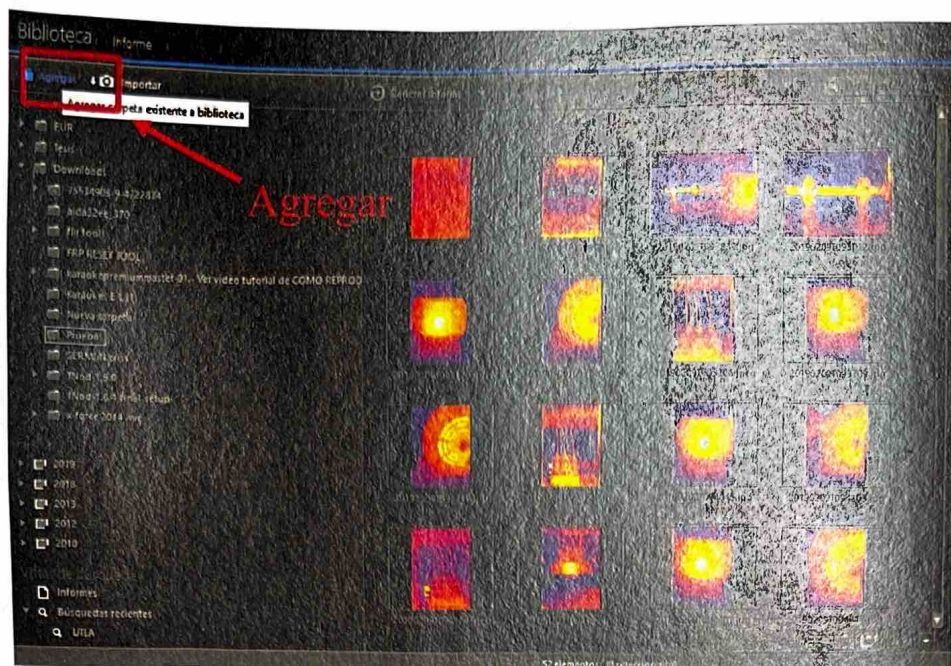


Imagen 6. 26– Sincronización de FLIR Tools con disco duro. Fuente: Imagen propia.

4. Con la carpeta sincronizada al FLIR Tools, se mostrarán todas las imágenes termográficas en el software, como se muestra en la imagen 6.27.

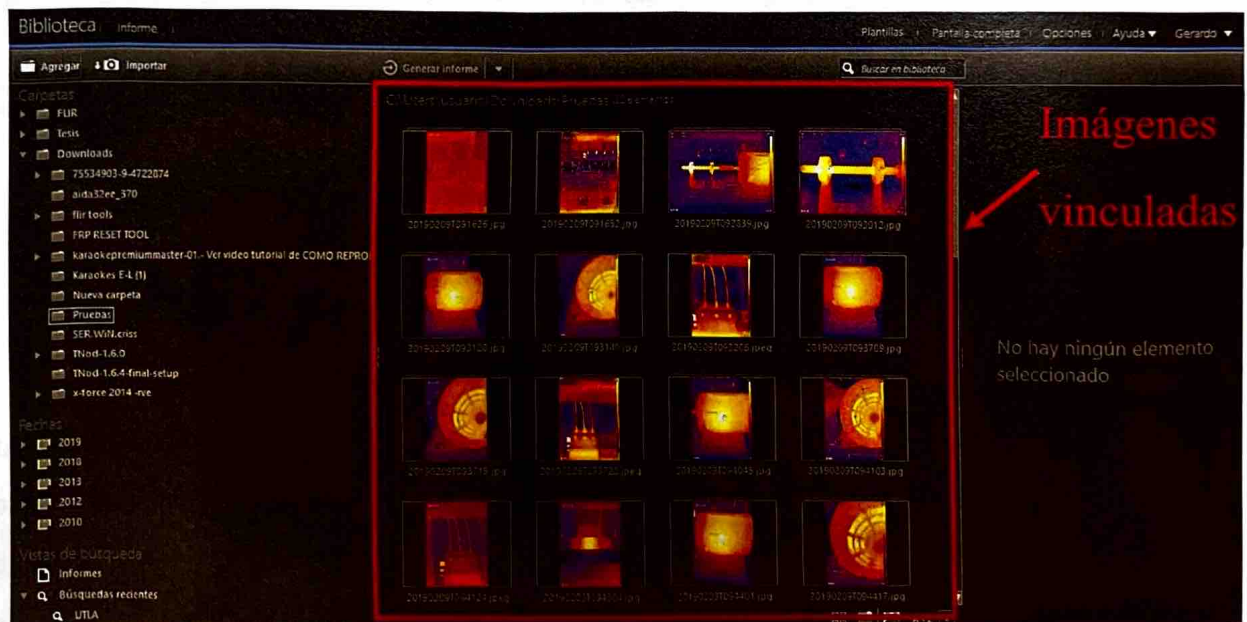


Imagen 6. 27– Imágenes vinculadas al software. Fuente: Imagen propia.

5. Al seleccionar una imagen termográfica, en el área derecha del software se muestra información de esa imagen, tal como se muestra en la imagen 6.28.

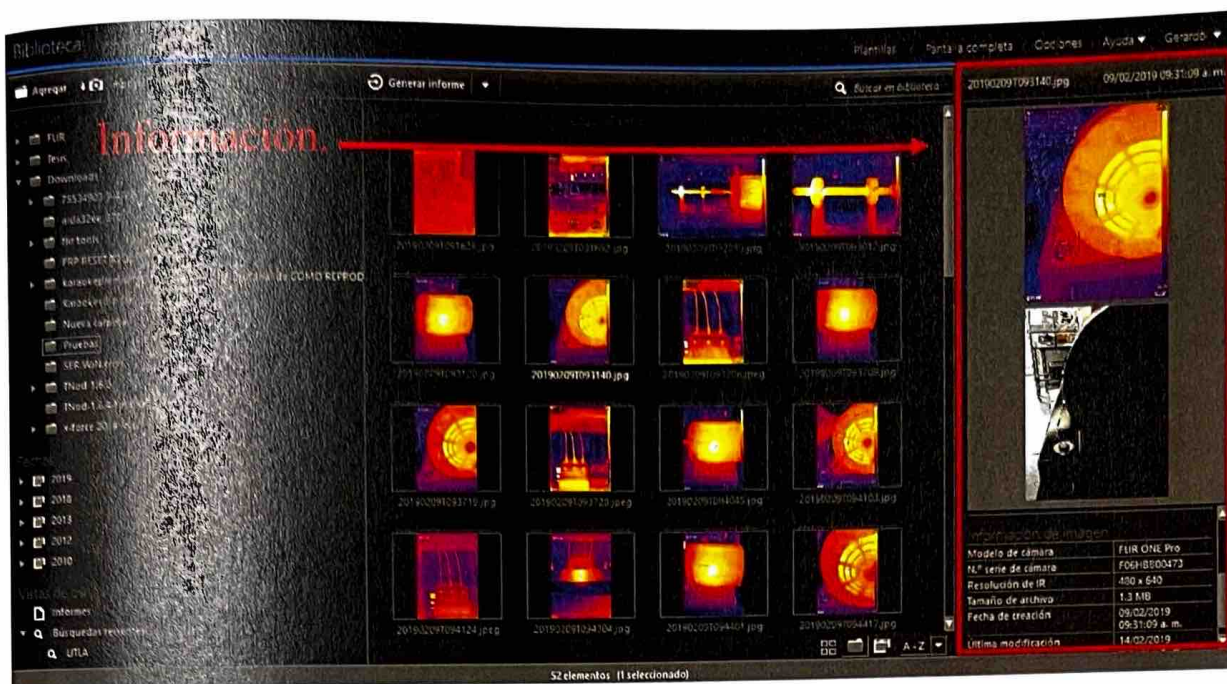


Imagen 6. 28– Información de imagen seleccionada para la creación de un reporte. Fuente: Imagen propia.

- Con la imagen termográfica seleccionada, basta con seleccionar el icono de “generar informe” para crear el reporte con FLIR Tools.

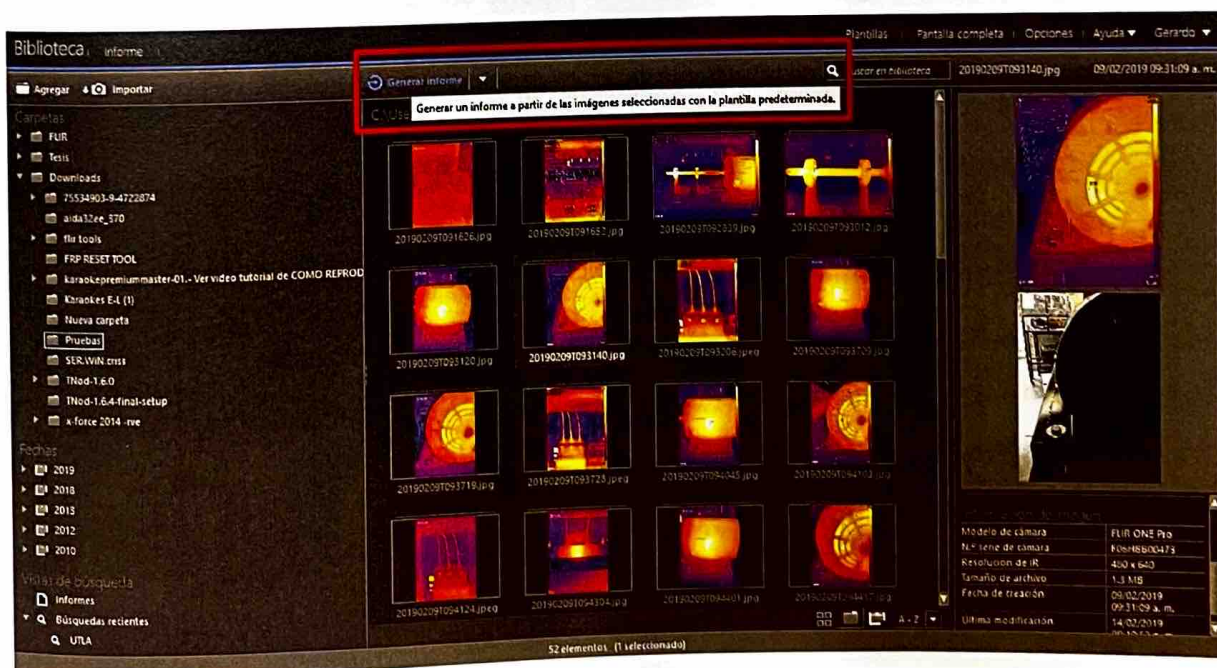


Imagen 6. 29.– Generación de un informe con FLIR Tools. Fuente: Imagen propia.

- En la imagen 6.30, se muestra el reporte que genera el programa FLIR Tools y abajo la descripción de cada elemento.

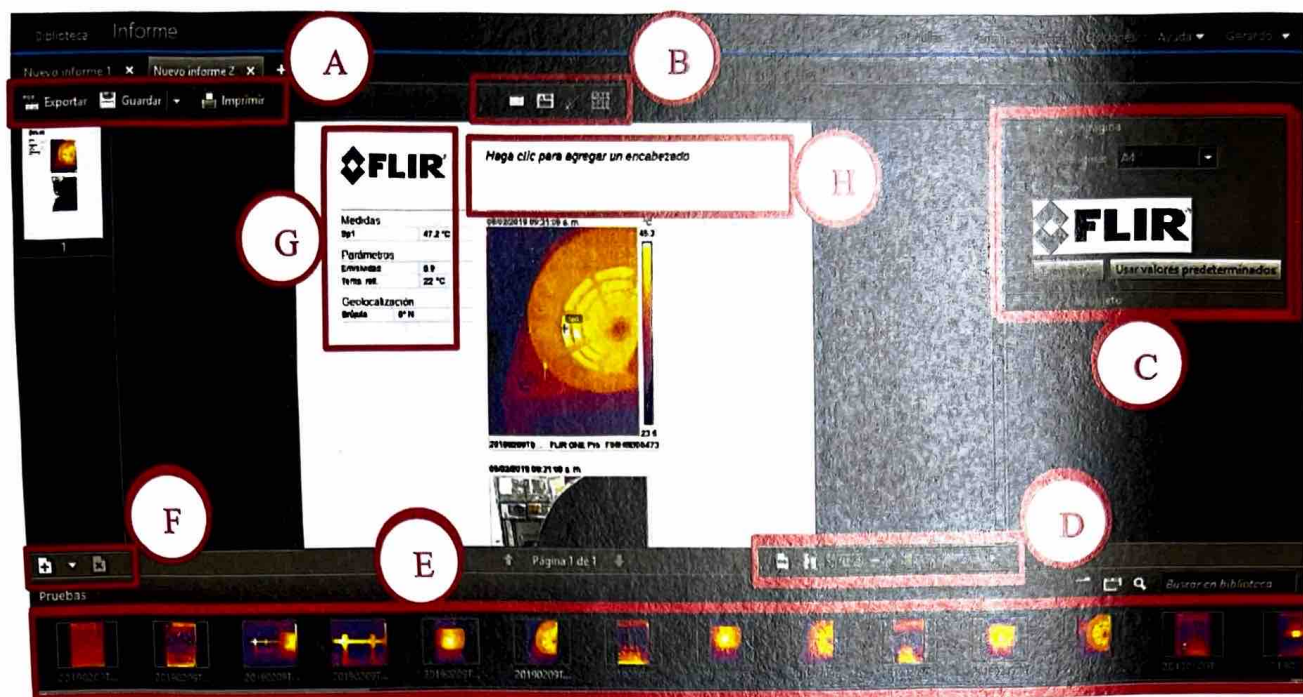


Imagen 6. 30.– Partes de un reporte con FLIR Tools. Fuente: Imagen propia.

- a) Exportar: Guarda el reporte en formato PDF.
 Guardar: Guarda el reporte en una ubicación asignada por el usuario, el archivo con una extensión propia del software (.repx).
 Imprimir: Imprime directamente el reporte creado.
 - b) Área para la inserción de notas de texto, cuadros de texto, marcadores y alineación de elementos del reporte.
 - c) Configuración de página: Tamaño y logotipo.
 Detalles del objeto: Habilitar o deshabilitar información para el reporte.
 - d) Área para zoom de la página.
 - e) Muestra todas las imágenes almacenadas en la carpeta donde se encuentra contenida la imagen termográfica que estamos utilizando.
 - f) Agregar o eliminar paginas al reporte.
 - g) Logotipo configurado (usualmente el de FLIR) y algunos parámetros de la imagen termográfica.
 - h) Área para agregar un encabezado o una descripción al reporte.
8. Luego de colocar toda la información deseada en el reporte, seleccionar el icono de exportar, guardar o imprimir para finalizar el reporte.

9. Para obtener más información acerca de la creación de informes, referirse al Capítulo V, sección 5.5.3 “Generación de informes con FLIR Tools” de este documento.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

Desarrollar un reporte con el software FLIR Tools.



**UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA**

6.3.3 PRÁCTICA 3 – MÓDULO SIMULADOR DE FALLAS.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: MÓDULO SIMULADOR DE FALLAS.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Identificar todas las partes que componen al módulo simulador de fallas.
- Conocer los cuidados de seguridad que se deben de tener al momento de estar trabajando con el módulo simulador de fallas.

INTRODUCCIÓN

La construcción e implementación del módulo simulador de fallas es con la finalidad de poder realizar prácticas de mantenimiento predictivo a un motor eléctrico trifásico, sus dispositivos de control, rodamientos y ejes de transmisión de movimiento. El marco está construido en tubo industrial de 1x1", con altura de 96 cm, ancho 60 cm y fondo 30 cm. El panel de control está fabricado en acrílico cristal de 5 mm, impresión digital full color tipo espejo, de 60 x 60 cm de dimensiones, fondo de color amarillo y textos en color negro. Los elementos de control son de marca ABB, Onesto y Omrom.

Como todo equipo mecánico o eléctrico, el uso del módulo trae riesgos en su manipulación y operación, es por eso que es necesario seguir todas las indicaciones de las prácticas y para prevenir cualquier situación de peligro se han utilizado toda una serie de elementos, llamados señales, que tienen por objetivo avisar a las personas de que están en una zona peligrosa y deben evitarla o tomar las precauciones y protecciones adecuadas. En el módulo simulador de fallas se encuentran dos tipos de señales de peligro:

- Advertencias o avisos pictóricos.
- Señales luminosas.

MATERIALES Y EQUIPO

- Modulo simulador de fallas.

PARTES DEL MÓDULO SIMULADOR DE FALLAS.

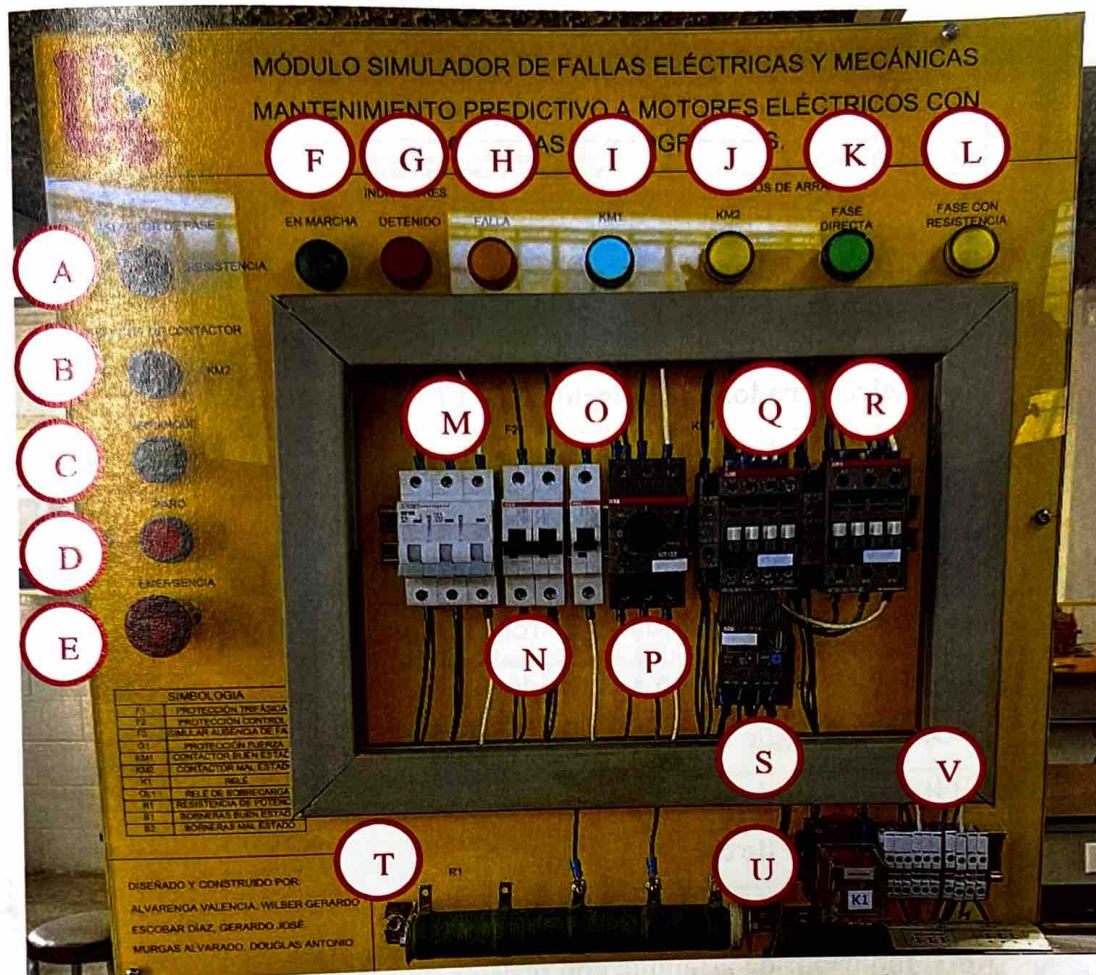


Imagen 6. 31– Partes de control y fuerza del módulo simulador de fallas. Fuente: Imagen propia.

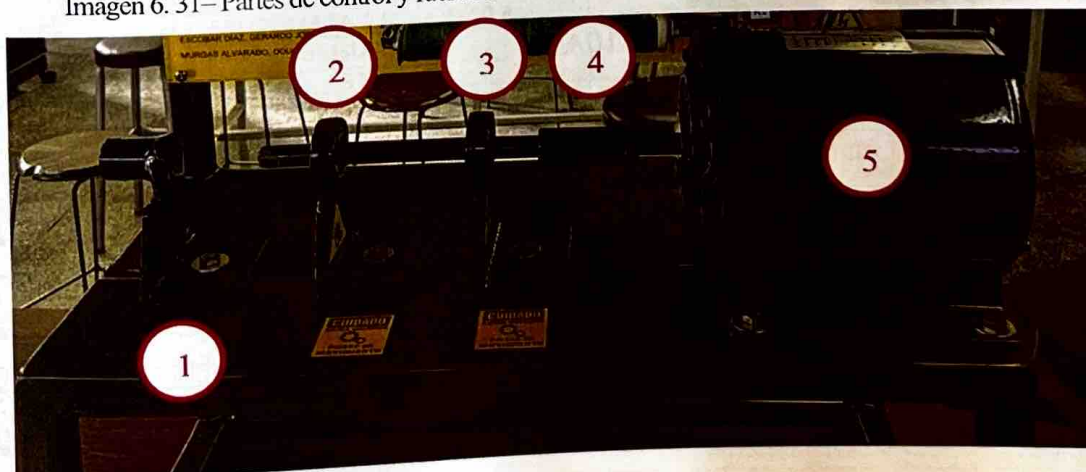
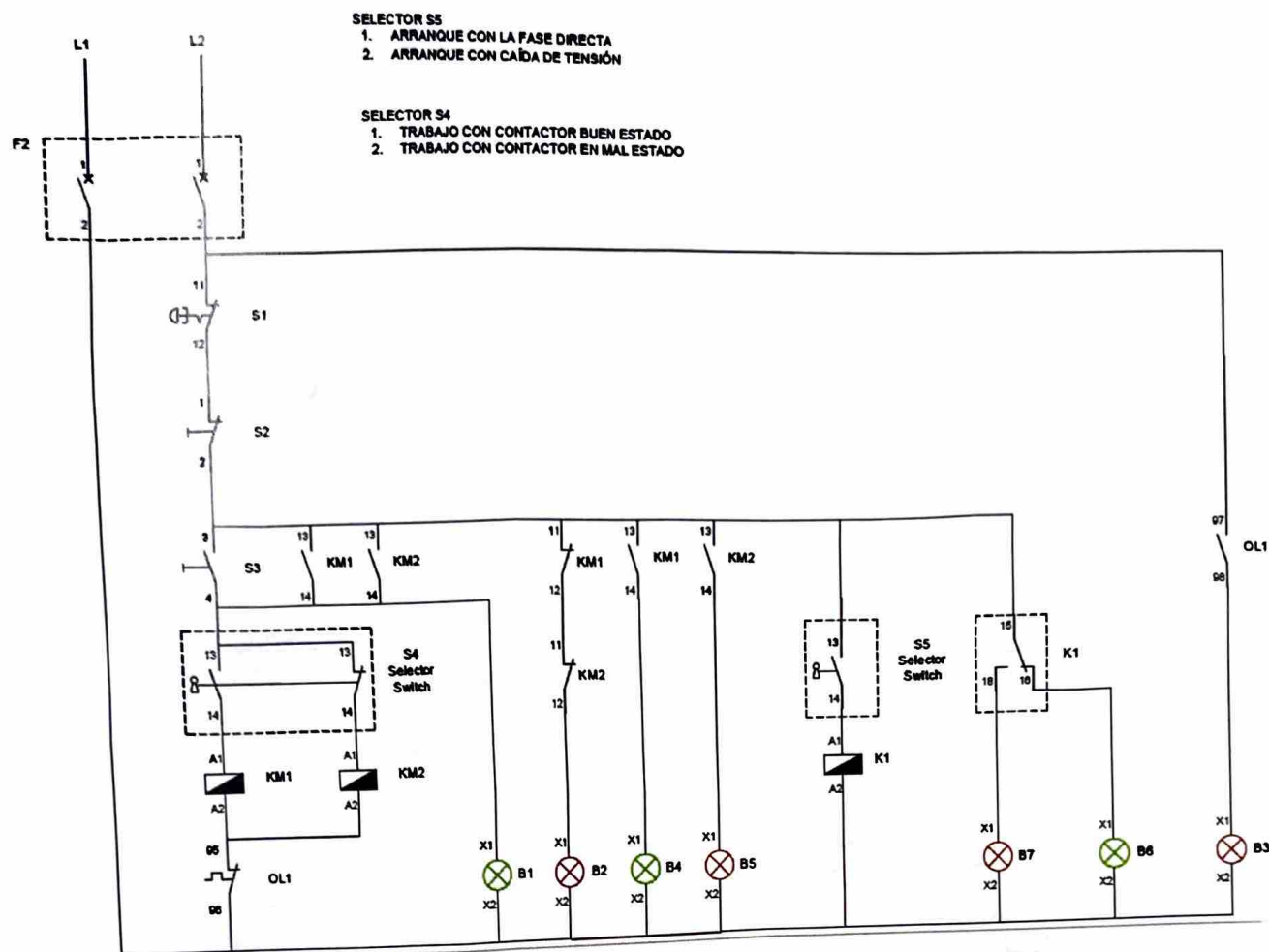


Imagen 6. 32– Partes mecánicas del módulo simulador de fallas. Fuente: Imagen propia.

1	Accesorio de bloqueo. (Para realizar prueba de rotor bloqueado)
2	Rodamiento A.
3	Rodamiento B.
4	Acople.
5	Motor.
A	S5: Seleccionador de fase: Directa o con resistencia.
B	S4: Seleccionador de contactor: KM1 (Buen estado) o KM2 (Mal estado).
C	S3: Pulsador de arranque.
D	S2: Pulsador de paro.
E	S1: Paro de emergencia.
F	B1: Indicador de sistema en marcha.
G	B2: Indicador de sistema detenido.
H	B3: Indicador de sistema con falla: OL1 disparado.
I	B4: Indicador de contactor KM1.
J	B5: Indicador de contactor KM2.
K	B6: Indicador de arranque con fase directa.
L	B7: Indicador de arranque con resistencia (caída de tensión).
M	F1: Autómata trifásico 10A
N	F2: Autómata dos polos 10A
O	F1: Autómata un polo 10A
P	G1: Guarda motor ajustable, 4 – 6.3 A
Q	KM1: Contactor en buen estado.
R	KM2: Contactor en mal estado.
S	OL1: Bimetálico, relé de sobrecarga.
T	R1: Resistencia de potencia.
U	K1: Relé.
V	B1 y B2: Borneras de conexiones.

Tabla 6. 4– Partes de control y fuerza del módulo simulador de fallas.

DIAGRAMA DE CONTROL.

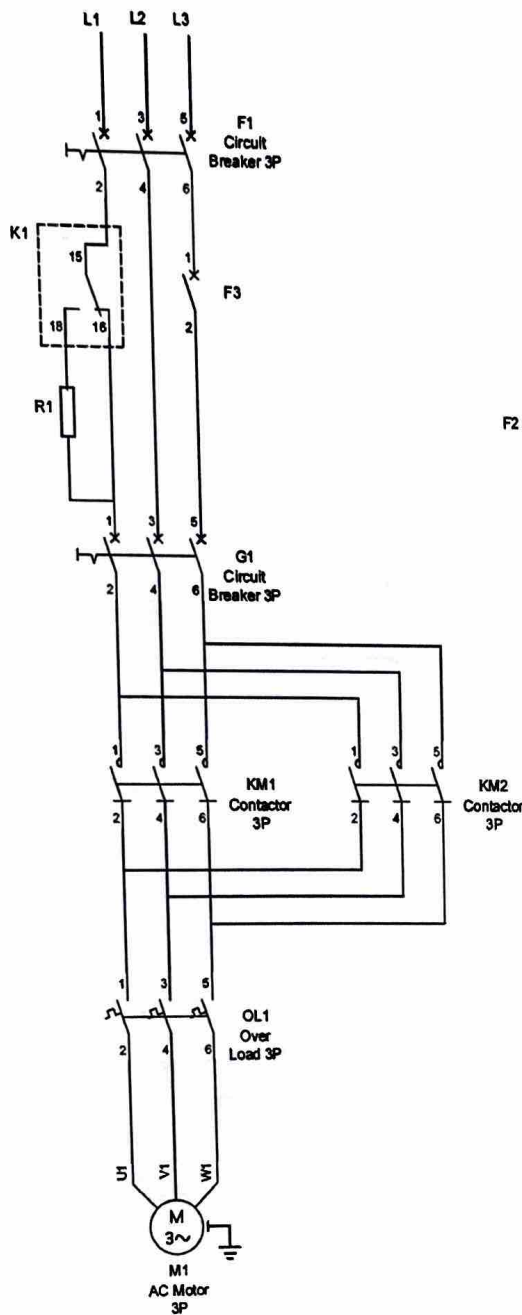


DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA	
L1 - L2	ALIMENTACIÓN
F2	AUTÓMATA 2 POLOS 10 A
S1	SEGURIDAD
S2	STOP
S3	START
S4	SELECTOR DE CONTACTOR
S5	SELECTOR DE FASE
KM1	CONTACTOR BUEN ESTADO
KM2	CONTACTOR MAL ESTADO
K1	RELE
OL1	SOBRECARGA
Bx	INDICADOR LUMINOSO

DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA INDICADORES	
B1	MOTOR EN MARCHA
B2	MOTOR DETENIDO
B3	MOTOR EN FALLA
B4	CONTACTOR KM1 ACTIVADO
B5	CONTACTOR KM2 ACTIVADO
B6	FASE DIRECTA EN FUNCION
B7	FASE CON RESISTENCIA EN FUNCION

Imagen 6. 33-Diagrama de control. Fuente: AutoCAD Electrical 2016, diseño propio. Fuente: AutoCAD Electrical 2016, diseño propio.

DIAGRAMA DE FUERZA.



DESCRIPCIÓN SIMBOLOGÍA	
L1 - L2 - L3	ALIMENTACIÓN
F1	AUTÓMATA 3 POLOS 10 A
F3	AUTÓMATA 1 POLO 10 A
K1	RELE
R1	RESISTENCIA DE POTENCIA
G1	GUARDA MOTOR
KM1	CONTACTOR BUEN ESTADO
KM2	CONTACTOR MAL ESTADO
OL1	SOBRECARGA

Imagen 6. 34- Diagrama de fuerza. Fuente: AutoCAD Electrical 2016, diseño propio.

SEGURIDAD INDUSTRIAL.

Las siguientes imágenes representan las señales de advertencia o peligro que se encuentran en el módulo simulador de fallas.

1. Riesgo de atrapamiento. Posibilidad de que una persona sufra determinada lesión por atrapamiento de alguna parte de su cuerpo, entre elementos en movimiento del módulo simulador de fallas.



Imagen 6. 35– Advertencia de riesgo de atrapamiento. Fuente: Imágenes de Google.

2. Riesgo mecánico. Generaliza una condición de trabajo determinada. Advierte que en esa zona se encuentran elementos mecánicos en movimiento.



Imagen 6. 36– Advertencia de riesgo mecánico. Fuente: Imágenes de Google.

3. Riesgo eléctrico. Riesgo eléctrico es el originado por la energía eléctrica. Los principales riesgos eléctricos son:

- Choque eléctrico por contacto con elementos en tensión (contacto eléctrico directo), o con masas puestas accidentalmente en tensión (contacto eléctrico indirecto).
- Quemaduras por choque eléctrico, o por arco eléctrico.
- Caídas o golpes como consecuencia de choque o arco eléctrico.
- Incendios o explosiones originados por la electricidad.

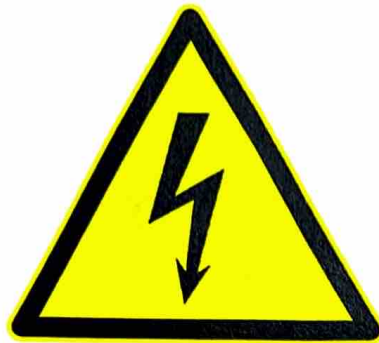


Imagen 6. 37– Advertencia de riesgo eléctrico. Fuente: Imágenes de Google.



UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA

6.3.4 PRÁCTICA 4 – ROTOR BLOQUEADO.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: ROTOR BLOQUEADO.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Conocer el efecto térmico que genera un motor atascado en el arranque, en la carcasa del motor, en los bobinados y en la alimentación eléctrica.
- Comprobar el aumento de corriente que se genera en una falla de rotor bloqueado.

INTRODUCCIÓN

Las corrientes de rotor bloqueado pueden oscilar entre 6 a 10 veces la corriente a plena carga del motor. Se puede producir por: endurecimiento de rodamientos, oxidación de componentes mecánicos, trabas mecánicas en la máquina, etc.

Cuando un motor se atasca durante la secuencia de arranque, este se calienta muy rápidamente, y después de un tiempo de atascamiento permisible, alcanza la temperatura límite que su aislamiento soporta. La temperatura límite de un motor eléctrico viene dada en la placa de características como clase de aislamiento.

TEMPERATURA LÍMITE POR CLASE DE AISLAMIENTO

Clase de Aislamiento	Temperatura Límite, °C (°F)	
E	120	248
B	130	266
F	155	311
H	180	356
N	200	392
R	220	428
S	240	464
C	+240	+464

Imagen 6. 38– Clase de aislamiento. Fuente: Pablo Turnero “Protección de motores”

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.
- Tenaza amperimétrica.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas (F1, F2, F3 y G1).
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Colocar el accesorio de bloqueo en el eje del sistema. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.

Nota: Verifique que el pin ubicado en el interior del accesorio de bloqueo se acople correctamente en la ranura ubicada en el extremo del eje, garantizando una conexión segura y alineada.



ADVERTENCIA: Un acoplamiento incorrecto puede provocar el desprendimiento del componente durante el funcionamiento, generando riesgo de daño al equipo o lesiones al operador



Imagen 6.39 - Acoplamiento correcto de accesorio de bloqueo de rotor. Fuente: Imagen propia.

4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren ajustadas entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo de SEGURIDAD no se encuentre accionado.

6. Selector de fase en posición DIRECTA y el selector de contactor en KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. **ANTES DE PRESIONAR START.** Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
9. Tomar tres imágenes termográficas, a la carcasa, a los bobinados del motor y a la alimentación del motor a la salida de OL1, con el sistema apagado y llenar tabla 6.5.
10. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor y transcurridos **3 SEGUNDOS** presionar el pulsador PARO para detener el motor.

Nota. Existe la posibilidad de que las protecciones se disparen antes de accionar el botón de parada (STOP), debido a que el bloqueo del rotor genera un aumento significativo en la corriente del motor, superando los valores nominales permitidos por el sistema de protección.

11. Inmediatamente tomar tres imágenes termográficas, a la carcasa, a los bobinados del motor y a la alimentación del motor a la salida de OL1 y llenar tabla 6.6.
12. Para insertar hasta tres puntos de medición en una captura termográfica referirse al Capítulo V, sección 5.4.1.3 “Barra de herramientas”.
13. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
14. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
15. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Tabla 6.5. Datos con el motor apagado

Realizar la captura entre las ranuras de ventilación del motor, para obtener el valor de los bobinados. La temperatura de las fases obtenerla de los conductores que salen de OL1 y alimentan el motor.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Ambiente	24.0 °C	
T. Motor (Bobinas)	50.0 °C	
T. Fase A	28.02 °C	
T. Fase B	29.0 °C	
T. Fase C	27.8 °C	

Tabla 6. 5- Datos con el motor apagado.

Tabla 6.6. Datos con el motor con el rotor bloqueado. (3 Segundos)

Transcurridos los 3 segundos tomar la captura en los mismos puntos que el ejercicio de la Tabla 1 para tener los mismos puntos de referencia. Es probable que para realizar las mediciones de corriente sea necesario realizar el arranque con el rotor bloqueado varias ocasiones, considerar siempre los 3 segundos con el sistema arrancado.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobinado)	67.3 °C	
T. Fase A	33.8 °C	
T. Fase B	33.4 °C	
T. Fase C	33.6 °C	
Corriente A	32.00 A	
Corriente B	32.50 A	
Corriente C	29.60 A	

Tabla 6. 6- Datos con el motor apagado con el rotor bloqueado.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Mencione algunas causas que pueden generar un atascamiento de rotor.
2. Con los resultados obtenidos, elabore una conclusión de la práctica.

6.3.4.1 Informe FLIR Tools – Práctica 4

Temperatura del motor trabajando a plena marcha.

La temperatura nominal del bobinado es de 46.9°C , dato tomado con el motor a plena marcha.

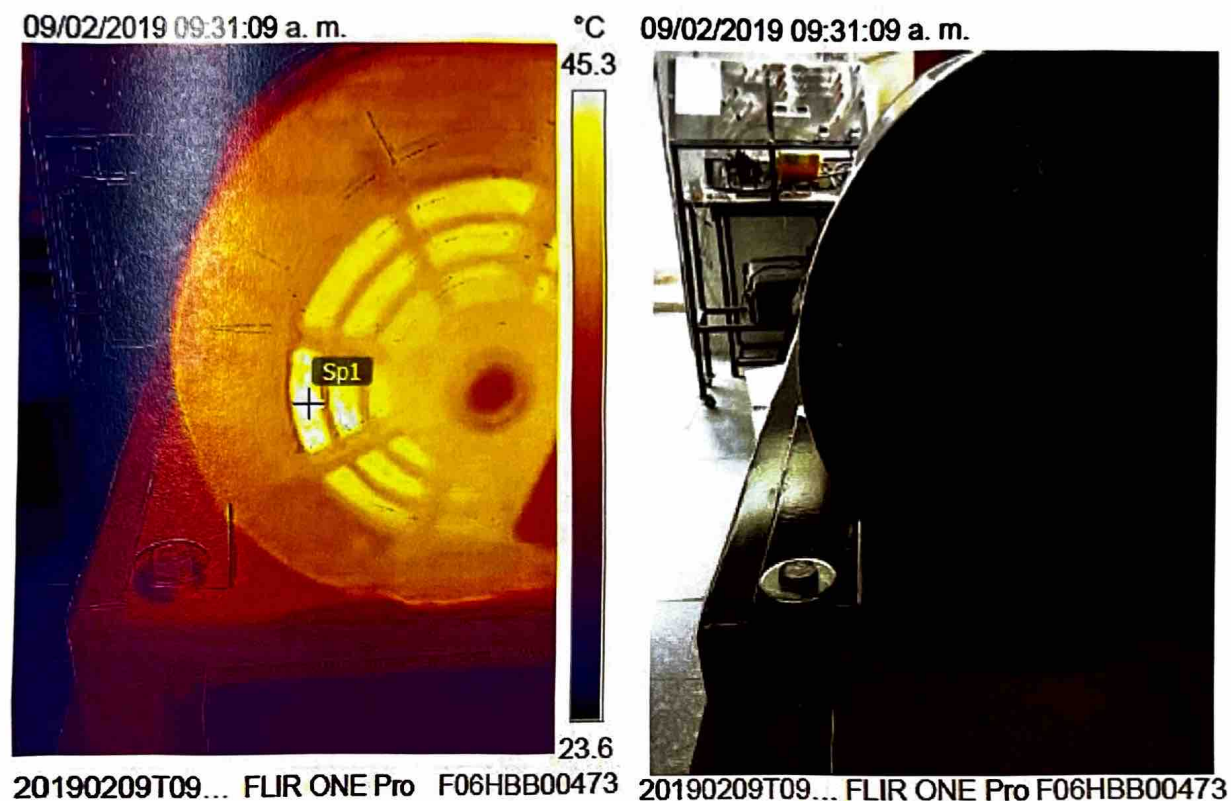


Imagen 6.40 – Temperatura nominal del bobinado. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	46.9 °C
-----	---------

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 7– Temperatura del motor trabajando a plena carga

Temperatura del bobinado del motor simulando falla de rotor bloqueado durante 3 segundos.

A pesar que la falla solo se está simulando en un lapso de 3 segundos, el aumento de temperatura es inmediato en los bobinados del motor, 20.4°C de aumento de temperatura en 3 segundos.

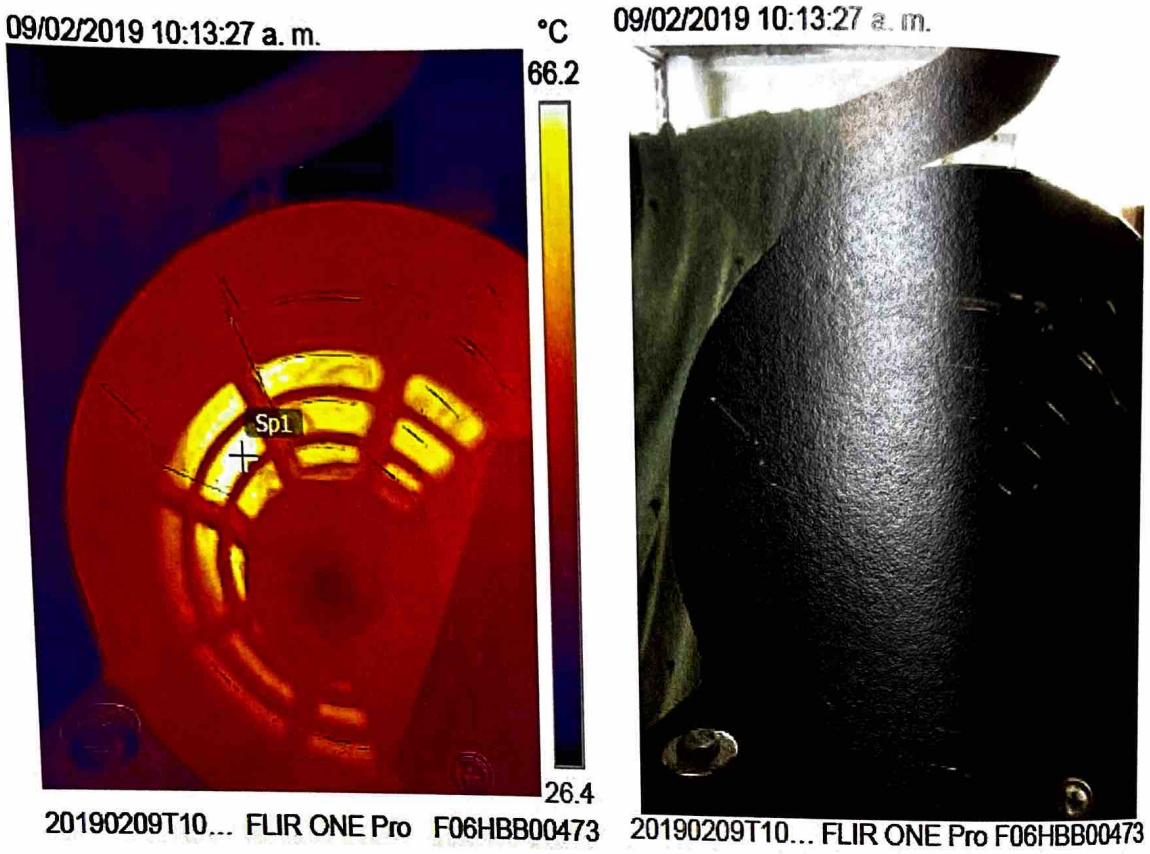


Imagen 6. 41– Temperatura nominal del bobinado simulando falla de rotor bloqueado. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas	
Sp1	67.3 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 8– Temperatura del bobinado simulando falla de rotor bloqueado

Temperatura de conductores eléctricos con el motor trabajando a plena marcha.

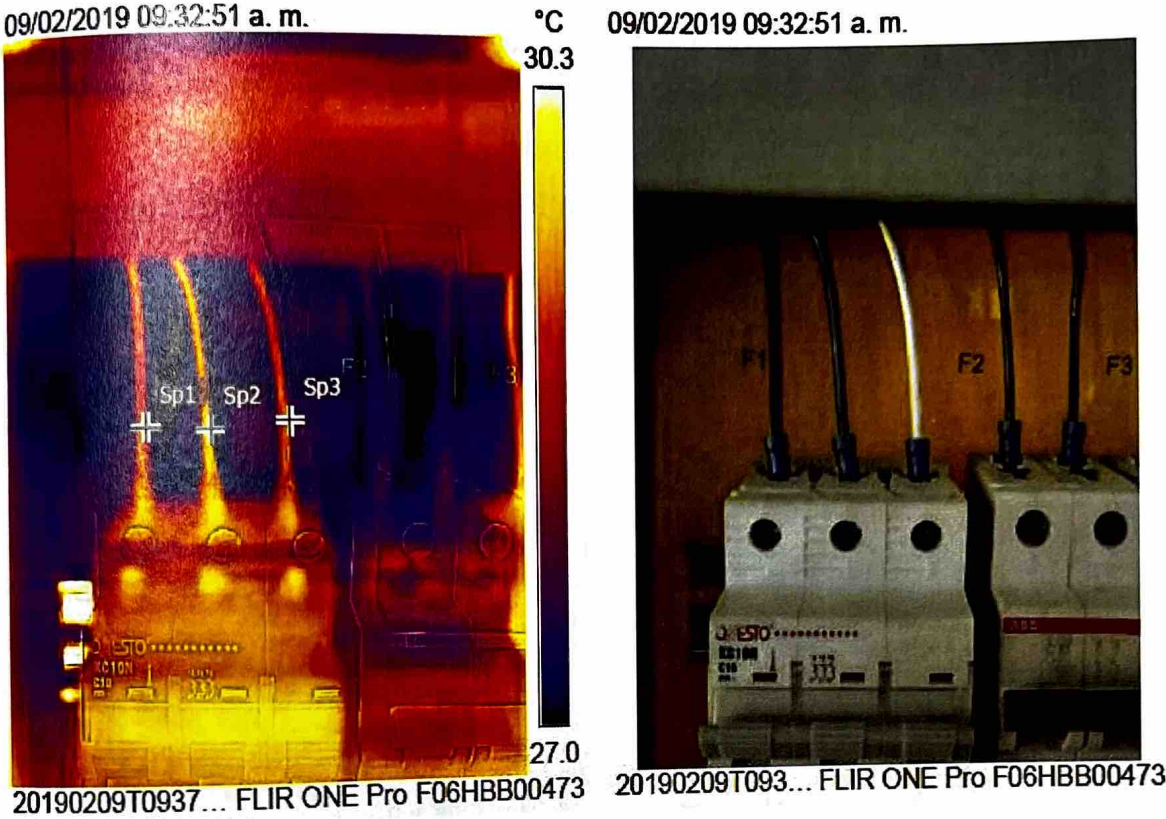


Imagen 6. 42– Temperatura de conductores con el motor a plena marcha. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas	
Sp1	28.2 °C
Sp2	29.0 °C
Sp3	27.8 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 9– Temperatura de conductores con el motor a plena marcha.

Temperatura de conductores eléctricos simulando falla de rotor bloqueado durante 3 segundos.

Los conductores de alimentación eléctrica del motor presentan un cambio superior de temperatura notable, aproximadamente entre 6 y 7 grados centígrados por fase. El aumento de corriente es drástico, aproximadamente 10 veces la corriente nominal del motor.

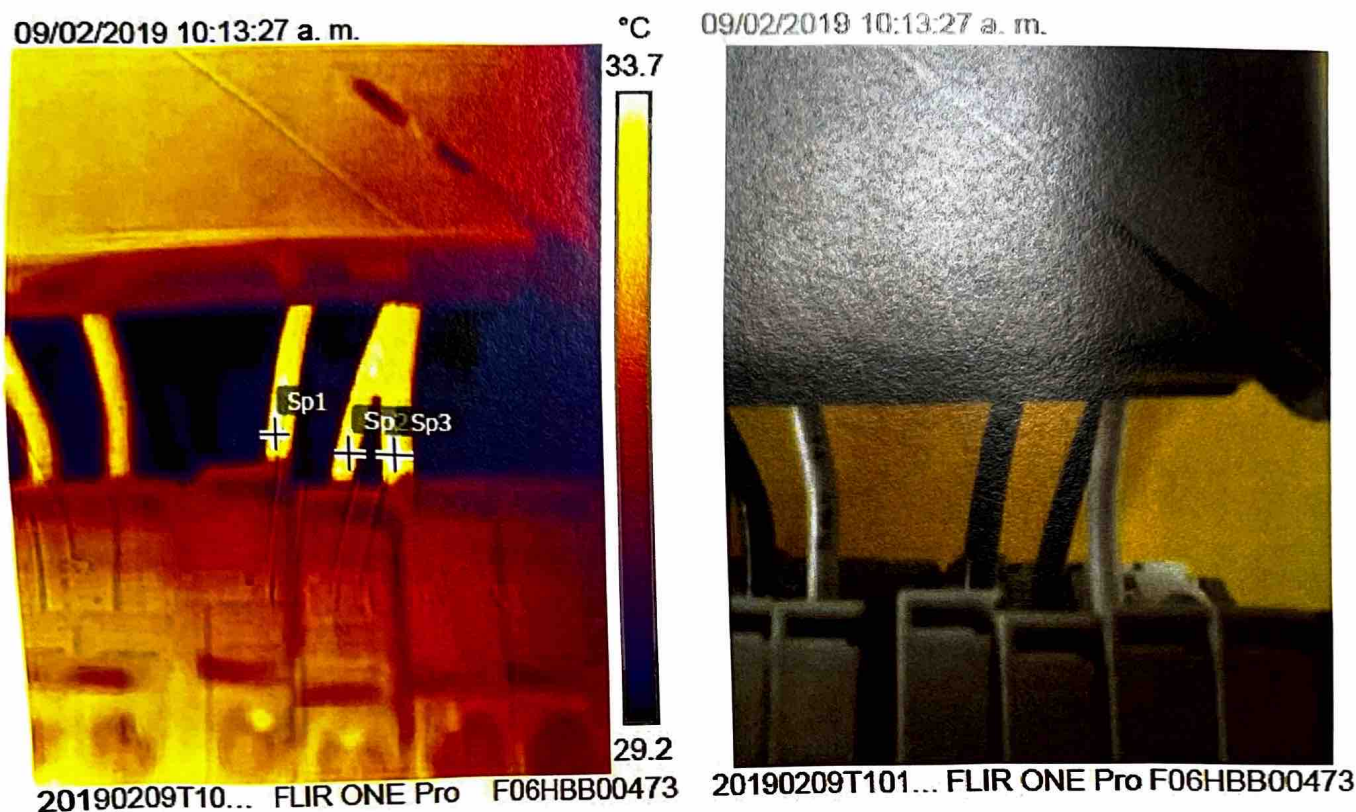


Imagen 6. 43– Temperatura de conductores simulando falla de rotor bloqueado. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas

Sp1	33.8 °C
Sp2	33.4 °C
Sp3	33.6 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Anotaciones de texto

Corriente Sp1	30.0 A
Corriente Sp2	32.5 A
Corriente Sp3	29.6 A

Tabla 6. 10– Temperatura y corriente de conductores simulando falla de rotor bloqueado.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	MOTOR ELECTRICO
INSPECCIONADO POR:	Douglas Alvarado	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	10:13 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	MENSUAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-1
DETALLE DEL COMPONENTE:		La temperatura nominal registrada para el motor es de 46.9°C y para los alimentadores eléctricos 28.2 °C (A), 29.0 °C (B) y 27.8 °C (C). Se observa un incremento de 20.4°C en el motor, con respecto al último reporte. Temperatura actual es de 67.3°C y la temperatura de los alimentadores eléctricos se ha elevado en 5°C, 33.8°C (A), 33.4°C (B) y 33.6°C (C).	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		Se recomienda programar mantenimiento preventivo para el motor eléctrico. Revisión de baleros, desgaste en el eje y chumaceras adyacentes a él. El sobrecalentamiento de debe a un esfuerzo adicional que el motor está realizando. Luego del mantenimiento pasar revisión termográfica para verificar que el motor regrese a sus condiciones habitualmente registradas.	



6.3.5 PRÁCTICA 5 – RODILLOS SOSPECHOSOS Y RODAMIENTOS EN MAL ESTADO.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: ROTOR BLOQUEADO.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Demostrar mediante capturas termográficas el aumento de temperatura que se genera en uno de los rodamientos del módulo simulador de fallas.
- Identificar las posibles causas por las cuales se está aumentando la temperatura en uno de los rodamientos.

INTRODUCCIÓN

Los "enemigos" de los rodamientos son una serie de condiciones que pueden causar daños en los sistemas de rodamientos y provocar el fin prematuro de su vida útil. Cuando un rodamiento no llega al final de su vida útil, suele ser por una o varias de estas causas.

Las cuatro causas más comunes son:

- Lubricación inadecuada.
- Contaminación.
- Sobrecarga.
- Manipulación e instalación inadecuadas.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas.
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo de SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición DIRECTA, selector de contactor KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
9. Tomar una imagen termográfica al área de los rodamientos con el sistema apagado y llenar la tabla 6.11.
10. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor y esperar 25 minutos para realizar el siguiente paso.
11. Con el motor en marcha tomar una captura de los rodamientos y llenar la tabla 6.12.
12. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.
13. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
14. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
15. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Tabla 6.11. Datos con el motor apagado.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Rodillo	24.6 °C	
T. Rodamiento 1	24.6 °C	
T. Rodamiento 2	24.7 °C	

Tabla 6. 11– Datos con el motor apagado

Tabla 6.12. Datos transcurridos 15 minutos después del arranque.

Tomar la captura desde el mismo punto que el ejercicio de la Tabla 6.12.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Rodillo	44.3 °C	
T. Rodamiento 1	50.3 °C	
T. Rodamiento 2	44.3 °C	

Tabla 6. 12– Datos transcurridos 25 minutos después del arranque.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Mencione las causas que pueden ocasionar la temperatura excesiva en uno de los rodamientos.
2. Con los resultados obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.5.1 Informe FLIR Tools – Práctica 5

Datos obtenidos con el sistema en reposo, con temperatura ambiente de 24°C.

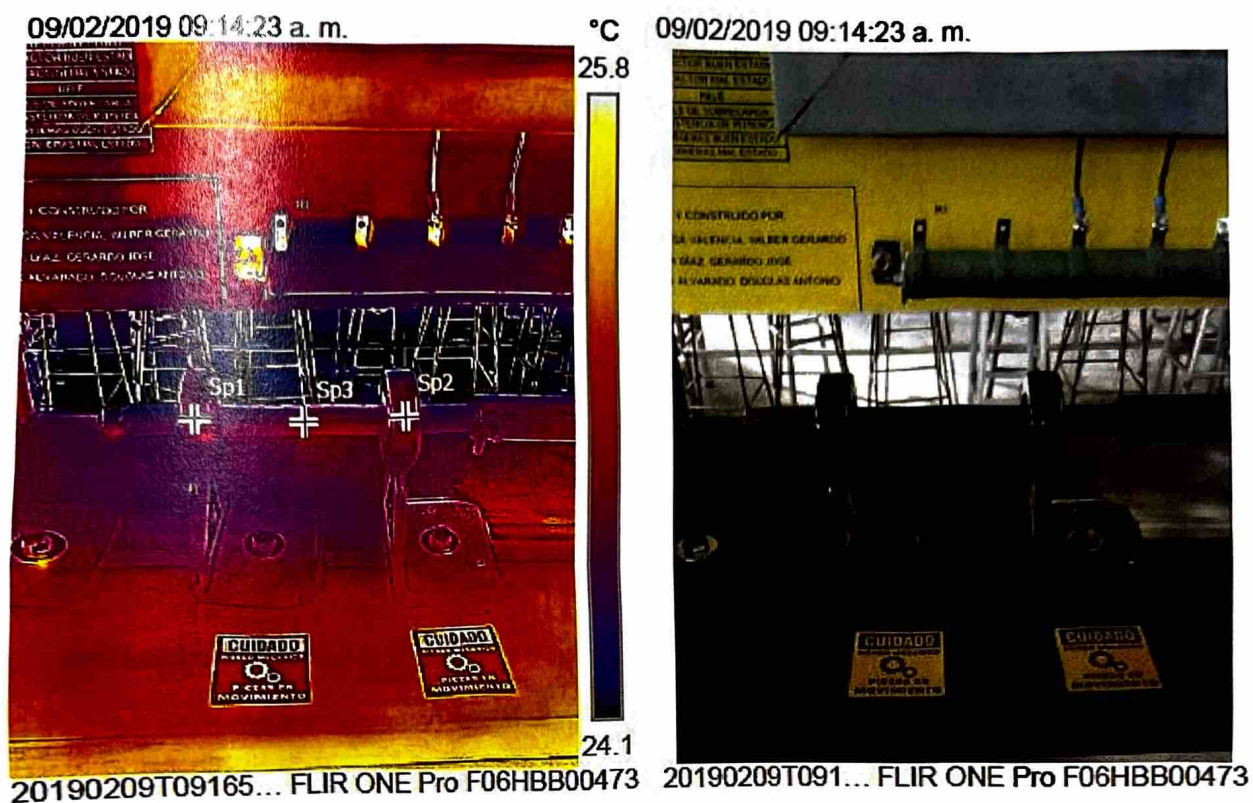


Imagen 6. 44– Temperatura del sistema en reposo. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	24.6 °C
Sp2	24.6 °C
Sp3	24.7 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 13– Datos con el sistema en reposo.

Transcurridos 15 minutos con el sistema en marcha, es notable que uno de los rodamientos se encuentra con una temperatura más elevada, las causas pueden ser varias, desde mala la lubricación hasta exceso de vibración.

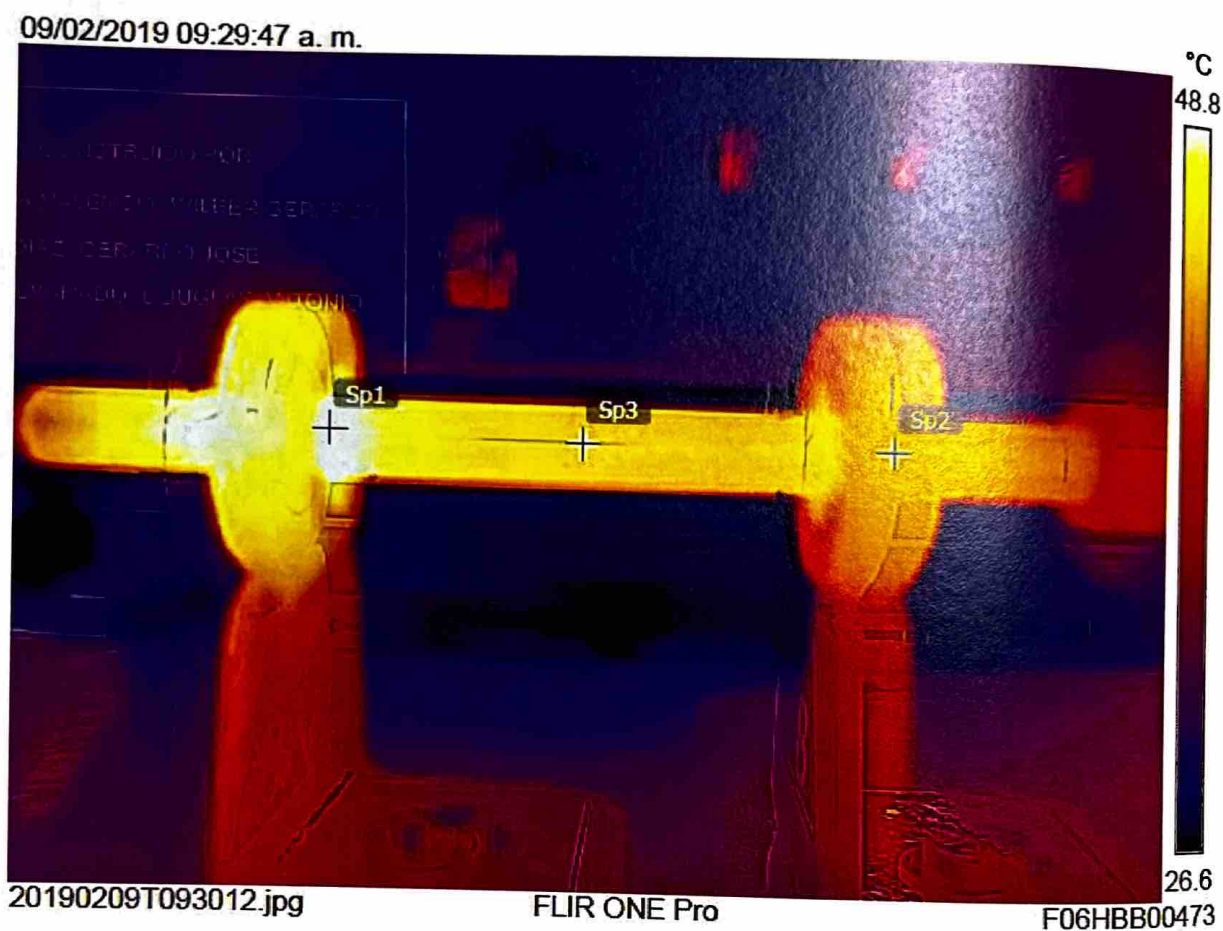


Imagen 6. 45- Temperatura del sistema transcurridos 15 minutos. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	50.3 °C
Sp2	42.1 °C
Sp3	44.3 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 14- Datos transcurridos 15 minutos con el sistema en marcha.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	RODAMIENTOS
INSPECCIONADO POR:	Douglas Alvarado	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	09:29 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-2
DETALLE DEL COMPONENTE:		La temperatura nominal registrada para los rodamientos es de 43.0°C a plena carga, se logra identificar uno de los rodamientos con sobrecalentamiento.	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		Según los historiales de estos rodamientos, la temperatura ha aumentado a 50.3°C, un incremento de 8°C. Se recomienda programar revisión del rodamiento que está presentando temperatura fuera de rango. Se puede deber a falta de lubricación, vibraciones en el eje o daño interno en el rodamiento.	



**6.3.6 PRÁCTICA 6 – CONEXIÓN MAL ASEGURADA O MALA CONEXIÓN.
MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.**

TEMA: CONEXIÓN MAL ASEGURADA O MALA CONEXIÓN.

**LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA
L-1**

OBJETIVO

- Ver el efecto térmico que existe entre una conexión bien asegurada y una conexión mal asegurada.

INTRODUCCIÓN

Una conexión mal asegurada es una unión eléctrica pobre o sin firmeza, eso quiere decir que hay milésimas de segundo en que no pasa la electricidad correctamente. Si hablamos en términos técnicos, una conexión mal asegurada representa una resistencia u oposición al paso de la corriente eléctrica.

Existen varias causas por las que se produce esta falla, las principales son dos:

- Envejecimiento de la instalación: Las instalaciones antiguas son proclives a este tipo de fallas; el desgaste de sus componentes y la falta de mantenimiento son los principales factores que desencadenan este problema.
- Errores de instalación: Esta es una de las causas más comunes, en instalaciones nuevas inclusive; empalmes mal hechos, bornes mal ajustados y conexiones improvisadas, están entre los principales motivos.

Otra de las causas más comunes y más aplicadas en la industria son las uniones de cable, las uniones de cable son puntos de falso contacto y por efecto puntos calientes.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas.
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición DIRECTA, selector de contactor KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor y esperar 25 minutos con el sistema en esa condición para realizar el siguiente paso.
9. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
10. Con el motor en marcha tomar una captura del sistema, específicamente en el área de las borneras B1 y B2, y llenar la Tabla 6.15.
11. Presionar el pulsador PARO para apagar el sistema y proceder a desajustar las bornera B1 (alimentación principal).
12. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha nuevamente el motor y esperar 1 minuto para realizar el siguiente paso.
13. Transcurrido el minuto, tomar nuevamente una captura termográfica en el área de B1 y B2, y anotar los datos en la Tabla 6.16.
14. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.
15. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
16. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
17. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Tabla 6.15. Datos de temperaturas de borneras.

	B1 (°C)			B2 (°C)		
Datos recolectados	35.8	35.8	36.1	34.5	35.9	34.8
Datos de práctica						

Tabla 6. 15– Datos de temperaturas de borneras.

Tabla 6.16. Datos transcurrido 1 minuto con las borneras B1 mal ajustadas.

	B1 (°C)			B2 (°C)		
Datos recolectados	36.5	36.6	35.5	35.0	33.3	33.3
Datos de práctica						

Tabla 6. 16– Datos de temperaturas de borneras mal ajustadas.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Además de una conexión mal asegurada, que otros factores pueden generar calentamiento en una bornera de conexión.
2. Con los datos obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.6.1 Informe FLIR Tools – Práctica 6

Datos obtenidos con todas borneras correctamente ajustadas.



Imagen 6. 46– Temperatura de las borneras ajustadas correctamente. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	35.8 °C
Sp2	35.8 °C
Sp3	36.1 °C
Sp4	34.5 °C
Sp5	35.9 °C
Sp6	34.8 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 17– Datos de temperaturas de borneras ajustadas correctamente.

Datos obtenidos con las borneras Sp1, Sp2 y Sp3 mal aseguradas.

Se puede apreciar un leve cambio de temperatura en las borneras mal ajustadas, el cambio es casi de inmediato.

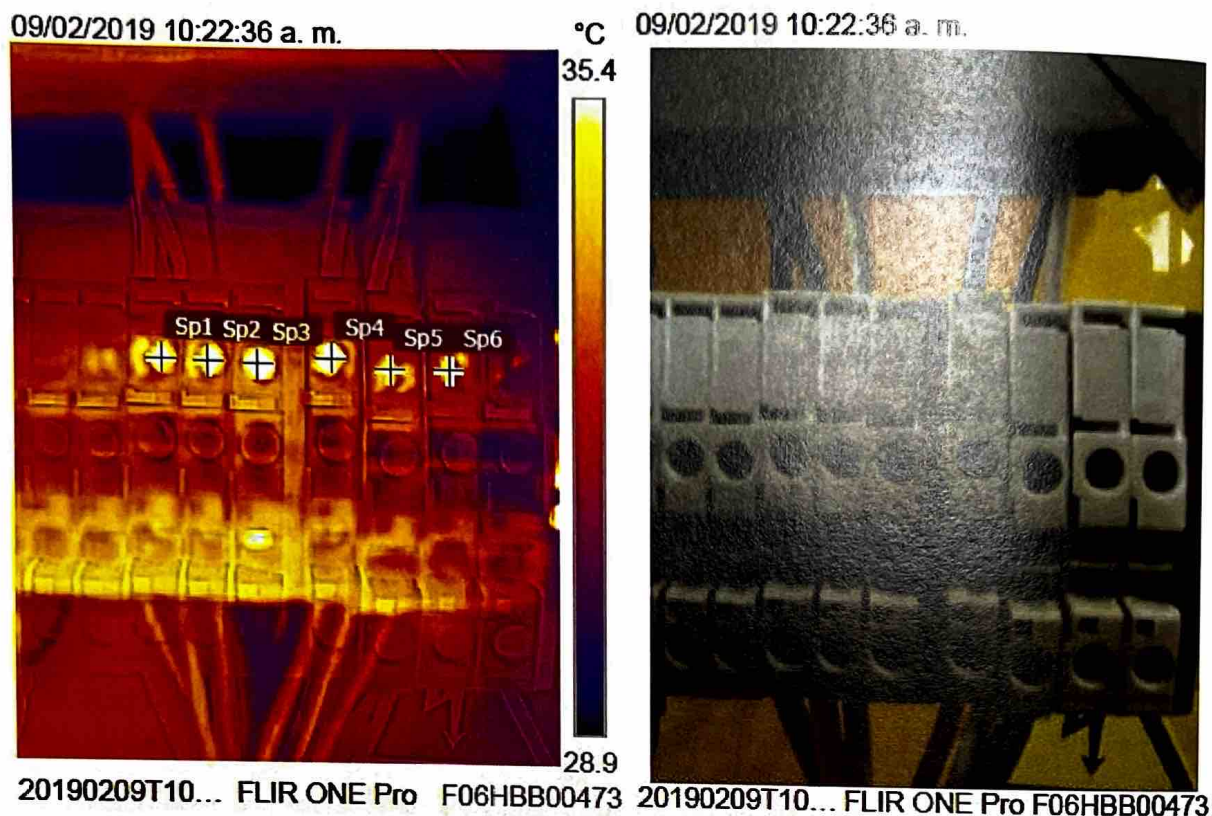


Imagen 6. 47– Temperatura de las borneras mal ajustadas. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	36.5 °C
Sp2	36.6 °C
Sp3	35.5 °C
Sp4	35.0 °C
Sp5	33.3 °C
Sp6	33.3 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 18– Datos de temperaturas de borneras mal ajustadas.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	BORNERAS DE ALIMENTACION ELECTRICA.
INSPECCIONADO POR:	Gerardo Escobar	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	10:22 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-3
DETALLE DEL COMPONENTE:		El historial de temperaturas de las borneras B1 y B2 es la siguiente: 35.8°C, 35.8°C, 36.1°C, 34.5°C, 35.9°C y 34.8°C. Se logra identificar un leve aumento de temperatura, las mediciones actuales son las siguientes: 36.5°C, 36.6°C, 35.5°C, 35.5°C, 33.3°C y 33.33°C.	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		Según los historiales la temperatura ha aumentado en 1.5°C, puede que sean las condiciones ambientales, pero se recomienda la revisión de la bornera B1. Un calentamiento en las borneras se puede deber a deterioro en los elementos, a mal contacto eléctrico, conexión floja, contactos carbonizados, etc.	



**UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA**

6.3.7 PRÁCTICA 7 – AUSENCIA DE FASE.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: AUSENCIA DE FASE.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Ver el efecto térmico que genera la ausencia de una fase en un sistema trifásico que está alimentando a un motor eléctrico trifásico.
- Interpretar los diferentes valores de corriente eléctrica que se generan en este tipo de fallos.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de una fase es una de las causas principales de falla en los motores eléctricos trifásicos, puede ser ocasionado por un fusible quemado o por circuito abierto. Una de las consecuencias de pérdida de una fase es incremento de corriente en las fases restantes.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.ª generación).
- Modulo simulador de fallas.
- Tenaza amperimétrica.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas.
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.

6. Selector de fase en posición DIRECTA y selector de contactor en posición KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor.
9. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
10. Tomar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y a la alimentación general, a la entrada de F1 y llenar la tabla 6.19.
11. Tomar lecturas de corriente en las tres fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y anotar los valores en la tabla 6.19.
12. Dejar transcurrir 10 minutos con el sistema en marcha y proceder a bajar el autómata F3 durante 30 segundos y en ese estado tomar lecturas de corriente en las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1, y llenar la tabla 6.20.

Nota. Durante la simulación de la ausencia de una fase en el sistema trifásico, existe la posibilidad de que las protecciones se disparen automáticamente. Esto se debe a un desequilibrio en las corrientes de línea, lo cual puede generar sobrecarga en las fases restantes y elevación anormal de temperatura en los equipos conectados.

13. Transcurridos los 30 segundos subir el autómata F3 y tomar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y las fases L1, L2 y L3 a la entrada de F1, llenar la tabla 6.21.
14. Tomar lecturas de corriente a las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y anotarlos en la tabla 6.21.
15. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.
16. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
17. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
18. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Nota: La temperatura de los bobinados tomarla entre las aberturas de ventilación del motor.

Tabla 6.19. Datos con el motor en marcha.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	47.2 °C	
T. Motor (Carcasa)	44.9 °C	
T. Fase A	29.0 °C	
T. Fase B	29.1 °C	
T. Fase C	29.0 °C	
Corriente A	2.94 A	
Corriente B	3.90 A	
Corriente C	3.86 A	

Tabla 6. 19– Datos con el motor en marcha.

Tabla 6.20. Datos con automático F3 desactivado.

Con el motor en marcha, proceder a bajar el automático F3 durante 30 segundos. Con el automático abajo, tomar las siguientes lecturas.

	Datos recolectados	Datos de práctica
Corriente A	5.02 A	
Corriente B	4.98 A	
Corriente C	0.00 A	

Tabla 6. 20– Datos con automático F3 desactivado.

Tabla 6.21. Datos transcurridos los 30 segundos de simulación de fase perdida.

Transcurridos los 30 segundos, subir el automático F3 y tomar las siguientes lecturas. Tomar la captura en el mismo punto que el ejercicio de la Tabla 6.18.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	52.8 °C	
T. Motor (Carcasa)	49.9 °C	
T. Fase A	28.2 °C	
T. Fase B	29.0 °C	
T. Fase C	27.8 °C	
Corriente A	2.99 A	
Corriente B	3.86 A	
Corriente C	3.82 A	

Tabla 6. 21– Datos transcurridos los 30 segundos de simulación de fase perdida.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Explique porque la corriente de las fases en servicio es más alta cuando una fase del sistema se encuentra ausente.
2. Mencione algunas causas que pueden generar ausencia de fase en un motor eléctrico.
3. Diga al menos una alternativa para prevenir o evitar la ausencia de fase en un motor eléctrico.

6.3.7.1 Informe FLIR Tools – Práctica 7

Datos obtenidos con el motor en plena marcha, transcurridos 10 minutos desde el arranque.

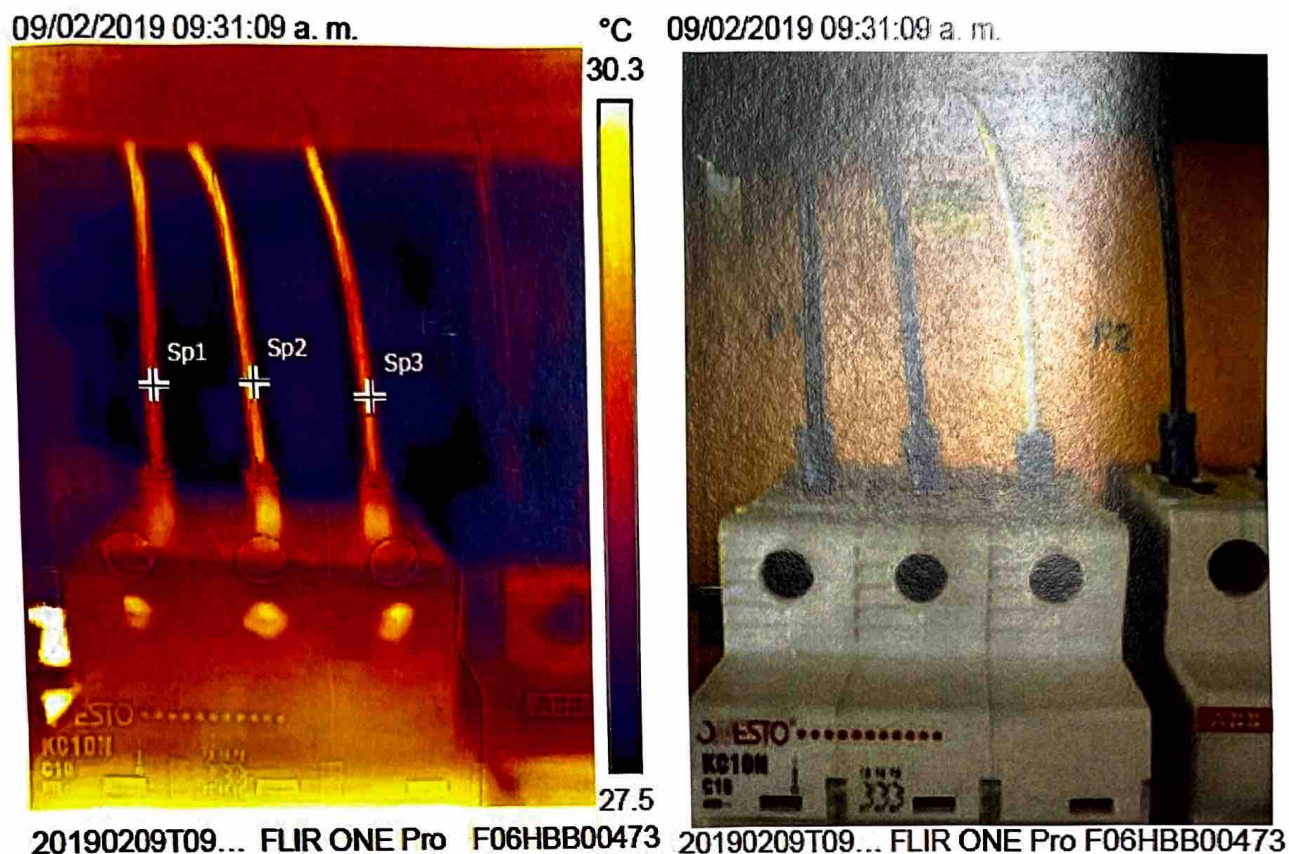


Imagen 6. 48– Temperatura de conductores con motor a plena marcha. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	29.0 °C
Sp2	29.1 °C
Sp3	29.0 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 22 – Datos de conductores con motor a plena marcha.

Luego de generar la ausencia de fase en el sistema, se puede observar que la corriente en una de las fases es cero, el motor compensa esa caída de voltaje aumentando el consumo de corriente en las dos fases restantes. Es notable la diferencia de temperatura entre las líneas que están consumiendo más corriente y la que no está consumiendo corriente.

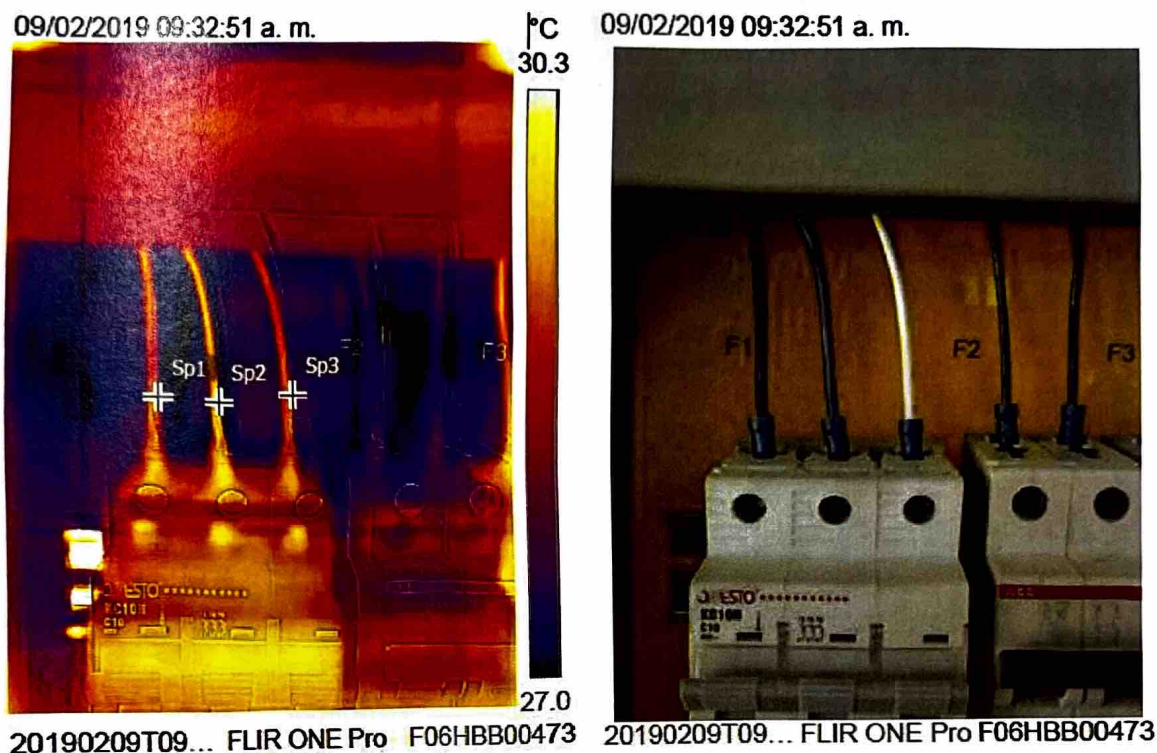


Imagen 6. 49- Temperatura de conductores simulando ausencia de fase. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	28.2 °C
Sp2	29.0 °C
Sp3	27.8 °C

Anotaciones de texto

Corriente Sp1	5.02 A
Corriente Sp2	4.98 A
Corriente Sp3	0.0 A

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 23- Datos de conductores simulando ausencia de fase.

os obtenidos con el motor en plena marcha, transcurridos 10 minutos desde el arranque.

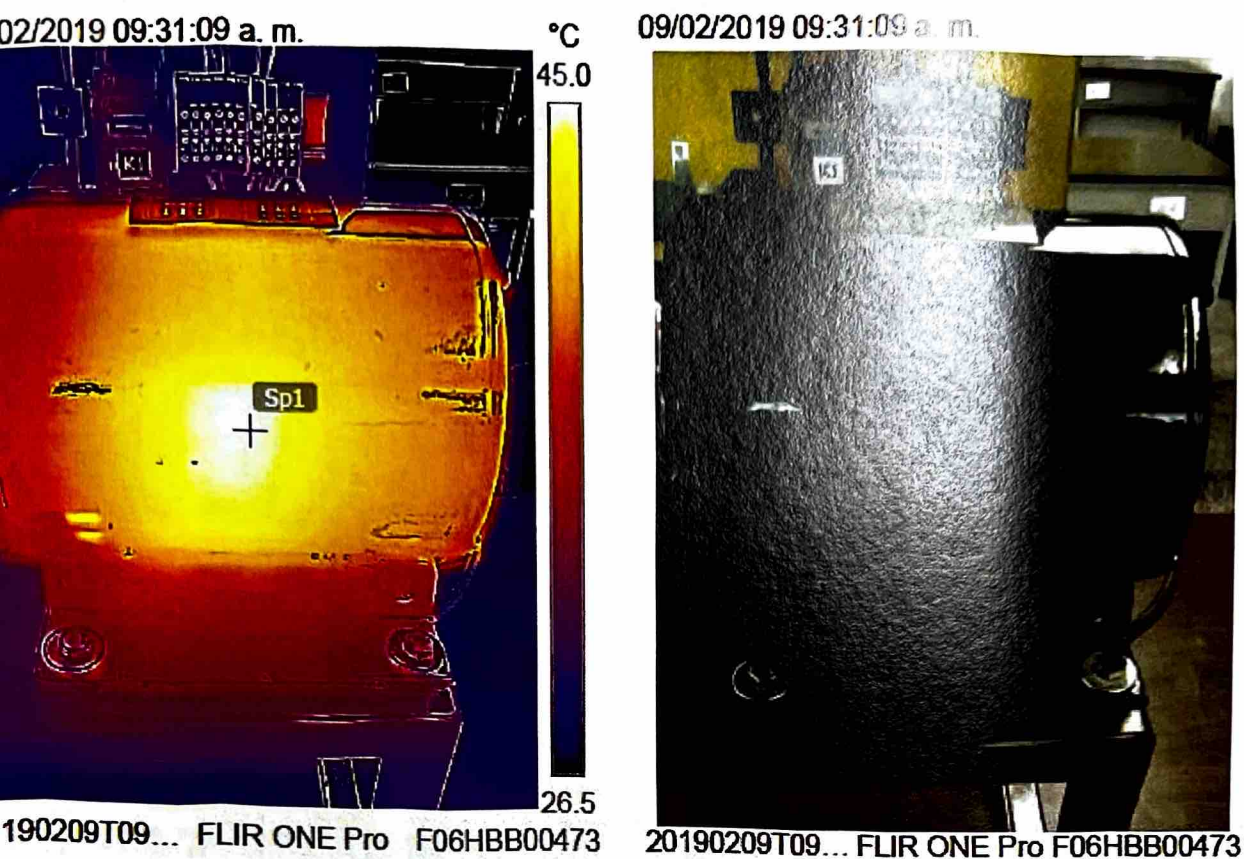


Imagen 6. 50– Temperatura del motor a plena marcha transcurridos 10 minutos. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	44.9 °C
-----	---------

Parámetros

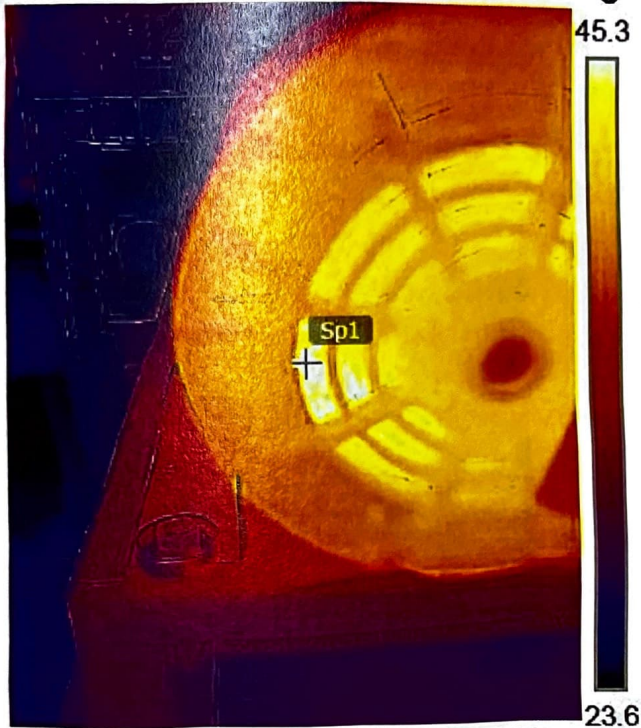
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 24– Datos del motor a plena marcha.

09/02/2019 09:31:09 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

09/02/2019 09:31:09 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

Imagen 6. 51– Temperatura de bobinados del motor a plena marcha transcurridos 10 minutos. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	47.2 °C
-----	---------

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 25– Datos de los bobinados del motor a plena marcha.

Luego de tener el sistema durante 30 segundos con la ausencia de una de las fases, se nota un aumento de temperatura tanto en la carcasa del motor como en las bobinas.

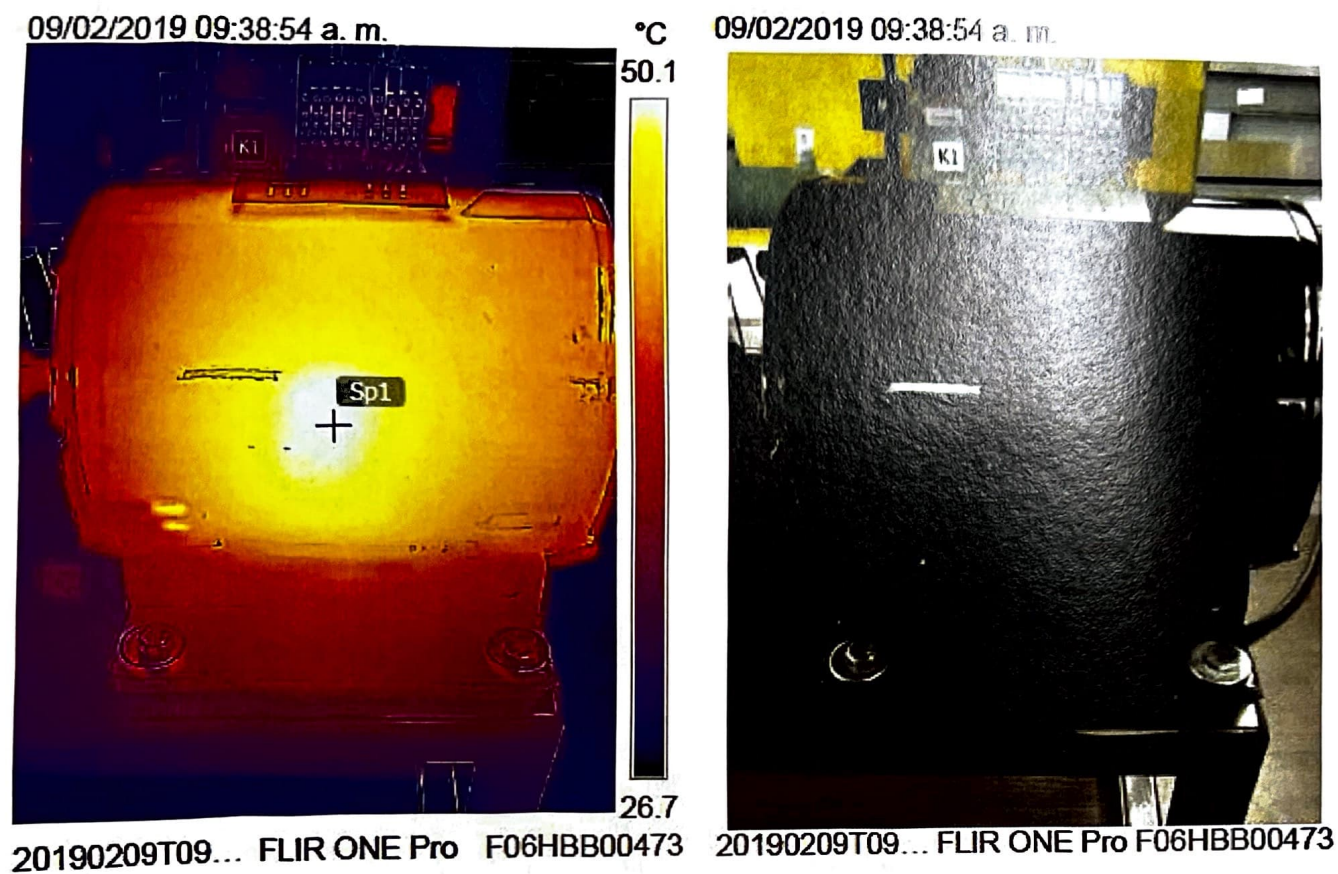
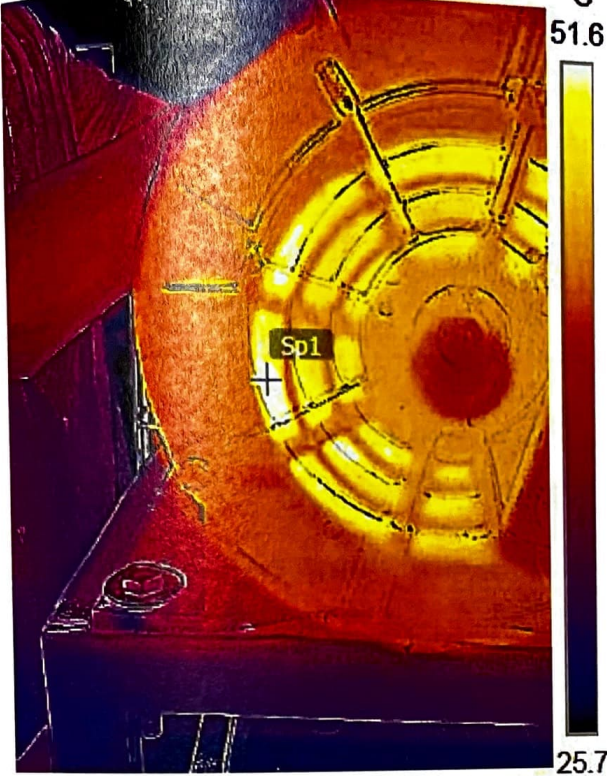


Imagen 6. 52– Temperatura del motor simulando falla de ausencia de fase. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas	
Sp1	49.9 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 26– Datos del motor simulando falla de ausencia de fase.

09/02/2019 09:38:54 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

09/02/2019 09:38:54 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

Imagen 6. 53– Temperatura del bobinado del motor simulando falla de ausencia de fase. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas	
Sp1	52.8 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 27– Datos del bobinado del motor simulando falla de ausencia de fase.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	MOTOR ELECTRICO Y PANEL DE CONTROL
INSPECCIONADO POR:	Gerardo Escobar	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	09:38 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473- 4
DETALLE DEL COMPONENTE:		El historial de temperaturas registrado para estos puntos es de 29.0°C, 29.1°C y 29.0°C para la alimentación eléctrica y para el motor eléctrico 44.9°C (carcasa) y 47.2°C (bobina). Se aprecia un incremento de 5°C en el motor, 49.9°C (carcasa) y 52.8°C (bobina), se toman lecturas de corriente y se detecta “cero” amperios en la fase C.	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		Intervenir inmediatamente el motor, revisar que puede estar ocasionando la ausencia de la fase, hay varios factores que lo pueden generar, una protección dañada, contactor dañado, mala conexión eléctrica y hasta el propio suministro eléctrico. El motor se mantiene trabajando, pero aumenta la corriente de las fases A y B, para mantener el ritmo de trabajo. El daño puede ser casi inmediato en el motor.	



6.3.8 PRÁCTICA 8 – DESBALANCE DE CORRIENTE.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: DESBALANCE DE CORRIENTE.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Observar los efectos térmicos que genera un desbalance de corriente en la alimentación trifásica de un motor eléctrico.
- Conocer los impactos de la corriente eléctrica cuando se genera este tipo de fallas.

INTRODUCCIÓN

Un desbalance de corriente se puede generar por cualquiera de los siguientes casos:

- Desbalance de voltaje en la línea.
- Impedancias desiguales en los devanados del motor.
- Desigual longitud en los conductores.

El desequilibrio de tensión es un problema de la calidad de la energía que afecta gravemente a los motores eléctricos. La ausencia de una fase o el desequilibrio en la tensión de alimentación afecta directamente al estátor y especialmente al rotor ocasionando una elevación de temperatura excesiva, lo que conducirá a un envejecimiento acelerado de las bobinas del motor. Para generar un desbalance de corriente en el motor usaremos una resistencia de potencia conectada en serie a una de las fases del motor, con eso se logra una caída de tensión en la fase y por defecto un desbalance de corriente en el motor.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.
- Tenaza amperimétrica.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas (F1, F2, F3 y G1).
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición RESISTENCIA y selector de contactor en KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor.
9. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
10. Tomar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y la alimentación eléctrica L1, L2 y L3 a la entrada de F1 y llenar la tabla 6.28.
11. Realizar mediciones de corriente y voltaje a la salida de G1 y llenar lo solicitado por la tabla 6.28. Esperar 5 MINUTOS para realizar el siguiente paso.
12. Transcurridos los 5 MINUTOS, realizar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y las fases L1, L2 y L3 a la entrada de F1 y llenar la tabla 6.29.
13. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.
14. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
15. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
16. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Tabla 6.28. Datos con el motor en marcha con resistencia de potencia.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	52.8 °C	
T. Motor (Carcasa)	50.0 °C	
T. Fase A	28.7 °C	
T. Fase B	28.0 °C	
T. Fase C	28.2 °C	
Corriente A	1.21 A	
Corriente B	4.25 A	
Corriente C	5.08 A	
Voltaje A – GND	84.6 V	
Voltaje B – GND	120.0 V	
Voltaje C – GND	203.0 V	
Voltaje A – B	204.7 V	
Voltaje B – C	239.2 V	
Voltaje A – C	229.0 V	

Tabla 6. 28– Datos con el motor en marcha con resistencia de potencia.

Tabla 6.29. Datos transcurridos 5 minutos con la caída de voltaje.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	50.5 °C	
T. Motor (Carcasa)	54.3 °C	
T. Fase A	28.3 °C	
T. Fase B	29.1 °C	
T. Fase C	29.2 °C	

Tabla 6. 29– Datos transcurrido 5 minuto con la caída de voltaje.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. ¿Qué factores pueden generar una caída de tensión o desbalance de corriente en un motor trifásico?
2. ¿Existen alternativas para contrarrestar o evitar la caída de tensión en un motor eléctrico? Mencione al menos una.
3. Con los datos obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.8.1 Informe FLIR Tools – Práctica 8

Datos obtenidos con el motor en plena marcha y generando una caída de tensión en una de las fases de alimentación.

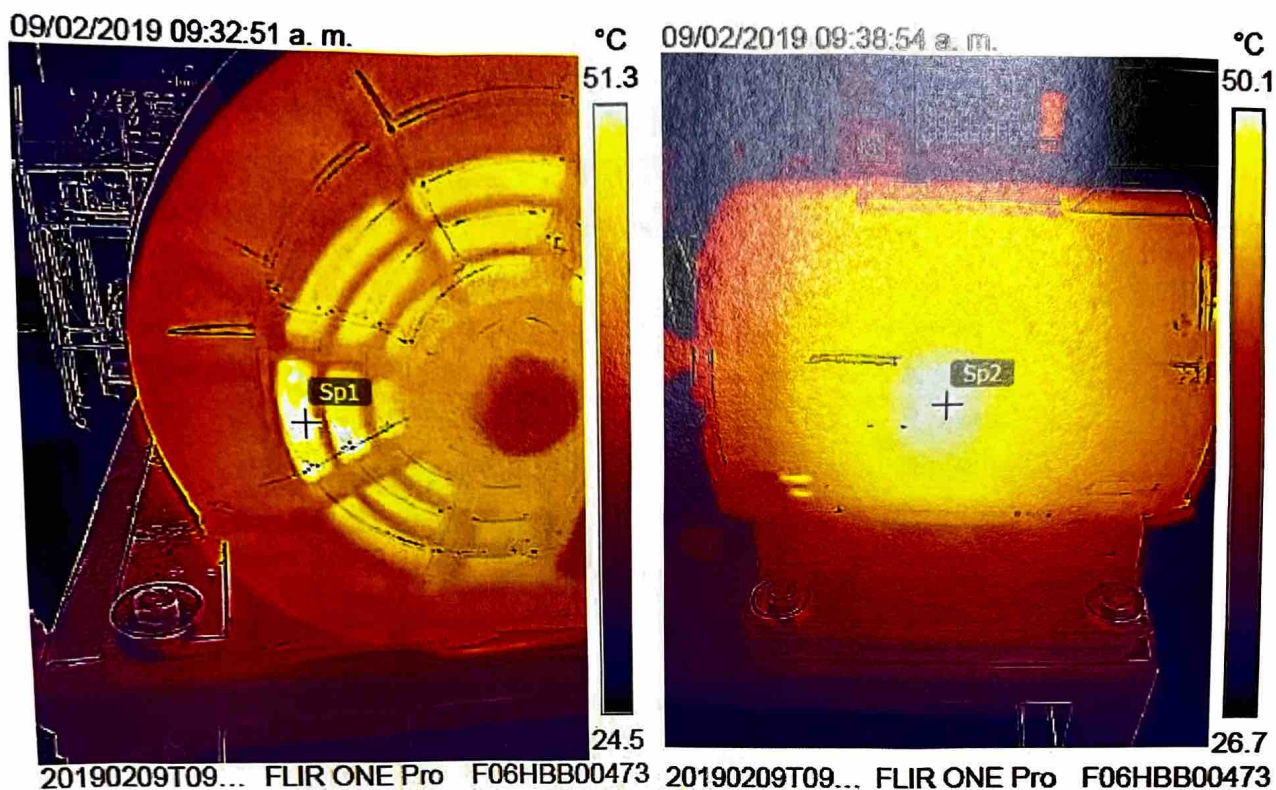


Imagen 6. 54– Temperatura del bobinado y del motor simulando falla de caída de tensión. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	52.8 °C
-----	---------

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Medidas

Sp2	50.0 °C
-----	---------

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 30– Datos del bobinado y del motor generando caída de tensión en una de las fases.

— — — — —

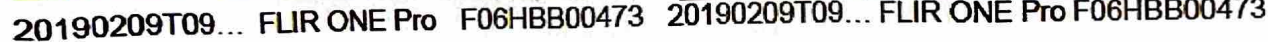


Imagen 6. 55– Temperatura de los conductores simulando falla de caída de tensión. Fuente: Informe FLIR Tools

Sp1	28.7 °C
Sp2	28.0 °C
Sp3	28.2 °C

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Brújula	0° N
---------	------

Corriente Sp1	1.21 A
Corriente Sp2	4.25 A
Corriente Sp3	5.08 A
Volt. Sp1-GND	84.6 V
Volt. Sp2-GND	120.0 V
Volt. Sp3-GND	203.0 V
Volt. Sp1-Sp2	204.7 V
Volt. Sp2-Sp3	239.2 V
Volt. Sp1-Sp3	229.0 V

Tabla 6. 31– Datos de los conductores generando caída de tensión en una de las fases.

Datos obtenidos con el motor en plena marcha y transcurridos 5 minutos generando una caída de tensión en una de las fases de alimentación.

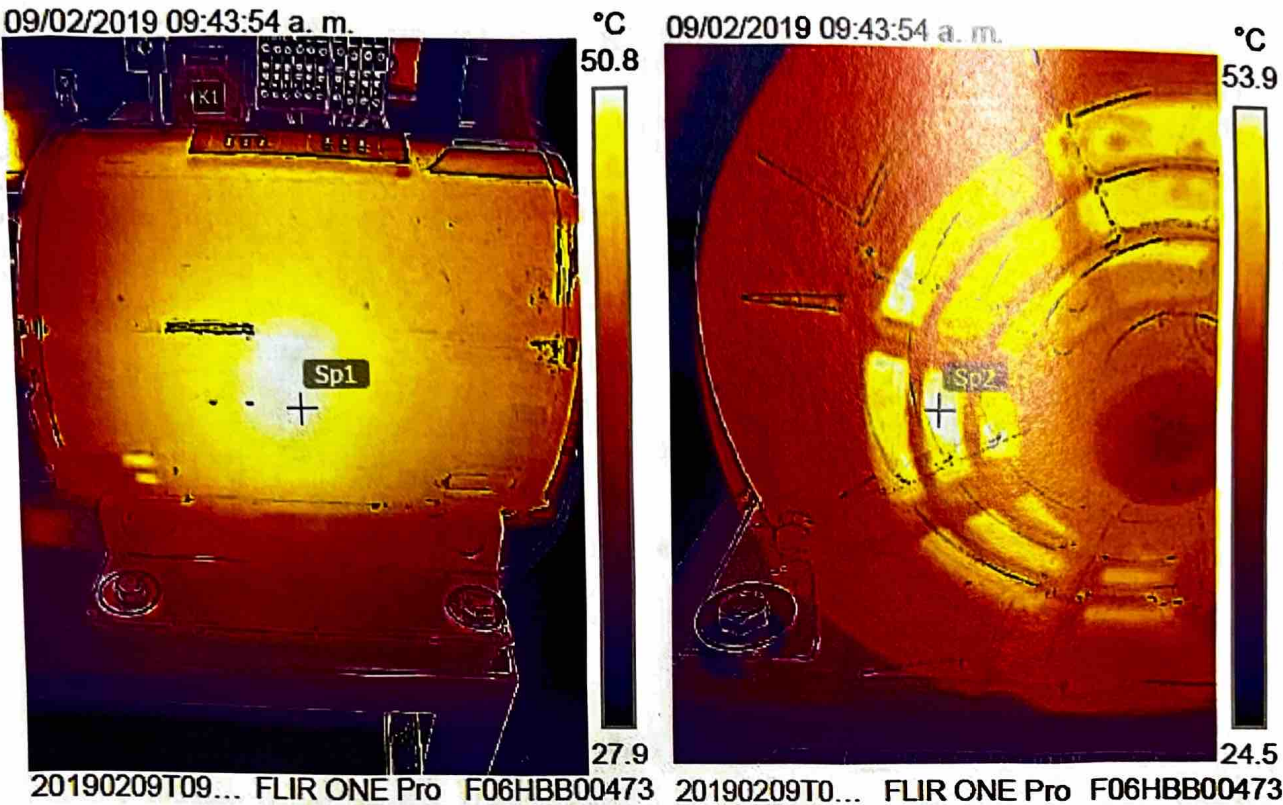


Imagen 6. 56– Temperatura del motor y bobinado simulando falla de caída de tensión durante un minuto. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas		Medidas	
Sp1	50.5 °C	Sp2	54.3 °C
Parámetros		Parámetros	
Emisividad	0.9	Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C	Temp. refl.	22 °C
Geolocalización		Geolocalización	
Brújula	0° N	Brújula	0° N

Tabla 6. 32– Datos del motor y bobinado generando caída de tensión durante un minuto.

Claramente, la fase en la que se realizó la caída de tensión la temperatura es menor que las dos fases restantes, esto debido a que la corriente en esta fase se reduce y se compensa en las otras. Además, se logra apreciar un leve cambio de temperatura en las bobinas del motor.

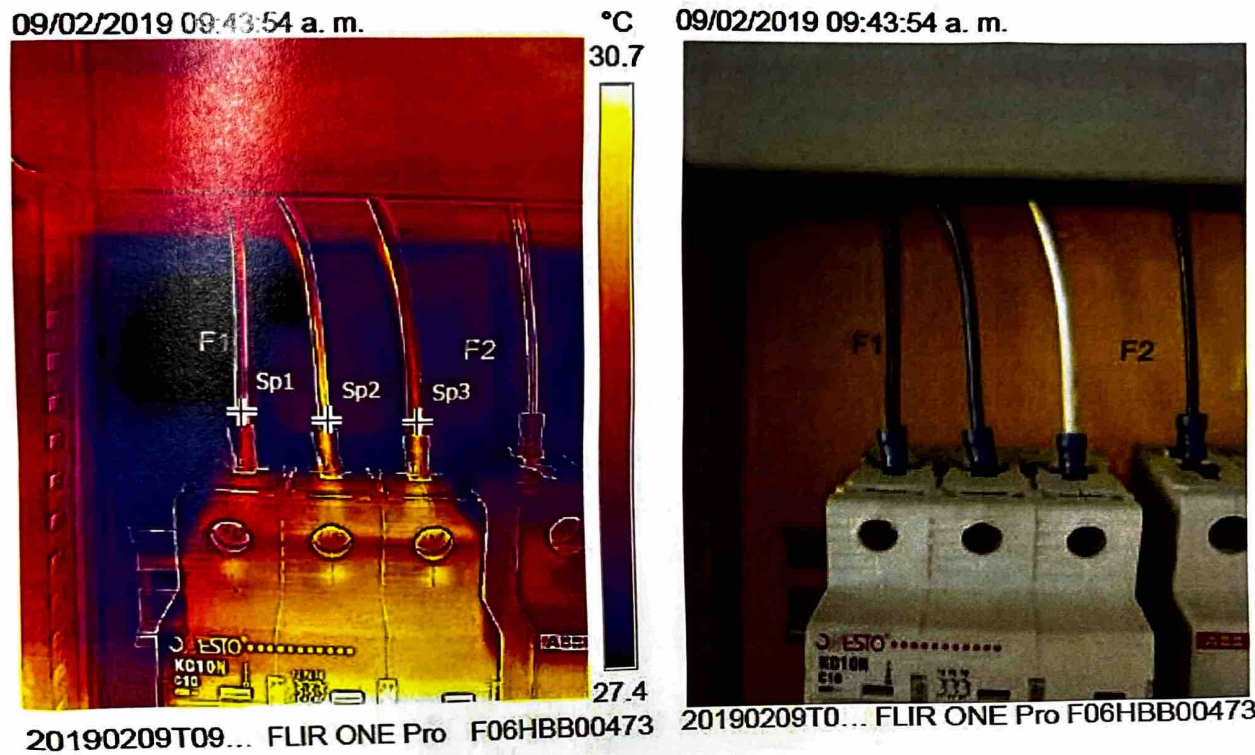


Imagen 6. 57-Temperatura de los conductores simulando falla de caída de tensión durante un minuto. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas	
Sp1	28.3 °C
Sp2	29.1 °C
Sp3	29.2 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 33– Datos de los conductores generando caída de tensión durante un minuto.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	MOTOR ELECTRICO Y PANEL DE CONTROL
INSPECCIONADO POR:	Gerardo Escobar	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	09:43 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-5
DETALLE DEL COMPONENTE:		El historial de temperaturas registrado para estos puntos es de 29.0°C, 29.1°C y 29.0°C para la alimentación eléctrica y para el motor eléctrico 44.9°C (carcasa) y 47.2°C (bobina). Se aprecia un incremento de 5°C en el motor, 50.5°C (carcasa) y 54.3°C (bobina), además; un leve desbalance de temperatura en los alimentadores del motor 28.3°C (A), 29.1°C (B) y 29.2°C (C). se toman lecturas de corriente y se detecta fase A con menor consumo de corriente.	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		Se revisa el sistema eléctrico y se encuentra un desbalance de voltaje en las mediciones tomadas. Es necesario corregir la condición antes que el motor se dañe.	



6.3.9 PRÁCTICA 9 – MAL DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: MAL DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA

L-1

OBJETIVO

- Conocer el efecto térmico que ocasiona un mal dimensionamiento de conductores eléctricos.

INTRODUCCIÓN:

Una mala selección en el calibre del conductor produce efectos dañinos y funcionamiento irregular en los equipos eléctricos, genera pérdida de energía por calor en el conductor y disminuye su vida esperada. Detectar un conductor mediante la termografía se vuelve una tarea fácil.

Un mal dimensionamiento de conductores eléctricos puede ocasionar los siguientes problemas:

- Variaciones de voltaje.
- Cortes de suministro.
- Pérdida de energía.
- Corto circuito.
- Sobrecalentamiento de líneas y riesgo de incendio.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.
- Tenaza amperimétrica.
- Desatornillador Philips.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas (F1, F2, F3 y G1).
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición DIRECTA, selector de contactor KM1.
7. El cableado de fuerza está hecho con conductor calibre 12, proceder a cambiar el conductor de L1 que va de la salida de G1 a la entrada de KM1 por uno o dos calibres inferiores (18 o 20).
 - Ampacidad de conductor 18 = 7 A
 - Ampacidad de conductor 20 = 4 A
8. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
9. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor.
10. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
11. Tomar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y a las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y llenar la tabla 6.34.
12. Tomar lecturas de corriente a las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y anotarlas en la tabla 6.34. Esperar diez minutos para realizar el siguiente paso.
13. Transcurridos los 10 minutos, tomar nuevamente tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y llenar la tabla 6.35.
14. Tomar lecturas de corriente a las fases L1, L2 y L3 a la salida de G1 y anotarlas en la tabla 6.35.
15. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.

16. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
17. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.
18. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Tabla 6.34. Datos con el motor en marcha.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	55.2 °C	
T. Motor (Carcasa)	50.4 °C	
T. Fase A	32.2 °C	
T. Fase B	32.6 °C	
T. Fase C	33.0 °C	
Corriente A	2.99 A	
Corriente B	4.09 A	
Corriente C	3.95 A	

Tabla 6. 34– Datos con el motor en marcha.

Tabla 35. Datos del sistema transcurridos 10 minutos con el motor en marcha.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Bobina)	57.5 °C	
T. Motor (Carcasa)	53.8 °C	
T. Fase A	32.6 A	
T. Fase B	33.5 A	
T. Fase C	33.9 A	
Corriente A	3.09 A	
Corriente B	4.08 A	
Corriente C	3.86 A	

Tabla 6. 35– Datos del sistema transcurridos 10 minutos con el motor en marcha.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Mencione algunos efectos que puede ocasionar un mal dimensionamiento de la alimentación eléctrica de un motor trifásico.
2. Con los datos obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.9.1 Informe FLIR Tools – Práctica 9

Datos obtenidos con el motor a plena marcha, con la fase Sp1 con un calibre de conductor diferente.

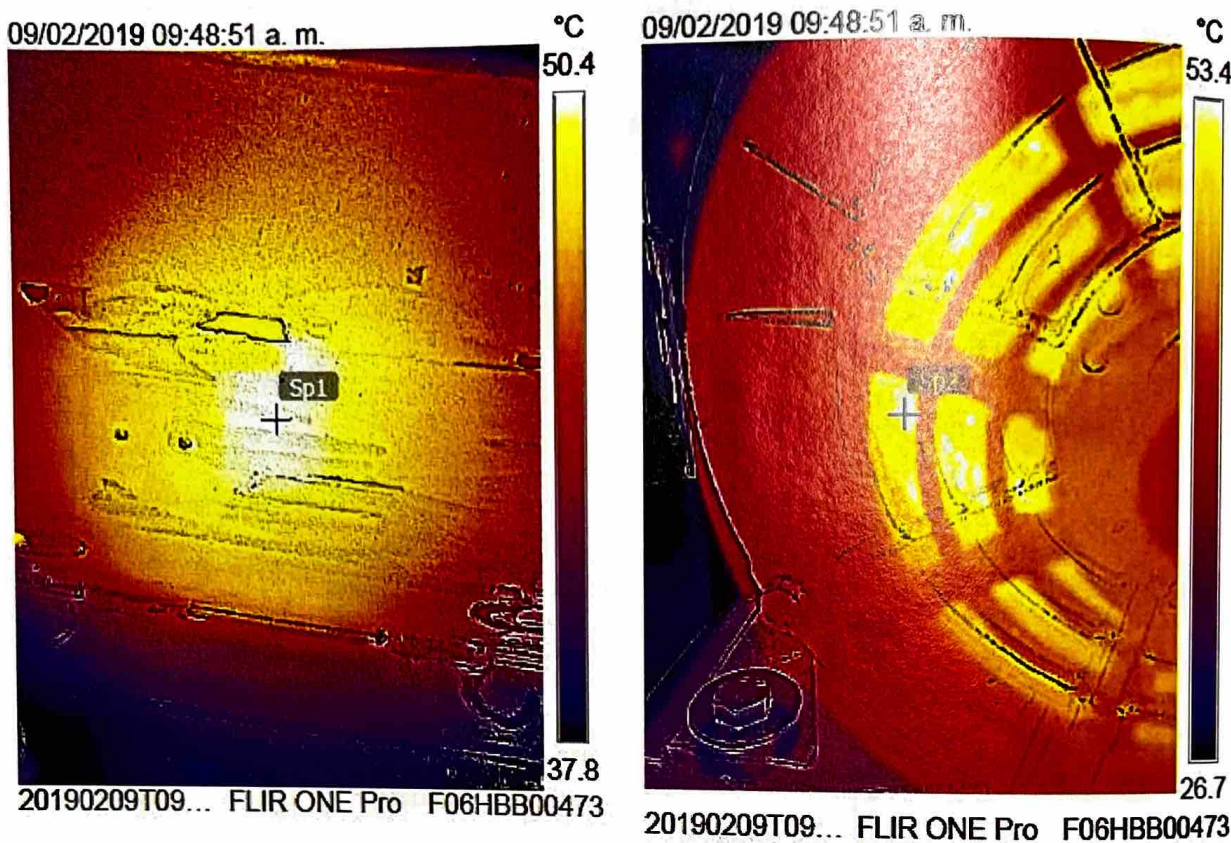


Imagen 6. 58– Temperatura de las bobinas y motor con un calibre de conductor diferente. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas	
Sp1	50.4 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Medidas	
Sp2	55.2 °C
Parámetros	
Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C
Geolocalización	
Brújula	0° N

Tabla 6. 36- Datos del motor con un calibre de conductor diferente

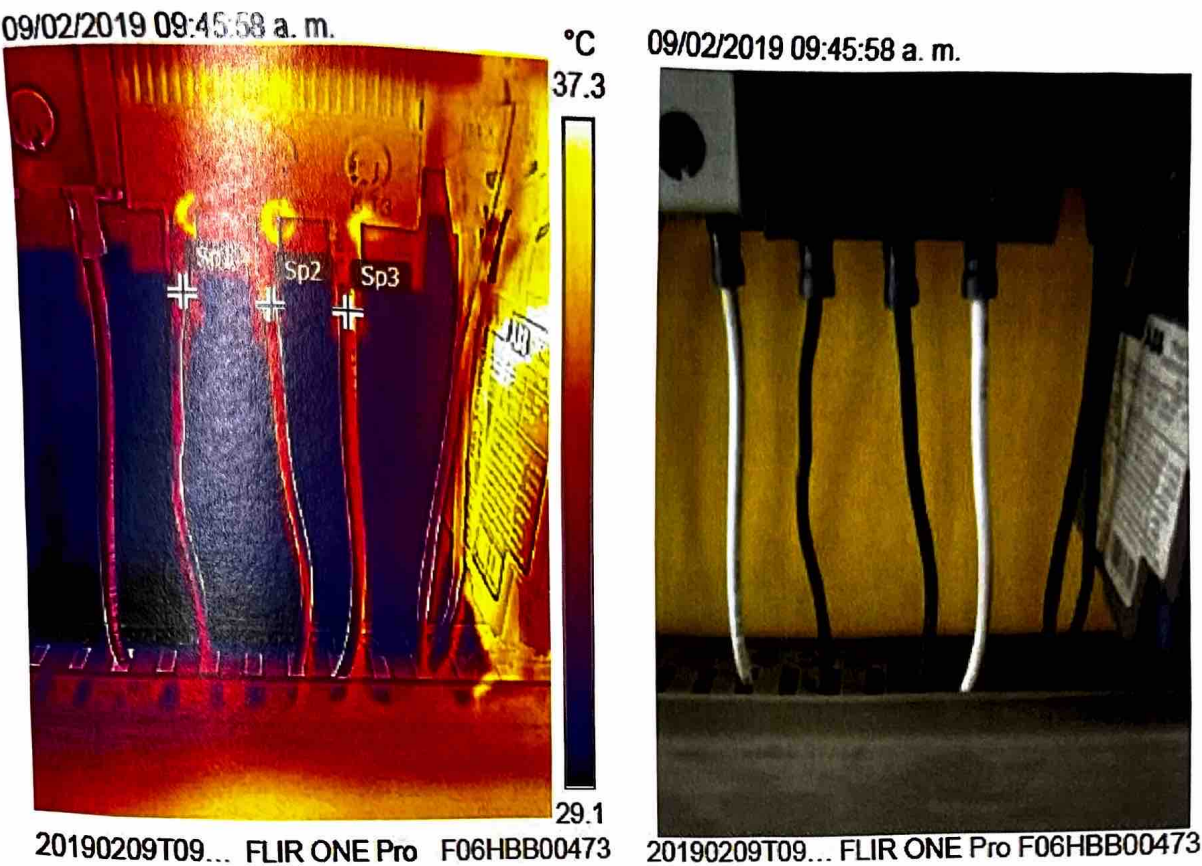


Imagen 6. 59– Temperatura de los conductores con calibre de alimentación diferente. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	32.2 °C
Sp2	32.6 °C
Sp3	33.0 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Anotaciones de texto

Corriente Sp1	2.99 A
Corriente Sp2	4.09 A
Corriente Sp3	3.95 A

Tabla 6. 37– Datos de los conductores con calibre de alimentación diferente.

Datos obtenidos transcurridos 10 minutos con el motor a plena marcha.

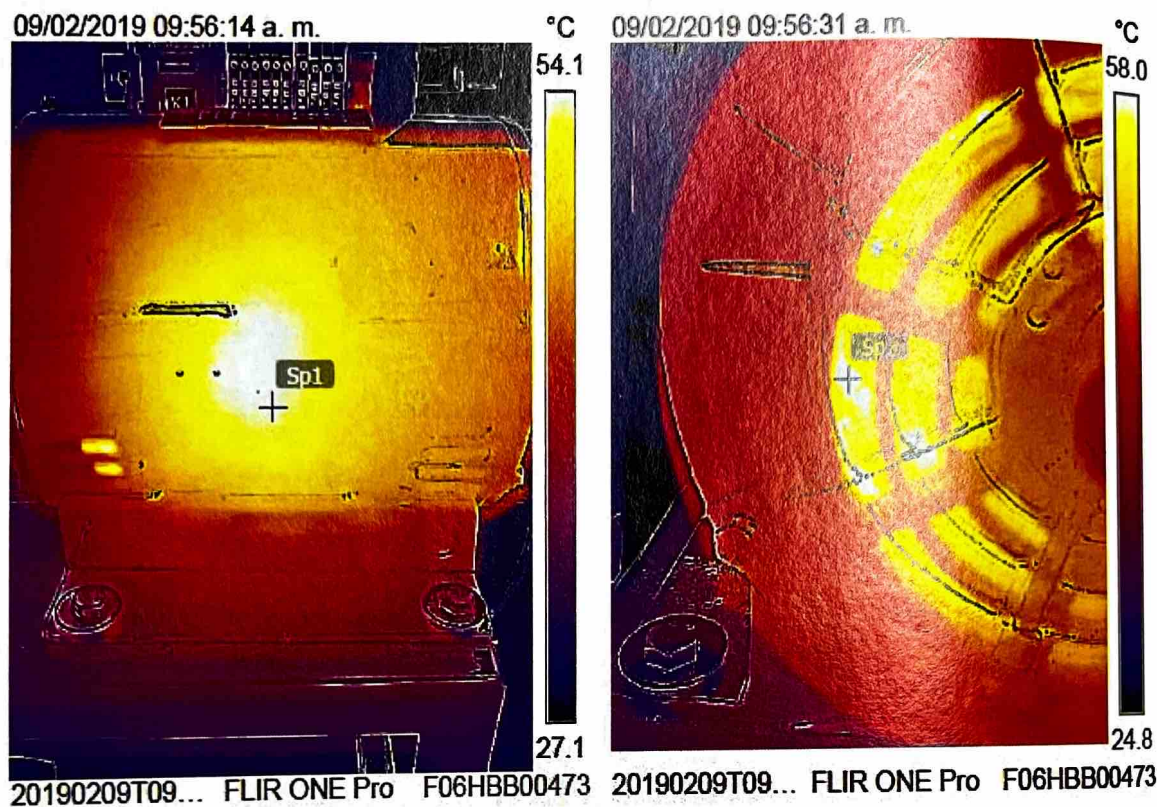
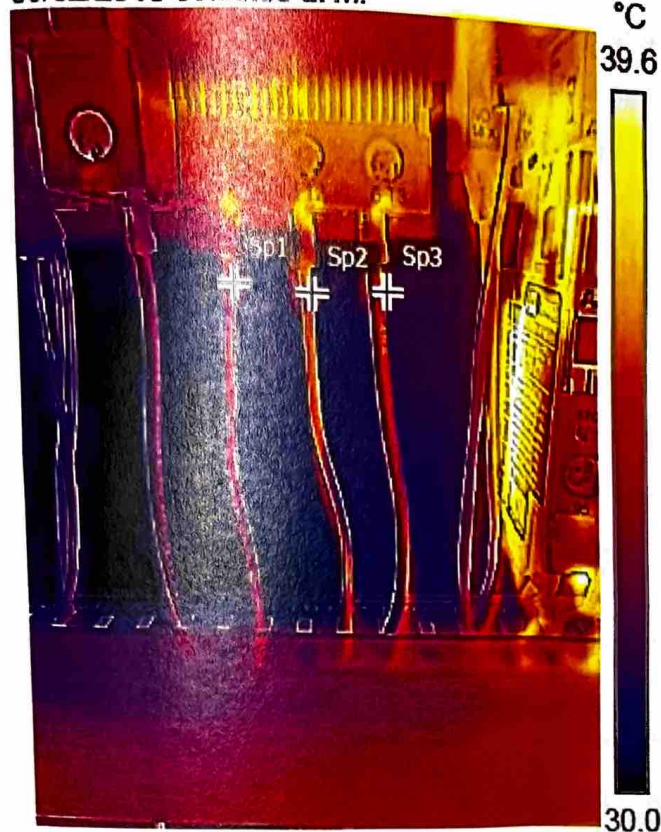


Imagen 6. 60– Temperatura del motor y bobinados con calibre de conductor diferente. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas		Medidas	
Sp1	53.8 °C	Sp2	57.5 °C
Parámetros		Parámetros	
Emisividad	0.9	Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C	Temp. refl.	22 °C
Geolocalización		Geolocalización	
Brújula	0° N	Brújula	0° N

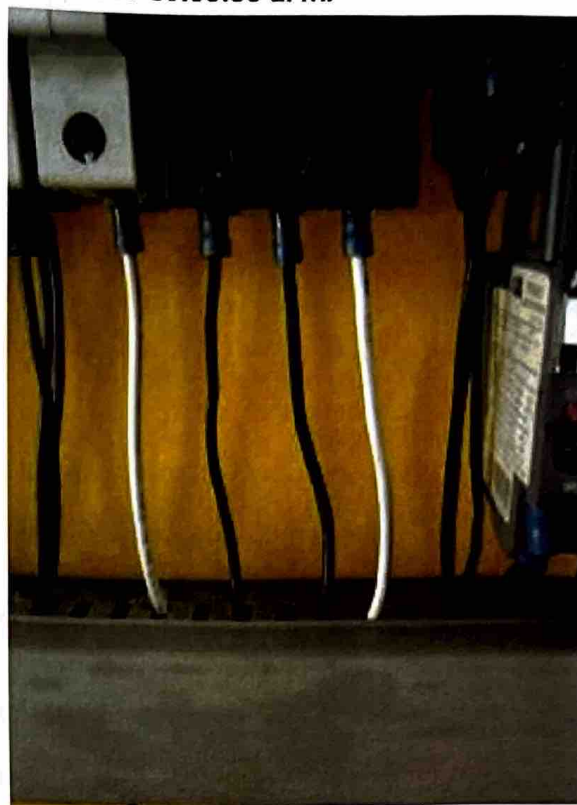
Tabla 6. 38– Datos de motor y bobinado con calibre de conductor diferente.

09/02/2019 09:55:05 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

09/02/2019 09:55:05 a. m.



20190209T09... FLIR ONE Pro F06HBB00473

Imagen 6. 61– Temperatura de conductores con calibre de conductor diferente. Fuente: Informe FLIR Tools

Medidas

Sp1	32.6 °C
Sp2	33.5 °C
Sp3	33.9 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Anotaciones de texto

Corriente Sp1	3.09 A
Corriente Sp2	4.08 A
Corriente Sp3	3.86 A

Tabla 6. 39– Datos de conductores con calibre de alimentación diferente.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	MOTOR ELECTRICO Y PANEL DE CONTROL
INSPECCIONADO POR:	Gerardo Escobar	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	09:55 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-6
DETALLE DEL COMPONENTE:		Los registros obtenidos para este punto son: carcasa del motor 50.4°C, bobina 55.2°C; alimentación eléctrica del motor, 32.2°C (A), 32.6°C (B) y 33.0°C (C). Se registra un leve incremento en la temperatura del motor de 2°C en bobina y carcasa. Alimentadores eléctricos se mantienen en el rango 32.6°C (A), 33.5°C (B) y 33.9°C (C).	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		El incremento no es tan grave, no es necesario programar revisión, se tendrá en observación y en la próxima inspección se decidirá si es necesario intervenir el panel eléctrico. Se identifica que la fase A, el calibre de conductor es inferior al resto y puede estar ocasionando un desbalance de corriente en el motor. Considerar el cambio en el próximo mantenimiento preventivo.	



UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA
FACULTAD DE INGENIERIA

6.3.10 PRÁCTICA 10 – DISPOSITIVOS DE CONTROL DETERIORADOS O DAÑADOS.

**MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.
TEMA: DISPOSITIVOS DETERIORADOS.**

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVO

- Comparar los resultados termográficos de dos dispositivos de control, uno trabajando en buen estado y otro trabajando con un elemento interno deteriorado.

INTRODUCCIÓN

Puede suceder que los elementos de control presenten una temperatura excesiva a causa de disparos continuos en las protecciones, accionamientos en cortos periodos de tiempo de los contactores, envejecimiento de los contactos y bimetálicos, alta resistencia en los contactos conductores, corrosión.

Los riesgos de contar con un elemento de control defectuoso son variados, pueden ir desde un cortocircuito, daño en conductores, corrientes elevadas, caídas de tensión, protecciones que no se accionan, etc. Las temperaturas nominales de los elementos de control y protección son establecidas por cada fabricante, en la siguiente tabla se encuentran las temperaturas nominales de cada elemento del módulo simulador de fallas.

Elemento	Marca	Modelo	Temperatura máxima
Autómata tres polos 10 ^a	Onesto	KC10N – C10	55 °C
Autómata dos polos 10 ^a	ABB	S 202 C10	55 °C
Autómata un polo 10 ^a	ABB	S 201 C10	55 °C
Guardamotor 4 – 6. 3 ^a	ABB	MS132	70 °C
Contactador 240V	ABB	AF09-30-01-13	60 °C
Contactador 240V	ABB	AF16-30-10-13	70 °C
Relé de sobrecarga 4.2 – 5. 7 ^a	ABB	TF42	50 °C
Relé 220V	OMRON	MK3P-1	55 °C
Pulsador verde NO	ABB	CP1-10G-10	85 °C
Pulsador rojo NC	ABB	CP1-10R-11	85 °C
Interruptor selector	ABB	C2SS2-10B-20	85 °C
Borneras	ABB	SZ2	110 °C

Tabla 6. 40– Limite de temperatura máxima por cada elemento

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.ª generación).
- Modulo simulador de fallas.

PROCEDIMIENTO

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas.
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición DIRECTA, selector de contactor KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor y esperar 10 minutos para realizar el siguiente paso.
9. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
10. Tomar una captura termográfica al contactor KM1 y llenar la tabla 6.41. Para realizar mediciones por área rectangular referirse al Capítulo V, sección 5.4.1.3 “Barra de herramientas”.
11. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor y cambiar el selector de contactor a posición KM2.
12. Presionar nuevamente el pulsador de ARRANQUE para poner en marcha el motor. Esperar 10 minutos para realizar el siguiente paso.
13. Tomar una captura termográfica al contactor KM2 y llenar la tabla 6.42.
14. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.

15. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.

16. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.

17. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

Para tomar la temperatura global de los contactores usar la opción de área rectangular en la FLIR ONE Pro.

Tabla 6.41. Datos con KM1 activado.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Fase A	31.1 °C	
T. Fase B	31.2 °C	
T. Fase C	31.1 °C	
Bx1 Max	34.2 °C	
Bx1 Min	28.2 °C	
Bx1 Average	30.4 °C	

Tabla 6. 41– Datos con KM1 activado.

Tabla 6.42. Datos con KM2 activado.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Fase A	31.7 °C	
T. Fase B	31.7 °C	
T. Fase C	33.0 °C	
Bx1 Max	36.0 °C	
Bx1 Min	28.5 °C	
Bx1 Average	33.0 °C	

Tabla 6. 42– Datos con KM2 activado.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Mencione al menos tres factores que pueden causar calentamiento en un dispositivo de control.
2. ¿Cuáles son los riesgos de contar con un elemento de control defectuoso?
3. Con los datos obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.10.1 Informe FLIR Tools – Práctica 10

Datos obtenidos con KM1 activado durante 10 minutos.

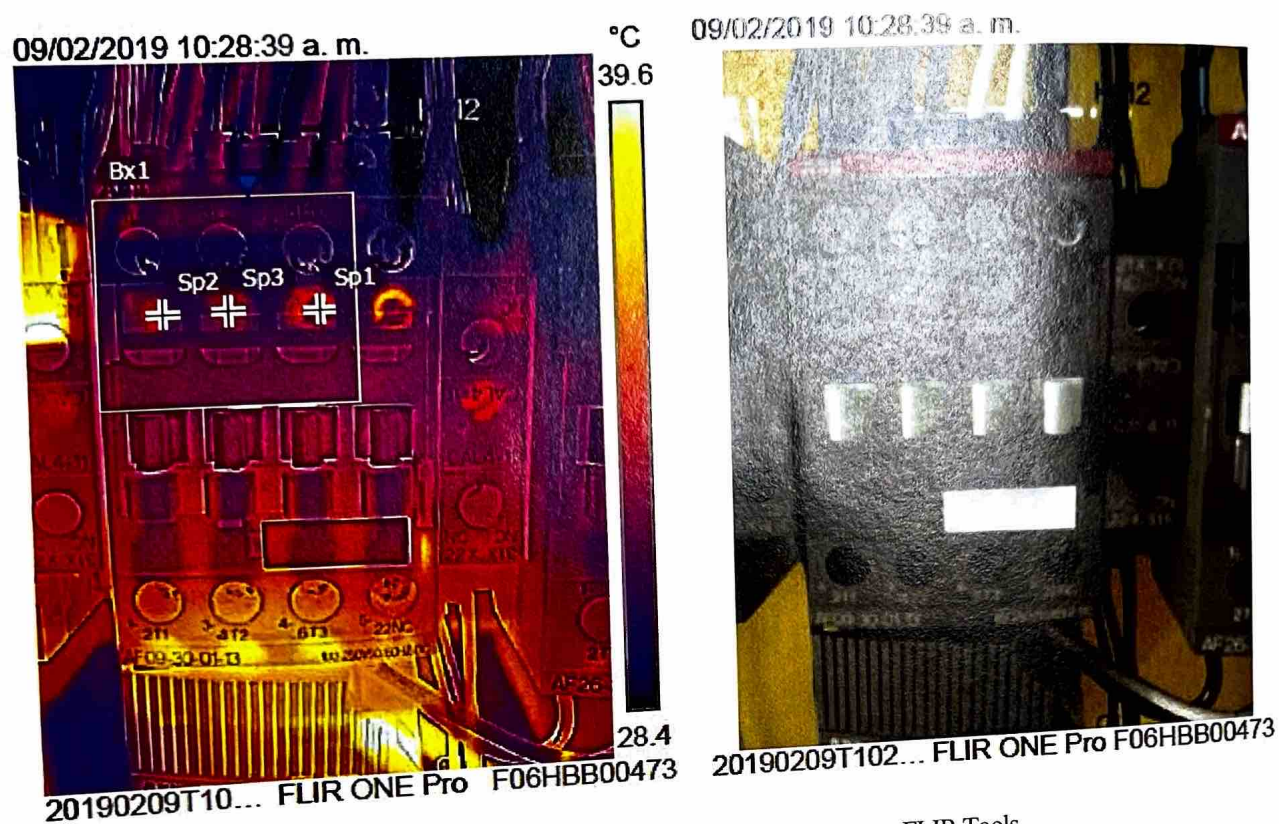


Imagen 6. 62– Temperatura de KM1. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas

Bx1	Max	34.2 °C
	Min	28.2 °C
	Average	30.4 °C
Sp1		31.1 °C
Sp2		31.2 °C
Sp3		31.1 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Tabla 6. 43– Datos de KM1.

Datos obtenidos con KM2 activado durante 10 minutos.

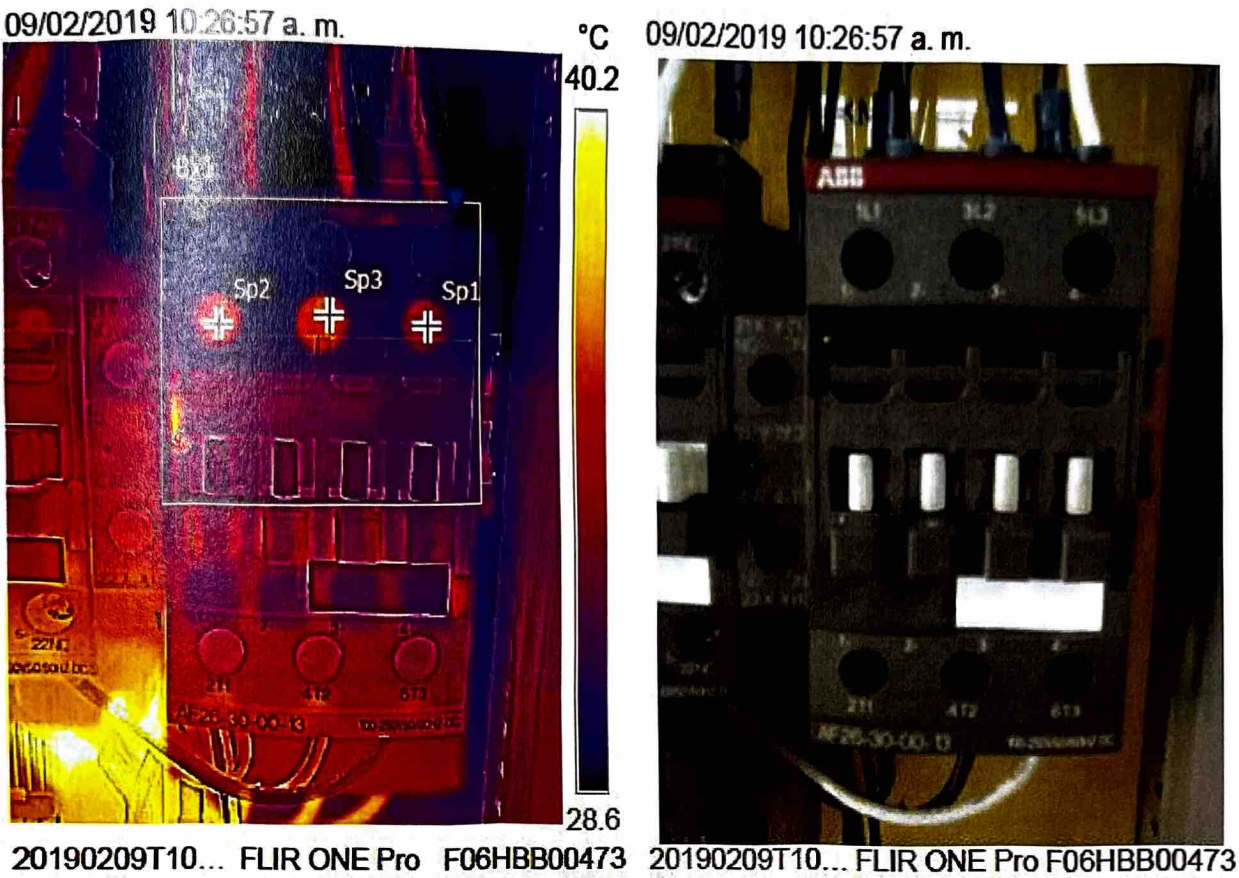


Imagen 6. 63– Temperatura de KM2. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas		
Bx1	Max	36.0 °C
	Min	28.5 °C
	Average	30.0 °C
Parámetros		
Emisividad		0.9
Temp. refl.		22 °C
Geolocalización		
Brújula		0° N

Tabla 6. 44– Datos de KM2.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	PANEL DE CONTROL
INSPECCIONADO POR:	Wilber Alvarenga	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	10:26 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-7
DETALLE DEL COMPONENTE:		Los registros obtenidos para el contactor son los siguientes: 31.1°C (A), 31.2°C (B) y 31.1°C (C). La temperatura de los 3 puntos es uniforme. En esta inspección el sp3 se nota un incremento de 2°C, 31.7°C (A), 31.7°C (B) y 33.0°C (C).	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		El incremento no es tan grave, pero en este punto las lecturas siempre han sido uniformes, se recomienda programar una revisión para el contactor KM2, verificar puntos de conexión o si los contactos ya se encuentran carbonizados y están generando ese punto caliente en el dispositivo.	



6.3.11 PRÁCTICA 11 – MOTOR SOBRECALENTADO.

MATERIA: MANTENIMIENTO PREDICTIVO A MOTORES ELÉCTRICOS.

TEMA: MOTOR SOBRECALENTADO.

LUGAR A IMPARTIR: LABORATORIO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA L-1

OBJETIVOS

- Observar la temperatura de un motor eléctrico trifásico mediante la cámara termográfica y determinar si se encuentra dentro del rango establecido por el fabricante en la placa de características.

INTRODUCCIÓN

Sobrecalentamiento excesivo en motores puede causar problemas de rendimiento. El sobrecalentamiento causa que el aislamiento del devanado del motor se deteriore rápidamente. Por cada diez grados centígrados que se eleve la temperatura, la vida del aislamiento se recortará a la mitad. Se ha concluido que más del 55 % de los fallos de aislamiento se deben a sobrecalentamientos.

El sobrecalentamiento ocurre por numerosos factores. Cada motor eléctrico tiene una temperatura de diseño. Si un motor arranca con un valor de corriente bajo, arranca operando en una condición mucho más caliente que la temperatura de diseño. Es muy importante que los motores se acoplen con sus valores de corriente ideales.

El sobrecalentamiento también ocurre cuando un motor eléctrico es forzado para operar en un ambiente de alta temperatura. Esto causa que la tasa a la que el calor puede conducirse se reduzca a un ritmo alarmante. El área donde los motores eléctricos están operando debe tener un sistema de refrigeración apropiado y un sistema de ventilación estará disponible en caso de que el sistema de refrigeración pare de trabajar.

La temperatura máxima de un motor eléctrico viene dada en la placa de características como clase de aislamiento y la temperatura nominal indicada directamente.

MATERIALES Y EQUIPO

- FLIR ONE Pro.
- iPad (9.^a generación).
- Modulo simulador de fallas.
- Tenaza amperimétrica.

INDICACIONES:

Para esta prueba verificar la temperatura de funcionamiento del motor en cuestión que se encuentra en la placa de características.

1. Verificar que todas las protecciones se encuentren desactivadas.
2. Conectar la alimentación trifásica (L1, L2, L3 y GND) del módulo simulador de fallas. El orden de conexión de las fases es indiferente.
3. Verificar que el accesorio de bloqueo de rotor no este colocado. Para identificar el accesorio referirse a la práctica 3, sección “partes del módulo simulador de fallas”.
4. Asegure que las protecciones ajustables G1 y OL1 se encuentren entre 4.8A y 5.0A.
5. Verificar que el hongo SEGURIDAD no se encuentre accionado.
6. Selector de fase en posición DIRECTA, selector de contactor KM1.
7. Activar las protecciones F1, F2, F3, G1 y verificar que el relé de sobrecarga OL1 no se encuentre disparado.
8. Presionar el pulsador ARRANQUE para poner en marcha el motor y esperar 20 minutos para realizar el siguiente paso.
9. Encender el iPad, conectar la FLIR ONE Pro y abrir la aplicación FLIR ONE para iniciar la toma de imágenes térmicas. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.
10. Tomar tres capturas termográficas, a la carcasa del motor, a los bobinados del motor y las fases L1, L2 y L3 a la entrada de las borneras B2 y llenar la tabla 6.45.
11. Realizar mediciones de corriente a la salida de G1 y anotarlas en la tabla 6.45.
12. Presionar el pulsador PARO para detener la marcha del motor.
13. Apagar la FLIR ONE Pro, desconectarla y apagar el iPad. Referirse a la práctica 1 – Uso de la FLIR ONE Pro.

14. Desactivar todas las protecciones F1, F2, F3 y G1.

15. Desconectar la alimentación trifásica del módulo simulador de fallas.

	Datos recolectados	Datos de práctica
T. Motor (Según placa de características)	40 °C	
T. Motor (Bobina)	58.5 °C	
T. Motor (Carcasa)	51.9 °C	
T. Fase A	31.6 °C	
T. Fase B	31.6 °C	
T. Fase C	31.8 °C	
Corriente A	3.13 A	
Corriente B	4.80 A	
Corriente C	3.94 A	

Tabla 6. 45– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.

PRUEBA DE CONOCIMIENTO

1. Mencione algunas causas que pueden generar calentamiento excesivo en un motor eléctrico.
2. Con los resultados obtenidos, desarrolle una conclusión de la práctica.

6.3.11.1 Informe FLIR Tools – Práctica 11

Datos obtenidos con el sistema en marcha durante 20 minutos.

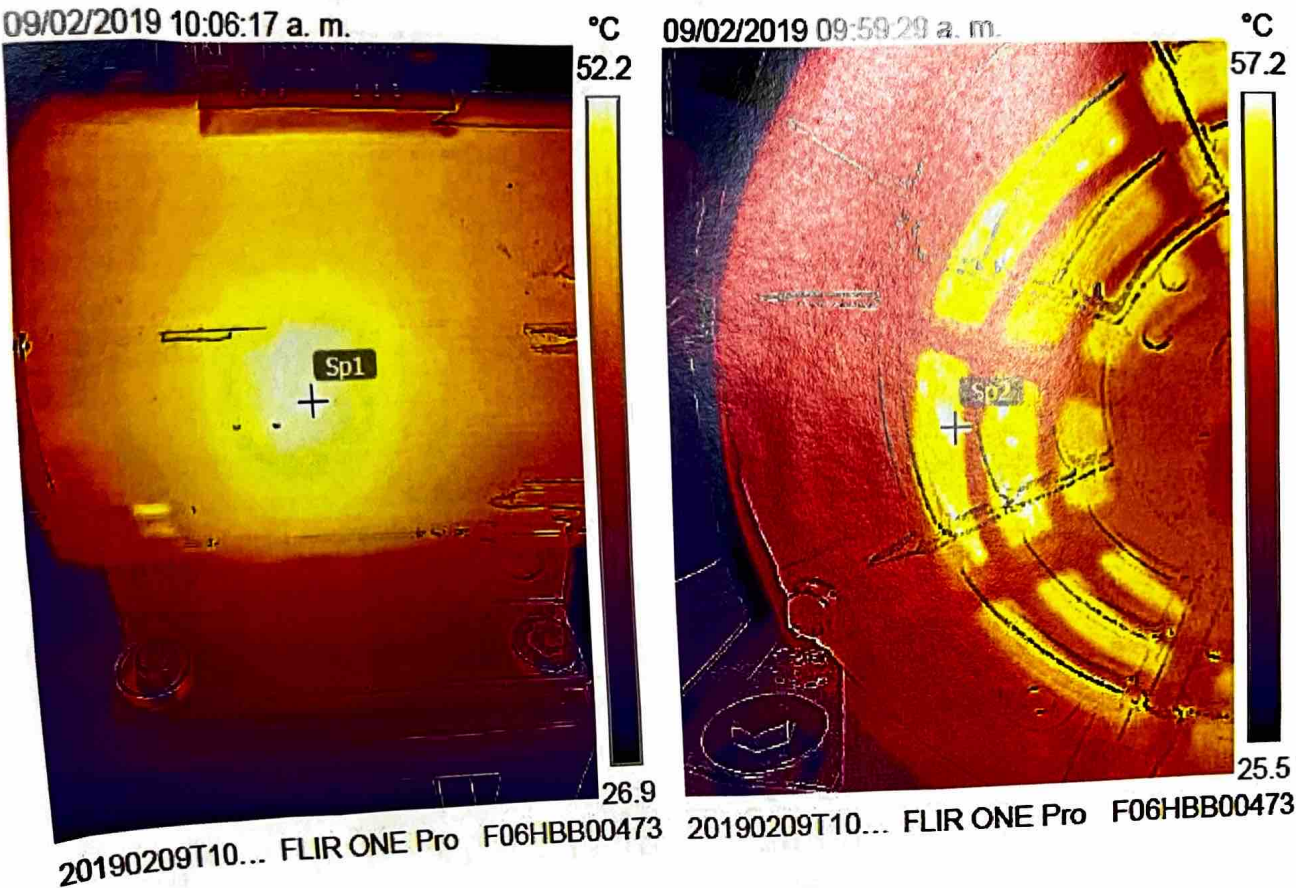
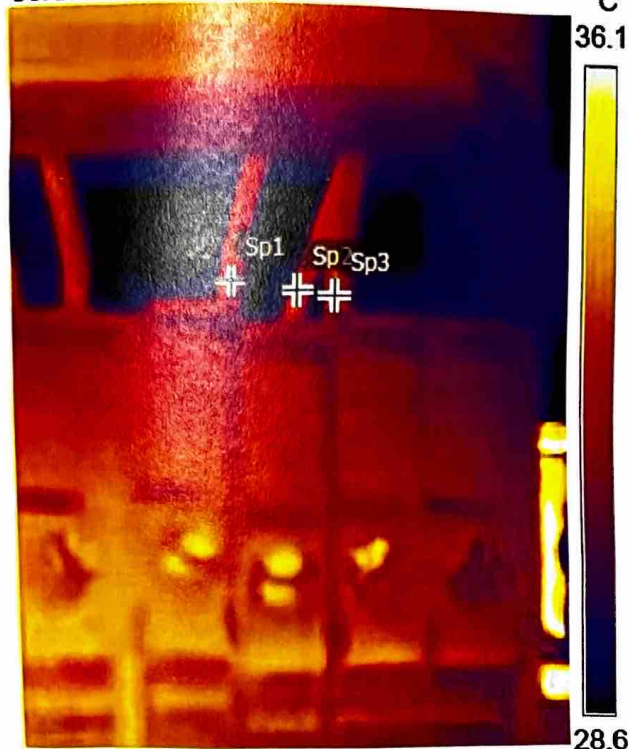


Imagen 6. 64– Temperatura de bobinas y motor en funcionamiento normal. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas		Medidas	
Sp1	51.9 °C	Sp2	58.5 °C
Parámetros		Parámetros	
Emisividad	0.8	Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C	Temp. refl.	22 °C
Geolocalización		Geolocalización	
Brújula	0° N	Brújula	0° N

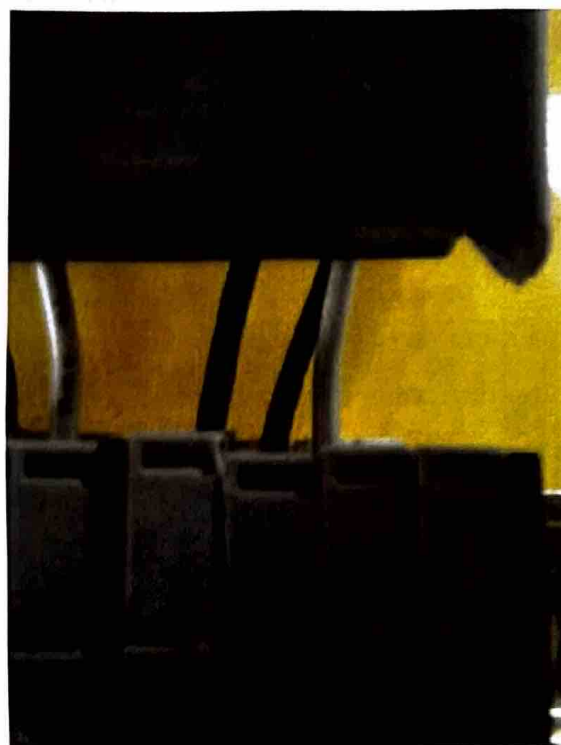
Tabla 6. 46– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.

09/02/2019 10:13:27 a. m.



20190209T10... FLIR ONE Pro F06HBB00473

09/02/2019 10:13:27 a. m.



20190209T10... FLIR ONE Pro F06HBB00473

Imagen 6. 65– Temperatura conductores en funcionamiento normal. Fuente: Informe FLIR Tools.

Medidas

Sp1	31.6 °C
Sp2	31.6 °C
Sp3	31.8 °C

Parámetros

Emisividad	0.9
Temp. refl.	22 °C

Geolocalización

Brújula	0° N
---------	------

Anotaciones de texto

Temp. Placa	40 °C
Corriente Sp1	3.13 A
Corriente Sp2	4.8 A
Corriente Sp3	3.94 A

Tabla 6. 47– Datos transcurridos 20 minutos con el motor en marcha.

	REPORTE TERMOGRAFICO	AREA INSPECCIONADA:	MOTOR ELECTRICO
INSPECCIONADO POR:	Wilber Alvarenga	FECHA DE LA INSPECCIÓN:	09/02/2019
EMISIVIDAD:	0.9	HORA DE LA INSPECCIÓN:	10:13 AM
FRECUENCIA DE LA INSPECCION:	SEMANAL	NUMERO DE REPORTE:	F06HBB00473-8
DETALLE DEL COMPONENTE:		Según la placa de características el motor debe mantenerse a una temperatura nominal de 40°C a plena marcha. La medición obtenida registra una temperatura en carcasa de 51.9°C y en bobina de 58.5°C.	
ANALISIS Y ACCIONES RECOMENDADAS:		La temperatura nominal del motor se ha incrementado en 10°C, actualmente el motor marca una temperatura de 51.9°C en carcasa y 58.5°C en bobina. Se toman medidas de corriente en la alimentación del motor y toman las siguientes lecturas: 3.13 A (A), 4.8 A (B) y 3.94 (C). Se recomienda programar mantenimiento para verificar lo que está ocasionando el sobrecalentamiento del motor y el desbalance en las fases del motor.	

CONCLUSIONES

El uso de motores eléctricos y las demandas de trabajo para estos son cada vez mayores, para una empresa, una generadora eléctrica algún daño en un motor o generador eléctrico puede generar paros en una línea de producción, como el desabastecimiento de energía eléctrica en una ciudad o una gran empresa; todo esto generando pérdidas económicas y hasta multas por incumplimiento en la entrega de un producto o multas establecidas por alguna entidad del gobierno por el desabastecimiento de energía eléctrica por un largo periodo de tiempo; para evitar todos estos paros y desabastecimientos, todos los días surgen nuevas herramientas de inspección y tal como ha quedado demostrado la termografía es una técnica no invasiva que permite determinar temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto de estudio. Las cámaras termográficas detectan anomalías que suelen ser invisibles a simple vista, permite realizar correcciones antes de que se produzcan costosos fallos en un sistema.

Las cámaras termográficas son una herramienta única, que sirve para determinar cuándo y dónde se necesita un mantenimiento, ya que el incremento en la temperatura es uno de los factores que las instalaciones eléctricas y mecánicas suelen presentar cuando se dan fallas.

Es claro que, para poder realizar un análisis a profundidad de un motor eléctrico, rodamiento o elemento de control es necesario que este se encuentre trabajando a plena carga; la aplicación de cámaras termográficas da la oportunidad de poder realizar las inspecciones sin necesidad de quitar la tensión a los elementos eléctricos o de detener la marcha de un rodillo o motor, además es una herramienta de inspección segura, ya que para la toma de imágenes no es necesario tener contacto directo con el elemento que estamos inspeccionando. En cuanto a lo abordado en el presente documento, es posible que con el uso de cámaras termográficas para inspecciones de mantenimiento predictivo se pueda tener un mejor control de los planes de mantenimiento preventivo, ya que al detectar una anomalía se posibilita una mejor programación para intervenir el defecto encontrado y aprovechar tiempos muertos de producción para la reparación de la avería.

RECOMENDACIONES

Es importante cumplir detalladamente con las indicaciones que se dan en cada una de las prácticas de laboratorio, asegurarse que las protecciones eléctricas se encuentren debidamente ajustadas y respetar las advertencias de seguridad del módulo.

Tomar los cuidados necesarios para el uso y transportación del módulo simulador de fallas, cámara termográfica FLIR ONE Pro y iPad, también revisar los niveles de carga de ambos dispositivos antes de realizar las prácticas. Leer las indicaciones y recomendaciones de funcionamiento detalladas en el capítulo V del documento.

Como refuerzo a la información contenida en la tesis, es recomendable aplicar a los cursos gratis online impartidos por el Infrared Training Center (ITC), la cual es una institución de certificación internacional en cursos en línea que cubren los conceptos básicos del funcionamiento de las cámaras térmicas y el software de informes, los cursos se encuentran alojados en la siguiente dirección de internet: <https://www.infraredtraining.com/>

El mantenimiento predictivo con termografía aplicado a motores eléctricos, permite predecir anticipadamente cualquier problema que desembocara en un paro y el consecuente incremento de costos de producción.

Con la termografía infrarroja es posible encontrar problemas en equipos eléctricos o mecánicos, sin embargo, para incrementar la certeza en la detección de problemas es conveniente apoyarse en otros equipos de medición: medidores de tensión eléctrica, amperímetros, analizadores de vibración, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro. (3 de Septiembre de 2012). *Blogger*. Recuperado el 25 de Febrero de 2018, de <http://mntoindustrial.blogspot.com/2012/09/2.html>
- Amperis. (s.f.). *Amperis*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de <https://www.amperis.com/productos/camaras-termograficas/#termografia>
- Driesen, J. (Julio de 2014). *Constructor electrico*. Obtenido de <https://constructorelectrico.com/desequilibrio-de-tension/>
- Estruc, D. d. (2018). *Cristalografia*. CSIC.
- Fernando, A. S. (2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo mediante la aplicación de termografía industrial en los motores eléctricos de la planta de eurolit en la empresa tubasec c.a*. Riobamba.
- FLIR. (2017). FLIR ONE PRO. *Datasheet*, 2.
- FLIR. (s.f.). Guía informativa del uso de cámaras termográficas en aplicaciones industriales. *Guía de termografía para mantenimiento predictivo*, 45.
- García, A. S. (1999). Breve historia del espectro. *ESTELA*.
- López, C. T. (2016). Electromagnetismo. *Cuaderno de cultura científica*.
- Montes, J. (Abril de 2016). Estudio termográfico de las condiciones operativas de equipos instalados a media tensión para prevenir fallas ocurrentes en la red de distribución eléctrica de la distribuidora de electricidad delsur, s.a. de c.v. en los municipios de santa tecla y nueva . *Tesis*. Santa Tecla, La Libertad, El Salvador.
- Preditec. (s.f.). *Preditec Grupo Alava*. Recuperado el 21 de Febrero de 2018, de <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>
- Programa casa segura*. (7 de Junio de 2018). Obtenido de <http://programacasasegura.org/cl/2012/06/21/la-importancia-de-la-seleccion-del-calibre-en-los-conductores-electricos-2/>
- SEARS, F. Z. (2005). *Fisica universitaria volumen 2*. Mexico: Pearson Education.
- WEG. (2012). Daños en los bobinados. 2.

- Castillo, J. (Julio de 2010). *Mantenimiento industrial. Termografía*. Barcelona, Simón Bolívar, Venezuela.
- Dounce Villanueva, E. (2014). *La Productividad En El Mantenimiento Industrial*. Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA. Recuperado el Junio de 2018
- LÓPEZ ARIAS, E. (Agosto de 2009). "EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL TPM Y LA IMPORTANCIA DEL RECURSO HUMANO PARA SU EXITOSA IMPLEMENTACIÓN". Recuperado el Junio de 2018, de PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA:
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7276/Tesis262.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Neita Duarte, L. Y., & Peña Rodríguez, E. O. (2001). *PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y SU UTILIZACIÓN COMO TÉCNICA PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO*. Antioquia, Medellin, Colombia.
- RENOVETEC. (2009). *MANTENIMIENTO CORECCTIVO*. Madrid: España. Recuperado el Agosto de 2018
- Riverá, R. (2011). *Biblioteca Central 'Pedro Zulen'*. Recuperado el Junio de 2018, de Universidad Nacional Mayor de San Marcos:
[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20\(para%20Inform%C3%A1tica\)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibVirtualData/Tesis%20para%20marcaci%C3%B3n%20(para%20Inform%C3%A1tica)/2011/rivera_re/borrador/convertidas%20pdf/Capitulo%201.pdf)
- Villegas, E. A. (29 de Marzo de 2017). *Ingeniería Sanitaria*. Recuperado el Junio de 2018, de Ingeniería Sanitaria: http://www.ingenieriasanitaria.com/pdf/manual4/ma4_cap5.pdf

ANEXOS

ANEXO 1 - GARANTIAS.

Garantía cámara termográfica FLIR ONE Pro.

PROTECTION PLAN DETAILS SquareTrade Protection Plan	
Coverage Term	
4 Years	
Coverage Start Date*	
03/12/2022	
Coverage End Date	
03/12/2026	
Waiting Period	
1 day from plan purchase	
Plan Number	
999011115219638	
Coverage Type	
Standard + Accidental Damage (AD)	
Coverage Amount**	
Up to item's purchase price	
DEVICE DETAILS	
Covered Product	
Camera / Camcorder	
PROTECTION PLAN PRICE	
Plan Price	
\$39.49	
Deductible	
\$0	

Tabla A 1- Garantía cámara termográfica FLIR ONE Pro.

Garantía iPad (9.ª generación)



DOCUMENTO TRIBUTARIO ELECTRÓNICO
FACTURA

Ver. 1

Código de generación:

C203F0C2-D9B4-4C47-8000-01949765B660

Número de control:

DTE-01-S021P001-000000000026359

Sello de recepción:

20252FFEDDA8E5A40FB97CF54918126A963QVMA



Consulta MH



JSON

Modelo de facturación:

Modelo Facturación previo

Tipo de transmisión:

Transmisión normal

Fecha y hora de generación:

2025-01-24 14:20:58

EMISOR

Nombre:

ALMACENES SIMAN S.A. DE C.V.

ALMACENES SIMAN S.A. DE C.V.

NIT:

06141702680013

NRC:

3018

Actividad económica:

Almacenes (venta de diversos artículos)

Dirección:

AV. INDEPENDENCIA SUR CARR. SAN SALVADOR, CTRO. COM. METROCENTRO, FINAL 6TA. AVENIDA SUR, DISTRITO DE SANTA ANA, SANTA ANA CENTRO, SANTA ANA

Teléfono:

24458000

Correo:

felsv@siman.com

Tipo de establecimiento:

Sucursal

RECEPTOR

Nombre:

UNIVERSIDAD TECNICA LATINOAMERICANA

Tipo de documento:

NIT

No. documento identificación:

06113006810016

Correo:

FACTURA.ELECTRONICA@UTLA.EDU.SV

Teléfono:

No.	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio unitario	Otros montos no afectos	Descuento Aplicado	Ventas no sujetas	Ventas exentas	Ventas gravadas
1	1.0	Unidad	103519083 TABLET/A/MIK2K3LZ/A	\$399.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$399.00
2	1.0	Unidad	101496391 SIMAN PRO 2 ANOS	\$91.77	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$91.77

Suma de ventas:	\$0.00	\$0.00	\$490.77
Sumatoria de ventas:			\$490.77
Monto global Desc., Rebajas y otros a ventas no sujetas:			\$0.00
Monto global Desc., Rebajas y otros a ventas exentas:			\$0.00
Monto global Desc., Rebajas y otros a ventas gravadas:			\$0.00
Sub-Total:			\$490.77
IVA retenido:			\$0.00
Retención renta:			\$0.00
Monto total de la operación:			\$490.77
Total otros montos no afectos:			\$0.00
Total a pagar:			\$490.77

Tabla A 2- Garantía iPad (9.ª generación)

ANEXO 2 – COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Cantidad	Descripción	Precio
1	FLIR ONE Pro Thermal Imaging Camera for iOS	\$ 399.00
1	SquareTrade 4-Year Cameras and Camcorders Accidental Protection Plan	\$ 39.45
1	CASEMATIX Water-Resistant Travel Hard IR Case with Customizable Foam	\$ 19.99
1	iPad (9.ª generación) -MODEL A2602 (64GB, Wi-Fi, Space Gray)	\$ 399.00
1	Garantía extendida SIMAN PRO 2 AÑOS	\$ 91.77
1	Fabricación estructura metálica en tubo industrial de 1x1", con altura de 96 cm, ancho 60 cm y fondo 30 cm.	\$ 80.00
1	Tablero acrílico cristal de 5 mm, impresión digital full color tipo espejo, de 60 x 60 cm de dimensiones, fondo de color amarillo y textos en color negro.	\$ 60.00
1	Dispositivos de control, cables, terminales y tornillería.	\$ 344.89
1	Pintura automotriz gris perla, fabricación de tapadera metálica para motor eléctrico y trabajo en detalles.	\$35.00
	TOTAL	\$ 1,469.10

Tabla A 3– Costo total del proyecto

ANEXO 3 – GLOSARIO

Motor eléctrico. El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

Sistema trifásico. En ingeniería eléctrica, un sistema trifásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud (y por consiguiente valor eficaz), que presentan una diferencia de fase entre ellas de 120° eléctricos, y están dadas en un orden determinado. Cada una de las corrientes monofásicas que forman el sistema se designa con el nombre de fase.

Campo magnético. Un campo magnético es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos. El campo magnético en cualquier punto está especificado por dos valores, la dirección y la magnitud; de tal forma que es un campo vectorial.

HP. El caballo de fuerza, también llamado caballo de potencia, puesto que es una medida de potencia y no de fuerza, es el nombre de varias unidades de medida de potencia utilizadas en el sistema anglosajón. Se denota hp, HP o Hp, del término inglés horsepower, expresión que fue acuñada por James Watt en 1782 para comparar la potencia de las máquinas de vapor con la potencia de los caballos de tiro. $1\text{HP} = 746\text{W}$.

Par motor. El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia o, dicho de otro modo, la tendencia de una fuerza para girar un objeto alrededor de un eje, punto de apoyo, o de pivote. La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión.

Deslizamiento. El deslizamiento en una máquina eléctrica es la diferencia relativa entre la velocidad del campo magnético (velocidad de sincronismo) y la velocidad del rotor.

Síncrono. En un motor síncrono, el campo magnético y el rotor tienen la misma velocidad de giro.

Asíncrono. En un motor de inducción, el rotor gira ligeramente más despacio que el campo magnético. Por este motivo, también se le conoce como motor asíncrono.

Interruptor centrífugo. Un interruptor centrífugo es un interruptor eléctrico que funciona con la fuerza centrífuga creada desde un eje de rotación, lo más común es que sea de un motor eléctrico o de un motor de gasolina. El interruptor se diseña para activar o para desactivar en función de la velocidad rotatoria del eje.

Radiación. El fenómeno de la radiación es la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Termómetro de bulbo. Un termómetro de bulbo es el tipo de termómetro que generalmente se utiliza para medir la temperatura de una sustancia u objeto, y contiene usualmente mercurio o alcohol coloreado en el bulbo (reservorio) en el extremo del termómetro.

Espectro. Un espectro es una condición que no se limita a un conjunto específico de valores, sino que puede variar, sin pasos, a través de un continuo. La palabra se utilizó por primera vez científicamente en óptica para describir el arco iris de colores en luz visible después de pasar a través de un prisma.

Conflicto bélico. (guerra) en su sentido estrictamente técnico, es aquel conflicto social en el que dos o más grupos humanos relativamente masivos, principalmente tribus, sociedades o naciones, se enfrentan de manera violenta, preferiblemente, mediante el uso de armas de toda índole, a menudo con resultado de muerte, individual o colectiva y daños materiales de una entidad considerable.

Cero absolutos. El cero absoluto es la temperatura más baja posible. A esta temperatura el nivel de energía interna del sistema es el más bajo posible, por lo que las partículas, según la mecánica clásica, carecen de movimiento.

Onda. En física, una onda consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, implicando un transporte de energía sin transporte de materia.

Ion. Es una partícula cargada eléctricamente constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutro. Conceptualmente esto se puede entender como que, a partir de un estado neutro de un átomo o molécula, se han ganado o perdido electrones.

Ionosfera. Es la parte de la atmósfera terrestre ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar. Se sitúa entre la mesosfera y la exosfera, y en promedio se extiende aproximadamente entre los 80 km y los 400 km de altitud, aunque los límites inferior y superior varían según autores y se quedan en 80-90 km y 600-800 km respectivamente.

CFC. Los clorofluorocarbonos (CFC) son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente.

Cristalografía. La cristalografía es la ciencia que estudia los cristales. La mayoría de los minerales, compuestos orgánicos y numerosos materiales.

Supernova. Una supernova es una explosión estelar que puede manifestarse de forma muy notable, incluso a simple vista, en lugares de la esfera celeste donde antes no se había detectado nada en particular.

Fotoreceptor. En la naturaleza, los fotorreceptores son células fotosensibles, tanto en animales como en vegetales, que permiten la visión. Las células fotorreceptoras del sistema visual de los vertebrados son diferentes a los sistemas visuales de otros animales como los insectos o los moluscos.

Alfa Canis Maioris. La más brillante de todo el cielo nocturno vista desde la Tierra, situada en la constelación del hemisferio celeste sur Canis Maior. Esta estrella tan notable, que es en realidad una estrella binaria, es muy conocida desde la antigüedad; por ejemplo, en el Antiguo Egipto, la salida heliaca de sirio marcaba la época de las inundaciones del Nilo, y ha estado presente en civilizaciones tan dispares como la griega, la maya y la polinesia.

Wolframio. El wolframio o volframio, también conocido como wólfrao o tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es W.

Microbolómetro. Un microbolómetro es un tipo específico de bolómetro usado como detector en cámaras térmicas. Es un detector de radiación infrarroja con longitudes de onda entre 8-13 μm .

Píxel. Un píxel o pixel, plural píxeles, es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.

Petroquímica. La petroquímica es la rama de la química que estudia la transformación del petróleo crudo (petróleo) y el gas natural en productos o materias primas útiles. Estos productos petroquímicos se han convertido en una parte esencial de la industria química actual en todo el mundo.

RoHS. (de las siglas en inglés Restriction of Hazardous Substances) se refiere a la Directiva 2011/65/UE de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, adoptada en junio de 2011 por la Unión Europea.

ISO. La Organización Internacional de Normalización, también llamada Organización Internacional de Estandarización (originalmente en inglés: International Organization for Standardization, conocida por la abreviación ISO) es una organización para la creación de estándares internacionales compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización.

DIN. Es el organismo nacional de normalización de Alemania. Elabora, en cooperación con el comercio, la industria, la ciencia, los consumidores e instituciones públicas, estándares técnicos (normas) para la racionalización y el aseguramiento de la calidad. El DIN representa los intereses alemanes en las organizaciones internacionales de normalización (ISO, CEI, entre otros.).

Germanio. El germanio, antiguamente llamado eka-silicio es un elemento químico con número atómico 32, y símbolo Ge perteneciente al período 4 de la tabla periódica de los elementos.

Cuarzo. El cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO_2). Tras el feldespato es el mineral más común de la corteza terrestre estando presente en una gran cantidad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Destaca por su dureza y resistencia a la meteorización en la superficie terrestre.

Bushing. Es un aislante eléctrico hueco que permite que un conductor eléctrico pase de manera segura a través de una barrera conductora como la caja de un transformador o disyuntor sin hacer contacto eléctrico con él. Los bujes suelen estar hechos de porcelana; aunque también se utilizan otros materiales aislantes.

iCloud. Es un almacenamiento en la nube y la computación en la nube de servicios de Apple Inc. lanzó el 12 de octubre de 2011. A partir del 2018, el servicio había un estimado de 850 millones de usuarios, frente a los 782 millones de usuarios en 2016. iCloud permite a los usuarios almacenar datos como documentos, fotos y música en servidores remotos para descargarlos a dispositivos iOS, macOS o Windows, compartir y enviar datos a otros usuarios y administrar sus dispositivos Apple en caso de pérdida o robo.

Diamagnetismo. Es una propiedad de los materiales que se caracteriza por repeler los campos magnéticos. Es opuesto al paramagnetismo o ferromagnetismo, que atrae los campos magnéticos. Cuando el efecto repulsivo es el único que un material presenta ante un imán, el material es considerado diamagnético.

Electrólisis. Es un proceso por medio del cual se pueden separar los elementos que tiene un compuesto utilizando la electricidad. Algunas sustancias como las sales y algunos óxidos metálicos son buenos conductores de electricidad y sufren descomposición cuando experimentan el paso de una corriente eléctrica, estas sustancias son llamadas electrolitos, y a este fenómeno se le conoce con el nombre de electrólisis