



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ARCO  
ELÉCTRICO EN TABLEROS INDUSTRIALES  
MEDIANTE MEDICIONES INDIRECTAS DE  
ULTRASONIDO PASIVO”**

**OSCAR JOSÉ QUIZHPI OJEDA  
WILLIAN ALEJANDRO TISALEMA MALQUI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Para a la obtención de título de:**

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

**RIOBAMBA-ECUADOR  
2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**OSCAR JOSÉ QUIZHPI OJEDA**

Titulado:

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ARCO  
ELÉCTRICO EN TABLEROS INDUSTRIALES MEDIANTE  
MEDICIONES INDIRECTAS DE ULTRASONIDO PASIVO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillan G.  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. César Astudillo  
**DIRECTOR**

---

Dr. Marco Haro Medina  
**ASESOR**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2015-01-20

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**WILLIAN ALEJANDRO TISALEMA MALQUI**

Titulado:

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ARCO  
ELÉCTRICO EN TABLEROS INDUSTRIALES MEDIANTE  
MEDICIONES INDIRECTAS DE ULTRASONIDO PASIVO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO DE MANTENIMIENTO**

---

Ing. Marco Santillan G.  
**DECANO FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. César Astudillo  
**DIRECTOR**

---

Dr. Marco Haro Medina  
**ASESOR**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** QUIZHPI OJEDA OSACAR JOSÉ

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ARCO ELÉCTRICO EN TABLEROS INDUSTRIALES MEDIANTE MEDICIONES INDIRECTAS DE ULTRASONIDO PASIVO”

**Fecha de Examinación:** 2017-02-24

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán G. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Astudillo M. <b>DIRECTOR</b>			
Dr. Marco Haro Medina <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán G.  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** TISALEMA MALQUI WILLIAN ALEJANDRO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “ANÁLISIS DE LOS EFECTOS QUE PRODUCE EL ARCO ELÉCTRICO EN TABLEROS INDUSTRIALES MEDIANTE MEDICIONES INDIRECTAS DE ULTRASONIDO PASIVO”

**Fecha de Examinación:** 2017-02-24

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Marco Santillán G. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. César Astudillo M. <b>DIRECTOR</b>			
Dr. Marco Antonio Haro Medina <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Marco Santillán G.  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El presente Trabajo de Titulación, es original y basado en el proceso de investigación y/o propuesta tecnológica establecida en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Quizhpi Ojeda Oscar José**

---

**Tisalema Malqui Willian Alejandro**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Quizhpi Ojeda Oscar José y Tisalema Malqui Willian Alejandro, declaramos que el presente Trabajo de Titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente, están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.

---

**Quizhpi Ojeda Oscar José**  
Cédula de Identidad: 220014005-7

---

**Tisalema Malqui Willian Alejandro**  
Cédula de Identidad: 050274398-2

## **DEDICATORIA**

A mi padre José Heriberto Quizhpi y a mi madre Angélica María Ojeda por toda su confianza y apoyo incondicional en toda la etapa de estudiante universitario y por demostrarme siempre que la familia es lo primero.

A Laura Madrid por darme un hijo maravilloso y una hija que viene en camino que son una fuerza extra que uno necesita para salir y dejar todos los problemas atrás y sobre todo ayudarme y culminar con éxito cada objetivo que nos propongamos juntos.

**Quizhpi Ojeda Oscar José**

En especial este trabajo dedico a toda mi familia por haberme apoyado en todo momento de tristezas y de alegría en cada etapa estudiante.

A mis padres y hermanos por sus consejos que me hicieron mejor persona para enfrentar cada dificultad que la vida me puso en el camino y terminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

**Tisalema Malqui Willian Alejandro**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a nuestro Dios todo poderoso y creador de todo lo que nos rodea, a mi familia que siempre deposito su confianza en mí y no me desamparo a pesar de la distancia.

A mi esposa e hijo que nunca me han dejado solo en ningún momento, me apoyan y me apoyaran en un futuro, a mis maestros de toda la carrera que siempre nos enseñaron lo mejor para desenvolvernos en el campo profesional en especial al Ing César Astudillo por todo el compromiso y amistad depositado en mí.

Finalmente a todos mis compañeros de vida estudiantil por todos sus anécdotas y vivir juntos una etapa tan hermosa de la vida.

**Quizhpi Ojeda Oscar José**

Agradezco primero a Dios por darme las fuerzas y sabiduría para terminar una etapa más de mi vida, a mis padres que a pesar de sus adversidades siempre me apoyaron a mis hermanos que siempre estuvieron hay en un camino duro y comparten lo mejor.

A mis compañeros que compartieron día a día sus consejos y su amistad en cada aula que nos tocó vivir juntos, a mis profesores ingenieros que siempre me enseñaron lo mejor de cada uno.

Finalmente a mí querida institución que me abrió las puertas para vivir una de las mejores etapas de mi vida y por permitir conocer personas maravillosas en mi vida.

**Tisalema Malqui Willian Alejandro**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Tableros industriales .....	4
2.2 Clasificación de tableros industriales .....	4
2.2.1 <i>Tablero de medición de energía eléctrica</i> .....	4
2.2.2 <i>Tablero principal (TP)</i> .....	5
2.2.3 <i>Tablero seccional (TS)</i> .....	5
2.3 Forma constructiva de tableros industriales.....	5
2.3.1 <i>Gabinete</i> .....	5
2.3.2 <i>Componentes</i> .....	6
2.3.3 <i>Puesta a tierra</i> .....	7
2.3.4 <i>Montaje</i> .....	7
2.4 Pérdidas energéticas en tableros industriales .....	7
2.5 Arco eléctrico.....	7
2.6 Causas del arco eléctrico.....	8
2.6.1 <i>Impurezas y polvo</i> .....	8
2.6.2 <i>Corrosión</i> .....	8
2.6.3 <i>Caída de herramienta</i> .....	9
2.6.4 <i>Contactos accidentales</i> .....	9
2.6.5 <i>Sobre voltajes sobre espacios estrechos</i> .....	9
2.6.6 <i>Otras causas</i> .....	9
2.7 Efectos y consecuencias del arco eléctrico .....	9
2.7.1 <i>Presión</i> .....	9
2.7.2 <i>Pérdida auditiva por explosión sonora</i> .....	9
2.7.3 <i>Quemadura de ropa</i> .....	9
2.7.4 <i>Calor</i> .....	9
2.7.5 <i>Exposición a objetos</i> .....	9
2.7.6 <i>Inhalación de gases tóxicos</i> .....	10
2.8 Método de detección del arco eléctrico .....	10
2.8.1 <i>Método por análisis termográfico</i> .....	10
2.8.2 <i>Método por análisis de ultrasonido</i> .....	10
2.9 Ultrasonido.....	10
2.10 Ultraprobe 15000 .....	11
2.10.1 <i>Características del hardware</i> .....	12
2.10.2 <i>Características instrumentales</i> .....	13
2.10.2.1 <i>Datos técnicos del Ultraprobe 15000</i> .....	14
2.10.2.2 <i>Pantalla principal</i> .....	14
2.10.2.3 <i>Visualizador espectral</i> .....	15
2.10.2.4 <i>Temperatura y dB</i> .....	15

2.10.2.5	<i>Menú de la cámara del equipo</i> .....	16
2.10.3	<i>Detección de ultrasonido</i> .....	16
2.10.4	<i>Aplicaciones del Ultraprobe 15000</i> .....	17
2.10.4.1	<i>Análisis y tendencias mecánicas</i> .....	17
2.10.5	<i>Análisis de inspecciones eléctricas</i> .....	18
2.10.5.1	<i>Detección de fugas y conservación de energía</i> .....	18
2.11	<i>Termografía</i> .....	18
2.12	<i>Cámara termográfica FLIR</i> .....	19
2.13	<i>Fundamentos de electricidad</i> .....	20
2.13.1	<i>Voltaje</i> .....	20
2.13.2	<i>Intensidad de corriente eléctrica</i> .....	20
2.13.3	<i>Tipos de circuitos</i> .....	21
2.13.4	<i>Calibre del conductor</i> .....	21
2.13.5	<i>Calcular la caída de tensión</i> .....	24
2.13.6	<i>Elementos de protección</i> .....	24

### **3. MODELO TEÓRICO DEL MÓDULO DE PRUEBAS**

3.1	<i>Descripción de los elementos utilizados en el módulo de experimentación</i> ..	26
3.1.1	<i>Tablero de control eléctrico</i> .....	26
3.1.2	<i>Descripción del disyuntor</i> .....	27
3.1.3	<i>Descripción del contactor</i> .....	28
3.1.3.1	<i>Principio de funcionamiento del contactor</i> .....	29
3.1.3.2	<i>Criterios para la selección del contactor</i> .....	31
3.1.3.3	<i>Causas de deterioro y daño del contactor</i> .....	31
3.1.4	<i>Descripción del relé térmico</i> .....	33
3.1.5	<i>Descripción del cable electrocable</i> .....	33
3.1.6	<i>Descripción de las resistencias de potencia</i> .....	34
3.1.7	<i>Descripción de los terminales térmicos</i> .....	35
3.1.8	<i>Descripción de los elementos de marcha, paro y señalización</i> .....	35
3.1.9	<i>Descripción de elemento disipador de calor</i> .....	36
3.2	<i>Descripción del dispositivo de prueba</i> .....	37

### **4. ANÁLISIS DE PRUEBAS**

4.1	<i>Descripción del procedimiento</i> .....	38
4.1.1	<i>Metodología</i> .....	38
4.1.2	<i>Normalización para inspecciones eléctricas</i> .....	38
4.1.3	<i>Normalización para inspecciones termográficas</i> .....	38
4.1.4	<i>Configuración del equipo de ultrasonido</i> .....	39
4.2	<i>Mediciones en estado normal de funcionamiento</i> .....	40
4.2.1	<i>Ubicación de los puntos de medición</i> .....	41
4.2.2	<i>Mediciones realizadas la pinza amperimétrica en condiciones normales</i> ....	43
4.2.3	<i>Mediciones realizadas con el equipo de ultrasonido</i> .....	46
4.2.4	<i>Mediciones realizadas con la cámara termográfica</i> .....	51
4.3	<i>Mediciones con presencia de arco eléctrico</i> .....	51
4.3.1	<i>Mediciones realizadas con el equipo de ultrasonido</i> .....	55
4.3.2	<i>Mediciones realizadas con cámara termográfica</i> .....	57
4.4	<i>Análisis e interpretación de resultados</i> .....	58
4.5	<i>Análisis e interpretación de los datos obtenidos</i> .....	58
4.5.1	<i>Condición normal de funcionamiento cargas puntuales</i> .....	58
4.5.2	<i>Con presencia de arco eléctrico</i> .....	60

4.6	Análisis e interpretación de los espectros de ultrasonido .....	62
4.7	Análisis e interpretación de la imagen térmica. ....	63
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones .....	65
5.2	Recomendaciones .....	66

## **BIBLIOGRAFÍA**

## LISTA DE TABLAS

Pág.

1. Características de la cámara termográfica .....	19
2. Características de los circuitos serie y paralelo .....	21
3. Capacidad de conducción de corriente .....	22
4. Factores de corrección por temperatura.....	23
5. Características del tablero eléctrico .....	27
6. Características del disyuntor .....	28
7. Características del contactor .....	28
8. Características del relé térmico.....	33
9. Características del cable térmico .....	34
10. Características de las resistencias .....	34
11. Características del elemento disipador de calor.....	36
12. Características del dispositivo de fallo .....	37
13. Criterios de severidad de un problema eléctrico según NETA.....	38
14. Mediciones con resistencia de 67 $\Omega$ . .....	43
15. Datos con un consumidor de 67 $\Omega$ en condiciones normales .....	43
16. Mediciones con resistencia de 42 $\Omega$ . .....	44
17. Datos con un consumidor de 42 $\Omega$ . en condiciones normales .....	44
18. Dos resistencias en serie de 42 $\Omega$ . .....	45
19. Datos con un consumidor de 84 $\Omega$ en condiciones normales .....	45
20. Datos de potencia y decibels en condiciones normales .....	49
21. Datos potencia VS decibels varios consumidores condición normal .....	50
22. Mediciones con resistencia de 67 $\Omega$ . .....	52
23. Datos con un consumidor de 67 $\Omega$ con arco eléctrico .....	52
24. Con una resistencia en serie de 42 $\Omega$ . .....	52
25. Datos con un consumidor de 42 $\Omega$ con arco eléctrico .....	53
26. Dos resistencias en serie de 42 $\Omega$ . .....	54
27. Datos con un consumidor de 84 $\Omega$ con arco eléctrico .....	54
28. Datos de potencia y decibels con arco eléctrico .....	56
29. Datos Potencia vs Decibels de varios consumidores con arco eléctrico.....	57
30. Potencia de consumo condiciones normales.....	59
31. Potencia de consumo de varias resistencias en condiciones normales .....	59
32. Potencia de consumo en cargas puntuales con arco eléctrico.....	60
33. Potencias de consumo en varios consumidores con presencia de arco eléctrico	60
34. Costo kWh varios consumidores en condiciones normales.....	61
35. Comparación los resultados .....	62

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Gabinete medidor de energía eléctrica individual monofásica y trifásica .....	5
2. Gabinete medidor de energía eléctrica individual monofásica y trifásica .....	5
3. Gabinete metálico Gabinete metálico .....	6
4. Placa de montaje de un tablero industria .....	6
5. Arco eléctrico .....	8
6. Características del sonido6.....	11
7. Características del sonido6.....	12
8. Vista lateral del hardware Vista .....	12
9. Vista posterior del hardware .....	13
10. Kit Ultraprobe 15000 .....	13
11. Pantalla con menú principal .....	15
12. Visualizador espectral .....	15
13. Temperatura y dB del equipo .....	16
14. Menú cámara del equipo .....	16
15. Diseño de un detector de ultrasonido .....	17
16. Cámara termográfica .....	19
17. Módulo de experimentación.....	26
18. Tablero de control eléctrico .....	27
19. Disyuntor.....	27
20. Contactor .....	28
21. Contactor (a) .....	29
22. Contactor (b) .....	29
23. Contactor (c) .....	30
24. Contactor (d) .....	30
25. Contactor (e) .....	30
26. Relé térmico .....	33
27. Cable térmico .....	34
28. Resistencias de potencia.....	34
29. Terminales térmicos .....	35
30. Elementos de marcha, paro y señalización .....	36
31. Elemento disipador de calor.....	36
32. Dispositivo de fallo .....	37
33. Dispositivo Flex .....	39
34. Ventana Set up .....	39
35. Ventana aplicaciones.....	40
36. Seccionar aplicación eléctrica.....	40
37. Ubicación de los puntos de medición .....	41
38. Punto de medición fuente .....	42
39. Punto de medición en el dispositivo de fallo .....	42

40. Punto de medición en el circuito de resistencias .....	43
41. Aplicación en el programa de interpretación del espectro de ultrasonido .....	46
42. Espectro de ultrasonido con un consumidor de 67 $\Omega$ en condiciones normales.	47
43. Espectro de ultrasonido con un consumidor de 42 $\Omega$ en condiciones normales.	48
44. Espectro de ultrasonido con un consumidor de 84 $\Omega$ en condiciones normales.	48
45. Gráfica Potencia VS decibels en condiciones normales .....	49
46. Gráfica Potencia VS decibels con consumidores diferentes condición normal	50
47. Termografía del dispositivo de fallo en condiciones normales .....	51
48. Espectro de ultrasonido con consumidor de 67 $\Omega$ con arco eléctrico .....	55
49. Espectro de ultrasonido con consumidor de 42 $\Omega$ con arco eléctrico .....	55
50. Espectro de ultrasonido con consumidor de 84 $\Omega$ con arco eléctrico .....	56
51. Gráfica potencia VS decibels con arco eléctrico .....	56
52. Gráfica potencia vs decibels con varios consumidores con arco eléctrico .....	57
53. Termografía del dispositivo de fallo con arco eléctrico .....	58
54. Imagen térmica. ....	63

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

NPFA	National Fire Protection Association
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
NETA	International Electrical Testing Association
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
FFT	Fast Fourier Transform

## RESUMEN

En este trabajo de titulación se detalla el análisis de los efectos que produce el arco eléctrico en tableros industriales mediante mediciones indirectas de ultrasonido pasivo. Se diseñó una estructura que soporte los elementos que contiene el módulo de pruebas, conformado por elementos eléctricos y dieléctricos destinados a generar un modo de fallo determinado que es regulable de forma manual, con la finalidad de determinar el corte de potencia, pérdida y elevado consumo de energía que se puedan producir. El ultrasonido pasivo es una técnica de análisis basado en la condición que permite visualizar y escuchar, espectros y decibeles de frecuencia según el paso de la corriente en el dispositivo de fallo, para que sea evidente la generación del arco eléctrico se hizo necesario la utilización de consumidores que generen una carga aproximada de 10 amperios. Para tomar las medidas de decibeles generados por el arco se apunta el Ultraprobe 15000 en dirección del dispositivo de fallo y automáticamente se observa en la pantalla del equipo un espectro correspondiente, adicional para complementar el estudio se tomaron en tres puntos de medición valores de voltaje e intensidad, con la finalidad de determinar la potencia y la energía consumida. Por medio de una comparación entre el dispositivo sometido a una carga de 3,3 amperios (carga normal) y una carga de 8,15 amperios (sobre carga), relación entre la generación del arco eléctrico y el elevado consumo de energía. Con esta técnica de análisis de la condición se podrán analizar señales de decibeles que se produce el arco eléctrico en tableros industriales, evitando que estos lleguen al fallo. Previo a la utilización del Ultraprobe 15000 se recomienda familiarizarse con el modo de uso a fin de evitar un posible malfuncionamiento del mismo.

PALABRAS CLAVE: <TERMOGRAFÍA>, <ULTRASONIDO PASIVO>, <MODOS DE FALLO>, <ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN>, <MANTENIMIENTO PREDICTIVO>, <EQUIPOS Y HERRAMIENTAS>, <ARCO ELÉCTRICO>, <INSTRUMENTACIÓN DE LABORATORIO>

## ABSTRACT

This thesis is intended to carry out the Analysis of the Effects Produced by the Electric Arc on industrial boards by means of direct measurements of passive ultrasound. In this aim, a support structure for the elements contained in the testing module was made, which consist of electric and dielectric elements intended to generate a determined failure mode from a manual regulation device with the aim to determine the probable potency outage as well as the loss and high electrical power consumption. The passive ultrasound is an analysis technique based on the condition that allows visualizing and listening the spectrum and frequency decibel as the electrical power supply is being done to the failure device. To show how the electrical arc generation occurs, energy consumption devices were used, which generate a 10-ampere load. The procedure followed for measuring the decibels generate by the electrical arc consisted of targeting the 15000- ultraprobe in the direction to the fail device so that it allows automatically observes the corresponding spectrum in the scream and, additionally three points of measures as well as the voltage and intensity values were taken in order to determine the potency and electrical power consumption and thus to compliment the study by making a comparison between the device undergone a 3,3 amperes load ( normal load) and 8,15 amperes load ( over load) and also, the relation between the electrical arc generation and the high electric power consumption. This analysis composition technique enables the decibel signal analysis, which are produced by the electrical arc in the industrial boards preventing the from fails. Therefore, to prevent a possible malfunction of the 15000-ultraprobe, it is advisable to be familiarized with usage in advance.

**RESEARCH KEY WORDS:** <THERMOGRAPHY> <PASSIVE ULTRASOUND>  
<TYPES OF FAILURE> <CONDITION ANALYSIS>  
<PREDICTIVEMAINTENANCE> <EQUIPMENT AND TOOLS> <ELECTRIC  
ARC> <LAB INSTRUMENTATION>

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El empleo de tecnología moderna es primordial en la formación profesional de hoy en día, en el proceso de aprendizaje del mantenimiento industrial se han empleado una variedad de equipos, ayudando a desarrollar habilidades mediante prácticas demostrativas y a familiarizar al estudiante en su campo laboral con nuevas tecnologías.

Los equipos que conforman el Laboratorio de Mantenimiento Predictivo perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica son de tecnología actualizada y permiten simular los procesos industriales, con sus respectivos manuales de operación y mantenimiento, permitiendo analizar, detectar y evitar las consecuencias de las fallas ayudando de esta manera en la formación profesional de los estudiantes, logrando impedir interrupciones en el funcionamiento normal de los equipos e instalaciones y por ende evitar grandes pérdidas económicas.

La incorporación de módulos que simulen fallas y equipos de tecnología de pantalla táctil que permita analizar los efectos que produce el arco eléctrico mediante mediciones indirectas de ultrasonido pasivo, permitirá complementar y optimizar el laboratorio, desarrollando destrezas y adquiriendo conocimientos sobre los avances tecnológicos.

### 1.2 Justificación

Los avances tecnológicos han marcado notablemente la industria a nivel mundial como nacional, exigiendo mayor preparación en el personal, no solo desde el punto de vista de operación del equipo, sino desde el punto de vista del mantenimiento industrial. Por esta razón los estudiantes deben estar preparados para enfrentar la realidad industrial manteniendo con una alta disponibilidad a los equipos e instalaciones, es decir la operación correcta y el mantenimiento oportuno mediante métodos, herramientas y técnicas que mejoren las capacidades de inspección y reduzcan los desperdicios de energía.

En este caso se empleará el análisis por ultrasonido, técnica que ha evolucionado efectivamente para la detección oportuna de fallas en las diferentes áreas de la industria, enfocado hacia una de ellas, al área eléctrica el cual permita una detección rápida y segura para la prevención de fallos eléctricos en tableros industriales, tales como: el efecto arco, térmico, desgaste , entre otros, pueden afectar la seguridad de las personas, el funcionamiento de equipos e instalaciones, y además la economía de la empresa.

La razón de este proyecto es realizar la identificación del ruido perceptible a través de un equipo de monitoreo mediante el análisis de ultrasonido, utilizando un módulo didáctico en el cual se logrará analizar las diferentes pérdidas causadas por dispositivos que componen un tablero industrial en mal estado o por diferentes parámetros como: polvos, suciedad, corrosión, mal diseño, etc. de los cuales hablaremos en el desarrollo de este proyecto. Este proyecto pretende colaborar de manera académica a los estudiantes de la Facultad de Mecánica, con métodos de diagnósticos de mantenimiento predictivo en el área eléctrica, de manera que el mismo sea una herramienta de trabajo que permita introducir gradualmente técnicas eficaces de mantenimiento, respetando las normas de seguridad al momento de realizar trabajos en tableros industriales.

Como contribución adicional este proyecto al implementar un equipo y módulo didáctico que permita la simulación de una de las fallas en los tableros industriales, contribuirá en las áreas y líneas de la investigación de la ESPOCH 2012-2017, enfocado sobre el área de la investigación científica, permitiendo elevar el desarrollo de la automatización y control de procesos industriales, aportando al desarrollo personal, institucional y al progreso del país.

### **1.3       Objetivos**

**1.3.1       Objetivo general.**    Analizar los efectos que produce el arco eléctrico en tableros industriales mediante mediciones indirectas de ultrasonido pasivo.

**1.3.2       Objetivos específicos.**

Implementar un módulo de un tablero industrial para la simulación del arco eléctrico.

Analizar las características y factores que intervienen en el desarrollo del arco eléctrico

en tableros industriales.

Analizar las ondas de sonido capturados por el equipo de ultrasonido.

Realizar cálculos de pérdidas energéticas en tableros industriales.

Determinar las conclusiones y recomendaciones que sean apropiadas después de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Tableros industriales

Los tableros industriales son gabinetes en los que se concentran un conjunto de dispositivos e instrumentos cableados, tales como dispositivos de maniobra, control, conexión, protección, señalización, medida, distribución y auxiliares.

Según Jack Fleitman el tablero industrial es una herramienta poderosa para la navegación estratégica de las empresas, siendo una aplicación de autocontrol y mejora continua. (FLEITMAN, 2007)

#### 2.2 Clasificación de tableros industriales

Según Farina una clasificación bastante elemental es la que podría surgir de la función que deben cumplir, pudiendo estar destinados a más de una función o la combinación de ellas.

En este caso son los siguientes tipos a encontrar: tablero de medición de energía eléctrica, que puede ser simple o múltiple dependiendo del número de usuarios o viviendas, tablero principal, tablero seccional y tablero de fuerza motriz.

**2.2.1** *Tablero de medición de energía eléctrica.* Este tablero aloja al medidor de la energía eléctrica, cuyos medidores cuentan con gabinetes especiales para su montaje ya sean de metal como de material plástico. Al respecto es necesario destacar que las diversas empresas distribuidoras de energía eléctrica tienen distintas exigencias en cuanto a la disposición de los elementos componentes y dimensiones mínimas.

Un gabinete para un medidor de energía eléctrica individual monofásico y trifásico, se muestra en la figura 1 y para armar un tablero de medidores en un edificio de múltiples viviendas se muestra en la figura 2.

Figura 1. Gabinete medidor de energía eléctrica individual monofásica y trifásica



Fuente: Riesgo eléctrico

Figura 2. Gabinete medidor de energía eléctrica individual monofásica y trifásica



Fuente: Riesgo eléctrico

**2.2.2** *Tablero principal (TP).* Según Farina este tablero recibe la energía eléctrica directamente desde los bornes del medidor, alimentando las líneas seccionales y de los circuitos.

**2.2.3** *Tablero seccional (TS).* Este tablero es el que siendo alimentado de líneas seccionales, puede derivar en otras líneas también seccionales o de circuito, pudiendo estar separados o bien integrados, dependiendo de las características del inmueble. (FARINA, 2015)

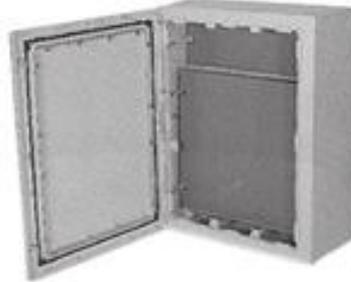
### **2.3 Forma constructiva de tableros industriales**

Según Farina la forma constructiva depende de tres aspectos importantes, de la funcionalidad, el montaje y las condiciones ambientales del lugar donde se van a montar, estando compuesto de dos partes principales: gabinete y componentes.

**2.3.1** *Gabinete.* El gabinete prácticamente es una caja, armario o envoltorio que pueden tener algunos componentes: puerta, seguro, bisagras y la placa de montaje. Desde el punto de vista constructivo los gabinetes se pueden fabricar empleando chapa de acero

laminado o bien material plástico. En la figura 3 se puede observar uno de los tipos de gabinetes.

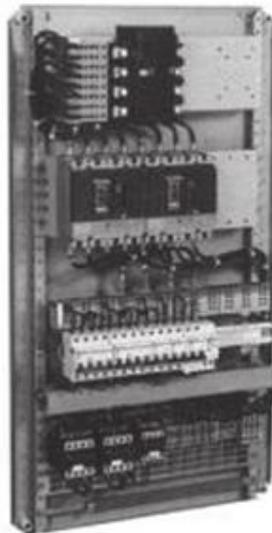
Figura 3. Gabinete metálico Gabinete metálico



Fuente: Riesgo eléctrico

**2.3.2 Componentes.** Los componentes dependen de la función a la que están destinados, por lo cual la variedad que se puede presentar es muy amplia entre los que componen están aparatos de medida (medidor de energía eléctrica, transformadores de intensidad, voltímetros, amperímetro, etc.), aparatos de maniobra (llaves, interruptores, interruptores dobles, etc.), aparatos de protección (fusibles, interruptores automáticos.) Los componentes son montados en los gabinetes sobre la placa de montaje como se observa en la figura 4, o también sobre la o las puertas, nunca sobre los laterales de los mismos, es necesario señalar que los elementos deben estar alimentados con una tensión que no presente diferencia de potencial con respecto a tierra. En lo que corresponde a cómo hacerlo sobre esta placa de montaje, existen dos posibilidades: fijado el o los elementos mediante tornillos con tuercas y arandelas o bien sobre riel tipo DIN.

Figura 4. Placa de montaje de un tablero industria



Fuente: Riesgo eléctrico

**2.3.3** *Puesta a tierra.* Los tableros deben tener un borne o una barra para la puesta a tierra, dependiendo del tamaño del mismo, en donde se conectan los cables de protección PE de los distintos circuitos y a la puesta a tierra propiamente dicha.

**2.3.4** *Montaje.* La forma de montaje viene por el diseño del mismo ya sea embutida cuando se trata de los más pequeños, sobre la superficie de la pared o estructura o bien directamente sobre el piso cuando son de mayor tamaño, siendo de forma rígida en los dos últimos casos. (FARINA, 2015)

## **2.4 Pérdidas energéticas en tableros industriales**

Generalmente las pérdidas energéticas en tableros industriales representan pérdidas económicas, entre las más conocidas están:

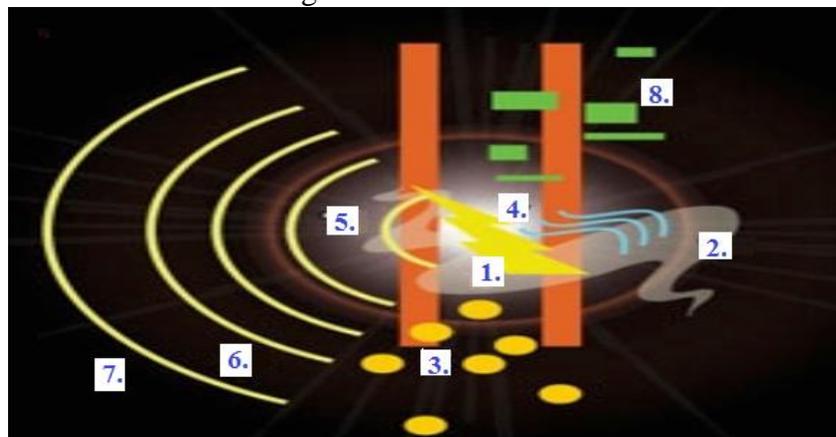
- Sobrecarga: producido por la magnitud de la tensión o corriente superior al valor preestablecido como normal (valor nominal).
- Cortocircuito: se genera por la unión fortuita de dos líneas eléctricas sin aislación, existiendo una diferencia de potencial eléctrico.
- Falta de aislación: causada principalmente por el envejecimiento de los aisladores, cortes de un conductor, uniones en mal estado entre otros. (PÉREZ HERNÁNDEZ, 2014)

## **2.5 Arco eléctrico**

Un arco eléctrico o arqueo de una falla se considera como una potencia disipada en una falla de corriente eléctrica y se refleja como un arco eléctrico, en otras palabras es un arco voltaico de corriente eléctrica a través del aire en los equipos eléctricos con un conductor vivo expuesto a otro o a tierra, pudiendo alcanzar valores tan altos que pueden producir daños irreversibles. Según Meza es peligroso debido a la exposición excesiva de calor y serios daños por quemaduras causadas por el arqueo de una falla en los sistemas eléctricos, el mismo que produce intenso calor, explosiones sonoras y ondas de presión. En la figura 5, se muestra el arco eléctrico entre dos terminales y se describen cada consecuencia al ocurrir dicho arco de la siguiente manera:

- El calor se acumula a 35 000 °F.
- El vapor de cobre, se expande por 67 000 veces.
- Funde metales.
- Luz intensa.
- El aire se calienta, rápida expansión.
- Ondas de presión.
- Ondas sonoras.
- Fragmentos de una bomba u objetos expulsados por una explosión.

Figura 5. Arco eléctrico



Fuente: (FARINA, 2015)

## 2.6 Causas del arco eléctrico

Meza menciona en su análisis el arco eléctrico puede ser iniciado por las siguientes causas:

**2.6.1 Impurezas y polvo.** Las impurezas y polvos en la superficie del aislamiento pueden producir un camino para corriente, permitiendo un arco voltaico y creando la descarga del arco a través de la superficie.

**2.6.2 Corrosión.** La corrosión proporciona impurezas en la superficie del aislamiento, debilita el contacto entre las terminales de los conductores incrementando la resistencia de contacto a través de la oxidación u alguna otra contaminación corrosiva. Este arco voltaico a tierra y la intensificación del potencial del arco de fase a fase se produce por la condensación del vapor y del goteo del agua que crea un camino en la superficie de los materiales aislantes.

**2.6.3** *Caída de herramienta.* La caída accidental de una herramienta puede generar un corto circuito momentáneo, produciendo chispas e iniciando el arco eléctrico.

**2.6.4** *Contactos accidentales.* Se puede iniciar el arco de una falla mediante el contacto accidental con la exposición de las partes vivas.

**2.6.5** *Sobre voltajes sobre espacios estrechos.* Según Meza, cuando el espacio del aire entre conductores de diferentes fases es muy estrecho, ya sea por mala calidad o daño en los conductores, el arco puede ocurrir durante los sobre voltajes temporales.

**2.6.6** *Otras causas.* El arco eléctrico puede producirse por falla de los materiales aislantes, utilización o diseño inapropiado del equipo, procedimientos de trabajo inapropiados. (MEZA HERNÁNDEZ, 2012)

## **2.7 Efectos y consecuencias del arco eléctrico**

Entre los efectos y consecuencia que produce un arco eléctrico en tableros industriales están los siguientes:

**2.7.1** *Presión.* La onda de presión de la exposición puede ser mayor de 2000 lb<sup>2</sup> ft, pudiendo lanzar al personal muy lejos hasta noquearlo.

**2.7.2** *Pérdida auditiva por explosión sonora.* El sonido puede tener una magnitud hasta de 140 dB a una distancia 60.96cm del arco.

### **2.7.3**

**2.7.4** *Quemadura de ropa.* El área de la ropa se quema más rápidamente que la piel menciona Meza en su análisis.

**2.7.5** *Calor.* Quemaduras fatales son comunes a una distancia de 3m del arco eléctrico.

**2.7.6** *Exposición a objetos.* La extensión del arco voltaico produce la caída de pequeños objetos a altas presiones, pudiendo penetrar en el cuerpo de personas.

**2.7.7** *Inhalación de gases tóxicos.* El humo generado por la combustión de los aislantes y por la vaporización de los materiales puede ser tóxico hasta asfixiantes.

## **2.8 Método de detección del arco eléctrico**

Para la detección del arco eléctrico se basan en rutinas de inspecciones y mediciones a los equipos para ver su estado, utilizando diferentes métodos entre los que están:

**2.8.1** *Método por análisis termográfico.* Este método permite medir y visualizar temperatura de superficies con precisión a distancia y sin ningún contacto, con el uso de la cámara Termográfica se estará vigilando constantemente los tableros midiendo voltajes y corrientes en diversos puntos críticos. Mediante la implementación de programas de análisis Termográfico en instalaciones, maquinaria, tableros industriales, etc. se minimiza el riesgo de una falla y sus consecuencias, ofreciendo una herramienta eficiente para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

**2.8.2** *Método por análisis de ultrasonido.* Este método permite estudiar las ondas del sonido de alta frecuencia que no son perceptibles por el oído humano.

Tecnología que estudia casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión o vacío producen ultrasonido en frecuencias a un rango de 40 KHz, frecuencia muy aprovechables en el Mantenimiento Predictivo, porque las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente y no producen rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más intenso que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido. Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 KHz. permite con rapidez y precisión la ubicación de un fallo. (GARRIDO, 2009)

## **2.9 Ultrasonido**

El ultrasonido se fundamenta en aquellas ondas sonoras cuya frecuencia está por encima de 20 kHz. Este sonido está conformado por un conjunto de ondas mecánicas longitudinales producidas por la vibración de los objetos y propagadas a través de un medio elástico, en la figura 6 se puede observar las principales características de una onda sonora y son:



**2.10.1 Características del hardware.** El hardware ergonómicamente diseñado lo llevará a través de las rutas de una manera rápida y eficiente. Las características del hardware incluyen:

Vista frontal: Cámara con flash, puntero laser, termómetro infrarrojo, como en la figura 7 se puede observar.

Figura 7. Características del sonido6



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

Vista Lateral: Ranura para la tarjeta SD, instrumento gatillo, paquete de batería, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Vista lateral del hardware Vista



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

Vista Posterior: Toma de auriculares y botón de encendido y apagado, en la figura 9 se puede observar de aquí es el lugar donde se comanda el Ultraprobe 15000 para inspecciones que se requiera de una forma rápida y sencilla de manejo y un software fácil de programar.

Figura 9. Vista posterior del hardware



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

**2.10.2 Características instrumentales.** Ultraprobe 15000 es un equipo muy versátil que cuenta con muchas características lo que permite una inspección fácil, rápida y precisa. Es muy simple de usar como una herramienta de inspección sencilla, pero este instrumento tiene funciones que una vez que aprendamos a utilizarlas nos llevarán a un mundo de oportunidades en nuestras inspecciones y análisis de datos y un adelanto en el monitoreo de condición en la industria.

Figura 10. Kit Ultraprobe 15000



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

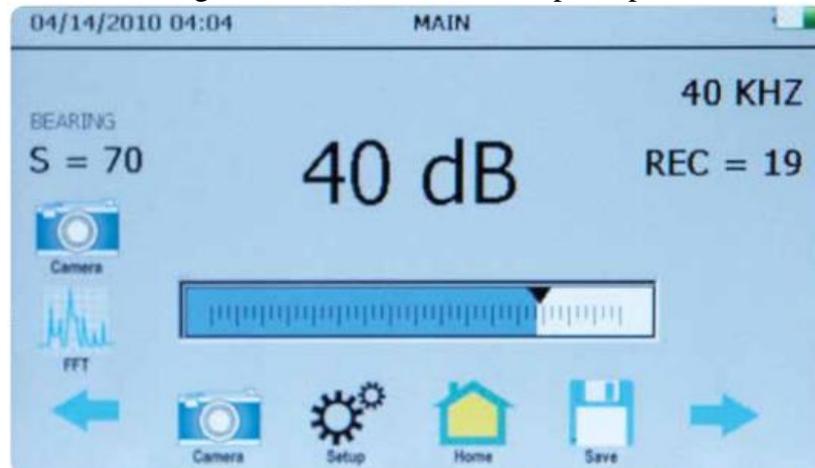
**2.10.2.1 Datos técnicos del Ultraprobe 15000.** Entre los principales datos técnicos del Ultraprobe 1500 están:

- *Construcción:* Tipo pistola de mano con recubrimiento de aluminio y plástico ABS.
- *Rango de frecuencia:* 20 kHz a 100 kHz (ajustable en incrementos de 1 kHz).
- *Tiempo de respuesta:* <10 ms.
- *Visualizador:* Pantalla Táctil QVGA- IR, Puntero Láser, Cámara, Analizador de Espectro.
- *Temperatura IR:* -20 °C a 500 °C.
- *Cámara:* 2.0 Mega Pixeles.
- *Puntero láser:* Salida Europea solo <1mW – longitud de onda 640nm – Producto láser Clase II.
- *Puntero laser:* Todos excepto salida Europea <5mW – longitud de onda 640nm – Producto láser Clase IIIa.
- *Memoria:* 400 espacios de grabación de datos.
- *Temperatura de operación:* 0 °C a 50 °C (32 °F a 122 °F).
- *Sondas (Probetas):* Módulo de escaneo trisónico y módulo estetoscopio, módulo de largo alcance y módulo RAS-MT.
- *Auriculares:* Auriculares de lujo atenuadores de ruido ambiente para utilización con casco de seguridad.
- *Indicadores:* dB, frecuencia, estado de carga de batería y gráfica de barras de 16 segmentos.
- *Sensibilidad:* Detecta fugas de diámetro 0.127 mm (0.005”) a 0.34 bar (5 psi) a una distancia de 15.24 m (50 ft.)\*
- *Umbral de audición:* 1 x 10<sup>-2</sup> std. cc/s to 1 x 10<sup>-3</sup> std. cc/s.
- *Modos de operación:* dB (principal), IR, ABCD, Espectro y Aplicación Específicos, Analizador de Espectro (modos): Espectro, Series de Tiempo y Dual Específico.
- *Paquete Ultraprobe 15,000:* Cumple y excede los requerimientos ASTM E1002-2005 para la detección de fugas depende de los parámetros de la fuga. (INC. UESYSTEMS)

**2.10.2.2 Pantalla principal.** Seleccione dos iconos para que se muestren en todo

momento en la Vista de la Pantalla Principal: decibelios, frecuencia, número de registro, niveles de sensibilidad, aplicación; toque la pantalla para cambiar la sensibilidad, la frecuencia, o ver un icono. (INC. UESYSTEMS)

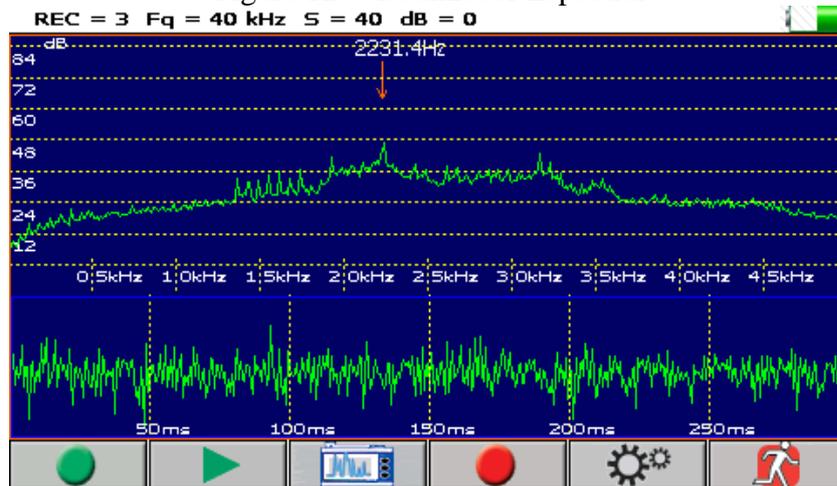
Figura 11. Pantalla con menú principal



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

**2.10.2.3 Visualizador espectral.** Tres vistas que incluyen: FFT y series de tiempo, FFT, Series de tiempo. Vea/Analice muestras de sonido en su equipo, guarde el sonido, e incluso la imagen del sonido, ajuste el tiempo de muestreo.

Figura 12. Visualizador Espectral



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

**2.10.2.4 Temperatura y dB.** Visualice los dB, vea las fluctuaciones de intensidad en una barra indicadora, vea la temperatura (°C o °F), ajuste la emisividad para exactitud en la temperatura, grabe datos, descargue datos y temperatura en su ordenador.

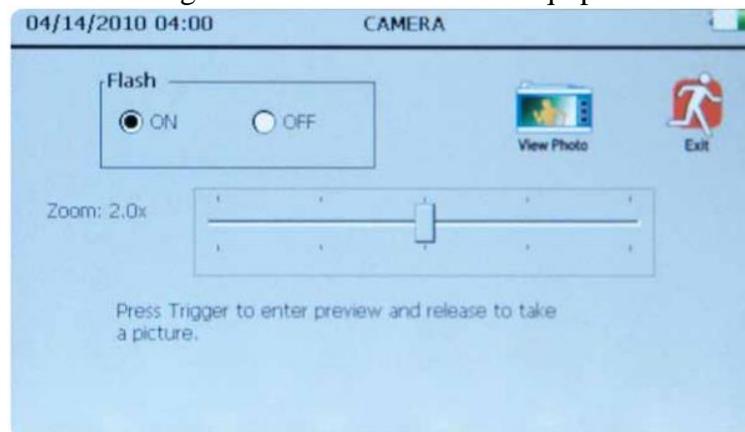
Figura 13. Temperatura y dB del equipo



Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

**2.10.2.5** *Menú de la cámara del equipo.* Tome una foto, la función de zoom le permitirá capturar un punto de prueba de cerca, flash integrado, que se puede activar o desactivar, almacene datos de las imágenes, adjunte imágenes a los datos de las inspecciones para mejorar los informes.

Figura 14. Menú cámara del equipo



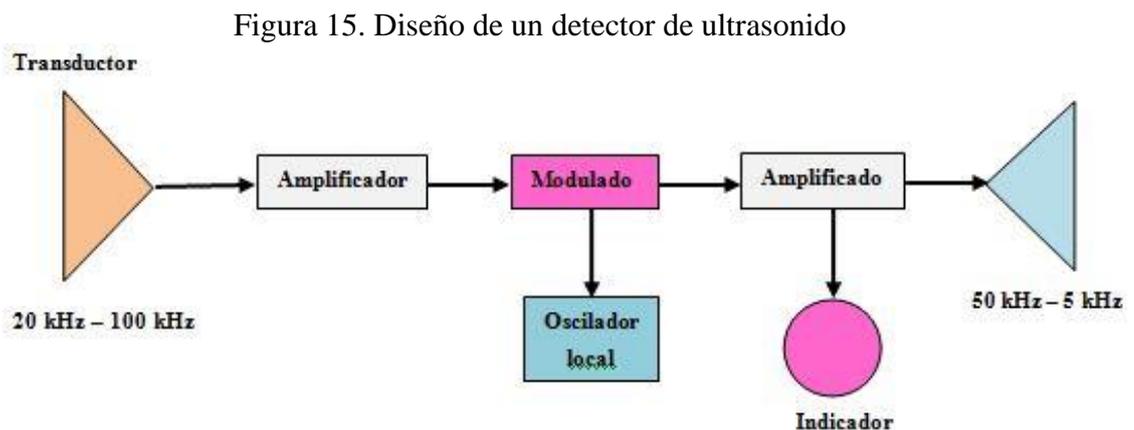
Fuente: (INC. UE SYSTEMS)

**2.10.3** *Detección de ultrasonido.* La detección de ultrasonido es una técnica empleada en el mantenimiento industrial la cual se basa en el estudio de las ondas sonoras de alta frecuencia que tiene origen en los equipos cuando algo fuera de lo común está sucediendo. Se fundamenta en el hecho de que las fuerzas de rozamiento, las descargas eléctricas y las pérdidas de presión o vacío en las plantas, generan ondas sonoras de alta frecuencia, corta longitud y rápida pérdida de energía lo que permite que los problemas en los equipos sean localizados fácil y rápidamente antes d que se produzcan fallas que causen un paro en la planta de producción de una empresa.

Los instrumentos con los que es posible transformar las ondas de ultrasonido en ondas audibles se denominan detectores ultrasónicos o medidores de ultrasonido, con la utilización de estos instrumentos las señales de ultrasonido que han sido transformadas pueden ser escuchadas por medio de audífonos y en muchos casos pueden ser observadas en una pantalla.

Los detectores ultrasónicos son fáciles de manejar esto gracias que el comportamiento del sonido es direccional, la fuente de problema es detectada debido a que el sonido que se produce aquí es mucho más fuerte que en los demás puntos inspeccionados.

Los detectores ultrasónicos cuentan con un selector de frecuencias que le permite al usuario filtrar el ruido del ambiente y escuchar la onda ultrasónica con total claridad. A continuación se muestra el diseño interno de un detector ultrasónico. (OLARTE W, 2011)



Fuente: (OLARTE W, 2011)

**2.10.4** *Aplicaciones del Ultraprobe 15000.* Entre las aplicaciones específicas donde el equipo es utilizado actualmente son:

**2.10.4.1** *Análisis y tendencias mecánicas.* Entre los análisis y tendencias mecánicas están:

- Condición de rodamiento.
- Condición de fricción.
- Cavitación.
- Engranajes y caja de engranajes.
- Bombas/ motores.

- Falta o exceso de lubricación.

**2.10.5** *Análisis de inspecciones eléctricas.* Es empleado para el análisis y detección de las siguientes fallas:

- Arco.
- Seguimiento.
- Corona.

Este instrumento detecta fallas en transformadores, tableros industriales, aisladores, reveladores, entre otros.

**2.10.5.1** *Detección de fugas y conservación de energía.* Permite detectar fallas en los siguientes casos:

- Válvulas.
- Trampas de vapor.
- Aire comprimido.
- Gases comprimidos.

## **2.11 Termografía**

Técnica que nos permite medir temperaturas a una distancia prudente y sobre todo realizar mediciones exactas y sin necesidad de contacto físico con el sistema u objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura.

Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura cuando algo está pasando por mal funcionamiento, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc. Este aumento de temperatura no se puede ser ver o apreciar sin la ayuda de un equipo termográfico.

Por lo que esta técnica es la manera más segura, rápida y sobre todo confiable para el técnico en detectar temperaturas anormales de un sistema.

## 2.12 Cámara termográfica FLIR

Esta cámara con una tecnología de punta nos permite tomar datos de diferenciales de temperatura en la superficie de los contactos de nuestro equipo de ensayo así como una fotografía en el momento exacto en que estamos tomando la medición cabe recalcar que será de mucha ayuda para el análisis de nuestros datos.

Figura 16. Cámara termográfica



Fuente: MANUAL FLIR

Tabla 1. Características de la cámara termográfica

<b>Características de ergonomía</b>	<b>Tamaño compacto, ligero, diseño de bolsillo.</b>
Tipo de batería	VT04: Recargable de ion litio VT04A: Cuatro (4) pilas AA.
Opciones de alineación	NEAR: <23 cm (9 pulg.) desde el objetivo FAR: >23 cm (9 pulg.) desde el objetivo
Campo de visión	28° x 28°: el campo visual ajustado permite ver el objetivo con más detalle.
Rango de medida de temperatura	De -10 °C a +250 °C (de 14 °F a 482 °F)
Sistema de enfoque	Sin enfoque
Alarma de temperatura alta/baja	Sí, las alarmas de temperaturas altas y bajas parpadean cuando se excede el límite de temperatura, avisándole de que la temperatura se encuentra fuera del intervalo previsto.
Marcadores de punto más caliente y más frío	Sí, identifique inmediatamente los puntos más caliente y más frío en su imagen.
Software	El software Professional SmartView® le permite optimizar y analizar las imágenes, crear informes rápidos y exportar las imágenes en diversos formatos.

Fuente: Manual Flir

## 2.13 Fundamentos de electricidad

**2.13.1 Voltaje.** Se denomina fuerza electromotriz a la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica. Para ello se necesita la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos o polos (uno negativo y otro positivo) de dicha fuente que sea capaz de bombear e impulsar las cargas eléctricas a través de un circuito cerrado. Se la denomina con la letra V y su unidad es el voltio (ASTUDILLO, 2009)

$$V = I * R \quad (1)$$

**2.13.2 Intensidad de Corriente Eléctrica.** Es la cantidad de corriente eléctrica que circula por un circuito en la unidad de tiempo, básicamente existen dos tipos de corriente eléctrica, la corriente continua y la alterna en nuestro caso todo será realizado en función a la corriente alterna para denominar la intensidad de corriente se utiliza la letra I y su unidad es el amperio. (ASTUDILLO, 2009)

Para circuitos monofásicos se utiliza la ecuación:

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

Para circuitos trifásicos se utiliza la ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\phi} \quad (3)$$

**Potencia Eléctrica.** Es la relación del paso de energía de un flujo por unidad de tiempo es decir la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. La potencia eléctrica se representa con la letra P y la unidad de medida es el vatio. Para el cálculo y diseño eléctrico de los diversos circuitos de potencia y control se utilizara las siguientes ecuaciones. (ASTUDILLO, 2009)

$$P = V * I \quad (4)$$

$$P = I^2 * R \quad (5)$$

**2.13.3** *Tipos de circuitos.* Los más utilizados son serie y paralelo.

- *Circuitos serie.* En un circuito serie los receptores o consumidores están instalados uno a continuación del otro en la línea eléctrica, de tal forma que la corriente que atraviesa el primer consumidor será la misma que atraviesa el último (consumidor)
- *Circuitos paralelo.* En un circuito en paralelo cada receptor o consumidor conectado a la fuente de alimentación lo está de forma independiente al resto; cada uno tiene su propia línea, aunque haya parte de esa línea que sea común a todos los demás consumidores.

Tabla 2. Características de los circuitos serie y paralelo

<b>Magnitud</b>	<b>Serie</b>	<b>Paralelo</b>
<b>Resistencia</b>	Aumenta al incorporar receptores	Disminuye al incorporar receptores
<b>Caída de tensión</b>	Cada receptor tiene la suya que aumenta con su resistencia La suma de todas las caídas es igual a la de la fuente	Es la misma para cada uno de los consumidores e igual a la de la fuente
<b>Intensidad</b>	Es la misma en todos los consumidores e igual a la general en el circuito. Cuantos más consumidores menor será la corriente que circule	Cada receptor es atravesado por una corriente independiente, menor cuanto mayor resistencia tenga. La intensidad será mayor cuantos más consumidores tengamos en el circuito, y la intensidad total es la sumatoria de las intensidades individuales de cada receptor.

Fuente: (ASTUDILLO, 2009)

**2.13.4** *Calibre del conductor.* La capacidad de conducción de corriente de los todos los conductores eléctricos depende de muchos factores, entre los cuales podemos mencionar los siguientes: tipo de instalación (conduit, ducto, ducto subterráneo, etc.), de la temperatura de operación de los conductores seleccionados, de la longitud del circuito, etc.

Ecuaciones para el cálculo de conductores:

Líneas de corriente alterna monofásica

$$S = \frac{2\rho L \cos\phi}{\Delta V} \quad (6)$$

Líneas de corriente alterna trifásicas

$$S = \frac{\sqrt{3}\rho L \cos\phi}{\Delta V} \quad (7)$$

Se selecciona el calibre del conductor de acuerdo con la capacidad de conducción de corriente del cable, que depende del tipo de aislamiento, de la temperatura de operación y del método de instalación, la función básica de un cable consiste en transportar energía eléctrica en forma segura y confiable desde la fuente de potencia a las diferentes cargas.

De acuerdo a la norma NOM-001-SEDE-2005 si la corriente en el circuito es mayor a 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor de 75 °C. Si la corriente es menor de 100 A, se elige la capacidad de corriente a una temperatura de operación del conductor a 60 °C.

La capacidad de conducción de corriente de los conductores debe ser mayor o igual al valor nominal o de ajuste del dispositivo de protección de sobre corriente del circuito una regla sencilla es tomar 2 % como caída de tensión máxima, tanto en alimentadores como en circuitos derivados, para evitar que la suma de caídas exceda el 5 %.

Tabla 3. Capacidad de conducción de corriente

Calibre AWG Kcmil	Área de sección transversal nominal [mm <sup>2</sup> ]	Temperatura nominal del conductor					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, EHW-2 THHN, THW-2 THHW-LS XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	76,4	145	175	195	115	135	150

Tabla3. (Continuación)

3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385

Fuente: (Latincasa, 2011)

La norma NOM-001-SEDE-2005 “Capacidad de conducción de corriente [A] permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de 3 conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C”. A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta norma, la protección contra sobre corrientes de los conductores marcados con un asterisco (\*), no se debe superar los 15 A para 14 AWG, 20 A para 12 AWG, y 30 A para 10 AWG, todos de cobre”.

Una vez elegido el calibre del conductor, corregir la capacidad de conducción de corriente tomada de la tabla anterior, en función de la temperatura ambiente del lugar de instalación, para ello se multiplica por el factor de corrección que se indica en la tabla 3-2 la cual nos ayudará a visualizar de mejor manera lo antes expuesto.

Tabla 4. Factores de corrección por temperatura

<b>Temperatura ambiente del lugar de instalación [°C]</b>	<b>60 °C</b>	<b>75 °C</b>	<b>90 °C</b>
21-25	1,08	1,05	1,04
26-30	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,94	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76

Fuente: (Latincasa, 2011)

Si existen más de tres conductores por tubería (conduit) portadores de corriente, corregir

la capacidad de conducción de corriente multiplicando ésta por los factores de la tabla 4-2. (Norma NOM-001-SEDE-2005).

**2.13.5** *Calcular la caída de tensión.* La caída de tensión de la instalación de la instalación eléctrica, tanto para circuitos monofásicos así como para circuitos trifásicos es muy útil realizarlo utilizando la ecuación que interactúa con la longitud para ello tenemos las siguientes formulas:

Circuito monofásico

$$\Delta V = \frac{2 * R * L * I}{V_o} * 100 \quad (8)$$

Circuito trifásico

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * R * L * I}{V_f} * 100 \quad (9)$$

Dónde:

$\Delta V$  = Caída de tensión del cable [%]

I = Intensidad de corriente eléctrica que circula a través del conductor [A]

L = Longitud total del circuito [m]

$V_o$  = Tensión de fase a neutro en [V]

$V_{ff}$  = Tensión entre fases en [V]

R = Resistencia del terreno en [ $\Omega$ ]

**2.13.6** *Elementos de protección.* Los elementos de protección de los consumidores son:

- Protección contra cortocircuitos.
- Fusibles Interruptores automáticos con sistema de disparo electromagnético
- Protección contra sobrecargas.
- Fusibles Interruptores automáticos con curva térmica de disparo

## Cálculo de la corriente de protección con fusibles

$$I_F = K \times I_N \quad (10)$$

Donde:

$I_F$ = Corriente de protección de fusibles

$K$ = Constante protección

$I_N$ = Corriente nominal a plena carga.

Protección contra contactos directos. Son contactos de personas con partes activas de los materiales o equipos. La protección contra los contactos directos consiste en tomar las medidas destinadas a proteger a las personas contra los peligros que resultan de un contacto con partes activas de los materiales eléctricos evitando que el contacto tenga lugar, de acuerdo con la norma UNE 20460-4-47:1996, que especifica que todos los materiales deberán estar sujetos a una de las medidas de protección contra los contactos directos previstas en la norma UNE 20460-4-41:1998. (VALENCIA)

Protección contra contactos indirectos. : Está concebida para proteger a las personas contra los peligros que pueden derivarse de un defecto de aislamiento entre las partes activas y masa u otras partes conductoras accesibles. Son contactos de personas con masas puestas accidentalmente bajo tensión, son de dos tipos:

- Medidas de protección de clase (A).- Separación de partes activas y masas, recubrimiento de las masas.
- Medidas de protección de clase (B).- Puesta a tierra o a neutro de las masas

Protección diferencial. Detecta fallos de aislamiento o contacto accidental de una persona con una tensión, tiene una sensibilidad mínima de 30, 100, 300, 500 mA, 1 A

- Según sea la necesidad del proceso. (SÁNCHEZ, 2003)

## CAPÍTULO III

### 3. MODELO TEÓRICO DEL MÓDULO DE PRUEBAS

Para la construcción de este banco de pruebas al ser un módulo empíricamente propuesto se ha encontrado en la necesidad de realizar experimentos con distintos materiales y consumidores, los que al arrojarlos datos favorables para este estudio se los han elegido, no por su elección calculada teóricamente, sino más bien por su uso satisfactorio para la realización del análisis.

Figura 17. Módulo de experimentación.



Fuente: Autores

#### 3.1 Descripción de los elementos utilizados en el módulo de experimentación

**3.1.1** *Tablero de control eléctrico.* El tablero de control eléctrico que se observa en la figura, es una caja que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, y mando.

Hay que tener en cuenta que como se lo citaba en el capítulo anterior los tableros eléctricos se dividen según sus utilidades en la industria ya que estos vienen con medidores o contadores, instrumentos de mando y salida a los circuitos, entonces para este ensayo o experimento no se ocupara un tablero de control de gran tamaño sino que más bien se lo hará didácticamente como laboratorio.

Figura 18. Tablero de control eléctrico



Fuente: Autores

Tabla 5. Características del tablero eléctrico

<b>Tamaño</b>	50x 75 x 25 mm
<b>Color</b>	Crema
<b>Material</b>	Metal

Fuente: COVISA

**3.1.2** *Descripción del disyuntor.* El disyuntor o interruptor eléctrico que se observa en la figura, es un aparato capaz de interrumpir o abrir el circuito eléctrico cuando por el circula un exceso de corriente eléctrica o cortocircuito, evitando daños en los equipos, cuyas características se encuentran detalladas en la tabla.

Figura 19. Disyuntor



Fuente: Autores

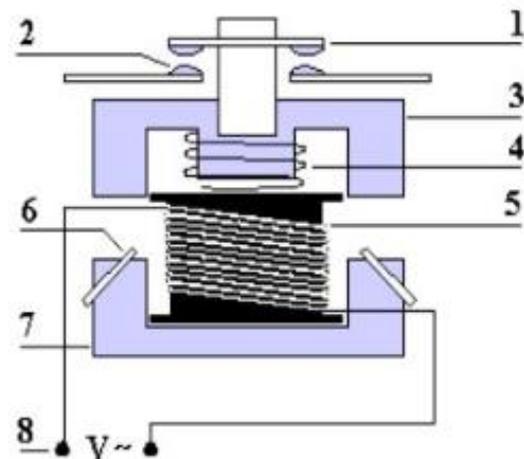
Tabla 6. Características del disyuntor

<b>Marca</b>	Schneider
<b>Número de modelo</b>	YCL7-63
<b>Dimensiones</b>	54x77
<b>Corriente</b>	32 A
<b>Tensión</b>	230/400V
<b>Lugar de origen</b>	China

Fuente: COVISA

**3.1.3 Descripción del contactor.** El contactor que se observa en la figura, es un dispositivo que interrumpe el paso de corriente eléctrica del circuito, tan pronto se de tensión a la bobina.

Figura 20. Contactor



- 1- Contactos móviles. 2 - Contactos fijos.
- 3- Hierro móvil. 4 - Muelle antagonista. 5 - Bobina.
- 6- Espira de sombra (en corriente alterna).
- 7- Hierro fijo. 8 - Alimentación bobina.

Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013) / Autores

Tabla 7. Características del contactor

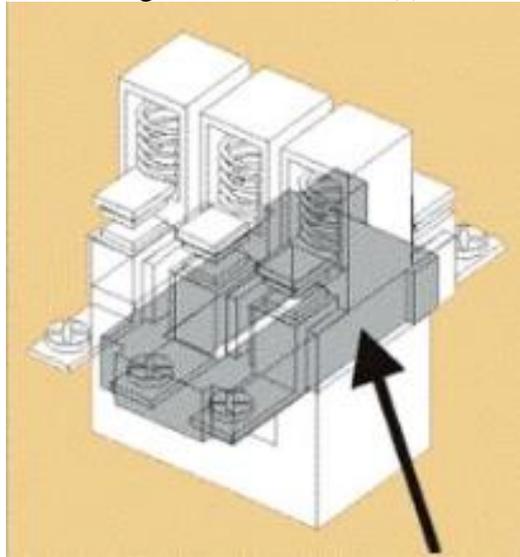
<b>Fabricante</b>	LS
<b>Serie/Modelo</b>	Metasol
<b>Control</b>	CA o CC
<b>Contacto principal</b>	3 polos MC-9b
<b>Voltaje de bobina</b>	220 VAC
<b>Corriente</b>	9 A
<b>Contactos auxiliares</b>	1NO+ 1NI

Fuente. COVISA

**3.1.3.1** *Principio de funcionamiento del contactor.* Los principios son los siguientes:

- Se aplica energía eléctrica a los terminales de la bobina, la corriente fluye en la bobina creando un campo magnético.

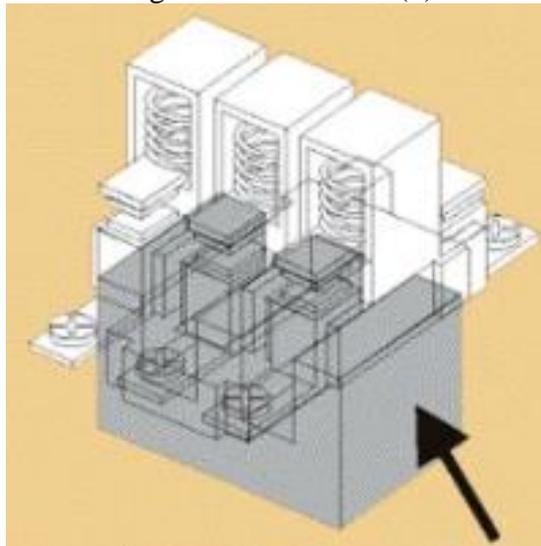
Figura 21. Contactor (a)



Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013)

- La bobina a su vez magnetiza el armazón o núcleo E, transformándolo en un electroimán.

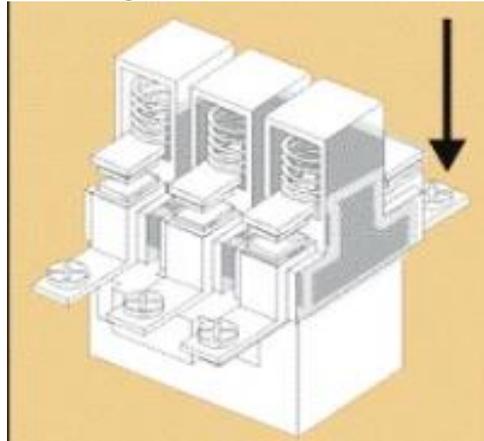
Figura 22. Contactor (b)



Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013)

- El electroimán atrae la armadura o carcasa hacia él.

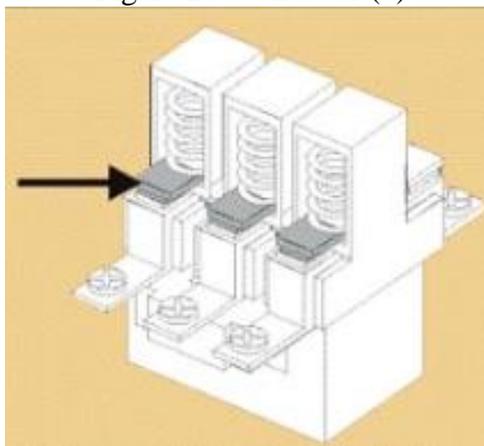
Figura 23. Contactor (c)



Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013)

- Los contactos se atraen uno hacia el otro

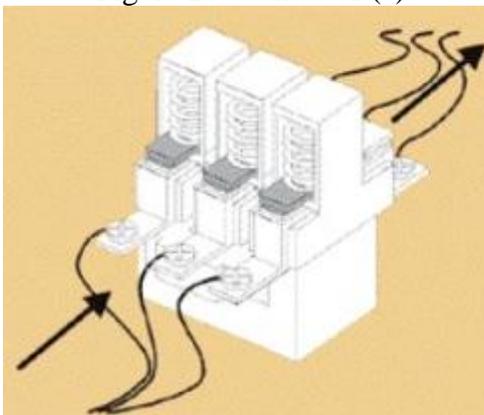
Figura 24. Contactor (d)



Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013)

- La energía fluye a través del contactor hacia la carga.

Figura 25. Contactor (e)



Fuente: (FLOWER LEIVA, 2013)

**3.1.3.2** *Criterios para la selección del contactor.* Para elegir el contactor más conveniente y adecuado se debe tener las siguientes condiciones presentes:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y frecuencia.
- Potencia nominal de carga.
- Condiciones de servicio. Ligera, normal, dura, extrema esto basado en sus maniobras (marcha por impulsos permanentes o inversión inmediata en un motor) que modifican la intensidad de arranque y de corte.
- Frecuencias de maniobras (cierre, apertura), robustez mecánica (maniobra en vacío), y robustez eléctrica (maniobras bajo carga).
- Si es para el circuito de potencia o mando y el número de contactos auxiliares que se necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.
- Por la categoría de empleo.

**3.1.3.3** *Causas de deterioro y daño del contactor.* Cuando un contactor no funciona o lo hace en forma deficiente lo primero que debe hacerse es revisar el circuito de mando y de potencia (esquemas y montaje), verificando el estado de los conductores y de las conexiones porque se pueden presentar falsos contactos o tornillos flojos, etc.

En la bobina:

- La tensión permanente en la alimentación especificada por el fabricante.
- El cierre del contactor se puede producir con el 85% de  $V_n$  y la apertura se puede producir si está descendiente en un 65 %.
- Cuando se produce sobreintensidad en la red de alimentación.

- Cuando se producen caídas de tensión frecuentes y de corta duración, se puede emplear retardadores de apertura capacitivos.
- Si el núcleo y la armadura no se cierran por completo la bobina se recalentará hasta deteriorarse por completo.

En el núcleo y la armadura:

- Cuando el núcleo y la armadura no se juntan bien se produce un campo magnético ruidoso.
- La tensión de alimentación de la bobina si es inferior a la específica genera un campo magnético débil sin la fuerza suficiente para atraer a la armadura.
- Los muelles pueden estar vencidos por fatiga del material o están muy tensos.
- La presencia de suciedad y presencia de cuerpos extraños en las superficies rectificadas del núcleo y la armadura.

En los contactos:

- Hay que revisar si el contactor corresponde a la potencia nominal ( $P_n$ ) de la carga.
- Cuando la elección no ha sido la adecuada. Y la intensidad de bloqueo del consumidor es inferior al poder de cierre del contactor el daño puede tener su origen en el circuito de mando.
- Caída de tensión en la red provocada por una sobre intensidad en los consumidores.
- Cortes de tensión en la red.
- Vibración en los contactos de enclavamiento que repercuten en el electroimán del contactor de potencia provocando un cierre incompleto y soldadura de los contactos.

**3.1.4 Descripción del relé térmico.** El relé térmico que se observa en la figura 26, es un aparato capaz de proteger la carga contra las sobrecargas débiles y prolongadas, optimizando la durabilidad y continuidad de trabajo del equipo.

Así este se activará cuando se haya encontrado una sobrecarga en el tablero esto sucederá por el incremento de temperatura que por el paso de los electrones por los diferentes ramales de nuestros circuitos en el tablero de control o en el área de los consumidores así como en los conductores los cuales pueden empezar a que marce por el alza de la temperatura en los mismos.

Figura 26. Relé térmico



Fuente: Autores

Tabla 8. Características del relé térmico

<b>Marca</b>	STECK
<b>Modelo</b>	S-D225Z1G
<b>Ui</b>	660V
<b>Clase de disparo</b>	10 A
<b>Contacto auxiliar</b>	AC-15
<b>Ue</b>	230V / 400V
<b>Ie</b>	1.57A / 0,9 A

Fuente: COVISA

**3.1.5 Descripción del cable electrocable.** Es un conductor unifilar de cobre recubierto de un material aislante o protector, utilizado para realizar las conexiones eléctricas entre los diferentes componentes del tablero de control, el mismo se observan en la figura.

Figura 27. Cable térmico



Fuente: ELECTROTELECOM

Tabla 9. Características del cable térmico

<b>Color</b>	Negro, azul, amarillo y rojo
<b>Calibre #</b>	14
<b>Voltaje</b>	0-220V AC y DC
<b>Estructura</b>	1 cable de cobre y aislante termoplástico

Fuente: Autores

**3.1.6** *Descripción de las resistencias de potencia.* Las resistencias de alta potencia tienen por característica entregar una gran cantidad de calor y carga con poca alimentación esta son utilizadas para calentadores industriales.

Figura 28. Resistencias de potencia



Fuente: Autores

Tabla 10. Características de las resistencias

<b>Fabricante</b>	Mundo resistencia S.A
<b>Material</b>	Niquelina
<b>Control</b>	CA o CC

Tabla 10. (Continuación)

<b>Voltaje de bobina</b>	220 VAC
<b>Corriente</b>	10 A

Fuente: Autores

**3.1.7** *Descripción de los terminales térmicos.* Debido a la alta temperatura generada por las resistencias de potencia se han colocado afuera de la caja terminales en cada resistencia, puntos de contacto que tienen por característica soportar altas temperaturas y sobrecargas de corriente estos además son los que nos facilitaran hacer las conexiones para la toma de medidas con las pinzas amperimétricas donde se ha tomado mediciones de corriente y voltaje en cada uno de los puntos que se requieran para el estudio de este fenómeno eléctrico estos contactos fueron adquiridos en función a la tensión que se tiene en el circuito y a la temperatura.

Figura 29. Terminales térmicos



Fuente: Autores

**3.1.8** *Descripción de los elementos de marcha, paro y señalización.* Para este tablero de control se ha utilizado dos pulsadores uno de marcha y uno de paro marca Camsco además de luces piloto de igual manera de marcha y de paro que servirán como señales de este experimento, Norma IEC 60204-1 códigos de colores. En cuya norma se especifica que el color verde será utilizado cuando el sistema se encuentre energizado o esté funcionando y el color rojo significa paro o que el sistema o circuito se encuentra detenido, es decir, no habrá el paso de energía eléctrica por ningún elemento del módulo a partir de la caja térmica solo se encontrarán energizadas las líneas de alimentación de alta.

Figura 30. Elementos de marcha, paro y señalización



Fuente: Autores

**3.1.9** Descripción de elemento disipador de calor. Con el fin de disipar el calor creado por las resistencias de potencia en el interior de la caja que las contienen se ha visto necesario utilizar este elemento como un ventilador industrial el cual evacuará la temperatura de la caja de resistencias.

Figura 31. Elemento disipador de calor



Fuente: Autores

Tabla 11. Características del elemento disipador de calor

<b>Fabricante</b>	Blower
<b>Size</b>	2 “
<b>Pase</b>	1
<b>Volt</b>	110 V
<b>Amp</b>	1.5 A
<b>Cycle</b>	60 Hz
<b>Rpm</b>	3000

Fuente: Autores

### 3.2 Descripción del dispositivo de prueba

Para la construcción del dispositivo donde vamos a realizar el modo de fallo, esto quiere decir, donde se hará la formación del el arco eléctrico se ha separado uno de los contactos de un contactor, para estudiar su composición y su forma de funcionamiento de esta manera empíricamente se ha realizado con fines destinados a la experimentación de las fallas que se requieren para dar variaciones de corriente a la carga de una manera controlada cabe recalcar que se puede controlar la formación del arco eléctrico mas no la intensidad del mismo así los resultados obtenidos sean satisfactorios para el análisis del estudio.

Figura 32. Dispositivo de fallo



Fuente: Autores

Tabla 12. Características del dispositivo de fallo

<b>Fabricante</b>	Autores
<b>Material contactos</b>	bronce
<b>Material aislante</b>	Fibra dieléctrica
<b>Estabilización</b>	Muelles
<b>Pernos de sujeción</b>	M8
<b>Terminales de conexión</b>	Terminales térmicos

Fuente: Autores

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE PRUEBAS

#### 4.1 Descripción del procedimiento

**4.1.1** *Metodología.* A continuación se presenta la metodología que se utilizó para la toma de datos tanto de ultrasonido, termografía; para esto se utilizó el módulo didáctico que se puede ver en la (fig. 1-3) en el cual se procedió a realizar dos maneras de la recepción de los datos la primera que se la realizara con un circuito cerrado y la segunda con la presencia del modo de fallo simulado en el dispositivo de experimentación.

**4.1.2** *Normalización para inspecciones eléctricas.* Antes de iniciar cualquier inspección eléctrica hay que asegurarse de repasar y cumplir con todos los procedimientos de seguridad. Según la norma NFPA 70E exige que todas las personas que trabajen con electricidad realicen una evaluación del peligro de cualquier labor que implique más de 50V donde haya posibilidad de un incidente con arco eléctrico.

**4.1.3** *Normalización para inspecciones termográficas.* Para evaluar la severidad de una falla se utiliza el criterio delta de temperatura en este se determina la diferencia de temperaturas entre los puntos a ser estudiados o los puntos de fallas comparándolo con otros de referencia. Según la norma NETA se estima los siguientes criterios de severidad de un problema eléctrico.

Tabla 13. Criterios de severidad de un problema eléctrico según NETA

Nivel	Temperatura medida	Clasificación	Acción
1	1°C a 10°C O/A 1°C a 3°C O/S	Posible deficiencia.	Se requiere mayor información.
2	11°C a 20°C O/A 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia.	Reparar en la próxima parada disponible.
3	21°C a 40°C O/A >15°C O/S	Deficiencia.	Reparar tan pronto como sea posible.
4	>40°C O/A >15°C O/S	Deficiencia mayor.	Reparar inmediatamente.

O/A= Sobre temperatura ambiente.  
O/S= Sobre temperatura de cuerpo similar en condición.

Fuente: norma NETA

**4.1.4 Configuración del equipo de ultrasonido.** Para poder realizar toma de datos con el instrumento de análisis de ultrasonido Ultraprobe 1500 primero hay que setear a las condiciones y especificaciones con las que se procederá a trabajar en este caso para inspección eléctrica.

Así que primero se coloca el dispositivo Flex o sonda de enfoque de hule que es el ideal para inspecciones eléctricas.

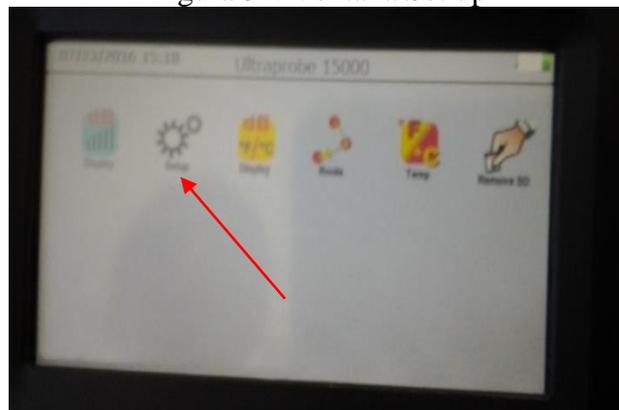
Figura 33. Dispositivo flex



Fuente: Autores

Luego de haber seleccionado el dispositivo se enciende el equipo y en la pantalla de inicio después se selecciona la ventana Setup para dar inicio a las configuraciones que se necesitan para la inspección. Aquí en esta ventana de configuraciones que se debe tomar en cuenta que parámetros se va a medir y la aplicación en la que el equipo va a realizar la inspección ya que al poseer este varia aplicaciones necesita ser configurado para cada una de estas en este caso una aplicación eléctrica y así tener una inspección satisfactoria debe seguirse entonces cuidadosamente los siguientes pasos para la programación del equipo.

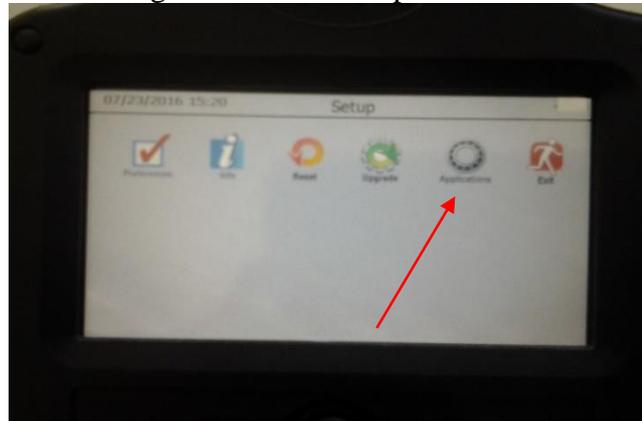
Figura 34. Ventana Set up



Fuente: Autores

El siguiente paso después de entrar a la ventana de configuración será ingresar a la ventana de aplicaciones.

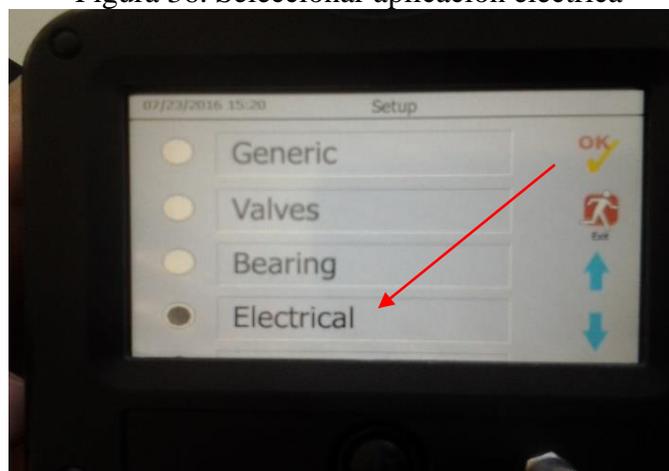
Figura 35. Ventana aplicaciones



Fuente: Autores

En esta ventana es donde se selecciona la aplicación eléctrica y así el equipo automáticamente se configurara para realización de inspecciones eléctricas.

Figura 36. Seleccionar aplicación eléctrica



Fuente: Autores

Una vez seleccionada la aplicación se presiona OK en el lado superior derecho y de esta manera ya el equipo quedará listo para la inspección

#### 4.2 Mediciones en estado normal de funcionamiento

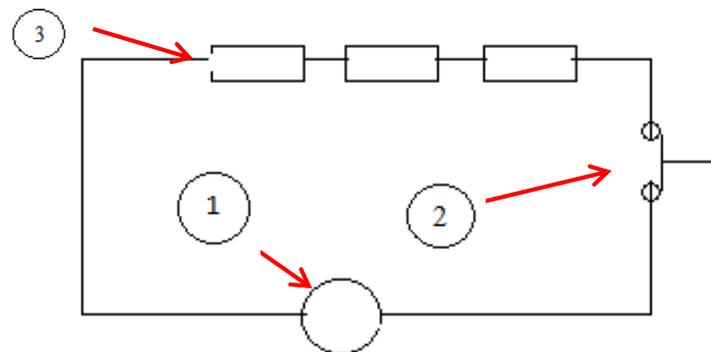
Para comenzar con la toma de datos de este experimento se ha planteado dos maneras de toma de mediciones, las cuales ayudarán a entender los fenómenos y efectos que produce

el arco en el módulo de pruebas, de esta manera la primera forma, manera o condición de toma de medidas es llamada en estado normal, esto quiere decir, que en este paso no será necesaria la creación y presencia del arco eléctrico en el dispositivo de fallo ,estas tomas las recogen los instrumentos de medición y serán las que se utilizarán como referencia para las posibles fluctuaciones que se pueden presentar en adelante.

**4.2.1** *Ubicación de los puntos de medición.* Se presenta el diagrama de conexión del experimento en forma sintetizada claro acompañado de una fotografía de los puntos en el módulo en donde se indicara la ubicación de los puntos donde serializarán la toma de datos de acuerdo a las variaciones y necesidades que se tendrá para la demostración de los efectos.

El diagrama de la (figura 37) es un diagrama de ubicación de los puntos únicamente mas no de cómo estos están conectados en el módulo

Figura 37. Ubicación de los puntos de medición



Fuente: Autores

En la figura anterior se tiene especificados los puntos donde se tomarán los datos, en estos puntos se realizarán tomas de corriente y voltaje el número 1 nos indica la toma de voltaje en la fuente de energía para este caso en los bornes de salida del tablero de control ubicado en la parte superior del módulo de experimentación así como se lo indica en la (figura 38).En este punto de medición se debe tener precaución ya que por facilidades didácticas y de toma de datos para el análisis en el módulo se procedió a separar las líneas y colocarlas con borneras separadas pero ancladas al mismo tablero eléctrico , se debe tener la precaución de no hacer contacto la punta de la pinza amperimétrica con la caja porque se realizaría un cortocircuito y se dañaría el instrumento de medición.

Figura 38. Punto de medición fuente



Fuente: Autores

El literal 2 de la (figura 37) es el punto de medición referente a el dispositivo de fallo en este dispositivo se tomarán mediciones de corriente tanto cuando esté en posición cerrado o en funcionamiento normal así como cuando se produzca el arco eléctrico. En la (figura 38) se muestra la manera de cómo se debe tomar la medida ya que para ésta se ocupa una pinza amperimétrica

Figura 39. Punto de medición en el dispositivo de fallo



Fuente: Autores

Por último el literal 3 de la (figura 37) se muestra el punto donde se tomarán los datos de voltaje del circuito denominado así porque se realizarán variaciones con las conexiones de las resistencias para así tener varias datos y poder realizar un análisis más cercano a los objetivos planteados. Así en la (figura 37) se muestra los puntos donde se pueden tomar los datos en la caja que contienen las resistencias de alta potencia en la parte inferior del módulo de ensayo.

Figura 40. Punto de medición en el circuito de resistencias



Fuente: Autores

**4.2.2** *Mediciones realizadas la pinza amperimétrica en condiciones normales.* A continuación se presentan tablas en las cuales se han recolectado los datos obtenidos en cada uno de los puntos anteriormente mencionados se ha realizado ensayos con cargas puntuales de resistencias de  $67 \Omega$ ,  $42 \Omega$  y dos resistencias en serie de  $42 \Omega$ . Cabe recalcar que el ítem de potencia que viene en las tablas se lo ha obtenido mediante la fórmula (4).

- Medición con una resistencia de  $67 \Omega$ .

Tabla 14. Mediciones con resistencia de  $67 \Omega$ .

<b>Sin arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	213	3,15
2	213	3,14
3	213	3,15
4	213	3,16
5	213	3,15
<u>Total</u>	213	3,15

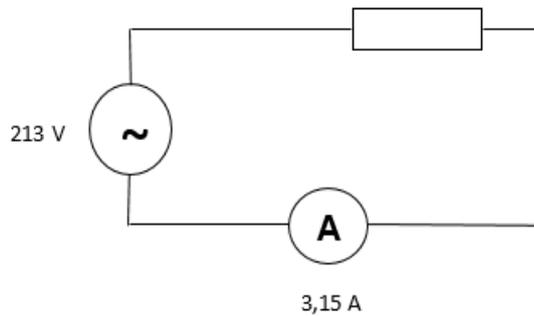
Fuente: Autores

Tabla 15. Datos con un consumidor de  $67 \Omega$  en condiciones normales

<b>Sin arco eléctrico</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	213	213
Intensidad ( A )	3,15	3,15	3,15
Potencia ( W )	0	670,95	670,95

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado y midiendo la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4).



$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = 213 * 3,15 * 1$$

$$P = 670,95 \text{ W}$$

- Medición con una resistencia de 42  $\Omega$ .

Tabla 16. Mediciones con resistencia de 42  $\Omega$ .

<b>Sin arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	212	5,06
2	212	5,07
3	212	5,09
4	212	5,07
5	212	5,07
<u>Total</u>	212	5,07

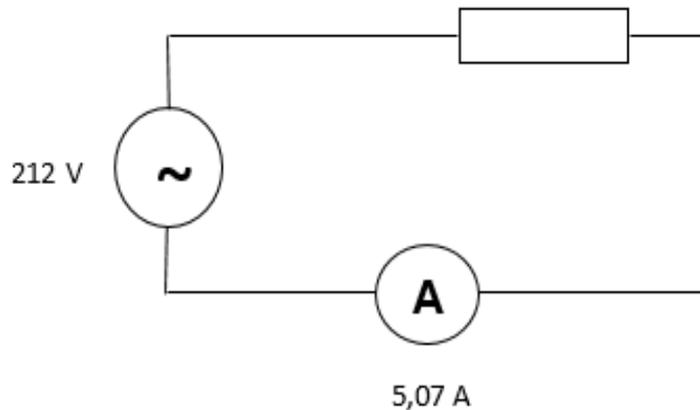
Fuente: Autores

Tabla 17. Datos con un consumidor de 42  $\Omega$ . en condiciones normales

<b>Sin arco eléctrico</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	212	212
Intensidad ( A )	5,07	5,07	5,07
Potencia ( W )	0	1074,84	1074,84

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4).



$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = 212 * 5,07 * 1$$

$$P = 1074,8 \text{ W}$$

- Medición con una resistencia de 84 Ω.

Para realizar esta medición se conecta dos resistencias de 42Ω en serie se procede con la toma de datos.

Tabla 18. Dos resistencias en serie de 42 Ω.

<b>Sin arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	213	2,49
2	213	2,49
3	213	2,49
4	213	2,49
5	213	2,49
<u>Total</u>	213	2,49

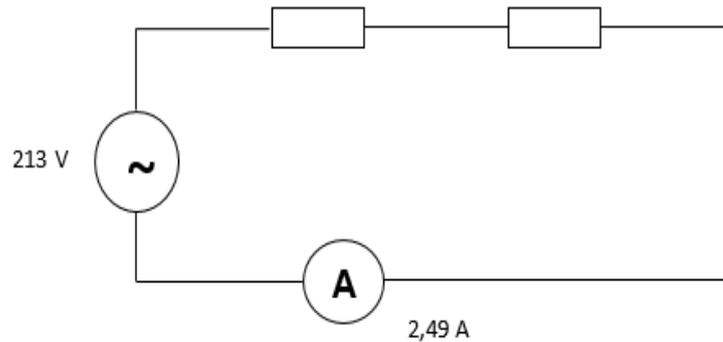
Fuente: Autores

Tabla 19. Datos con un consumidor de 84Ω en condiciones normales

<b>Sin arco eléctrico</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	213	213
Intensidad ( A )	2,49	2,49	2,49
Potencia ( W )	0	530,37	530,37

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4)



$$R_t = R_1 + R_2$$

$$R_t = 42\Omega + 42\Omega$$

$$R_t = 84\Omega$$

$$P = V * I * \cos\phi$$

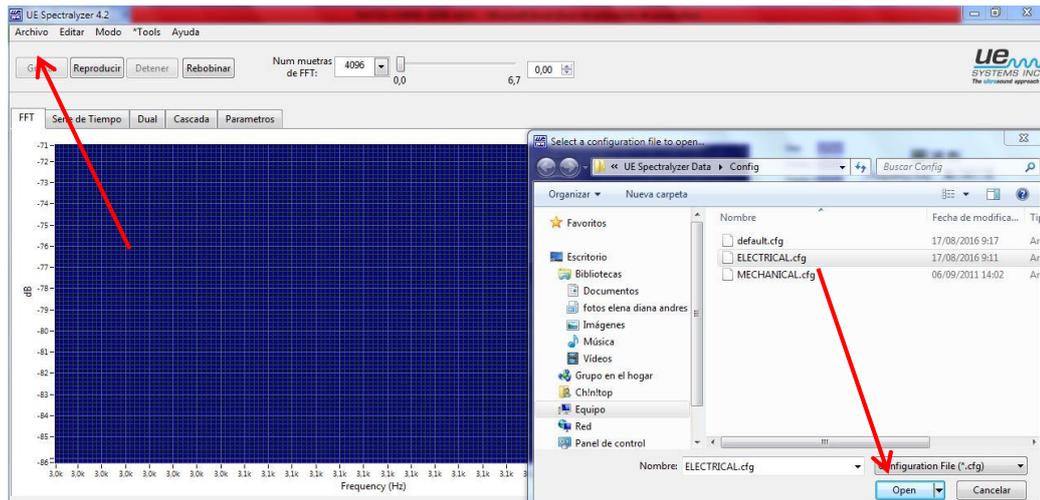
$$P = 213 * 2,49 * 1$$

$$P = 530,37$$

**4.2.3 Mediciones realizadas con el equipo de ultrasonido.** Para la inspección con el equipo de ultrasonido Ultraprrobe 1500 primero se debe instalar el programa “UE SPECTRALYZER 4.2” el mismo que viene en un CD en el portafolio del instrumento que está en el laboratorio de eficiencia energética ubicado en el edificio del Mecánica de la ESPOCH y es de fácil instalación solo se debe contar con una PC de 32bits y el procesador Windows XP Profesional.

Una vez que esté instalado en la computadora al abrirlo hay que configurarlo para inspecciones eléctricas con un sencillo paso que es ingresando a la ventana de archivo y después se da clic en cargar configuración ahí se abrirá una ventana donde se deberá elegir la aplicación eléctrica dar aceptar y listo se puede seguir con el análisis del espectro de ultrasonido. Recordamos que en la tarjeta de memoria del equipo Ultra probé 15000 solo se grabarán solo los audios del ultrasonido pero gracias a este programa podremos visualizar y escuchar el espectro obtenido en las inspecciones y poder realizar cambios de parámetros como tiempo y frecuencia para su mayor especificación. Así como lo indica la (figura 41) a continuación mostrada.

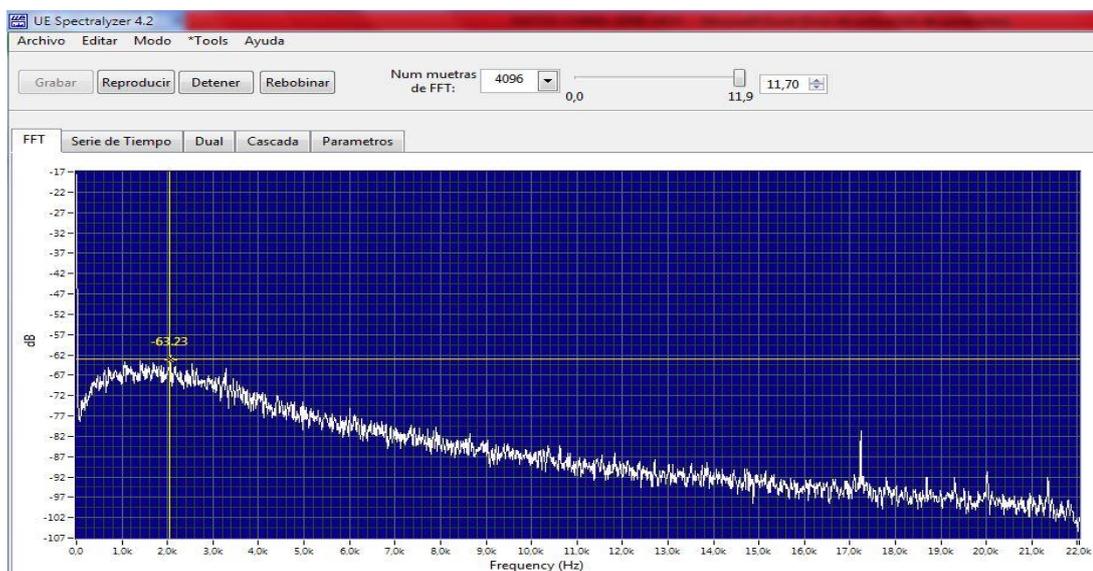
Figura 41. Configuración de la aplicación en el programa de interpretación del espectro de ultrasonido



Fuente: Autores

Una vez configurada nuestra PC con la aplicación necesaria para esta inspección se procede a analizar cada una de las mediciones tomadas, tomando en cuenta los datos de decibeles que es la que necesita este programa. Entonces como lo hecho anteriormente se comenzará con una inspección para un circuito con un consumidor de 500W en condiciones normales de funcionamiento es decir sin presencia de arco eléctrico. Cabe recalcar que donde se realizará la inspección eléctrica será en el dispositivo de fallo al igual que la (figura 39) el punto de medición o inspección en este caso será únicamente el dispositivo de fallo ya que es aquí donde se tiene el poder de manipular el paso de la corriente y crear l arco eléctrico.

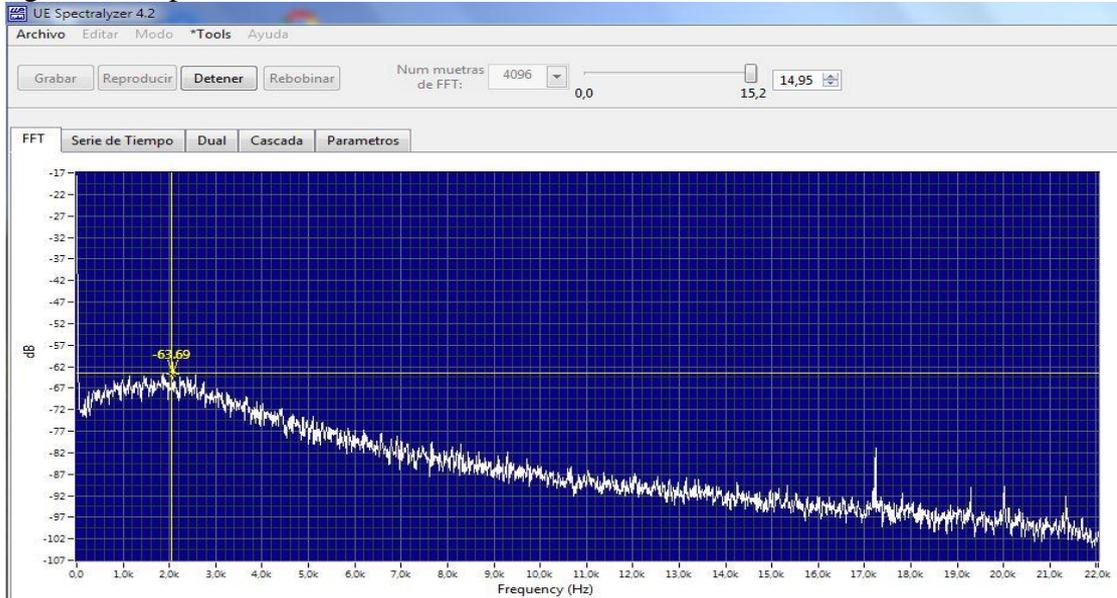
Figura 42. Espectro de ultrasonido con un consumidor de  $67 \Omega$  en condiciones normales



Fuente: Autores

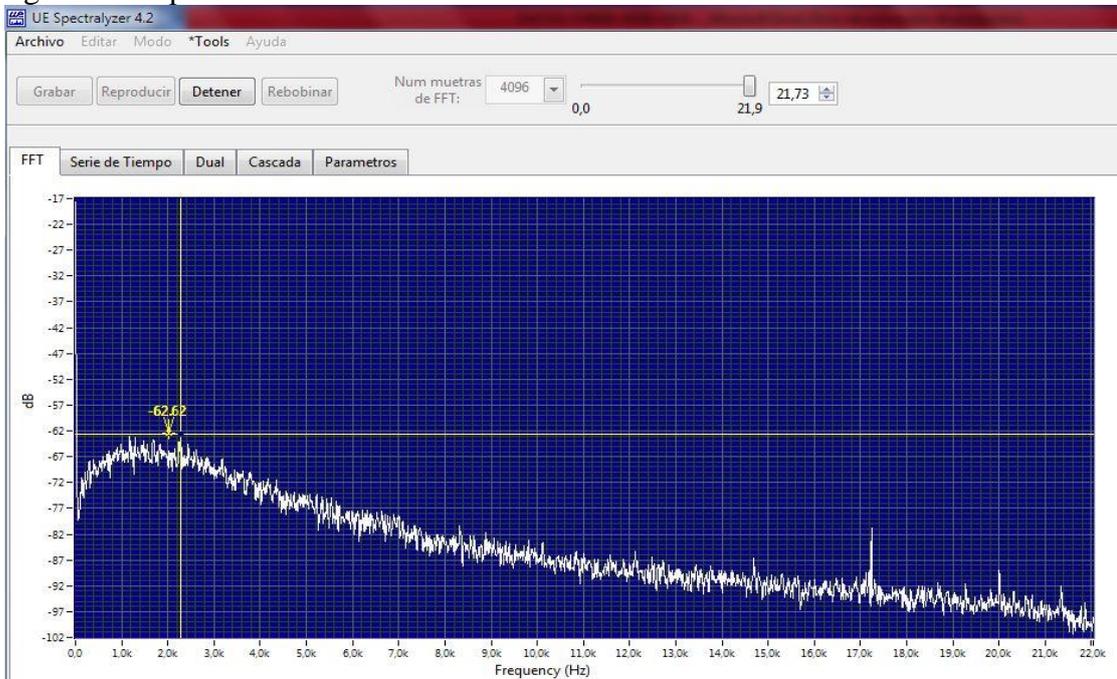
Como se puede observar en la (figura 42) este es un espectro de referencia del paso de la corriente por el dispositivo de fallo del cual se tomará el pico más alto para realizar el análisis correspondiente

Figura 43. Espectro de ultrasonido con un consumidor de  $42 \Omega$  en condiciones normales



Fuente: Autores

Figura 44. Espectro de ultrasonido con un consumidor de  $84 \Omega$  en condiciones normales



Fuente: Autores

Ahora se procede a realizar una tabla en la recolección de datos los cuales los se los ha recogido de las tablas anteriores, aquí se realiza una relación potencia vs decibeles, tablas

y condiciones que servirán de base para el siguiente estudio o condición de ensayo entonces se realiza las toma de datos para la tabla de comparación como se muestra en el siguiente paso.

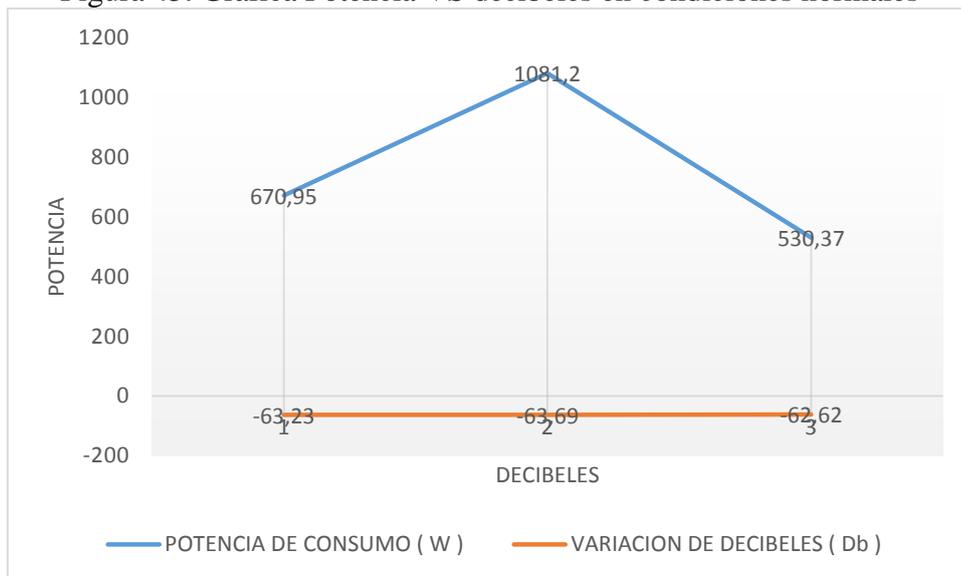
Tabla 20. Datos de potencia y decibeles en condiciones normales

Consumo ( W )	Variación de decibeles ( dB )
670,95	-63,23
1074,2	-63,69
530,37	-62,62

Fuente: Autores

Con estos datos se produce una gráfica de tendencia para tenerla como referencia como base de comparación entre los dos ensayos

Figura 45. Gráfica Potencia VS decibeles en condiciones normales



Fuente: Autores

A continuación se realizará una segunda forma de recolección de datos como se lo mencionaba anteriormente en la primera parte de esta experimentación se tomaron datos con cargas o consumidores puntuales de un potencia fija ahora se verá el comportamiento del circuito cuando se tiene una conexión en serie de varios consumidores para este paso se parte conectando las seis resistencias en serie del módulo de ensayo y así se irá disminuyendo o desconectando una a una cada resistencia hasta terminar con una al final. De la misma manera se realizarán los mismo pasos anteriores en la toma de datos con la pinza amperimétrica al igual que la inspección con el equipo de ultrasonido. Para no

acumularse de tablas y figuras solo se ha simplificado los pasos y se ha tomado los valores de potencia vs decibeles para la realización de la gráficas y así compararla las gráficas de donde se obtuvieron los decibeles y las potencias por conectar las siguientes resistencias en serie.

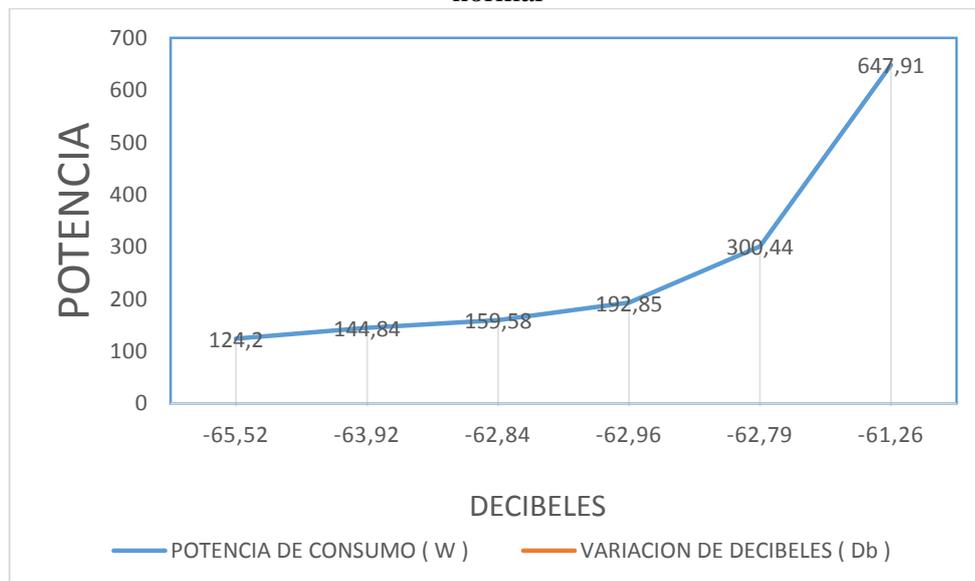
- Seis resistencias conectadas en serie; tres de  $67 \Omega$  y tres resistencias de  $42 \Omega$ .
- Cinco resistencias conectadas en serie; tres de  $67 \Omega$  y dos resistencias de  $42 \Omega$ .
- Cuatro resistencias conectadas en serie; tres de  $67 \Omega$  y una resistencia de  $42 \Omega$
- Tres resistencias conectadas en serie; tres resistencias de  $67 \Omega$ .
- Dos resistencias conectadas en serie; dos resistencias de  $67 \Omega$ .
- Una resistencia de  $67 \Omega$ .

Tabla 21. Datos potencia VS decibeles varios consumidores condición normal

Consumidores	Resistencia ( $\Omega$ )	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)	Decibeles (db)
6 resistencias	327	213	0,65	138,74	-65,52
5 resistencias	285	213	0,75	159,19	-63,92
4 resistencias	243	213	0,88	186,70	-62,84
3 resistencias	201	213	1,06	225,72	-62,96
2 resistencias	134	213	1,59	338,57	-62,79
1 resistencia	67	213	3,15	670,5	-61,26

Fuente: Autores

Figura 46. Gráfica Potencia VS decibeles con consumidores diferentes condición normal



Fuente: Autores

En la figura 46 se observa que en condiciones normales de funcionamiento no existe variación de decibeles, que hay un consumo normal de corriente y voltaje.

**4.2.4** *Mediciones realizadas con la cámara termográfica.* Este tipo de técnica de mantenimiento predictivo o preventivo se la utilizará para una inspección y análisis del incremento de temperatura que se puede dar en el dispositivo de fallo, se la utilizará como una técnica complementaria a la del ultrasonido. Con estos datos recolectados con la ayuda de a termografía se define el efecto térmico que puede ocasionar el arco eléctrico en este dispositivo

Figura 47. Termografía del dispositivo de fallo en condiciones normales



Fuente: Autores

En la gráfica 47 se puede observar que no hay incremento de temperatura y no se detecta que el contacto este flojo, que el sistema está trabajando en buenas condiciones.

### **4.3 Mediciones con presencia de arco eléctrico**

De igual manera que la práctica anterior primero se procede a tomar datos con la pinza amperimétrica de las cargas puntuales para luego realizar la inspección con el equipo de ultrasonido al igual que con la cámara termográfica. Entonces se inicia con un consumidor de  $67 \Omega$  y así sucesivamente.

- Medición con una resistencia de  $67\Omega$ .

Tabla 22. Mediciones con resistencia de 67 Ω.

<b>Sin arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	226	3,07
2	226	3,04
3	226	3,06
4	226	3,04
5	226	3,04
<u>Total</u>	226	3,05

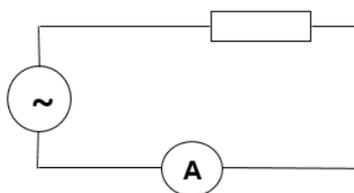
Fuente: Autores

Tabla 23. Datos con un consumidor de 67 Ω con arco eléctrico

<b>Sin arco eléctrico</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	226	216
Intensidad ( A )	3,05	3,05	216
Potencia ( W )	0	689,3	216

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado y midiendo la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4).



$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = 226 * 3,05 * 1$$

$$P = 689,3$$

- Medición con una resistencia de 42Ω.

Tabla 24. Con una resistencia en serie de 42Ω.

<b>Presencia de Arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	226	4,05

Tabla 24. (Continuación)

2	226	4,05
3	226	4,05
4	226	4,05
5	226	4,05
<u>Total</u>	226	4,05

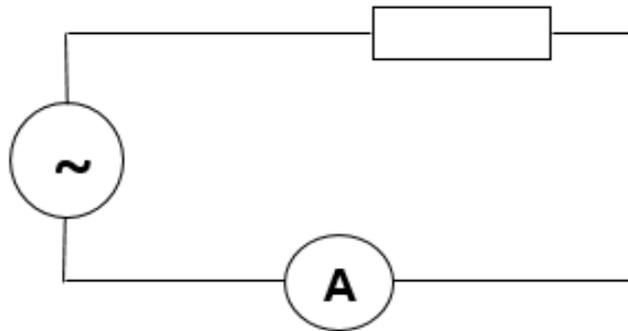
Fuente: Autores

Tabla 25. Datos con un consumidor de  $42\Omega$  con arco eléctrico

<b>Presencia de Arco eléctrico</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	226	213
Intensidad ( A )	4,05	4,05	213
Potencia ( W )	0	915,3	213

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4).



$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = 226 * 4,05 * 1$$

$$P = 915,3 \text{ W}$$

- Medición con una resistencia de  $84\Omega$ .

Para realizar esta medición conectamos dos resistencias de  $42 \Omega$  en serie se procedemos con la toma de datos.

Tabla 26. Dos resistencias en serie de 42 Ω.

<b>Presencia de arco eléctrico</b>		
<b>N° de Medición</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>
1	227	2,95
2	227	2,95
3	227	2,95
4	227	2,95
5	227	2,95
<u>Total</u>	227	2,95

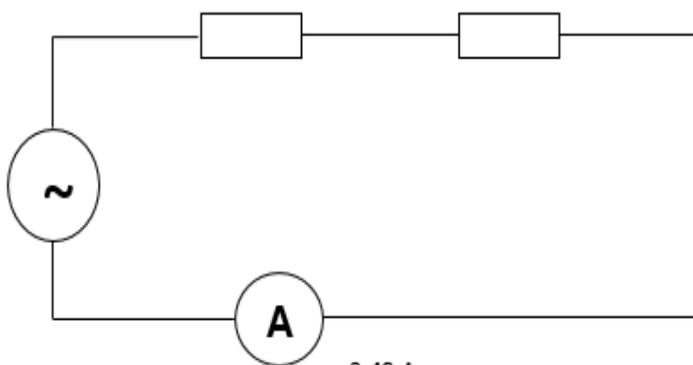
Fuente: Autores

Tabla 27. Datos con un consumidor de 84 Ω con arco eléctrico

<b>Circuito con arco</b>			
<b>Magnitudes / puntos de medida</b>	<b>En el contacto</b>	<b>En todo el circuito</b>	<b>Fuente</b>
Tensión ( V )	0	227	214
Intensidad ( A )	2,95	2,95	214
Potencia ( W )	0	669,6	214

Fuente: Autores

Se obtuvo una potencia real calculada con el voltaje suministrado la corriente consumida con la ayuda de la fórmula (4)



$$R_t = R_1 + R_2$$

$$R_t = 42\Omega. + 42\Omega.$$

$$R_t = 84 \Omega.$$

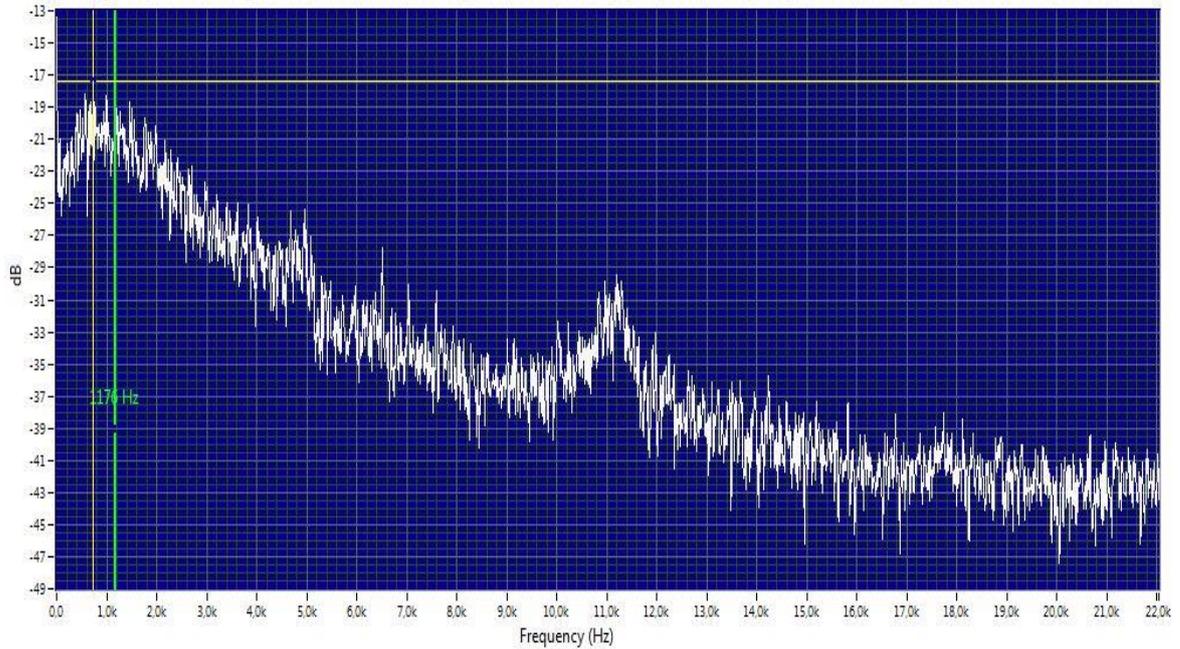
$$P = V * I * \text{Cos}\varphi$$

$$P = 227 * 2,95 * 1$$

$$P = 669,6$$

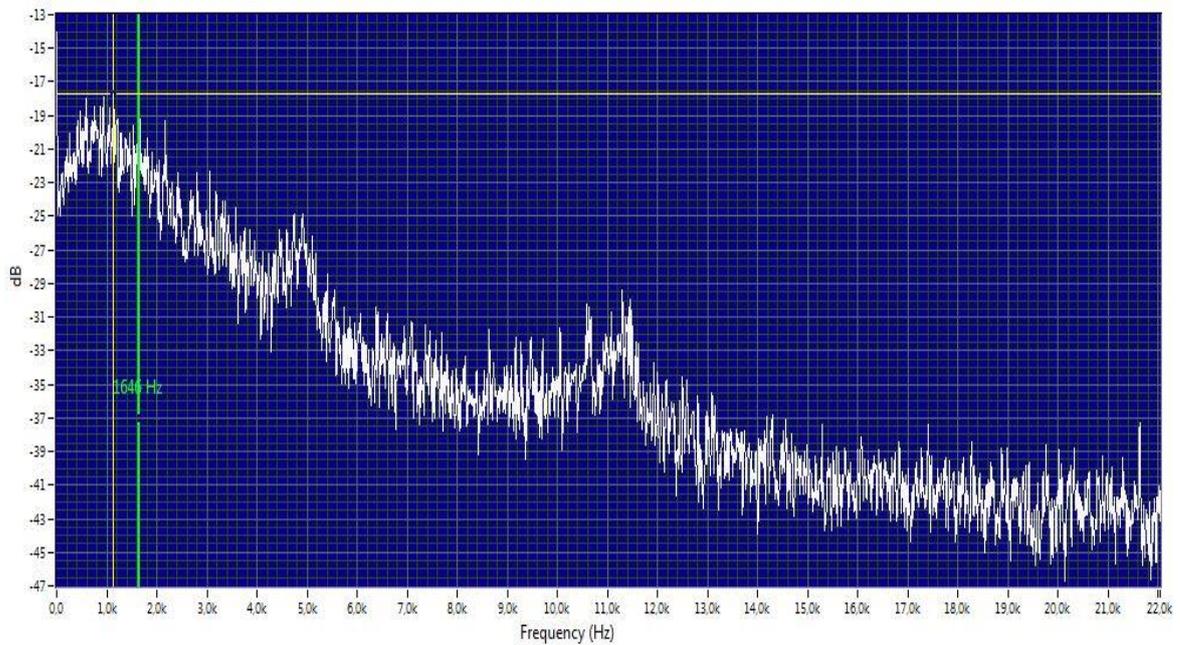
**4.3.1** *Mediciones realizadas con el equipo de ultrasonido.* De igual manera que en el primer ensayo se tomará el pico más alto que se haya producido mediante la creación del arco eléctrico en nuestro dispositivo de fallo.

Figura 48. Espectro de ultrasonido con consumidor de  $67 \Omega$  con arco eléctrico



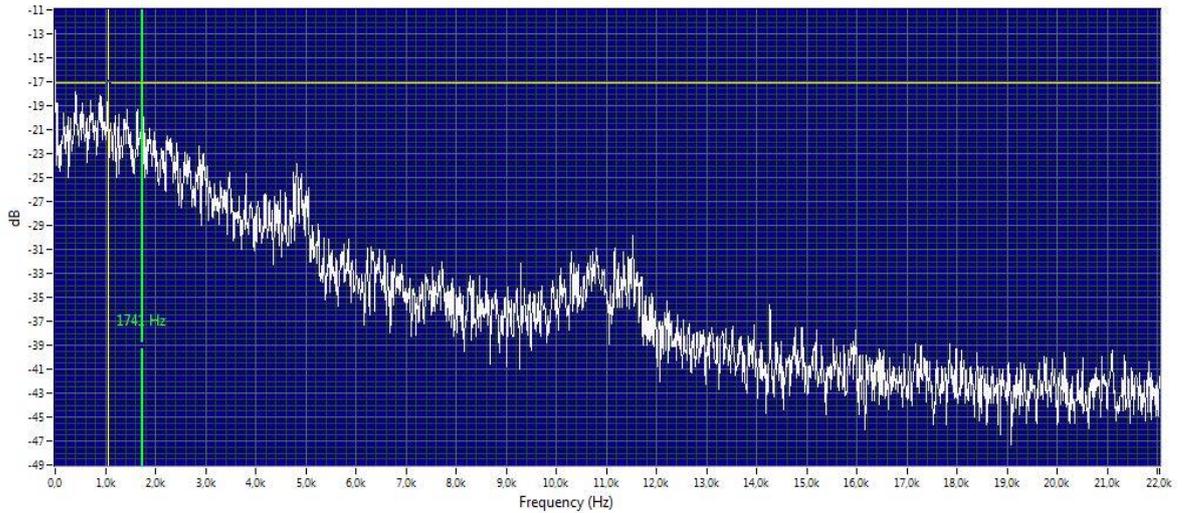
Fuente: Autores

Figura 49. Espectro de ultrasonido con consumidor de  $42 \Omega$  con arco eléctrico



Fuente: Autores

Figura 50. Espectro de ultrasonido con consumidor de 84Ω con arco eléctrico



Fuente: Autores

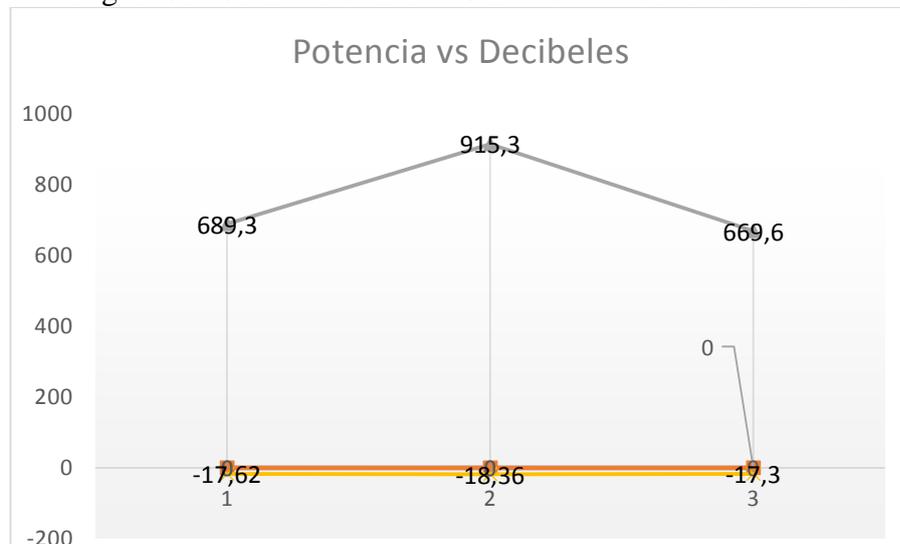
Entonces con estos datos recolectados al igual que las ejecuciones anteriores se realiza una tabla con los valores de potencia y decibeles para tener una gráfica de tendencia y así realizar el análisis

Tabla 28. Datos de potencia y decibeles con arco eléctrico

Potencia de consumo ( W )	Variacion de decibeles ( dB )
689,3	-17,62
915,3	-18,36
669,6	-17,3

Fuente: Autores

Figura 51. Gráfica Potencia VS Decibeles con arco eléctrico



Fuente: Autores

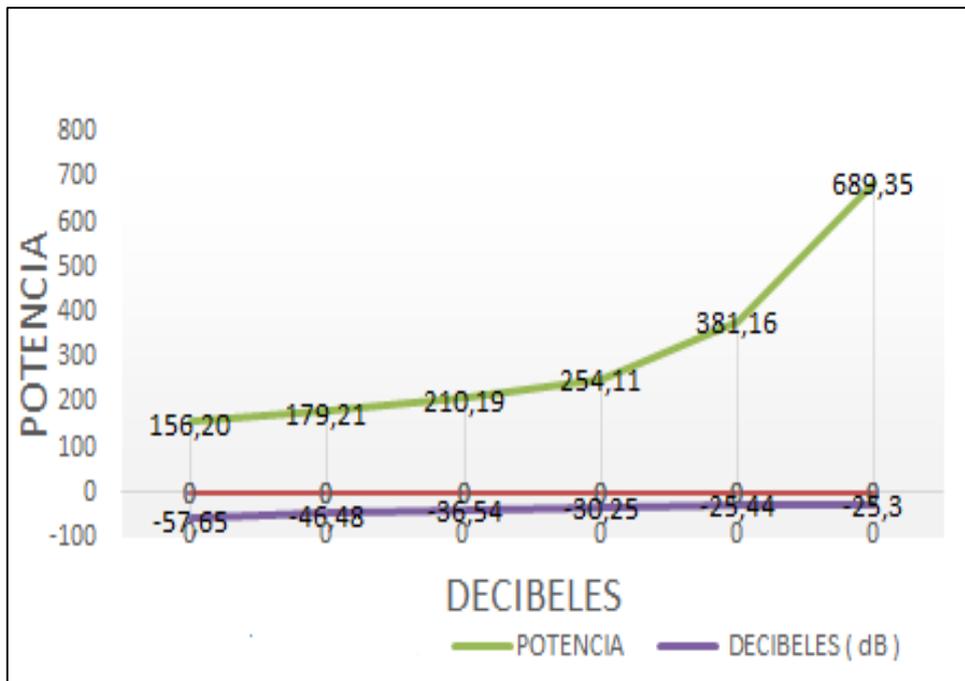
Así mismo como en la práctica anterior se realiza la conexión de las resistencias en serie para tomar los datos con diferentes consumidores.

Tabla 29. Datos Potencia vs Decibeles de varios consumidores con arco eléctrico

Consumidores	Resistencia ( $\Omega$ )	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)	Decibeles (db)
6 resistencias	327	226	0,69	156,20	-37,65
5 resistencias	285	226	0,79	179,21	-46,48
4 resistencias	243	226	0,93	210,19	-36,54
3 resistencias	201	226	1,12	254,11	-30,25
2 resistencias	134	226	1,69	381,16	-25,44
1 resistencia	67	227	3,04	689,35	-25,3

Fuente: Autores

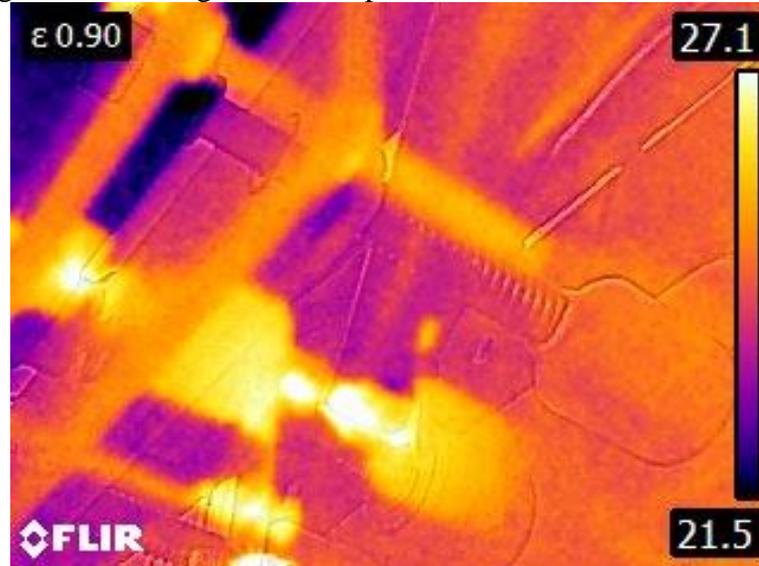
Figura 52. Gráfica Potencia vs Decibeles con varios consumidores con arco eléctrico



Fuente: Autores

**4.3.2 Mediciones realizadas con cámara termográfica.** Como en la práctica anteriormente realizada, esta técnica de inspección termográfica se utilizará como complemento para el análisis del efecto térmico que produce el arco eléctrico en el dispositivo de fallo. Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura cuando algo está pasando por mal funcionamiento, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc. Este aumento de temperatura no se puede ser ver o apreciar sin la ayuda de un equipo termográfico.

Figura 53. Termografía del dispositivo de fallo con arco eléctrico



Fuente: Autores

Se puede observar un incremento de temperatura en el dispositivo y los contactos se están sulfatando por el fenómeno del arco, esto se puede ver gracias a la cámara termográfica y que tenemos el contacto en un lugar visible.

#### 4.4 Análisis e interpretación de resultados

Aquí se muestra el análisis de cada uno de los datos obtenidos del capítulo anterior, también los espectros de ultrasonido, y los termogramas con el fin de determinar la variación de un circuito en condiciones normales de funcionamiento comparado con el circuito que tiene la creación del arco eléctrico en el dispositivo de fallo.

#### 4.5 Análisis e interpretación de los datos obtenidos

Como se realizó dos condiciones de experimentación de la misma manera se analizará las dos condiciones de datos arrojados por los diferentes instrumentos empleados.

**4.5.1** *Condición normal de funcionamiento cargas puntuales.* Para entender cómo afecta el fenómeno del arco eléctrico en un contactor el cual es parte de un tablero de control se ha basado en comparar sus valores de potencia de consumo. es así como se toma estos valores como base para luego realizar una comparación.

Tabla 30. Potencia de consumo condiciones normales

Consumidor/ resistencia	voltaje (V)	Intensidad (I)	Potencia de consumo ( W )
67Ω	213	3,15	670,95
42Ω	212	5,07	1081,2
84Ω	213	2,49	530,37

Fuente: Autores

En condiciones normales tanto la corriente como el voltaje suministrado no sufre ninguna variación es decir nuestra carga están trabajando en óptimas condiciones.

Tabla 31. Potencia de consumo de varias resistencias en condiciones normales

Consumidores	Resistencia (Ω)	Voltaje (V)	Intensidad (A)	Potencia (W)	Decibeles (db )
6 resistencias	327	213	0,65	138,74	-65,52
5 resistencias	285	213	0,75	159,19	-63,92
4 resistencias	243	213	0,88	186,70	-62,84
3 resistencias	201	213	1,06	225,72	-62,96
2 resistencias	134	213	1,59	338,57	-62,79
1 resistencia	67	213	3,15	670,5	-61,26

Fuente: Autores

Se observa en la (tabla 31) una variación de la potencia con una tendencia al incremento; tendencia que se puede apreciar claramente en la curva de la (figura 32), cabe recalcar que el voltaje y la corriente no hay variación, los datos que aparecen son de resistencias conectadas en serie comenzando con las seis resistencias que posee el modulo y disminuyendo a una.

Esta tendencia al incremento que se aprecia claramente en la curva de la (figura 32), no presenta variaciones en los valores de voltaje y la corriente, los datos que aparecen son de resistencias conectadas en serie comenzando con las seis resistencias que posee el modulo y disminuyendo a una. De forma que así se pueda evidenciar un incremento en el consumo de la potencia y asociarla a un modelo comparativo de hipótesis con varios consumidores que no solo podrían presentarse en la industria sino en la vida cotidiana.

Entonces se puede apreciar que las hipótesis planteadas en la forma de toma de datos que son dos en condiciones normales y luego con cargas son factibles para la comparación.

**4.5.2** *Con presencia de arco eléctrico.* Se inicia de igual manera que con los datos de las cargas puntuales con la variación que ahora se crea la falla, en el dispositivo de generación del arco eléctrico.

Tabla 32. Potencia de consumo en cargas puntuales con arco eléctrico

<b>Consumidor/ resistencia</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (I)</b>	<b>Potencia de consumo ( W )</b>
67Ω	226	3,05	689,3
42Ω	226	4,05	915,3
84Ω	227	2,95	669,6

Fuente: Autores

Claramente se puede observar en la tabla 32 un incremento de consumo ya que al crear el arco eléctrico estamos variando las corrientes y voltajes que pasan por el dispositivo de fallo y este afecta a todo el circuito, y porque las resistencias o la carga tienen forma de espiral al momento que se produce este fenómeno se convierten en cargas inductivas y aumenta el voltaje.

Tabla 33. Potencias de consumo en varios consumidores con presencia de arco eléctrico

<b>Consumidores</b>	<b>Resistencia (Ω)</b>	<b>Voltaje (V)</b>	<b>Intensidad (A)</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Decibeles (db)</b>
6 resistencias	327	226	0,69	156,20	-57,65
5 resistencias	285	226	0,79	179,21	-46,48
4 resistencias	243	226	0,93	210,19	-36,54
3 resistencias	201	226	1,12	254,11	-30,25
2 resistencias	134	226	1,69	381,16	-25,44
1 resistencia	67	227	3,04	689,35	-25,3

Fuente: Autores

Los datos que nos arroja la (tabla 33) son un reflejo del fenómeno que se ha creado en el dispositivo de ensayo ya que al manipular los contactos para que se produzca un arco eléctrico al mismo tiempo se está cortando por milésimas de segundo el paso de corriente por lo que se recomienda realizar esta inspección con dos o tres compañeros ya que se debe tomar los datos en el instante de la creación del arco, además como mínimo se deben realizar cinco mediciones por cada condición o cada consumidor disminuido o aumentado

es por esta razón que la curva de tendencia obtenida en la (figura 32) tiene varios picos de variaciones altos como bajos pero este resultado es muy interesante ya que este comportamiento se asemeja a una condición planteada como hipótesis anteriormente donde se plantea , que esta manera de conectar varios consumidores salió de la idea de observar el comportamiento que tendría el circuito con arco eléctrico y simular el consumo de una ciudadela o un conjunto habitacional e incluso hasta una ciudad entera.

Para esta última condición que sale del análisis de los datos que se obtiene en la tabla anterior se la puede asociar fácilmente con un rubro económico ya que si se transforma esta potencia de consumo en kW y se la multiplica por el costo que tiene en el país o provincia el kW-h se obtiene el costo que produce este fenómeno. Este paso se lo realiza en la (tabla 33).el valor de la potencia de consumo se lo ha multiplicado por 0.10 ctvs. Que es el valor actuar del kW-h dato obtenido en la página de la CELEC.

- Costo en valores económicos de la potencia total consumida en condiciones normales de funcionamiento

Tabla 34. Costo kWh varios consumidores en condiciones normales

<b>Potencia (W)</b>	<b>kW</b>	<b>Costo de kW-h</b>	<b>Consumo USD</b>
138,74	0,14	0,10	0,0159
159,19	0,16	0,10	0,0187
186,7	0,19	0,10	0,0226
225,72	0,23	0,10	0,0339
338,57	0,34	0,10	0,0671
670,5	0,67	0,10	0,0159

Fuente: Autores

- Costo en valores económicos de la potencia total consumida en condiciones anormales de funcionamiento en presencia de arco eléctrico. Estos costos se los tomara en base a los datos recogidos en las tablas anteriores donde se tomaron mediciones de voltaje e intensidad para obtener la potencia consumida.

Tabla 35. Costo kWh varios consumidores con arco eléctrico

<b>Potencia (W)</b>	<b>kW</b>	<b>Costo de kW-h</b>	<b>Consumo USD</b>
156,2	0,1562	0,10	0,0156

Tabla35. (Continuación)

179,21	0,1792	0,10	0,0179
210,19	0,2102	0,10	0,0210
254,11	0,2541	0,10	0,0254
381,16	0,3812	0,10	0,0381
689,35	0,6894	0,10	0,0689

Fuente: Autores

Se observa que el costo incrementa cuando hay presencia de arco eléctrico como se lo indico anteriormente este fenómeno se da por tener conectadas las resistencia en serie. Pero también es bueno mencionar que estos datos están tomados uno de cinco mediciones ,es decir, de una media de cinco datos se ha quedado con uno así que este es solo uno de los muchos eventos que se pueden llevar en una hora, día, semana, mes y año así que pongámonos a analizar que sería factible si saber cuál es el valor puntual que tengo que pagar a la empresa por mi consumo o como pasa habitualmente pagar una un valor más alto debido a los altos y bajos de potencia de consumo que produce el arco.

#### 4.6 Análisis e interpretación de los espectros de ultrasonido

Para analizar los espectros obtenidos de nuestra inspección se realizará un análisis de los decibeles ya que estos son los que nos darán los efectos producidos.

Se parte analizando los decibeles de la práctica que se realizó en condiciones normales. Así se compara los resultados de las tablas que a continuación se muestran:

Tabla 36. Comparación los resultados

<b>Potencia de consumo (W)</b>	<b>Variación de decibeles (dB)</b>	<b>Potencia de consumo (W)</b>	<b>Variacion de decibeles (dB)</b>
670,95	-63,23	689,3	-17,62
1081,2	-63,69	915,3	-18,36
530,37	-62,62	669,6	-17,3

Fuente: Autores

Estas tablas, claramente reflejan el efecto eléctrico que produce la falla o arco en uno de los contactos de un contactor con cargas puntuales aparentemente, cuando hay presencia de un arco eléctrico la potencia de consumo sube en algunos eventos, esto se debe al

fenómeno de potencia reactiva que se presenta en circuito ya que por la forma de construcción de las resistencias de potencia en ella se crea un campo inductivo pese a ser estas resistencias óhmicas este efecto hace que haya un aumento de tensión notoria.

Lo mencionado anteriormente no ocurre con los decibeles, ya que la diferencia entre éstas es notoria, se puede decir que se tiene un rango de (-17.3 a -63.69), además se recuerda que éstos son los valores pico que se tomaron de los espectros de ultrasonido y cuando hay presencia de arco eléctrico podemos escuchar claramente con la ayuda del equipo de ultrasonido, mientras que cuando todo el sistema está funcionando en condiciones normales solo se detecta el paso de la corriente por los conductores.

#### 4.7 Análisis e interpretación de la imagen térmica.

Como se había mencionado con anterioridad, la técnica del análisis termográfico se utiliza como complemento para el análisis del efecto que tiene la temperatura en los elementos de un contactor cuando esté en presencia de arco eléctrico. Así se tiene las siguientes imágenes termográficas de las (figuras 54), la primera fue tomada en condiciones normales de funcionamiento y la segunda imagen muestra el instante en que el arco se está produciendo en el dispositivo de fallo.

Figura 54. Imagen térmica.



Fuente: Autores

En las imágenes anteriores se muestra el cambio de temperatura que se está produciendo en el dispositivo de fallo mientras se realiza las dos prácticas, la manera de interpretación de estas imágenes termográficas que da la cámara FLIR es muy sencilla ya que en la parte lateral derecha presenta una barra de como en las zonas más oscuras la temperatura es de 18.7 grados centígrados, hasta las partes más claras de color casi amarillo que es la que

posee más concentración de calor ,pero como se necesita únicamente de contacto del dispositivo de fallo entonces se lo señala con un circulo así la imagen da directamente la temperatura a la que se encuentran estos contactos. Que es de 25.9 grados centígrados cuando está trabajando en condiciones normales y que tiene un incremento a 27.1 grados centígrados cuando se produce el arco eléctrico, es decir, en un instante en milésimas de segundos que es el tiempo que el arco está en los contactos del dispositivo aumenta 2 grados.

Ahora llevémoslo esto a grandes escalas como en un tablero industrial donde hay no uno sino varios contactores y además que el arco eléctrico no se forme una sola vez o a placer como en el módulo didáctico sino que este en constante formación durante todo el día, todos los días que trabaje, claramente este incremento de temperatura llevará a la fundición de los contacto y así al deterioro del contactor.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Con el aporte de este proyecto se puede analizar y abordar temas referentes al monitoreo de la condición, en señales de decibeles que produce un arco eléctrico en tableros industriales, sonidos que no podemos escuchar sin la ayuda del equipo de ultrasonido y además que lo podemos detectar a tiempo para que no produzca un daño severo en todo el sistema y la seguridad del personal de mantenimiento, reducir el costo energético y consumo de energía, aumentar la fiabilidad de todo el sistema, la detección temprana por posibles fallas y poder planificar reparaciones a tiempo sin afectar la producción de una empresa.

Se implementó un módulo de un tablero industrial e incluso se construyó un dispositivo de un contacto para la simulación del arco eléctrico y poderlo escuchar con la ayuda del equipo de ultrasonido y poder hacer mediciones en condiciones normales de funcionamiento y cuando se produzca el fallo de un contactor en mal estado y poderlo comparar con un análisis térmico con la ayuda de una cámara termográfica técnica muy empleada en mantenimiento.

Se analizó en cada medición realizada, sus características y factores que intervienen en el desarrollo del arco eléctrico son un incremento de temperatura en los contactos, cambio de color en la punta de los bornes y sobre todo un sonido de alta frecuencia que en condiciones normales en la industria no se puede escuchar ya que intervienen otros ruidos o sonidos que producen máquinas o equipos en funcionamiento y solo con la ayuda del equipo de ultrasonido podemos medir los niveles de sonido ultrasónico y poder cuantificar.

Con cada onda obtenida con el equipo de ultrasonido se puede determinar que es una buena herramienta para poder determinar este tipo de fallos eléctricos que puedan existir en un tablero o sistema y sobre todo que tenemos un rango de decibeles de (-17.3) cuando se produce un arco.

## **5.2 Recomendaciones**

Conocer los principios de funcionamiento y familiarizarse con los equipos que intervienen en el desarrollo de este proyecto como el equipo de ultrasonido, cámara termográfica.

Realizar siempre las pruebas teniendo los cuidados necesarios para no salir sin ninguna lesión o quemadura.

Utilizar los equipos de protección personal adecuados.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASTUDILLO MACHUCA, César.** *PROBLEMAS RESUELTOS Y PROPUESTOS DE ELECTROTECNIA I.* 1<sup>ERA</sup> EDICIÓN. RIOBAMBA-ECUADOR: E-ECOPYCENTER, 2009, PP 45-49.

**CASTILLO, Joseph.** *Mantenimiento industrial, termografía.* [En línea]. España, 2010. [Consulta: \_18\_de\_Julio\_de\_2015.]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos92/termografia-mantenimiento/termografia-mantenimiento.shtml>.

**FARINA, Alberto Luis.** *Riesgo Eléctrico.* 2<sup>da</sup> Edición. Buenos Aires-Argentina: Alsina, 2015, pp 56-67.

**FLEITMAN, Jack.** *Tableros industriales.* 3<sup>era</sup> Edición. Madrid-España: PARANINFO, 2007, pp 13-32.

**FLIR.** *Guía de termografía para mantenimiento predictivo.* España-Barcelona : FLIR, 2011, pp. 87-91.

**FLOWER LEIVA, LUIS.** *Instalaciones Electrica. Tomo III.* 3<sup>era</sup> Edición. Guatamala-México: alfaomega, 2013, pp 43-65.

**FRANCO, Irene.** Monografías. *Mantenimiento Predictivo.* [En línea]. España, 2013. [Consultado el: \_03\_de\_Febrero\_del\_2015.].\_ Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml#ULTRA>.

**GARRIDO GARCÍA, Santiago.** *Técnicas de Mantenimiento condicional basadas en la condicion de variables fisicas.* 2<sup>da</sup> Edición. Madrid-España: Renovetec, 2009, pp 25-31.

**INC. UE SYSTEMS.** *Manual de instrucciones del Ultraprobre 15000.* [En línea] California, 2010. [Consultado el 4 de Diciembre del 2016]. Disponible en: <http://www.uesystems.eu/manuals/es/manual-es-UP15000.pdf>.

**OLARTE, Wilson; & BOTERO Marcela.** *La deteccion del ultrasonido:una tecnica empleada en mantenimiento predictivo.* 1<sup>era</sup> Edición. Pereira-Colombia: Scientia ET Technica, 2011, pp 22-41.

**MEZA HERNÁNDEZ, Juan.** *Análisis en sistemas eléctricos.* [En línea] México, 2012. [Consultado el: \_01\_de\_Marzo\_de\_2015.]. Disponible en: [http://www.funken.com.mx/activosfunken\\_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf](http://www.funken.com.mx/activosfunken_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf).

**PERÉZ HERNÁNDEZ, Jorge.** *Tablero eléctricos.* [En línea]. España, 2014. [Consultado el: 03 de Marzo de 2015.]. Disponible en: [http://es.slideshare.net/JorgeJuniorPrezHernandez/tableros-electricos-37658281?qid=aa86a208-7b5f-4851-a1cf-ac219c320378&v=default&b=&from\\_search=2](http://es.slideshare.net/JorgeJuniorPrezHernandez/tableros-electricos-37658281?qid=aa86a208-7b5f-4851-a1cf-ac219c320378&v=default&b=&from_search=2).

