



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN  
SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA  
ELECTRICIDAD DE VALENCIA.**

**CARMONA J. FRANCISCO**

**OCHOA JOSÉ A.**

**VALENCIA, MAYO DE 2008**



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN  
SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA  
ELECTRICIDAD DE VALENCIA.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**CARMONA J. FRANCISCO**

**OCHOA JOSÉ A.**

**VALENCIA, MAYO DE 2008**



Valencia, Abril de 2008

Prof. Verner Hornebo  
Jefe del Departamento de Potencia  
Presente.

Por medio de la presente le participo que los bachilleres: Ochoa José A. y Carmona J. Francisco. Han culminado su *Trabajo de Grado* titulado: **PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA**, y le solicito la asignación del jurado, lugar, fecha y hora para la presentación y defensa del mismo.

*Atentamente,*

---

Prof. Guillermo Ubieda



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado: **“PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA.”**, realizado por los bachilleres: Ochoa José A. Cédula de identidad: 10.730.338 y Carmona J. Francisco. Cédula de identidad: 12.648.975, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

---

Prof. Guillermo Ubieda  
TUTOR

---

Prof. Luis Puche  
JURADO

---

Prof. Leidy Guerra  
JURADO

**Valencia, Mayo de 2008.**



## DEDICATORIA

En este preciso momento, es para mí un *Verdadero Honor* expresar a través de estas líneas la dedicatoria y agradecimiento personal a quienes tienen un lugar especial en mi corazón.

- A *Dios Todopoderoso*, por hacer posible en mí el milagro de la vida y permitirme formar parte de este Mundo. “...*Gracias Padre... por ser la luz de mi vida*”.
- A mis Padres. *María y Alejandro*. “*Gracias por existir*”, han sido ustedes mis dos fuentes de inspiración, en quienes encontré el Amor y el Apoyo Incondicional para lograr este desafío. “*Ustedes son el Mayor de mis Tesoros*”.
- A mis Hermanas y Hermanos. Por darme ánimo siempre, y mostrarme su afecto cuando los necesité, “*Finalmente logré la Meta, Hermanos*”.
- A mis familiares, en especial a mis sobrinos para que sigan el ejemplo y logren realizarse recuerden que: “*Dios Concede la Victoria a la Constancia*”.
- A mi compañero de Tesis. *Francisco Carmona*, por confiar en mí y soportar tantos retos a lo largo del camino. “*El Triunfo es Nuestro*”.
- A mis Amigos del Alma: David González Soto, Juan Pablo Delgado y Edgar Romero quienes han demostrado su Amistad Verdadera. “*Cuenten conmigo siempre*”.
- A mis Compañeros de la Universidad: Yusmary Hernández, Yesenia Camacho, Freya Tovar, Yinezca catarí, José Medina, José Amaro, Osman Escobar, y Oscar Pareles.

***José A. Ochoa***



## DEDICATORIA

- Primeramente doy Gracias a “*Dios Padre Todopoderoso*”, por darme el precioso don de vivir, a *Nuestro Señor Jesucristo* y a *Nuestra Sra. Madre Santísima de Coromoto*, por ser mi camino, verdad y vida. De brindarme la fuerza, el valor, la perseverancia y constancia que me permitieron culminar satisfactoriamente la meta anhelada.
- A mi Madre Querida, *Dolores Justo* y a mi Padre, *Luís Carmona*, que con mucha paciencia y amor me brindaron su apoyo incondicional durante la carrera, sin ellos jamás hubiese logrado este éxito. “*Los Quiero y los Amo Mucho*”.
- A mis Grandiosos Hermanos, son los mejores amigos, una dedicatoria especial a todos ellos por brindarme su apoyo, por confiar siempre en mí. *Gracias Cipriano, Catalina, Yolanda, Santos y Luís*. Porque supieron comprenderme y darme en todo momento ese cariño sincero de aliento y de esperanza que siempre hace falta. Quiero decirles: “*Por fin Hermanos Queridos lo he Logrado*”. *Simplemente los Amo a todos y le agradezco a Dios por tenerlos*.
- A mi Compañero de Tesis y Amigo Leal. *José Ochoa*, por recorrer esta fase final de nuestra carrera en las Buenas y Malas. También a mis Grandes Amigos como son: Diana Carolina Fernández, Rosa Elena Bedoya, Yinezca Catarí, Yonny Colmenares, Ysilio Salas, Willian Pérez, José Meza; al Ing. David Rosales, Ing. Vicente Ledezma, y Edgar Romero, por compartir logros y obstáculos durante esta etapa de la vida. “*Muchas Gracias Amigos*”.
- En especial, a la memoria de mi abuelo *Francisco Justo* (Q.E.P.D) y la Sra. Rosalía de Moy (Q.E.P.D). También a la Sra. Josefina de García, a la Sra. Aura Díaz y al Sr. Félix Díaz por ser las personas con la que conté en las Buenas y en las Malas, en las diversas fases de la carrera universitaria. “*Gracias por sus Oraciones*”.

***Francisco Carmona J.***



## AGRADECIMIENTO

En esta oportunidad nos complace expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización del presente *Trabajo Especial de Grado*. Su colaboración fue determinante y muy valiosa. “*Muchas Gracias*”.

- A Dios Todopoderoso, por habernos permitido alcanzar la meta anhelada, fruto de nuestro esfuerzo, constancia y dedicación. Padre *te expresamos nuestra Gratitude por tan Maravilloso Regalo que marcará el resto de nuestras vidas.*
- A Nuestras Familias, el pilar fundamental donde recibimos todo el apoyo que hizo posible lograr nuestro propósito. “*Gracias por el Amor y la Comprensión que nos tuvieron*”
- A la *Universidad de Carabobo*, por ser la fuente de nuestro conocimiento el primer lugar desde donde todo esto comenzó. “*Altamente Agradecidos*”
- A la empresa *Electricidad de Valencia*, por ser la institución que nos dio la oportunidad de desarrollar la presente investigación. “*Altamente Agradecidos*”
- A nuestro Tutor Académico. Ing. Guillermo Ubieda, por haber aceptado el reto de orientarnos con sus oportunas sugerencias, y por tener tanta paciencia con nosotros. *Gracias por la confianza que nos depositó.*
- A nuestro Tutor Institucional. Ing. Luis Pereyra, por habernos recibido cordialmente y darnos la oportunidad de demostrar nuestra capacidad, a través de sus exigencias y oportunas sugerencias. *Gracias por la confianza y el entusiasmo Motivador.*



- Al jefe de la Unidad de Mantenimiento de la empresa *Electricidad de Valencia*. Ing. Alejandro Sierra, por su valiosa y oportuna colaboración. “*Muchas Gracias Alejandro*”.
- Al Coordinador de Protecciones de la empresa *Electricidad de Valencia*. Ing. José Gregorio Ramos, por su valiosa y oportuna colaboración. “*Muchas Gracias José Gregorio*”.
- A la Profesora Leidy Guerra, por habernos ayudado a través de sus valiosas sugerencias y por su apreciado tiempo. “*Muchas Gracias Profesora*”.
- A la Licenciada Emma Rojas, por habernos orientado en la realización del procedimiento. “*Gracias por la Colaboración Profesional y Humana*”.
- Al personal de las Bibliotecas Rentales, de las Escuelas de Ingeniería Eléctrica e Industrial y al personal de las Bibliotecas de la *Universidad Central de Venezuela* y de la Biblioteca del IVIC, por el acceso a la información requerida y la cordialidad. “*Muchas Gracias a Todos*”.
- Al personal Técnico de la empresa *Electricidad de Valencia*. Señores: Carlos Martins, Gabriel Martínez y Franklin Alvarado, por su valiosa colaboración y buena disposición de atendernos. A todos ustedes les estamos “*Altamente Agradecidos*”.
- A nuestros profesores de la Facultad, por transmitirnos sus conocimientos y haber hecho posible nuestra formación profesional. “*A todos ustedes Muchas Gracias*”.
- A nuestros Compañeros de estudio. “*Gracias a todos y éxitos para ustedes. Lo merecen*”.

***José Ochoa***  
***Francisco Carmona***





**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
DEPARTAMENTO DE POTENCIA**



**PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN  
SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA  
ELECTRICIDAD DE VALENCIA.**

*Autores:*

**CARMONA J. FRANCISCO  
OCHOA JOSÉ A.**

**VALENCIA, MAYO DE 2008**



## RESÚMEN

**Procedimiento para el Mantenimiento Predictivo en Subestaciones de 115, 34,5 y 13,8 kV, utilizando técnicas de Termografía y Ultrasonido. Caso de Estudio. Empresa Electricidad de Valencia. Universidad de Carabobo. Año 2008.**

Autores: *Ochoa José y Carmona Francisco*

Tutor Académico: *Guillermo Ubieda*

Tutor Institucional: *Luis Pereyra*

En el presente *Trabajo Especial de Grado*, los autores elaboraron un procedimiento sistemático, para realizar las pruebas de termografía y ultrasonido en algunos elementos de las subestaciones designadas de la empresa *Electricidad de Valencia*, como propuesta de solución ante una problemática planteada por la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, debido a la carencia de un procedimiento que le permita al personal que labora en dicha unidad, contar con un instrumento teórico-práctico para realizar de manera eficaz y eficiente, las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones, empleando las técnicas señaladas.

El procedimiento propuesto contiene a lo largo de su desarrollo, un conjunto de elementos vinculados directamente con los objetivos propuestos, tomando en cuenta los lineamientos contemplados en las normas de calidad: **ISO 9001 (2000)**, cuya acreditación fue lograda por la empresa durante el año 2003. También se tomaron en cuenta todos los recursos disponibles en la empresa, evitando agregar nuevos elementos para mantener el equilibrio existente antes de su aplicación y garantizar la aceptación del personal que labora en la unidad de mantenimiento en subestaciones; los cuales participaron directamente en la elaboración del procedimiento, aportando sugerencias y experiencias en la realización de sus labores.

Finalmente se expresan algunas conclusiones y se sugieren un conjunto de recomendaciones de carácter general; en esta parte se hace énfasis en los aspectos más importantes que determinan los resultados obtenidos, garantizando la seguridad del personal técnico que realizará las pruebas aplicando las técnicas de termografía y ultrasonido; y al mismo tiempo sirven para apoyar futuras investigaciones en temas asociados con el mantenimiento predictivo, el cual esta cobrando cada día más importancia en las diferentes empresas, porque está ligado a la confiabilidad de los sistemas, optimización de recursos y al mejoramiento profesional de quienes lo realizan.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pag.</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	( i )
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS</b> .....	( vii )
<b>ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS</b> .....	( x )
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	( xi )
<b>DEDICATORIA</b> .....	( xiii )
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	( xv )
<b>RESÚMEN</b> .....	( xvii )
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	( 1 )
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. EL PROBLEMA</b>	
1.1. Planteamiento del Problema.....	( 4 )
1.2. Justificación.....	( 6 )
1.3. Objetivos.....	( 8 )
1.3.1. Objetivo General.....	( 8 )
1.3.2. Objetivos Específicos.....	( 8 )
1.4. Alcance.....	( 8 )
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes.....	( 11 )



**Pag**

2.2. Bases Teóricas.....	(13 )
2.2.1 Generalidades del mantenimiento.....	(13 )
2.2.2 ¿Qué es el mantenimiento predictivo?.....	(14 )
2.2.3 Objetivo del mantenimiento predictivo.....	(15 )
2.2.4 Características del mantenimiento predictivo.....	(15 )
2.2.5 Ventajas del mantenimiento predictivo.....	(16 )
2.2.6 Desventajas del mantenimiento predictivo.....	(17 )
2.2.7 Justificación técnica y económica del mantenimiento predictivo.....	(18 )
2.2.8 Técnicas aplicables en el mantenimiento predictivo.....	(22 )
2.2.9 Historia de la termografía infrarroja.....	(22 )
2.2.10 Termografía infrarroja.....	(27 )
2.2.11 El infrarrojo en el espectro electromagnético.....	(28 )
2.2.12 El infrarrojo, visión y equipos de medición.....	(31 )
2.2.13 Fundamentos de la teoría de radiación térmica.....	(32 )
2.2.14 Leyes de radiación de un cuerpo negro.....	(33 )
2.2.14.1 Ley de Kirchhoff.....	(33 )
2.2.14.2 Ley de radiación de Max Planck.....	(34 )
2.2.14.3 Ley de desplazamiento de Wien.....	(37 )
2.2.14.4 Ley de Stefan-Boltzmann.....	(39 )
2.2.15 Emitancia y emisividad en cuerpos no negros.....	(41 )
2.2.16 Materiales semitransparentes al infrarrojo.....	(46 )
2.2.17 Transmisión atmosférica.....	(47 )
2.2.18 Elementos de un sistema termográfico.....	(48 )
2.2.19 Características de los sistemas termográficos.....	(49 )
2.2.20 Obtención de la temperatura de un cuerpo a partir de la imagen infrarroja.....	(51 )



**Pag.**

2.2.21	La fórmula de medición.....	(54)
2.2.22	Algunas aplicaciones de la termografía infrarroja en el mantenimiento predictivo industrial.....	(58)
2.2.23	La termografía en la inspección de sistemas eléctricos.....	(59)
2.2.24	Reseña histórica del ultrasonido.....	(60)
2.2.25	Generalidades del ultrasonido.....	(62)
2.2.26	El ultrasonido en la naturaleza.....	(64)
2.2.27	Algunas ventajas del ultrasonido.....	(66)
2.2.28	Propagación de las ondas elásticas y fenómenos asociados.....	(66)
2.2.29	Naturaleza de la propagación del ultrasonido.....	(69)
2.2.30	Ondas longitudinales.....	(70)
2.2.31	Ondas transversales.....	(72)
2.2.32	Ondas superficiales o de Rayleigh.....	(73)
2.2.33	Ecuación de ondas.....	(75)
2.2.34	Longitud de onda.....	(76)
2.2.35	Elongación y amplitud.....	(76)
2.2.36	Período y frecuencia.....	(76)
2.2.37	Frente de ondas.....	(77)
2.2.38	Superposición de las ondas.....	(77)
2.2.39	Ecuación diferencial del movimiento de ondas.....	(78)
2.2.40	Ondas continuas y pulsos.....	(78)
2.2.41	Impedancia acústica.....	(80)
2.2.42	Choque de una onda de ultrasonido en el límite entre dos medios.....	(81)
2.2.43	Ondas ultrasónicas incidentes y reflejadas.....	(82)
2.2.43.1	Incidencia normal.....	(83)



**Pag.**

2.2.43.2	Incidencia angular.....	(84)
2.2.44	Ondas estacionarias.....	(85)
2.2.45	Efecto Doppler.....	(86)
2.2.46	Campo ultrasónico.....	(88)
2.2.47	Generación de ultrasonido.....	(90)
2.2.48	Efecto Piezoeléctrico.....	(90)
2.2.49	Análisis ultrasónico.....	(93)
2.2.50	Efecto Corona.....	(94)
2.2.51	Arco Eléctrico.....	(95)
2.2.52	Tracking (Seguimiento).....	(97)
2.2.53	Tabla comparativa de diferentes señales ultrasónicas.....	(98)
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>(100)</b>
3.1	Tipo de investigación.....	(100)
3.2	Tipo de estudio.....	(102)
3.3	Diseño de la investigación.....	(102)
3.4	Área de la investigación.....	(103)
3.5	Fases de la Investigación.....	(103)
3.6	Primera Fase: Recopilación y Análisis de la Información.....	(104)
3.7	Segunda Fase: Elaboración del Procedimiento Generalizado.....	(105)
3.8	Tercera Fase: Pruebas Piloto.....	(106)
3.9	Población.....	(106)
3.10	Muestra.....	(107)
3.11	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	(108)
3.11.1	Técnicas.....	(109)
3.11.2	Instrumentos.....	(109)



**Pag.**

3.12	Técnicas de Análisis de Datos.....	(110)
3.13	Validez del Instrumento.....	(110)
3.14	Confiabilidad.....	(111)
3.15	Calculo de la Confiabilidad.....	(112)
3.16	Cuarta Fase: Conclusiones y Recomendaciones.....	(113)

#### **CAPITULO IV**

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>(115)</b>
	Análisis del Gráfico 1.....	(116)
	Análisis del Gráfico 2.....	(117)
	Análisis del Gráfico 3.....	(118)
	Análisis del Gráfico 4.....	(119)
	Análisis del Gráfico 5.....	(120)
	Análisis del Gráfico 6.....	(121)
	Análisis del Gráfico 7.....	(122)
	Análisis del Gráfico 8.....	(123)
	Análisis del Gráfico 9.....	(124)
	Análisis del Gráfico 10.....	(125)

#### **CAPITULO V**

<b>5.</b>	<b>LA PROPUESTA.....</b>	<b>(127)</b>
5.1	Presentación de la Propuesta.....	(127)
5.2	Justificación de la Propuesta.....	(128)
5.3	Fundamentos de la Propuesta.....	(128)
5.4	Estructura de la Propuesta.....	(129)



	<b>Pag.</b>
5.5 Administración de la Propuesta.....	(129)
5.6 Factibilidad de la Propuesta.....	(130)
5.6.1 Factibilidad Económica.....	(130)
5.6.2 Factibilidad Técnica.....	(131)
5.6.3 Factibilidad Operativa.....	(131)
5.6.4 Factibilidad Psico-social.....	(132)
5.7 Manual de Procedimientos para el Mantenimiento Predictivo en Subestaciones. (Propuesto para <i>Electricidad de Valencia</i> ).....	(133)
 <b>CAPITULO VI</b>	
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>(206)</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>(211)</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>(200)</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>(216)</b>





## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Pag.

### Figuras

Figura 2.1. Explicación gráfica del mantenimiento predictivo.....	( 21 )
Figura 2.2. Sir William Herschel (1738–1822).....	( 23 )
Figura 2.3. Marsilio Landriani (1746–1815).....	( 23 )
Figura 2.4. Macedonio Melloni (1798–1854).....	( 25 )
Figura 2.5. Samuel P. Langley (1834–1906).....	( 25 )
Figura 2.6. El espectro electromagnético.....	( 29 )
Figura 2.7. Bandas de transmisión atmosférica en el infrarrojo.....	( 30 )
Figura 2.8. Región del espectro electromagnético correspondiente a los rayos infrarrojos.....	( 31 )
Figura 2.9. Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887).....	( 33 )
Figura 2.10. Max Planck (1858–1947).....	( 35 )
Figura 2.11. Emitancia radiante espectral de un cuerpo negro de acuerdo con la ley de Planck en forma de gráfico para varias temperaturas absolutas.....	( 36 )
Figura 2.12. Distribución espectral del flujo radiante para tres cuerpos a temperaturas diferentes.....	( 37 )
Figura 2.13. Wilhelm Wien (1864 – 1928).....	( 38 )
Figura 2.14. Curvas de Planck trazadas sobre escalas marcadas desde 100 [°K] a 1.000 [°K].....	( 39 )
Figura 2.15. Josef Stefan (1835–1893) y Ludwig Boltzmann (1844–1906).....	( 40 )
Figura 2.16. Emitancia radiante espectral de tres tipos de radiadores.....	( 44 )
Figura 2.17. Emisividad espectral de tres tipos de radiadores.....	( 45 )
Figura 2.18 Representación esquemática de los parámetros y elementos a considerar en la medición termográfica.....	( 55 )
Figura 2.19. Cuerpo vibrante con movimiento armónico simple.....	( 69 )



	<b>Pag.</b>
Figura 2.20. Ondas Longitudinales.....	( 71 )
Figura 2.21. Ondas Transversales.....	( 72 )
Figura 2.22. Ondas superficiales o de Rayleigh.....	( 73 )
Figura 2.23. Generación y contorno de propagación de ondas de Lamb.....	( 74 )
Figura 2.24. Modos de Vibración Simétrico.....	( 75 )
Figura 2.25. Modos de Vibración Asimétrico.....	( 75 )
Figura 2.26. Propagación de una onda sinusoidal en función del desplazamiento $\psi$ de cada partícula y del tiempo $t$ .....	( 75 )
Figura 2.27. Frente de onda plano, producido por una fuente cuyas dimensiones (largo por ancho), son mayores que $\lambda$ .....	( 77 )
Figura 2.28. Frente de onda esférico proveniente de un generador puntual.....	( 77 )
Figura 2.29a. Pulsos rectangulares.....	( 79 )
Figura 2.29b. Pulsos exponenciales.....	( 79 )
Figura 2.30. Desarrollo de la <i>Ley de Snell</i> .....	( 81 )
Figura 2.31. Haz de ondas ultrasónicas de incidencia normal.....	( 83 )
Figura 2.32. Reflexión y Refracción de una Onda Longitudinal que incide con un ángulo ( $\alpha$ ) acompañada con una conversión a otros modos de vibración.....	( 84 )
Figura 2.33. Ondas Estacionarias.....	( 86 )
Figura 2.34. Contorno aproximado de haz ultrasónico.....	( 89 )
Figura 2.35. Distribución de intensidad lo largo de eje X.....	( 89 )
Figura 2.36. Campo cercano de un haz ultrasónico producido por un transductor en un líquido.....	( 89 )
Figura 2.37a. Efecto piezoeléctrico directo del cuarzo. Corte X.....	( 91 )
Figura 2.37b. Efecto piezoeléctrico inverso del cuarzo. Corte X.....	( 91 )
Figura 2.38. Sistema simplificado de coordenadas en un cristal de cuarzo, posiciones de corte X e Y.....	( 92 )
Figura 2.39. Efecto piezoeléctrico del cuarzo.....	( 93 )



<b>Gráficos</b>	<b>Pag.</b>
Gráfico 1. Manual de Normas y Procedimiento.....	(116)
Gráfico2. Funcionamiento de la Unidad de Mantenimiento.....	(117)
Gráfico 3. Cumplimiento del Manual Normas y Procedimiento.....	(118)
Gráfico 4. Formato para Registrar la Información.....	(119)
Gráfico 5. Carencia de un Manual de Normas y Procedimientos.....	(120)
Gráfico 6. Entrega de Informe al Jefe de la Unidad de Mantenimiento.....	(121)
Gráfico 7. Justificación y Soportes de Informe.....	(122)
Gráfico 8. Actualización de Historiales.....	(123)
Gráfico 9. Cruces de Datos.....	(124)
Grafico 10. Estimación de Costos por Fallas Recurrentes.....	(125)



## ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

<b>Tablas</b>	<b>Pag.</b>
Tabla 2.1. Algunas moléculas presentes en la atmósfera y las longitudes de ondas de las bandas espectrales del infrarrojo donde absorben radiación.....	( 48 )
Tabla 2.2. Efecto Corona, Tracking y Arco Eléctrico y sus formas características.....	( 98 )
Tabla 5.1. Costo estimado del Manual de Normas y Procedimientos Propuesto.....	(131)
 <b>Cuadros</b>	
Cuadro 1. Datos estadísticos del primer ítem.....	(116)
Cuadro 2. Datos estadísticos del segundo ítem.....	(117)
Cuadro 3. Datos estadísticos del tercer ítem.....	(118)
Cuadro 4. Datos estadísticos del cuarto ítem.....	(119)
Cuadro 5. Datos estadísticos del quinto ítem.....	(120)
Cuadro 6. Datos estadísticos del sexto ítem.....	(121)
Cuadro 7. Datos estadísticos del séptimo ítem.....	(122)
Cuadro 8. Datos estadísticos del octavo ítem.....	(123)
Cuadro 9. Datos estadísticos del noveno ítem.....	(124)
Cuadro 10. Datos estadísticos del décimo ítem.....	(125)



## ÍNDICE DE ANEXOS

Pag.

### ANEXOS “A”

ANEXO A.1 Tabla 1. Emitancias de materiales comunes.....	(218)
ANEXO A.2 Tabla 1. Estándares utilizados en la inspección de equipo eléctrico.....	(219)

### ANEXOS “B”

ANEXO B.1 Cuestionario.....	(221)
ANEXO B.2.....	(222)
Constancia de Validación del Instrumento.....	(222)
Constancia de Validación del Instrumento.....	(223)
Prueba de Validez del Instrumento.....	(224)
Prueba de Validez del Instrumento.....	(225)
Cuadro Técnico Metodológico.....	(226)
ANEXO B.3 Cálculo de Confiabilidad.....	(227)
Tabla 1. Resumen estadístico del cuestionario.....	(227)
Tabla 2. Resultado del Cuestionario en Valores Absolutos.....	(228)
Tabla 3. Resultado del Cuestionario en Valores Porcentuales.....	(229)

### ANEXOS “C”

ANEXO C.1 Formato de Recolección de Datos de Termografía.....	(231)
ANEXO C.2.....	(232)
Tabla 1. Distancia de Acercamiento para Empleados Calificados.....	(232)
Tabla 2. Distancia de Acercamiento para Empleados Calificados.....	(232)



**Pág.**

ANEXOS C.3.....	(233)
Tabla 1. Directrices para inspección infrarroja de instalaciones de distribución eléctrica aéreas o subterráneas.....	(233)
Tabla 2. Incremento de temperatura del Delta T.....	(234)
ANEXO C.4 Reporte de Inspección Termográfica.....	(235)

**ANEXO “D”**

ANEXO D.1 Termografía S/E Castillito.....	(237)
ANEXO D.2 Termografía S/E Planta Este.....	(240)
ANEXO D.3 Termografía S/E Centro.....	(243)
ANEXO D.4 Termografía S/E Quizanda.....	(246)



# INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

El presente *Trabajo Especial de Grado*, constituye una iniciativa de los autores del mismo, para darle respuesta a una necesidad planteada por la empresa *Electricidad de Valencia*, ante una problemática ocasionada por la carencia de un procedimiento sistemático que permitiera la realización de las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones de la empresa con niveles de tensión comprendidos entre 115 / 34,5 y 13,8 kV, mediante la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido; y que además, tomara en cuenta los recursos disponibles en la empresa para tal fin, sin tener que agregar elementos que contribuyeran a elevar los costos por concepto de mantenimiento predictivo en las subestaciones designadas.

Debido a la importancia que representa el mantenimiento predictivo en la actualidad para cualquier empresa, y tratando de dar respuesta a la necesidad planteada, surgió la idea de proponer un procedimiento que permita sistematizar y facilitar la aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo señaladas en el párrafo anterior, considerando algunos equipos, dispositivos y elementos de las subestaciones: Castillito, Planta del Este, Centro y Quizanda, pertenecientes a la empresa, con los niveles de tensión antes indicados.

A continuación se hará referencia al contenido de los seis capítulos que conforman el presente *Trabajo de Grado*, para que el lector pueda tener una idea general de los diferentes tópicos que se desarrollarán con detalles a lo largo de la investigación.

Los seis capítulos y su contenido fueron distribuidos de la siguiente manera:

**Capítulo I**, En el se presenta el desarrollo teórico del planteamiento y formulación del problema, la justificación del problema, los objetivos; tanto general como específicos, y el alcance de la investigación.





## Introducción

**Capítulo II**, aquí se presentan los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y el marco teórico; el cual comprende el desarrollo teórico sobre las generalidades del mantenimiento, el mantenimiento predictivo con su objetivo, características, ventajas y desventajas, justificación técnica y económica y técnicas aplicables. Además, se introduce la teoría de la termografía infrarroja y diferentes aspectos de interés; así como también, la teoría del ultrasonido y los aspectos considerados en la presente investigación.

**Capítulo III**, está representado por el marco metodológico muestral y estadístico que conforman la presente investigación, también se hace referencia a un conjunto de definiciones de varios autores especializados en metodología de la investigación, incluyendo citas textuales, se habla de los recursos estadísticos empleados (población y muestra), de las técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez del instrumento empleado, de la confiabilidad y aquellos aspectos que permiten desglosar las diferentes fases de la investigación realizada.

**Capítulo IV**, este capítulo se refiere al análisis e interpretación de los resultados obtenidos luego de la aplicación del instrumento (cuestionario), para validar el procedimiento propuesto y a partir de los datos obtenidos, poder determinar el índice de confiabilidad del procedimiento; también se graficaron los resultados en frecuencia y porcentaje de las alternativas presentadas para cada uno de los ítems del cuestionario y se realiza un análisis e interpretación de cada caso.

**Capítulo V**, este capítulo corresponde a la propuesta de solución de la problemática planteada, y consiste en un manual de normas y procedimientos elaborado por los autores del presente *Trabajo de Grado*; dicho manual está estructurado en tres capítulos independientes de los citados hasta ahora, y en ellos se desarrollan todos los aspectos que sustentan el procedimiento generalizado, que cumple con el objetivo general de la investigación.

**Capítulo VI**, en este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas en la investigación y las recomendaciones sugeridas a la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa.



---

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA



## **CAPÍTULO I. EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Garantizar la continuidad del servicio eléctrico es sin duda uno de los principales retos que enfrentan permanentemente las empresas dedicadas al servicio de la energía eléctrica. Debido a la importancia cada vez mayor que representa contar con un sistema eléctrico confiable que asegure la calidad de la energía eléctrica, surge de manera natural en todas las empresas del sector eléctrico, la necesidad de crear las condiciones para cumplir con su principal objetivo; como es la prestación de los servicios de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica de manera continua, durante las 24 horas del día, todos los días del año.

Para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema eléctrico, las empresas del sector disponen de subestaciones que operan a diferentes niveles de tensión, con la finalidad de que el personal que labora en cada una de ellas interactúe con el sistema eléctrico, de tal manera que se pueda monitorear y controlar todo el sistema eléctrico en tiempo real. Por lo tanto, las subestaciones constituyen una de las entidades físicas sobre las cuales se apoyan las empresas para mantener la continuidad del servicio eléctrico que prestan.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se puede apreciar que los sistemas eléctricos son susceptibles a trabajar en condiciones no deseadas, e inclusive a fallar en cualquier momento, es por esta razón que las empresas dedicadas a la prestación del servicio de la energía eléctrica, para evitar la interrupción del servicio eléctrico, continuamente realizan inversiones en una amplia gama de equipos sofisticados de monitoreo, medición, control u otros, los cuales determinan los parámetros característicos de las complejas redes eléctricas de sus sistemas; y debido a que las subestaciones pueden fallar en cualquier momento, requieren un mantenimiento oportuno de sus equipos y elementos; por lo tanto, es en este momento cuando el mantenimiento predictivo representa una alternativa eficaz, en respuesta a la necesidad planteada.



## Capítulo I. El problema

De acuerdo a lo antes señalado, el principal problema que enfrentan los operadores de las subestaciones son las fallas del sistema, ya sean de naturaleza eléctrica, mecánica u otra, generadas de forma natural o intencional, que atentan contra la estabilidad y el control del sistema eléctrico; por consiguiente, las fallas en el suministro también representan una amenaza económica para las empresas del sector eléctrico, las cuales tienen la responsabilidad social de garantizar el servicio continuo de energía eléctrica, a cambio del beneficio económico que perciben por la prestación de sus servicios.

El mantenimiento predictivo es una estrategia eficaz y eficiente para predecir fallas antes de que se produzcan, pero su aplicación depende en gran medida de la existencia de un procedimiento que logre vincular los recursos necesarios para su ejecución, no obstante, está a la disposición de cualquier empresa y no pretende desplazar a cualquier otro tipo de mantenimiento existente, al contrario, sirve de complemento y optimiza los resultados, pues le permite a las empresas que lo utilicen obtener la mejor relación costo beneficio, además de contribuir con la calidad del servicio.

Con el propósito de realizar el mantenimiento predictivo en las subestaciones de manera segura y eficaz la termografía infrarroja y el ultrasonido, representan dos recursos apropiados por tratarse de técnicas no intrusivas; es decir, sin contacto físico, que permiten aplicarlas sin tener que afectar la operación normal de las subestaciones, porque no es necesario suspender el servicio eléctrico mientras se realizan las pruebas; por lo tanto, queda garantizada la continuidad del servicio eléctrico, y al mismo tiempo mejora la confiabilidad del sistema eléctrico.

Actualmente la empresa *Electricidad de Valencia* carece de un procedimiento propio que esté orientado a la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido en las subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV. No obstante, se realizan labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones sólo con termografía pero no se hacen de una manera sistemática; por lo cual, se observan deficiencias en la aplicación de la termografía y la ausencia en la aplicación de la técnica del ultrasonido.



## Capítulo I. El problema

Anteriormente *Electricidad de Valencia* contrataba a otras empresas dedicadas al mantenimiento de subestaciones en lo referente a la termografía, pero esto incrementaba los costos y algunas veces después de haberse realizado las labores de mantenimiento predictivo no se lograban los resultados esperados.

De acuerdo a la problemática planteada en los párrafos anteriores, surge como una propuesta por parte de los autores del presente *Trabajo Especial de Grado*, la elaboración un procedimiento modelo generalizado de mantenimiento predictivo, basado en la aplicación de las técnicas de termografía y ultrasonido en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV, que se adapte a la empresa *Electricidad de Valencia* y esté a la disposición del personal técnico calificado de la misma, para que lo utilicen como una herramienta que permita mejorar la calidad de servicio prestado y contribuya a reducir los costos de mantenimiento en las subestaciones con los niveles de tensión antes indicados.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

Las fallas de los sistemas eléctricos siempre han sido objeto de estudio y discusión a nivel mundial por parte de personas e instituciones de diferentes nacionalidades, quienes mantienen una búsqueda incesante a través del tiempo con la finalidad de encontrar nuevas formas, estrategias, técnicas o metodologías que permitan reducir su efecto de manera total o parcial, a fin de garantizar el suministro de energía de manera continua desde los centros de generación hasta los centros de consumo.

Por su parte, el mantenimiento predictivo representa una vía de solución válida para cualquier empresa, ya que garantiza la menor cantidad de mantenimientos correctivos posibles y permite optimizar los recursos a la hora de planificar el mantenimiento preventivo.

Del mismo modo, el desarrollo de un procedimiento para realizar el mantenimiento predictivo en subestaciones empleando técnicas no intrusivas y confiables, como son la termografía



## Capítulo I. El problema

---

infrarroja y el ultrasonido, mejoran los beneficios económicos para las empresas que las apliquen, ya que permiten detectar fallas incipientes y en consecuencia se puede garantizar la continuidad y calidad del servicio eléctrico, que es la principal razón social de las empresas del sector eléctrico.

Por otro lado, las empresas del sector eléctrico que operan en el país deberán enfrentarse en los próximos años a un nuevo reto conocido como calidad de la energía, y aun cuando su cumplimiento no es de carácter obligatorio, por el momento, ya está reflejada en la nueva Ley Orgánica del Sector Eléctrico (LOSE).

Por lo tanto, un procedimiento para realizar el mantenimiento predictivo en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV, utilizando técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido, es una estrategia oportuna para contribuir con la solución total o parcial de algunos problemas ocasionados por fallas eléctricas que comprometen la continuidad y calidad del servicio de la energía eléctrica, y atentan contra la actividad económica que desempeñan las empresas del sector eléctrico.

Desde el punto de vista educativo la elaboración de un procedimiento para el mantenimiento predictivo en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV, utilizando técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido constituye una herramienta más, que permite mejorar la capacitación del personal técnico calificado que laboran en las empresas del sector eléctrico y enriquece el proceso de enseñanza-aprendizaje desde el punto de vista teórico y práctico. También puede servir de base para iniciar nuevas líneas de investigación o temas de tesis, que contribuyan al desarrollo de modelos avanzados a fin de que trasciendan desde las universidades o centros de investigación hacia las empresas del sector eléctrico en general.

Gracias a la existencia de procedimientos como el que se pretende elaborar es posible aprender y enseñar a muchas personas de una manera eficaz y eficiente, aprovechando al máximo los recursos tecnológicos disponibles y el recurso humano; que es sin lugar a dudas, el mayor potencial con el que cuenta el país.



## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un procedimiento para la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV, pertenecientes a la empresa. *Electricidad de Valencia* (ELEVAL), que optimice las labores de mantenimiento predictivo de la empresa, usando los recursos disponibles en la misma.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la aplicación de la termografía infrarroja y el ultrasonido como técnicas de mantenimiento predictivo de equipos, dispositivos o elementos presentes en las subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV.
- Realizar un conjunto de pruebas piloto en algunas subestaciones pertenecientes a la empresa *Electricidad de Valencia*, para determinar a cuáles equipos, dispositivos o elementos bajo estudio, es más conveniente aplicarle la prueba de termografía infrarroja dependiendo de sus características funcionales.
- Elaborar un procedimiento modelo generalizado, que permita la ejecución del mantenimiento predictivo en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV.

## 1.4 ALCANCE

El procedimiento se desarrollará en las subestaciones: Castillito, Planta del Este, Centro y Quizanda, pertenecientes a la empresa *Electricidad de Valencia*, con niveles de tensión comprendidos entre 115 / 34,5 y 13,8 kV.



## Capítulo I. El problema

---

De estas subestaciones se considerarán los equipos y elementos que se detallan a continuación. Transformadores de potencia, transformadores de corriente, transformadores de tensión, disyuntores, seccionadores, descargadores de sobretensión (Pararrayos), aisladores, aisladores pasamuros, conectores, conductores, fusible de alta tensión y tableros de control.

Por otro lado, es preciso señalar que las pruebas de termografía infrarroja se realizarán con una cámara termográfica marca ThermaCAM™ PM575, este equipo está disponible y pertenecen a la empresa *Electricidad de Valencia*.

Se realizarán varias pruebas piloto, ya que las subestaciones antes señaladas presentan diferencias entre sí, tanto en niveles de tensión como en equipos y elementos; por lo tanto, los resultados de dichas pruebas optimizarán la elaboración del procedimiento modelo generalizado, que abarcará el mantenimiento predictivo en cada caso.

La realización de las pruebas piloto requiere de la visita programada a las subestaciones designadas por la empresa, la cual deberá ser autorizada y supervisada por el personal técnico de la misma para garantizar la confiabilidad de las pruebas y la seguridad del personal técnico que las realice.





---

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO



## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

Apoyados en trabajos anteriores y directamente relacionados con el presente *Trabajo de Grado*, con la finalidad de enriquecer la investigación y al mismo tiempo sentar las *Bases Teóricas*, que sirvan de fundamento, los autores hacen referencia a los siguientes trabajos que se resumen brevemente a continuación.

- **Torres Pedro.** *Metodología Recomendada en el Análisis Predictivo y Preventivo de Equipos Eléctricos Industriales Mediante el uso de Termografía por Imágenes.* Universidad de Carabobo, año 2001. *Trabajo de Grado* donde se presentan metodológicamente los principios asociados a la termografía por imágenes y se establece un procedimiento con fundamentos válidos para la ejecución y evaluación de una inspección termográfica, haciendo hincapié en la importancia de su aplicación en el medio industrial dentro de un plan de mantenimiento predictivo, en donde se unen las herramientas digitales y el software como medios para obtener los resultados deseados. El alto nivel de fallas por deterioro del aislamiento en equipos eléctricos dentro de la industria es debido a que cuando la temperatura de operación del aislamiento está a 10 [°C] por encima del límite permitido, su vida útil se reduce a la mitad. Es por eso que las inspecciones termográficas se hacen imperativas para la prevención y predicción de ese tipo de fallas. Sus ventajas se hacen notar en la detección de anomalías térmicas durante la operación de los equipos, por ser la termografía una medición térmica sin contacto [1].

- **Dávila Carmen y Jiménez Raúl.** *Metodología Recomendada en el Análisis Predictivo y Preventivo de Equipos Eléctricos Industriales Mediante el uso de Ultrasonido.* Universidad de Carabobo, año 2002. Trabajo de grado, donde se presentan una serie de antecedentes históricos del Ultrasonido y además de experiencias tipo teórico-práctico. También se elabora una metodología analítica y confiable, que brinda una guía para analizar el estado de los equipos



## Capítulo II. Marco Teórico

eléctricos, basándose en la evaluación de fugas mediante el análisis ultrasónico con la finalidad de reducir la tasa de fallas de los equipos. Esto representa una herramienta útil para identificar a tiempo cualquier falla o condiciones no deseadas en las unidades. A lo largo de este trabajo, se estudiaron un grupo de estrategias recomendadas por prestigiosas empresas e instituciones a nivel mundial, especializadas en pruebas no destructivas hasta condensar la metodología más adecuada a seguir en cada caso. También se establece que la detección de una falla incipiente, una fuga o problemas en el aislamiento de conductores, puede evitar grandes pérdidas a las empresas [2].

- **Torres Cesar.** *Análisis de Imágenes Infrarrojas. Inspección de Cableado Eléctrico.* Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Tonantzintla. Puebla, año 1998. En este Trabajo de Grado de Maestría se presenta la aplicación de técnicas de análisis de imágenes infrarrojas para la inspección de cableado eléctrico. Dada la imagen infrarroja de un conductor eléctrico se determina si el conductor presenta un defecto o falla a partir de la información presente en la imagen. El método de inspección se basa en la comparación de los valores de temperatura superficial, proporcionados en la imagen, y el valor de temperatura teórico del conductor obtenido a través de un modelo térmico. Se especifica la relación existente entre la temperatura del conductor y sus condiciones físicas y de operación en el proceso de inspección. El énfasis de este estudio recae en la exposición de las diferentes técnicas de procesamiento y análisis de la imagen. También, se analizan las diferentes etapas de la imagen en el proceso de inspección y su interrelación. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, aplicados a conductores de media y alta potencia [3].



## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

Todos tenemos una idea general, más o menos precisa, de lo que es el mantenimiento. Lo concebimos como todo el trabajo necesario para mantener en buen estado de funcionamiento todo tipo de bienes, como los edificios y las máquinas [4].

Se puede decir que el mantenimiento nació con los primeros hombres. Desde el momento en que el hombre busca cubrir su cuerpo de las inclemencias del tiempo, está haciendo mantenimiento, el de su propia persona. Cuando el hombre buscó materias grasas para engrasar los ejes de sus carretas, echó a andar las bases de los métodos que actualmente se usan [4].

Una definición de mantenimiento podría ser la siguiente: todas las actividades desarrolladas con el fin de conservar las instalaciones y equipos en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico [4].

Por otro lado, abordar el mantenimiento sin ningún tipo de estrategia ni organización, limitándonos a reparar daños producidos o, en el mejor de los casos, realizando la gama de mantenimiento preventivo recomendada por el fabricante de los equipos, es la mejor forma de no hacer mantenimiento. En instalaciones como las subestaciones eléctricas, con régimen crítico de funcionamiento, el mantenimiento predictivo tiene un papel primordial.

Por lo tanto, es necesario abordar el mantenimiento como una herramienta de valor dentro del proceso productivo sin perder su finalidad, como es la máxima utilización de los equipos y recursos disponibles durante el mayor tiempo posible con el menor número de intervenciones y al menor costo en la ejecución del mismo.



## 2.2.2 ¿QUÉ ES EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO?

Es el mantenimiento programado y planificado mediante el cual se hace un seguimiento con mediciones periódicas de las variables de estado de cualquier equipo, máquina o elemento presentes en una empresa, lo que permite la detección de fallas en estado incipiente, permitiendo tomar acciones orientadas a impedir que dichas fallas se transformen en una avería que ponga en peligro la continuidad de un servicio, un proceso de producción industrial o provoquen un daño total o parcial de equipos o maquinarias costosas; por lo tanto, el mantenimiento predictivo es también una técnica moderna que contribuye a evitar accidentes que provoquen pérdidas materiales o humanas [5].

También puede definirse como un tipo de mantenimiento que se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la falla, o al momento en que el equipo, máquina o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir este propósito se utilizan herramientas especializadas y técnicas de monitoreo en tiempo real de parámetros físicos característicos de los equipos máquinas o elementos considerados [6].

En el mantenimiento predictivo o bajo condición, evaluamos el estado de los componentes eléctricos o mecánicos mediante técnicas de seguimiento y análisis, permitiéndonos programar las operaciones de mantenimiento “solamente cuando son necesarias”. Consiste esencialmente en el estudio de ciertas variables o parámetros relacionados con el estado o condición del medio que se desea mantener bajo control permanente, como por ejemplo la temperatura, nivel de aislamiento, etc. El estudio de estas variables o parámetros nos suministran información del estado de sus componentes y del modo en que están funcionando los equipos y demás elementos, permitiéndonos no solo detectar problemas de componentes sino también de diseño o errores técnicos en la instalación de los equipos o maquinarias.

### **2.2.3 OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO [7]**

El objetivo del mantenimiento predictivo es reducir los costos de operación y de mantenimiento, incrementando la confiabilidad de los equipos.

La base del mantenimiento predictivo radica en la monitorización de los equipos, ya que debemos evaluar los parámetros (temperatura, nivel de aislamiento, otros), cuando la empresa esté operando en funcionamiento normal. Por lo tanto, no es necesario hacer interrupciones en los procesos o una parada en el funcionamiento de los equipos, para poder evaluar la condición de los mismos; es decir, que podemos conocer el estado de nuestros equipos, máquinas o elementos mientras están trabajando.

### **2.2.4 CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO [5]**

- El mantenimiento predictivo se realiza por medio de inspecciones continuas o periódicas; las periódicas se basan en la programación recomendada por el fabricante o por criterio propio, dependiendo del tipo de equipo, máquina o elemento considerado.
- Establece patrones de comparación exactos y confiables que permiten de una manera rápida definir las fallas de los equipos.
- Disminuye grandemente las posibilidades de error a la hora de establecer diagnósticos de fallas.
- Utiliza para su detección y análisis, técnicas de trabajo muy sofisticadas, pero de fácil aplicación.
- Diagnostica cualquier falla de una manera bastante rápida.



## Capítulo II. Marco Teórico

- Permite establecer con amplio margen de seguridad cuando se requiere cambiar una pieza o equipo.
- La inspección puede realizarse desde un sitio distante del equipo o en el mismo lugar, lo que permite mantener una inspección más continua y a la vez con poco personal o menor número horas-hombre de trabajo.
- Provee información detallada de las condiciones del equipo.
- Puede realizarse un archivo con el historial de cada equipo y así facilitar el trabajo de mantenimiento.
- Permite la inspección con el equipo en funcionamiento.

### 2.2.5 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO [8]

- Incremento en la seguridad de la empresa, debido al monitoreo permanente y preciso por medio de instrumentos avanzados que permiten detectar fallas prematuras en el nivel de aislamiento de conductores y equipos, altas temperaturas (puntos calientes, sobrecarga de transformadores, otras), emisión acústica causada por efecto corona, tracking o por fugas de gases en subestaciones aisladas (GSF), otras.
- Reducción de costos de mantenimiento, ya que el mantenimiento predictivo garantiza una disminución del costo en equipos de monitoreo como una función real de la condición del equipo, maquina o elemento en el tiempo. El inventario de repuestos puede ser reducido si los equipos, máquinas o elementos son monitoreados apropiadamente.
- Aumento de la vida útil de los equipos, maquinas o elementos presentes en la empresa,

## Capítulo II. Marco Teórico

debido al monitoreo permanente de sus partes esenciales por lo cual podrán operar continuamente hasta que la condición real de funcionamiento óptimo indique el fin de la vida útil de los mismos.

- Mayor disponibilidad operativa de los equipos, máquinas o elementos presentes en la empresa; por lo tanto, las paradas serán programadas solo cuando sea estrictamente necesario, sin interrupciones sorpresivas de la producción y sin problemas de un mantenimiento imprevisto.
- Bajos costos del seguro ya que el sistema de monitoreo programado garantiza la protección de los equipos, máquinas o elementos presentes en la empresa; por lo tanto, los riesgos asumidos son menores, esta característica implica una disminución en los costos de las pólizas del seguro.
- Se obliga al personal de mantenimiento de la empresa a dominar las diferentes fases del proceso realizado y obtener datos técnicos que permiten aplicar un método científico de trabajo riguroso y objetivo [6].
- Incremento de la utilidad de la empresa, ya que todas las ventajas anteriores enmarcan una disminución real de los costos por mantenimiento.

### 2.2.6 DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO [6]

- La principal desventaja del mantenimiento predictivo es la alta inversión inicial en instrumentos y equipos avanzados de medición portátil.
- Para realizar este tipo de mantenimiento se requiere disponer en la empresa del personal técnico calificado y con experiencia, que sea capaz de interpretar los datos que generan los



equipos de monitoreo y emitir conclusiones en base a ellos, este trabajo requiere un conocimiento técnico elevado de la aplicación.

- La implantación de este tipo de mantenimiento se justifica en máquinas, equipos o instalaciones, donde los paros repentinos del proceso o servicio prestado ocasionan grandes pérdidas, o donde las paradas innecesarias tienen un alto costo para la empresa.

### **2.2.7 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO [7]**

La justificación técnica del mantenimiento predictivo es evidente, basta para ello comparar las acciones cuando se realiza cualquier tipo de mantenimiento diferente como el mantenimiento correctivo o preventivo en los diferentes equipos, máquinas o elementos de la empresa.

Cuando se realiza únicamente un mantenimiento correctivo, el termino “mantenimiento correctivo” es sinónimo de “reparación”. Esto no quiere decir que no pueda existir este tipo de intervenciones, de hecho el fin último de todo tipo de mantenimiento es reparar o sustituir componentes dañados, con la finalidad de alargar la vida útil del equipo o elemento en cuestión, y para ello son inevitables las intervenciones correctivas. Sin embargo, es un error centrar todas las actuaciones de mantenimiento con esta única finalidad. Esto solo presenta una ventaja: “El costo de la inversión inicial es prácticamente nulo”; no obstante, genera serios inconvenientes como los que se indican a continuación:

- Paradas inesperadas, normalmente suelen ocurrir en el peor momento; es decir, cuando la producción debe ser mayor, o la demanda del servicio prestado aumenta.
- Estas paradas suelen ser catastróficas para muchas empresas cuyo corte de producción, o interrupción en la prestación de su servicio genera una cadena de problemas con otras

empresas que dependen directa o indirectamente de ellas.

- Los costos de reparación del mantenimiento correctivo llegan a ser muy elevados.
- La necesidad de tener piezas de repuesto en almacén se incrementa ante la incertidumbre de no saber que puede fallar.
- Los riesgos de accidentes se incrementan.
- Se desconoce totalmente el estado real de los equipos y maquinarias.
- Se tratan las fallas crónicas como habituales sin descubrir el origen del problema, por ejemplo si un componente o elemento que pertenece a una máquina o equipo se deteriora prematuramente y tomamos la rutina de sustituirlo sin analizar las causas de este hecho, estamos ocultando un posible problema que aparecerá reiteradamente hasta que sea plenamente identificado.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo o programado, se basa en la sustitución de componentes cuando suponemos de manera teórica que se ha agotado la vida útil de los mismos. Este estudio teórico de la vida útil de los componentes que integran un equipo o una máquina lo suele suministrar el fabricante del equipo o maquinaria, quien normalmente incluye una amplia gama de mantenimiento preventivo, con indicación de sustitución de componentes aun cuando los mismos no presenten rasgos de deterioro o defectos.

Sin embargo, el mantenimiento preventivo presenta también una serie de inconvenientes que se detallan a continuación:

- El principal inconveniente radica en intervenir un equipo o máquina que está funcionando

## Capítulo II. Marco Teórico

correctamente, simplemente porque le toca una revisión. Los equipos y las máquinas adquieren con su funcionamiento un punto de equilibrio que es difícil de restablecer una vez que intervenimos en los mismos y con las actuaciones preventivas estamos modificando constantemente este punto de equilibrio del funcionamiento óptimo.

- Cuando se realiza una labor de mantenimiento preventivo sobre cualquier equipo o maquinaria, se cambian componentes que normalmente están en buen estado y se desconoce el estado real de los mismos hasta que se desmontan.
- Se pueden cambiar componentes de un equipo o maquinaria que han agotado su vida teórica y al mismo tiempo no detectar otros que se encuentran en mal estado. Es decir que con el mantenimiento preventivo, no se tiene un control sobre los daños ocultos.
- En cuanto al costo por mantenimiento preventivo, este puede variar bruscamente como consecuencia de las frecuentes intervenciones en los diferentes equipos o máquinas siendo muchas de ellas innecesarias.

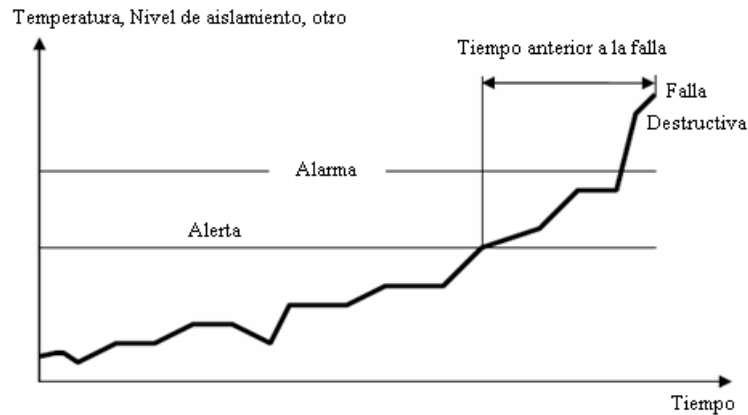
A pesar de que el mantenimiento predictivo presenta ciertos inconvenientes debido a los altos costos de inversión inicial en tecnología y entrenamiento del personal técnico calificado, la rentabilidad de dicha inversión a mediano y largo plazo es mayor que los otros tipos de mantenimiento y con las ventajas que el mismo ofrece.

En la figura 2.1. se muestra un gráfico que permite entender y visualizar los beneficios que representa el mantenimiento predictivo. Se trata de un gráfico de tendencias, en el eje de abscisas medimos tiempo de evolución de la falla, y en el eje de las ordenadas se evalúan las variables o los parámetros que indican la condición crítica que determina una falla, (incremento brusco en la temperatura, bajo nivel de aislamiento, alto nivel de ruido, otros). Por ejemplo, mientras la temperatura o algún otro parámetro de interés permanezca estable no tendremos porqué

## Capítulo II. Marco Teórico

preocuparnos, es decir que el equipo está funcionando en condiciones normales, pero cuando ésta comience a subir de manera evolutiva en el tiempo, será un indicativo de que algo anda mal.

Si se establecen las técnicas de análisis apropiadas podremos determinar con extraordinaria precisión la causa del daño del equipo o la falla. Es importante establecer los puntos límites de alerta, alarma y falla, debido a la valiosa información que aportan. Existen diversas formas de establecerlos, siendo necesario siempre disponer de un conjunto de datos históricos de mediciones que nos permitan realizar un estudio estadístico de las mismas.



**Figura 2.1. Explicación gráfica del mantenimiento predictivo. [7]**

La rentabilidad económica del mantenimiento predictivo está fuera de toda duda, como puede demostrarse con datos numéricos reales de empresas de distintos sectores donde se ha implantado haciendo un análisis comparativo de los costos reales asociados a los diferentes tipos de mantenimiento antes señalados. Aún, sin necesidad de declarar “catástrofes evitadas” por la implantación de técnicas de mantenimiento predictivo, se obtienen rentabilidades positivas al invertir en tecnologías de este tipo de mantenimiento. [7]

## **2.2.8 TÉCNICAS APLICABLES EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

Son muchas las técnicas que se pueden aplicar en el área del mantenimiento predictivo, siendo algunas de ellas las siguientes [7]:

- Termografía infrarroja.
- Ultrasonido.
- Análisis de vibraciones.
- Análisis de aceites.
- Análisis espectral de intensidades de corriente.
- Análisis del flujo de dispersión.
- Ensayos de aislamiento de motores.
- Descargas parciales.
- Ensayos no destructivos. ( END ).
- Otras.

Cada una de las técnicas señaladas tiene un campo de aplicación más o menos concreto, existiendo complementariedad, prácticamente entre todas [7].

En el presente trabajo, se estudiarán en detalle solamente las dos primeras técnicas de mantenimiento predictivo; es decir, la termografía infrarroja y el ultrasonido porque ellas constituyen una parte esencial del objetivo general que se desea alcanzar.

## **2.2.9 HISTORIA DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA [9]**

Hace algo menos de 200 años, ni siquiera se sospechaba la existencia de la región infrarroja del espectro electromagnético. La importancia original del espectro infrarrojo (al que suele hacerse referencia simplemente como “los infrarrojos”) como forma de radiación calorífica es

## Capítulo II. Marco Teórico



probablemente menos obvia hoy en día que en la época de su descubrimiento por parte de William Herschel en 1800. El descubrimiento fue accidental y se produjo durante la investigación de un nuevo material óptico. Sir William Herschel, astrónomo real del rey Jorge III de Inglaterra y ya famoso anteriormente por haber descubierto el planeta Urano, estaba investigando con el fin de encontrar un material para filtros ópticos que lograse reducir el brillo de la imagen del sol en los telescopios al realizar observaciones solares.

**Figura 2.2. Sir William Herschel (1738–1822). [9]**

Al probar diferentes muestras de cristales de colores que proporcionaban similares reducciones del brillo, le llamó la atención descubrir que algunas de las muestras dejaban pasar muy poco calor solar, mientras que otras dejaban pasar tanto calor que podrían producir daños oculares tras unos pocos segundos de observación. De inmediato, Herschel se dio cuenta de la necesidad de realizar un experimento sistemático, con el fin de descubrir un material que proporcionase la reducción deseada del brillo y al mismo tiempo la máxima reducción posible del calor. Empezó el experimento repitiendo el experimento de prismas de Newton, pero buscando el efecto calorífico en lugar de la distribución visual de la intensidad en el espectro.

Al principio oscureció el bulbo de un termómetro de mercurio con tinta y, utilizándolo como detector de radiación, procedió a probar el efecto calorífico de los diferentes colores del espectro



que se formaban encima de una mesa haciendo pasar la luz del sol a través de un prisma de cristal. Otros termómetros, colocados fuera del alcance de los rayos del sol, servían como controles. A medida que el termómetro oscurecido se movía lentamente por los colores del espectro, las lecturas de las temperaturas mostraban un incremento fijo desde el extremo violeta hasta el rojo.

**Figura 2.3. Marsilio Landriani (1746–1815). [9]**



## Capítulo II. Marco Teórico

Esto no era especialmente sorprendente, ya que el investigador italiano. Marsilio Landriani había observado exactamente el mismo efecto en un experimento similar realizado en 1777. No obstante, fue Herschel el primero en darse cuenta de que debía haber un punto en el que el efecto calorífico llegase al máximo y que las medidas confinadas a la parte visible del espectro no mostraban este punto. Al mover el termómetro en la región oscura, más allá del extremo rojo del espectro, Herschel confirmó que el calor seguía aumentando. El punto máximo, cuando lo encontró, estaba mucho más allá del extremo rojo, dentro de la región que hoy conocemos como "longitudes de onda infrarrojas". Cuando Herschel reveló su descubrimiento, denominó a esta nueva región del espectro electromagnético "espectro termométrico". A veces hizo referencia a la propia radiación como "calor oscuro" o simplemente "los rayos invisibles". Irónicamente y contradiciendo la opinión popular, no fue Herschel el que acuñó el término "infrarrojo". Esta palabra sólo empezó a utilizarse en documentos impresos unos 75 años después, y su creador aún permanece en el anonimato [9].

El que Herschel utilizara cristal en los prismas de su experimento original provocó cierta controversia inicial con algunos de sus contemporáneos acerca de la existencia real de las longitudes de onda infrarrojas. Diferentes investigadores, intentando confirmar la validez de su trabajo, utilizaron diferentes tipos de cristal de forma indiscriminada, obteniendo diferentes transparencias en los infrarrojos. En sus experimentos posteriores, Herschel observó la transparencia limitada del cristal a la radiación térmica recién descubierta, y llegó a la conclusión de que las lentes utilizadas para los infrarrojos debían ser forzosamente elementos reflectantes (espejos curvos y lisos) [9].

Afortunadamente, en 1830 se descubrió que esto no era cierto, cuando el investigador italiano Macedonio Melloni realizó su gran descubrimiento: la sal de roca ( $\text{NaCl}$ ), que estaba disponible en cristales naturales lo suficientemente grandes para hacer lentes y prismas, es considerablemente transparente a los infrarrojos. Así que la sal de roca se convirtió en el principal material óptico para los infrarrojos, y permaneció durante los 100 años siguientes, hasta

la creación del cristal sintético en los años 30. Los termómetros fueron los únicos medidores de radiación hasta 1829, año en el que Nobili inventó el termopar [9].



El termómetro de Herschel podía medir solamente hasta 0,2 [°C] y los modelos posteriores podían hacerlo hasta 0,05 [°C]. Posteriormente se produjo un gran descubrimiento. Melloni conectó varios termopares en serie para crear la primera termopila. El nuevo dispositivo era al menos 40 veces más sensible a la radiación calorífica que el mejor termómetro del momento.

**Figura 2.4. Macedonio Melloni (1798–1854). [9]**

Dicha termopila, era capaz de detectar el calor de una persona a una distancia de tres metros. La captura de la primera "imagen de calor" se hizo posible en 1840, como resultado del trabajo de Sir John Herschel, hijo del descubridor de los infrarrojos y famoso astrónomo por méritos propios. Basándose en la diferente evaporación de una fina capa de aceite al exponerla a un patrón de calor enfocado hacia ella, la imagen térmica podía verse gracias a la luz reflejada en los lugares en los que los efectos de interferencia de la capa de aceite hacían que la imagen fuese visible para el ojo humano. Sir John también consiguió obtener un registro primitivo de la imagen térmica en papel y lo llamó "*termografía*" [9].



Las mejoras en la sensibilidad de los detectores de infrarrojos fueron sucediéndose lentamente. Otro descubrimiento de gran importancia, realizado por Samuel Langley en 1880, fue la invención del bolómetro. Éste consistía en una delgada tira de platino oscurecido conectada a uno de los brazos de un puente de Wheatstone sobre la que se enfocaba la radiación infrarroja y a la que respondía un galvanómetro sensible [9].

**Figura 2.5. Samuel P. Langley (1834–1906). [9]**





## Capítulo II. Marco Teórico

En teoría, este instrumento era capaz de detectar el calor de una vaca a una distancia de 400 metros. Entre los años 1900 y 1920, los inventores del mundo "descubrieron" los rayos infrarrojos. Se crearon muchas patentes de dispositivos para detectar personas, artillería, aviones, barcos e incluso icebergs. Los primeros sistemas que funcionaban en el sentido moderno comenzaron a desarrollarse durante la primera guerra mundial desde 1914 a 1918, cuando ambos bandos tenían programas de investigación dedicados a las aplicaciones militares de los infrarrojos. Estos programas incluían sistemas experimentales para la detección de intrusiones del enemigo, sensores de temperatura remotos, comunicaciones seguras y direccionamiento de "torpedos aéreos". Un sistema de búsqueda por infrarrojos probado durante esta época fue capaz de detectar un avión aproximándose a una distancia de 1,5 km., y una persona a una distancia de más de 300 metros [9].

Los sistemas más sensibles hasta la fecha estaban basados en variaciones sobre la idea del bolómetro, pero el período de entreguerras fue testigo del desarrollo de dos nuevos detectores de infrarrojos revolucionarios: el conversor de imágenes y el detector de fotones. Al principio, el conversor de imágenes fue el que más atención recibió por parte de los militares, ya que por vez primera en la historia permitía a un observador ver en la oscuridad literalmente. Sin embargo, la sensibilidad del conversor de imágenes estaba limitada a las longitudes de onda infrarrojas más cercanas y los objetivos militares más interesantes, por ejemplo los soldados enemigos, tenían que ser iluminados por haces infrarrojos de búsqueda [9].

Las desventajas tácticas para los militares de los llamados sistemas térmicos de imagen "activos" (equipados con un haz de búsqueda) proporcionaron un cierto impulso después de la segunda guerra mundial desde 1939 hasta 1945, a programas de investigación militar secretos y más ambiciosos, que tenían el objetivo de desarrollar sistemas "pasivos", (sin haz de búsqueda) tomando como base el extremadamente sensible detector de fotones [9].

Durante este período, las normativas sobre los secretos militares evitaban por completo que se revelase el estado de la tecnología de imágenes infrarrojas. Este secretismo sólo empezó a



desaparecer a mediados de los años 50, y desde ese momento la ciencia y la industria civil empezaron a tener a su disposición dispositivos de imágenes térmicas adecuados para sus necesidades [9].

### **2.2.10 TERMOGRAFÍA INFRARROJA [7]**

La termografía infrarroja se podría definir brevemente como una técnica que permite, a través de la radiación infrarroja que emiten los cuerpos, la medida superficial de la temperatura. El instrumento que se usa en termografía para medir, es la cámara termográfica de infrarrojos.

La principal ventaja de la medida de temperatura mediante termografía infrarroja, es que representa una técnica de medición no intrusiva; es decir, que no se requiere contacto físico entre el objeto analizado y el equipo de medición, por lo que no afectará a las condiciones de funcionamiento y operación de los objetos, equipos o elementos observados. Esta cualidad la hace especialmente apropiada en el control y mantenimiento de elementos energizados; y a la vez, no pone en riesgo al personal que realiza las mediciones.

Por lo tanto, la termografía infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin contacto, medir la distribución de temperaturas en la superficie de un cuerpo con precisión. Para ello se hace uso de detectores de infrarrojo, que permiten extraer una imagen cuantificable en temperatura mediante cálculos, llamada termograma. A cada píxel de esta imagen o termograma se le asocia un color o nivel de gris, el cual representará una temperatura dada de acuerdo a una escala predeterminada. A partir de estos patrones térmicos se pueden realizar estudios de los efectos estables y transitorios de los cuerpos asociados a otros procesos dentro del cuerpo. [10]

Los instrumentos de detección térmica infrarroja son usados para medir y registrar, sin contacto, las temperaturas superficiales de una amplia variedad de objetos. Esto se realiza a través de la medición de energía radiante, en la porción infrarroja del espectro electromagnético, emitida por la superficie del objeto y convirtiendo esta medición a su equivalente de temperatura



mediante la manipulación de ciertas ecuaciones matemáticas, se logra medir la temperatura superficial del objeto en cuestión [11]. En la sección 2.2.20 se explicará con más detalles.

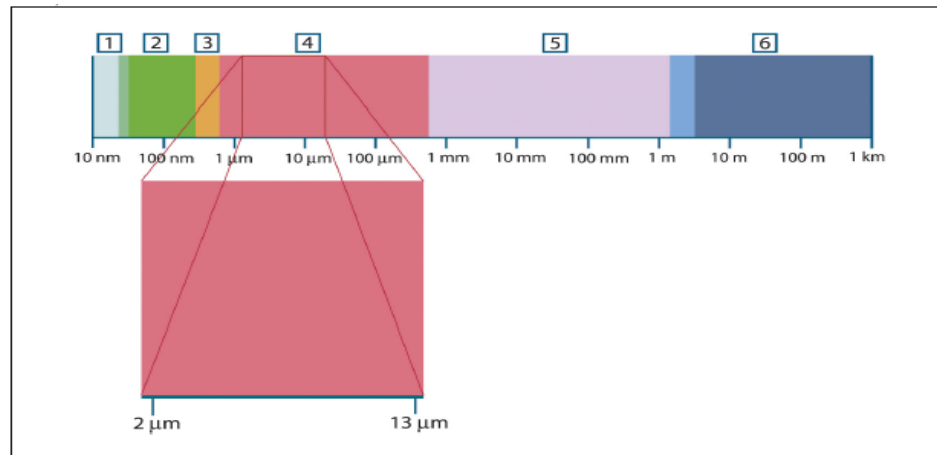
La termografía infrarroja por medio de los sistemas de adquisición de imágenes térmicas extienden nuestra visión más allá de las longitudes de onda visible, ampliando el rango de visión a la porción infrarroja del espectro electromagnético. Estos sistemas convierten los datos de la energía infrarroja radiada por los cuerpos, como consecuencia de su temperatura, en imágenes bidimensionales correspondientes a la temperatura asociada a dicho cuerpo [3].

La base para la tecnología de imágenes infrarrojas es que cualquier cuerpo cuya temperatura esté por encima de los 0 [°K], irradia energía infrarroja. La cantidad de energía radiada es una función de la temperatura del cuerpo y de su eficiencia relativa de radiación, propiedad conocida como emitancia. La cantidad de potencia térmica radiada y las características específicas del espectro de radiación están gobernadas por las leyes de la radiación térmica [3]. Las cuales se estudiarán más adelante en la sección 2.2.13.

### **2.2.11 EL INFRARROJO EN EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO [9]**

El espectro electromagnético se divide arbitrariamente en diversas zonas con distintas longitudes de onda llamadas *bandas*, que se distinguen por los métodos utilizados para producir y detectar la radiación. No existen diferencias fundamentales entre la radiación de las distintas bandas del espectro electromagnético. Todas ellas están regidas por las mismas leyes y las únicas diferencias son las debidas a las diferencias en la longitud de la onda.

La termografía infrarroja utiliza la banda espectral del infrarrojo. En el extremo de la longitud de onda corta, la frontera se encuentra en el límite de la percepción visual, en el rojo profundo. En el extremo de la longitud de onda larga, se junta con las longitudes de ondas de radio de microondas, en el intervalo del milímetro.



**Figura 2.6. El espectro electromagnético. 1: rayos X. 2: UV. 3: visible. 4: IR. 5: microondas. 6: ondas de radio. [9]**

La mayor parte del espectro de emisión infrarrojo no es útil para los sensores debido a que la radiación es absorbida por el agua y el dióxido de carbono en la atmósfera. Sin embargo existen tres bandas de longitudes de onda [3], con buena transmisión:

- La banda infrarroja de longitudes de onda cortas (SWIR) que cubre el rango de 0,7 a 2 [μm].
- La banda infrarroja de longitudes de onda medias (MWIR) que cubre el rango de 2 a 6 [μm]., y ofrece también una transmisión cercana al 100 por ciento, con el beneficio adicional de un ruido de fondo bajo.
- La banda infrarroja de longitudes de onda largas (LWIR) que cubre la región de 8 a 15 [μm], con aproximadamente un 100 por ciento de transmisión en la banda de 9 a 12 [μm]. La banda LWIR ofrece excelente visibilidad para la mayoría de los objetos terrestres.

Aunque las longitudes de onda se expresan en micrómetros [μm], a menudo se siguen utilizando otras unidades para medir la longitud de onda de esta región del espectro, como el

## Capítulo II. Marco Teórico

nanómetro [nm] y el ángstrom [Å]. A continuación la relación 2.1, muestra la equivalencia entre las diferentes unidades de medidas de la longitud de onda [9].

$$10000 \text{ \AA} = 1000 \text{ nm} = 1 \text{ micra} = 1 \mu\text{m} \quad (2.1)$$

La región entre 6 y 8  $\mu\text{m}$  no es utilizable en la atmósfera terrestre puesto que la radiación es absorbida por el vapor de agua y sólo logra cubrir distancias cortas desde la fuente de emisión. En la figura 2.7, se muestran las bandas de transmisión atmosférica utilizables en la porción infrarroja del espectro electromagnético. Las regiones sombreadas representan las bandas más comúnmente utilizadas por los equipos de infrarrojo [3].

El equipo de infrarrojo se diseña para operar ya sea en la banda de longitudes de ondas largas o bien la banda de longitudes de ondas medias. La banda de longitudes de ondas largas incluye un espectro más amplio de temperaturas bajas, mientras que la banda de longitudes de ondas medias incluye un rango de temperaturas mayores [3].

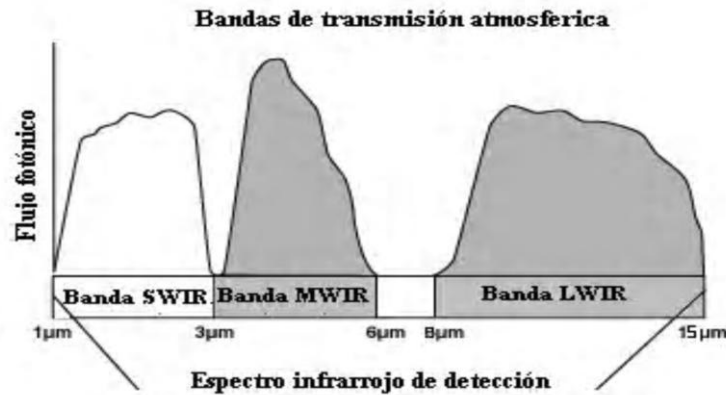


Figura 2.7. Bandas de transmisión atmosférica en el infrarrojo. [3]

Por lo anterior, para aplicaciones de altas temperaturas un equipo de infrarrojo de longitudes de ondas medias es el más apropiado. Para temperaturas relacionadas a muchas aplicaciones de mantenimiento, el equipo de longitudes de ondas largas frecuentemente ofrece mayores ventajas [3].

### 2.2.12 EL INFRARROJO, VISIÓN Y EQUIPOS DE MEDICIÓN [12]

Todo cuerpo sobre el cero absoluto de temperatura ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), irradia una energía con una longitud de onda que se encuentra en el intervalo comprendido entre  $0,76$  hasta  $1.000\text{ }\mu\text{m}$ , del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo. El espectro visible se extiende desde longitudes de onda de  $0,4\text{ }\mu\text{m}$  para la luz ultravioleta hasta alrededor de  $0,75\text{ }\mu\text{m}$  para la luz roja. Para los propósitos prácticos de medición de temperatura, el espectro infrarrojo se extiende de  $0,75\text{ }\mu\text{m}$  hasta alrededor de  $20\text{ }\mu\text{m}$ .

El sistema visual humano conformado por los ojos y el cerebro, no es sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto de manera natural; por esta razón, para poder medir y visualizar la radiación infrarroja de los cuerpos, se requiere de un equipo llamado cámara termográfica, la cual es capaz de captar y censar la energía infrarroja invisible al ojo humano. Las cámaras termográficas disponen de sensores infrarrojos que pueden ver las longitudes de onda de la radiación infrarroja de los cuerpos. Esto nos permite medir la energía radiante auto emitida por objetos y por lo tanto, determinar la temperatura de la superficie del objeto de manera remota y sin contacto. La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores correspondiente a la temperatura del objeto observado.

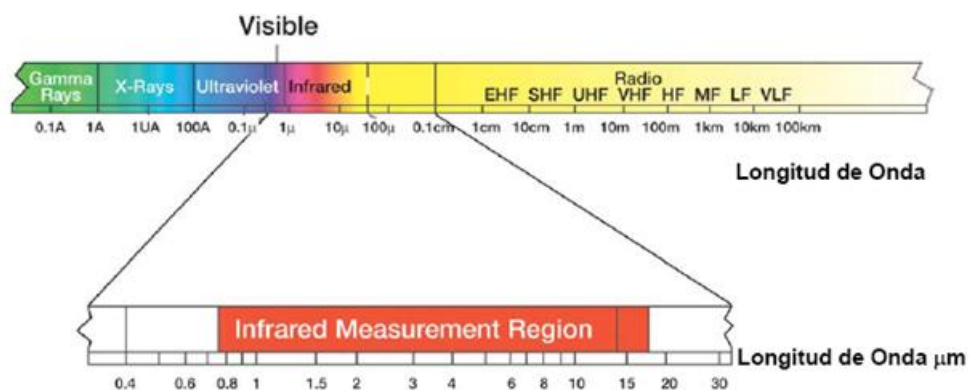


Figura 2.8. Región del espectro electromagnético correspondiente a los rayos infrarrojos.[12]



### 2.2.13 FUNDAMENTOS DE LA TEORÍA DE RADIACIÓN TÉRMICA [3]

Se llama radiación térmica a la radiación emitida por un cuerpo como consecuencia de su temperatura. Todos los cuerpos emiten energía radiante, siempre que su temperatura este por encima del cero absoluto, 0 [°K]. Cuando la temperatura del cuerpo es alta, la radiación emitida cae principalmente dentro del espectro visible, en cambio a bajas temperaturas la radiación cae dentro del rango infrarrojo no visible. Es importante notar que aún a altas temperaturas más del 90 por ciento de la radiación térmica emitida es invisible para nosotros, empezando por la parte correspondiente al infrarrojo del espectro electromagnético. Específicamente estaremos interesados en el rango de 2 a 15 [μm] de longitud de onda por dos razones: *Primera*, la mayor parte de la energía emitida por un objeto a temperaturas terrestres es emitida dentro de esta banda espectral de longitudes de onda. *Segunda*, existen ventanas atmosféricas transmisoras en esta banda que permiten la detección de señales sobre rangos de distancia comparativamente grandes.

En términos generales, la forma detallada del espectro de radiación térmica emitida por un cuerpo, depende de la composición del mismo. Sin embargo, experimentalmente se encuentra que solo hay una clase de cuerpos que emiten espectros de características universales; estos son los llamados cuerpos negros. Las propiedades universales de radiación emitida por esta clase de cuerpos los hacen objeto de un interés teórico especial.

La radiación térmica terrestre consiste en primer término de radiación auto emitida por las transiciones de niveles de energía cuánticos rotacionales, y de vibración en las moléculas; y en segundo término de la reflexión de radiación proveniente de otras fuentes de calor.

Los radiadores térmicos son caracterizados por sus eficiencias de emisión de radiación usando tres categorías: cuerpos negros, cuerpos grises y radiadores selectivos. Cada una de estas categorías permitirá analizar a un cuerpo dentro de un cierto margen de exactitud con respecto a sus características reales, al mismo tiempo que presentará diferentes grados de complejidad en el análisis del espectro de radiación [3].

## 2.2.14 LEYES DE RADIACIÓN DE UN CUERPO NEGRO

Las propiedades más generales de la radiación electromagnética, que interactúan con la materia, están sintetizadas en un conjunto simple de reglas llamadas leyes de radiación. Estas leyes se aplican cuando el cuerpo que emite la radiación es lo que los físicos llaman *cuerpo negro*, el cual se define como un objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre él con cualquier longitud de onda. La aparente contradicción de llamar *negro*, a un objeto que emite radiación [3], se explica mediante la ley que se enuncia a continuación.

### 2.2.14.1 LEY DE KIRCHHOFF [9]

Esta ley fue llamada así en honor a *Gustav Robert Kirchhoff*, y establece que *un cuerpo capaz de absorber toda la radiación en cualquier longitud de onda es igualmente capaz de emitirla*. La construcción de una fuente de cuerpo negro es, en principio, muy simple. Las características de la radiación de una abertura en una cavidad isotérmica formada por un material opaco absorbente



equivalen casi exactamente a las propiedades de un cuerpo negro. Una aplicación práctica del principio de la construcción de un absorbente perfecto de la radiación consiste en una caja hermética a la luz, excepto por una abertura en una de sus caras. Cualquier radiación que penetre por el orificio es filtrada y absorbida por las reflexiones repetidas, de forma que únicamente puede escapar una fracción infinitesimal.

**Figura 2.9. Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887). [9]**

La negrura obtenida en la abertura de una caja hermética a la luz, se aproxima a un *cuerpo negro ideal*, para todas las longitudes de onda. Al dotar a dicha cavidad isotérmica con un calentador adecuado, se convierte en lo que se conoce como *radiador de cavidad*. Una cavidad isotérmica calentada a una temperatura uniforme genera radiación de *cuerpo negro*, cuyas características se definen únicamente por la temperatura de la cavidad. Dichos radiadores de



cavidad se utilizan normalmente como fuentes de radiación en normas de referencia de temperatura en los laboratorios de calibración de instrumental termográfico, como por ejemplo las cámaras termográficas [9].

### 2.2.14.2 LEY DE LA RADIACIÓN DE PLANCK

La distribución espectral de la radiación de un cuerpo se especifica por la cantidad  $R(\nu)$ , llamada radiancia espectral, definida de tal manera que  $R(\nu)d\nu$ , es igual a la energía emitida en forma de radiación térmica con frecuencias en el intervalo de  $\nu$  y  $\nu+d\nu$  de una área unitaria de superficie, a una temperatura  $T$  y por unidad de tiempo [13].

La integral de la radiación espectral  $R(\nu)$ , sobre toda  $\nu$ , es la energía total emitida de un cuerpo a temperatura  $T$ , por unidad de tiempo y por unidad de área, y se llama radiancia,  $R$ . [13]

$$R = \int_0^{\infty} R_{\nu}(\nu).d\nu \quad (2.2)$$

La expresión para la distribución espectral de la radiación de un cuerpo fue obtenida primeramente por *Rayleigh-Jeans*, bajo un punto de vista clásico como se indica en la ecuación (2.2). Sin embargo, ésta ecuación no concordaba con los resultados experimentales en todo el rango de frecuencias. En el límite de frecuencias bajas, el espectro clásico se aproxima a los resultados experimentales, pero a medida que la frecuencia crece, la predicción teórica de *Rayleigh-Jeans* tiende a infinito. Los experimentos demuestran que la densidad de energía siempre permanece finita, como obviamente debe ser, y de hecho, la densidad de energía tiende a cero para frecuencias muy altas [13].

Tratando de resolver esta discrepancia, *Max Planck* consideró la posibilidad de que en el análisis clásico se violara la Ley de equipartición de energía en la que se basaba esta teoría. La gran contribución de *Planck* surgió cuando se dio cuenta que podría lograr el corte requerido si modificaba el cálculo de la energía promedio de las partículas proveniente de la teoría clásica,

Capítulo II. Marco Teórico

tratando a la energía como si esta fuera una variable discreta en lugar de una variable continua. *Planck* pensó que, dadas las circunstancias que prevalecen en el caso de la radiación de un cuerpo negro, la energía promedio de una onda estacionaria es función de la frecuencia [13].

Después de un gran trabajo numérico y estadístico, *Planck* llegó a la expresión para la energía promedio de las partículas en función de la frecuencia, y la expreso de la siguiente manera [13]:

$$E(\nu, T) = \frac{h\nu}{e^{\lambda h/kT} - 1} \tag{2.3}$$

Del mismo modo, la fórmula que obtuvo *Max Planck* para la distribución espectral de la radiación de un *cuerpo negro* en función de la longitud de onda viene dada por [13]:

$$E(\lambda, T) = \frac{2hc^2 \cdot 10^{-6}}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/\lambda KT} - 1)} \cdot \left[ \frac{\text{Watt}}{m^2 \cdot \mu m} \right] \tag{2.4}$$

De las ecuaciones (2.3) y (2.4), se tiene que:



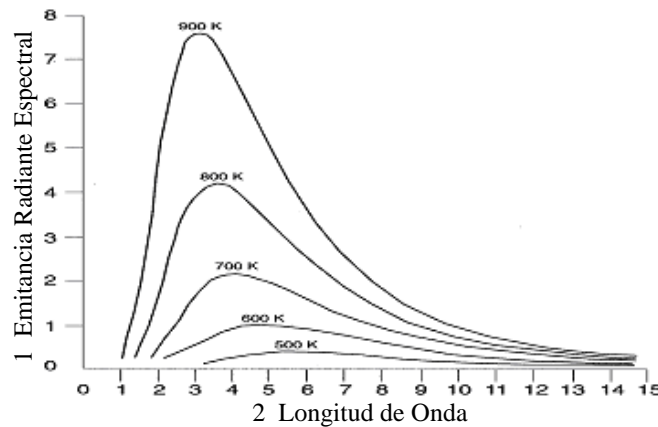
- c : Velocidad de la luz =  $3 \times 10^8$  [ m/s ].
- h : constante de Planck =  $6.63 \times 10^{-34}$  [ J-s ].
- k : constante de Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  [ J / °K ].
- T : temperatura del cuerpo en grados Kelvin, [ °K ].
- ν : frecuencia de las ondas electromagnéticas radiadas en [Hz].
- λ : Longitud de onda en [μm].

Figura 2.10. Max Planck (1858–1947). [13]

Al graficar la ecuación (2.4) para diversas temperaturas, la fórmula de *Planck* produce una familia de curvas como se muestra en la figura 2.11. Dicha ecuación se multiplicó por el factor  $10^{-6}$  debido a que la emitancia espectral en las curvas se expresa en [W/cm<sup>2</sup>.10<sup>3</sup> μm]. Siguiendo cualquier curva concreta de *Planck*, la emitancia espectral es cero cuando  $\lambda = 0$ ; posteriormente

Capítulo II. Marco Teórico

aumenta rápidamente hasta un máximo cuando la longitud de onda es  $\lambda_{max}$ . Luego de ser superado este punto, se aproxima al cero de nuevo con longitudes de onda muy largas. Cuanto más elevada es la temperatura, más corta es la longitud de onda a la que se establece el punto máximo [9]. Debe recordarse que *Planck* no alteró la función de distribución de *Boltzmann*, todo lo que hizo fue considerar a la energía de las ondas electromagnéticas estacionarias, oscilando senoidalmente en el tiempo, como una cantidad discreta en lugar de una cantidad continua [13].

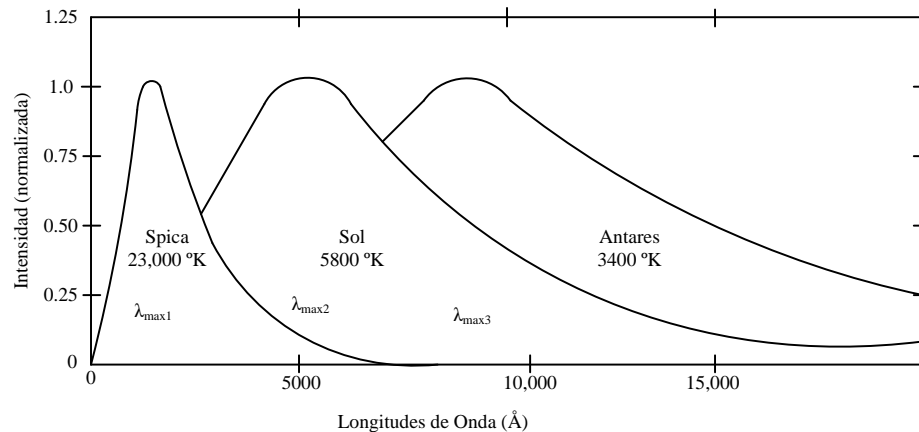


**Figura 2.11. Emitancia radiante espectral de un cuerpo negro de acuerdo con la ley de Planck en forma de gráfico para varias temperaturas absolutas. 1: Emitancia radiante espectral ( $W/cm^2 \times 10^3(\mu m)$ ); 2: Longitud de onda ( $\mu m$ ). [13]**

La radiación emitida por un cuerpo puede utilizarse para medir su temperatura. Teóricamente, el ancho de banda de la radiación térmica de un cuerpo es infinitamente amplio. Sin embargo, cuando se trata de detectar esa radiación, se debe tomar en consideración el ancho de banda finito de los sensores reales. Los sensores son sólo capaces de medir la radiación en un rango limitado de frecuencias. Para determinar la potencia total radiada en un ancho de banda particular, la ecuación (2.5) se integra sobre los límites de esa banda particular como se indica a continuación:

$$E(T) = 2.h.c^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/\lambda KT} - 1)} d\lambda. \left[ \frac{Watt}{m^2 \cdot \mu m} \right] \quad (2.5)$$

La figura 2.12, muestra la densidad de flujo radiante para tres cuerpos a temperaturas diferentes para el ancho de banda infinito [13].



**Figura 2.12. Distribución espectral del flujo radiante para tres cuerpos a temperaturas diferentes. [13]**

También se puede observar en la figura 2.12, que la energía radiante se distribuye de una manera altamente no uniforme sobre el rango espectral, con un máximo claramente pronunciado, tal como lo predice la *Ley de Wien*; la cual se explicará a continuación.

### 2.2.14.3 LEY DE DESPLAZAMIENTO DE WIEN

La temperatura de un cuerpo es el resultado de las energías cinéticas promediadas de un número extremadamente grande de partículas vibrantes. Sin embargo, no todas las partículas vibran con la misma frecuencia o magnitud. Las diferentes frecuencias permitidas (o bien longitudes de onda) están espaciadas una muy cercana a la otra, lo cual hace que un cuerpo sea capaz de radiar energía en un número infinito de frecuencias, extendiéndose desde longitudes de onda muy grandes hasta longitudes de onda extremadamente cortas [3].

Ya que la temperatura es una representación estadística de una energía cinética promedio, ésta determina la probabilidad más alta para que las partículas vibren con una determinada frecuencia

## Capítulo II. Marco Teórico

y tengan una longitud de onda específica. Esta longitud de onda más probable se determina por la *ley de Wien*, la cual puede obtenerse a través de una igualación a cero de la primera derivada de la *Ley de Planck*. El resultado del cálculo es la longitud de onda  $\lambda_{\max}$  en la cual se concentra la mayoría de la potencia radiada [3]:

$$\lambda_{\max} = \frac{2829}{T} [\mu m] \quad (2.6)$$

Donde:  $\lambda_{\max}$ , esta en micrómetros y T en *grados kelvin*.

De acuerdo a la ecuación (2.6), la *ley de Wien* establece que *entre mayor sea la temperatura de un cuerpo más corta será la longitud de onda de radiación, así como también que la frecuencia más probable de todo el espectro de radiación es inversamente proporcional a la temperatura absoluta del cuerpo* [3].



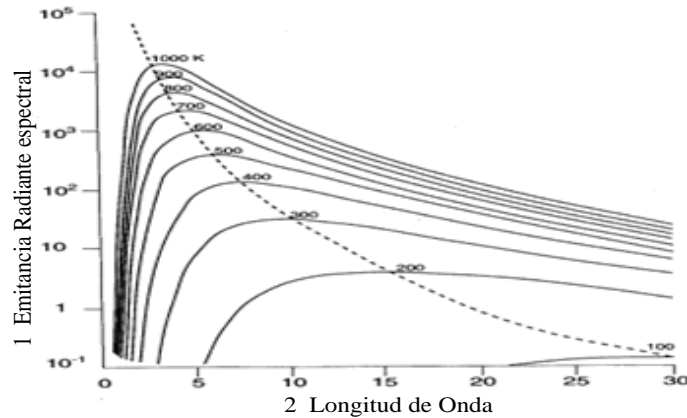
La fórmula (2.6), se conoce como *ley de Wien*, en honor a *Wilhelm Wien*, ella expresa matemáticamente la observación normal de que los colores varían del rojo al naranja o amarillo a medida que aumenta la temperatura de un radiante térmico. La longitud de onda del color es la misma que la longitud de onda calculada para  $\lambda_{\max}$ . Una buena aproximación al valor de  $\lambda_{\max}$  para una temperatura dada de un cuerpo negro se obtiene aplicando la regla general  $\lambda_{\max} \approx (3.000 / T) [\mu m]$  [9].

**Figura 2.13. Wilhelm Wien (1864 – 1928)**

Por otro lado, en la figura 2.12, también se puede apreciar que una estrella muy caliente como es Sirio, 11.000 [°K], que emite una luz blanca azulada, emite radiación con el pico de su emitancia radiante espectral dentro del espectro ultravioleta invisible, a una longitud de onda de

Capítulo II. Marco Teórico

0,27 [μm]. Por su parte, el sol, aproximadamente 6.000 [°K], emite una luz amarilla y su pico se sitúa en aproximadamente 0,5 [μm], en el centro del espectro de la luz visible [9].



**Figura 2.14. Curvas de Planck trazadas sobre escalas marcadas desde 100 [°K] a 1.000 [°K]. La línea de puntos representa el lugar de máxima emitancia radiante para cada temperatura, según lo descrito por la ley de desplazamiento de Wien. 1: emitancia radiante espectral [W/cm<sup>2</sup> · μm]; 2: longitud de onda [μm]. [9]**

A temperatura ambiente (300 °K), el pico de emitancia radiante se sitúa en 9,7 [μm], en el infrarrojo lejano, mientras que a la temperatura del nitrógeno líquido (77 °K), el máximo de una cantidad casi insignificante de emitancia de radiación se produce a 38 μm, en las longitudes de onda del infrarrojo extremo [9].

**2.2.14.4 LEY DE STEFAN-BOLTZMANN**

Al integrar la fórmula de *Max Planck*, expresada en la ecuación (2.5), desde  $\lambda = 0$  a  $\lambda = \infty$ , se obtiene la *emitancia radiante total*, E(T) de un cuerpo negro [9]. No obstante, la ecuación (2.5) es compleja al intentar resolverla analíticamente para un ancho de banda particular; sin embargo, la expresión para ésta ecuación puede encontrarse por una aproximación numérica [3].

## Capítulo II. Marco Teórico

Una aproximación para un ancho de banda amplio (cuando  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  cubren el 50 por ciento de la emitancia radiante total), de acuerdo a la ecuación (2.5), es una parábola de cuarto grado la cual es conocida como la Ley de *Stefan-Boltzmann* [3], y se expresa en la ecuación (2.7):

$$W_{\lambda b} = \sigma T^4 \left[ \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right] \quad (2.7)$$

Donde:  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>·°K<sup>4</sup>], llamada la constante de Stefan-Boltzmann y T es la temperatura del cuerpo en grados Kelvin.

La ley de *Stefan-Boltzmann*, llamada así en honor a *Josef Stefan* y *Ludwig Boltzmann*, establece que: *La radiancia intrínseca de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta*. Gráficamente  $W_{\lambda b}$ , representa el área por debajo de la curva de *Max*



*Planck*, (figura 2.14), para una temperatura dada. Puede verse que la emitancia radiante en el intervalo de  $\lambda = 0$  a  $\lambda_{\text{max}}$ , es únicamente el 25 por ciento del total, lo que representa aproximadamente la cantidad de radiación del sol que permanece dentro del espectro de luz visible [9].

**Figura 2.15. Josef Stefan (1835–1893) y Ludwig Boltzmann (1844–1906). [9]**

La ley de *Stefan-Boltzmann* proporciona la energía total que es emitida sobre todas las longitudes de onda, por un cuerpo negro por unidad de área. Esta ley también explica el crecimiento en la altura de la curva cuando la temperatura se incrementa; puede observarse de la ecuación (2.7), que este crecimiento es muy abrupto, ya que varía con la cuarta potencia de la temperatura [3].



La ecuación (2.7), se aplica sólo si todas las longitudes de onda son captadas por el instrumento de medición; no obstante, los instrumentos usan una banda muy estrecha de longitudes de onda, debido a que poseen lentes o espejos que no permiten el paso de todas las longitudes de onda; por esta razón es necesario aplicar de la *ley de Max Planck* y para ello, es preciso saber que la emitancia radiante total o energía radiante total, depende del intervalo del espectro electromagnético que se esté considerando. Por lo tanto, como se mencionó al principio de esta sección, se debe realizar la integración de la ecuación (2.5) sobre ciertas longitudes de onda  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , respectivamente [3].

### 2.2.15 EMITANCIA Y EMISIVIDAD EN CUERPOS NO NEGROS

Un cuerpo negro tiene una emitancia de 1, porque el absorbe o emite la radiación térmica sin reflexión o transmisión. Los cuerpos reales tienen emitancias menores que la unidad, puesto que la emitancia depende de la forma, superficie, rugosidad, y oxidación u otros efectos de superficie. Así, se necesita definir a la emisividad en una forma mas precisa e introducir el concepto de emitancia.

Los cuerpos reales no son cuerpos negros, sólo bajo ciertas condiciones especiales se pueden aproximar sus características a propiedades de un cuerpo negro. Por tal motivo, en la mayoría de las mediciones de temperatura que se realicen a través de radiación térmica, se deben tener en cuenta estas desviaciones para obtener resultados correctos [3].

Hasta ahora, sólo hemos hablado de cuerpos negros radiadores y de la radiación del *cuerpo negro*. Sin embargo, los objetos reales casi nunca cumplen con estas leyes en una amplia zona de longitudes de onda aunque pueden acercarse al comportamiento de un cuerpo negro en ciertos intervalos espectrales. Por ejemplo, la pintura blanca parece perfectamente “blanca” en el espectro de luz visible, pero se convierte claramente en “gris” a unos 2[ $\mu\text{m}$ ], y más allá de los 3 [ $\mu\text{m}$ ] es casi “negra” [9].



Existen tres procesos térmicos que pueden producirse en la transferencia de calor de un cuerpo y que evitan que un objeto real se comporte como un cuerpo negro. Una fracción de la radiación incidente ( $\alpha$ ) puede absorberse, otra fracción ( $\rho$ ) puede reflejarse y una última fracción ( $\tau$ ) puede transmitirse. Debido a que todos estos factores dependen de la longitud de onda en mayor o menor medida, se utiliza el subíndice ( $\lambda$ ) para denotar la dependencia espectral de sus definiciones [9]. Por lo tanto:

- **La absorbancia espectral  $\alpha_\lambda$ :** Es la proporción de energía radiante espectral absorbida por un objeto con respecto a la energía radiante que incide sobre él.
- **La reflectancia espectral  $\rho_\lambda$ :** Es la proporción de la energía radiante espectral reflejada por un objeto con respecto a la energía radiante que incide sobre él.
- **La transmitancia espectral  $\tau_\lambda$ :** Es la proporción de la energía radiante espectral transmitida a través de un objeto con respecto a la energía radiante que incide sobre él.

La suma de estos tres factores debe siempre coincidir con el total, en cualquier longitud de onda, [9] de forma que tenemos la relación:

$$\boxed{\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1} \quad (2.8)$$

Existe otro factor, llamado *emisividad*, que es necesario para describir la fracción  $\varepsilon$  de la emitancia radiante de un *cuerpo negro* producida por un objeto a una temperatura específica [9]. En base a esto, se tiene la siguiente definición:

*La emisividad espectral ( $\varepsilon_\lambda$ ), es la proporción de la energía radiante espectral de un objeto con respecto a la de un cuerpo negro a la misma temperatura y longitud de onda.* Expresando matemáticamente este concepto [9], se obtiene la siguiente razón:

## Capítulo II. Marco Teórico

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}} \quad (2.9)$$

En general, existen tres tipos de fuentes de radiación que se distinguen por la forma en que sus respectivas emitancias espectrales varían con la longitud de onda [9].

- Un cuerpo negro, en el que  $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = 1$ .
- Un cuerpo gris, en el que  $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon =$  siempre menor que 1.
- Un radiador selectivo, en el que  $\varepsilon$  varía con la longitud de onda.

De acuerdo con la *ley de Kirchoff*. (Ver la sección 2.2.14.1, para mas detalles), para cualquier material la emisividad espectral y la absorbanca espectral de un cuerpo son iguales a cualquier temperatura y longitud de onda especificadas [9]. Esto es:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda} \quad (2.10)$$

De la ecuación (2.10), se obtiene que para un material opaco [9], debe cumplirse la siguiente relación:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1 \quad (2.11)$$

Para materiales muy pulidos,  $\varepsilon_{\lambda}$  se aproxima a cero; de forma que para un material totalmente reflectante; es decir un espejo perfecto [9], se tiene que:

$$\rho_{\lambda} = 1 \quad (2.12)$$

Por otro lado, para un radiante de cuerpo gris [9], la fórmula de *Stefan-Boltzmann*, se convierte en:

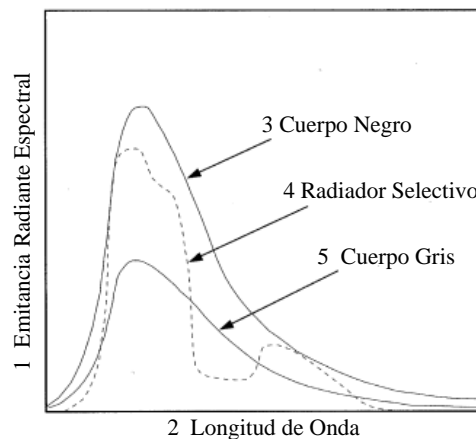
Capítulo II. Marco Teórico

$$W_{\lambda} = \epsilon \cdot \sigma T^4 \left[ \frac{\text{Watt}}{m^2} \right] \quad (2.13)$$

Esta ecuación (2.13), establece que la emisividad total de un *cuerpo gris* es la misma que la de un *cuerpo negro* a la misma temperatura, pero reducida en proporción al valor de  $\epsilon$  del *cuerpo gris*. [9]

Por otro lado, la ecuación para la emitancia tiene exactamente la misma forma que (2.9), sólo que la densidad de flujo radiante es aquella que proviene de un cuerpo real con sus características propias, tales como: superficie rugosa, cubrimiento de óxido, etc. En muchas ocasiones se emplea la emisividad en lugar de la emitancia. [9]

A continuación en las figuras 2.16 y 2.17, se muestran gráficamente las diferencias entre la emitancia y la emisividad de tres tipos de radiadores diferentes [9].

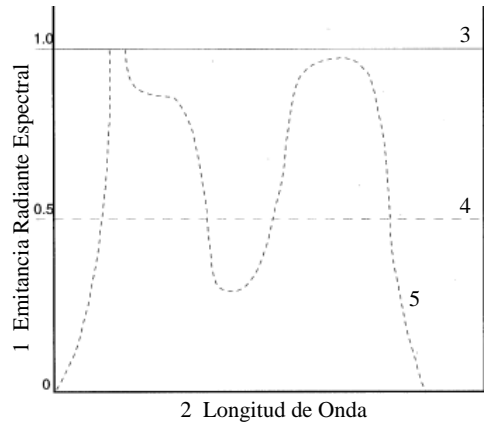


**Figura 2.16. Emitancia radiante espectral de tres tipos de radiadores. 1: Emitancia radiante espectral; 2: Longitud de onda; 3: Cuerpo negro; 4: Radiador selectivo; 5: Cuerpo gris. [9]**

En el **Anexo A.1**, se muestra una tabla de emitancias de algunos materiales, las cuales son estimaciones de los valores de campo esperados y son adecuadas para muchas aplicaciones. No

## Capítulo II. Marco Teórico

obstante, la emitancia real de un cuerpo varia con la temperatura, condiciones de superficie, composición química y otros factores [3].



**Figura 2.17. Emisividad espectral de tres tipos de radiadores. 1: Emisividad espectral; 2: Longitud de onda; 3: Cuerpo negro; 4: Cuerpo gris; 5: Radiador selectivo. [9]**

Debido a que la emitancia debe ser conocida para convertir mediciones de transferencia de calor radiante, en temperatura; es esencial que la emitancia se determine adecuadamente para el material real bajo consideración y de esta manera obtener mediciones exactas de temperatura. Existen dos métodos experimentales para la determinación de la emitancia de un material [3], los cuales son:

**Primero:** Se determina la temperatura real del material con un termómetro de contacto calibrado. Luego se mide la temperatura con un equipo de infrarrojo y se ajusta el valor de la emitancia hasta que la lectura de la temperatura concuerde con la lectura calibrada. De esta manera se encuentra el valor de la emitancia del material.

**Segundo:** Se aplica una pintura de emitancia conocida en una pequeña área del material que será analizado. Luego se obtiene la temperatura del área pintada, con una cámara termográfica o termómetro infrarrojo, calibrando los equipos térmicos mencionados hasta obtener la emitancia

de la pintura. Posteriormente se obtiene la temperatura de un área no cubierta por pintura, y finalmente se ajusta la emitancia hasta que las dos temperaturas concuerden.

De lo anterior se observa que es necesario modificar las leyes de radiación de un cuerpo negro para que éstas puedan aplicarse a cuerpos reales los cuales presentan una emitancia distinta a la unidad. De hecho, sólo se debe multiplicar a la expresión de radiación de cuerpo negro de Planck por la emitancia ( $\epsilon$ ), del cuerpo bajo consideración [3], como lo expresa la siguiente ecuación:

$$E(\lambda, T) = \epsilon \cdot \left[ \frac{2hc^2}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/\lambda KT} - 1)} \right] \cdot \left[ \frac{\text{Watt}}{m^2 \cdot \mu m} \right] \quad (2.14)$$

A partir de la ecuación (2.14), es posible obtener las expresiones para las otras leyes de radiación térmica, ya sea mediante la integración o la diferenciación. Es importante aclarar que en el caso mas general la emitancia de un cuerpo depende tanto de la frecuencia como de la temperatura del mismo, pero es posible considerarla como constante para obtener resultados aproximados [14] [15].

Cuando un cuerpo tiene una emitancia constante sobre un rango completo de ( $\lambda, T$ ), se le conoce como *cuerpo gris*. Para este tipo de cuerpos se puede establecer que su potencia total emitida es la misma que la de un *cuerpo negro*, a la misma temperatura, reducida en proporción al valor de su emitancia [3].

## 2.2.16 MATERIALES SEMITRANSSPARENTES AL INFRARROJO

Consideremos un cuerpo no metálico semitransparente, como una placa plana y gruesa de material plástico. Cuando la placa se calienta, la radiación generada dentro de su volumen debe buscar salida hacia las superficies a través del material en el cual queda absorbida parcialmente. Es más, al llegar a la superficie, parte es reflejada al interior de nuevo. La radiación de fondo reflejada de nuevo se absorbe parcialmente, pero parte alcanza la otra superficie a través de la cual escapa la mayor parte, si bien parte de ella se refleja de nuevo. Aunque las reflexiones

progresivas son cada vez más débiles, al calcular la emitancia total de la plancha deben sumarse todas. Cuando se suman las series geométricas resultantes, la emisividad efectiva de una placa semitransparente [9], se obtiene de la forma siguiente:

$$\boxed{\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda}) \cdot (1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda} \cdot \tau_{\lambda}}} \quad (2.15)$$

Cuando la placa es opaca [9], la fórmula (2.15) se reduce a la fórmula simple:

$$\boxed{\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}} \quad (2.16)$$

Esta última ecuación es particularmente útil, ya que a menudo es más fácil medir la reflectancia que medir la emisividad directamente.

### 2.2.17 TRANSMISIÓN ATMOSFÉRICA

La radiación térmica se atenúa cuando viaja a través de la atmósfera terrestre por los procesos de absorción y dispersión por moléculas de gas, lluvia, neblina, y suspensiones tales como humo y smog. En la tabla 2.1, se pueden observar algunas moléculas que, en orden de importancia, absorben radiación en las bandas espectrales del infrarrojo centradas en las longitudes de onda indicadas [14]. La absorción molecular es la fuente de extinción más grande excepto en suspensiones densas, y el vapor de agua, dióxido de carbono y ozono, son los compuestos químicos que más absorben la radiación infrarroja [3].

Al realizar mediciones es importante tomar en consideración el medio a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas para obtener resultados satisfactorios. A distancias no mayores a unos centenares de metros, entre objeto y sensor, no existe absorción atmosférica significativa de la radiación térmica en las ventanas transmisoras del infrarrojo. Para distancias mayores a 1 [Km], existen ecuaciones que permiten cuantificar la atenuación de la atmósfera

sobre la radiación térmica emitida por un cuerpo [14],[15]; pero estas distancias no serán consideradas en el presente estudio.

**Tabla 2.1. Algunas moléculas presentes en la atmósfera y las longitudes de ondas de las bandas espectrales del infrarrojo donde absorben radiación. [3]**

MOLÉCULA	BANDA ESPECTRAL DEL INFRARROJO [ $\mu\text{M}$ ]		
Agua	2.7	3.2	6.3
Dióxido de carbono	2.7	4.3	15
Ozono	4.8	9.6	14.2
Oxido nítrico	4.8	9.6	14.2
Metano	3.2	7.8	

Fuente: hipertexto de internet.

### 2.2.18 ELEMENTOS DE UN SISTEMA TERMOGRÁFICO [3]

Los elementos básicos de un sistema termográfico son: una fuente de radiación u objeto, una trayectoria de transmisión, un sensor y un subsistema de procesamiento, almacenamiento y despliegue. Cada uno de estos elementos desempeña un papel primordial en el proceso de censado, ya sea en el control o limitación de la información adquirida.

El objeto lo integran el cuerpo primordial de nuestra observación y otros objetos que se encuentren en el campo de visión del sensor. La termografía se basa en la interpretación de las variaciones cuantificables en las características espectrales, temporales y espaciales del objeto.

La trayectoria de transmisión es el medio a través del cual se propagan las ondas electromagnéticas y ésta tiene un impacto significativo en las bandas del espectro que pueden utilizarse como bandas de transmisión. El sensor y el subsistema de procesamiento son probablemente los elementos esenciales en un sistema termográfico, puesto que es en éstos donde



realmente se tiene un control. Una selección del sensor y el subsistema de procesamiento de acuerdo al problema, es determinante para asegurar que los resultados del estudio serán útiles y fácilmente cuantificables. El sensor más comúnmente empleado en un sistema termográfico es la cámara infrarroja, ya que ésta ofrece ventajas de adquisición de datos termográficos en aplicaciones de mantenimiento predictivo o preventivo [16], [10], [17].

Una cámara infrarroja tiene un aspecto semejante a una cámara de vídeo convencional, a diferencia de que ésta opera en el rango infrarrojo, es decir lo que se observa a través de ella es radiación térmica de un cuerpo [18]. Con una cámara de infrarrojos es posible observar patrones térmicos en cualquier parte de una escena, además de que el censado de áreas espaciales grandes es muy simple.

La señal básica producida por una cámara de infrarrojos es una imagen en blanco y negro, en donde las partes con una temperatura mayor aparecen más claras que las partes con menor temperatura. Muchas cámaras proporcionan una imagen en color, pero éstas usan procesos de colorización de una imagen por medio de un software interno en la cámara, a través del cual se asignan diferentes paletas de color a las temperaturas medidas [3].

Se debe destacar que la función de un sistema de termográfico es la adquisición de datos físicos sin contacto; es decir, una forma de censar remotamente ciertas características de un cuerpo o sistema relacionadas a la radiación. Los datos obtenidos por los sensores infrarrojos son procesados generalmente por una computadora con la finalidad de extraer la información de interés. Diferentes sensores pueden proporcionar información única acerca de las propiedades del cuerpo o sistema bajo observación [3].

### **2.2.19 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS TERMOGRÁFICOS [3]**

Un sistema termográfico proporciona un medio rápido de adquisición de conocimiento relacionado a los patrones de temperatura, “termogramas” que existen en la superficie de un





## Capítulo II. Marco Teórico

cuerpo. Estos patrones se adquieren de una manera no intrusiva, por lo que la medición no interfiere con los procesos propios del cuerpo o estructura. El grado mediante el cual estos patrones proporcionan un conocimiento útil del desempeño térmico del cuerpo o estructura bajo consideración, depende de que tan cuidadosa sea la interpretación sobre la base de las leyes de la termodinámica, asociadas a la transferencia del calor entre los cuerpos y el medio que los rodea.

Entre las ventajas tecnológicas que nos proporciona un sistema termográfico, basado en imágenes infrarrojas, se encuentran las siguientes [3]:

- Alta resolución en temperaturas: Incluso tan pequeña como  $0.1 [^{\circ} \text{C}]$ .
- Amplia resolución espacial: Se pueden medir temperaturas en áreas tan pequeñas como  $100 [\mu\text{m}^2]$ , hasta en amplias regiones espaciales.
- Medición en un amplio rango de temperaturas:  $- 20 [^{\circ} \text{C}]$  hasta  $2500 [^{\circ} \text{C}]$ .
- Incremento de seguridad y velocidad en las inspecciones.
- Incremento en la exactitud para localizar problemas.
- Identificación de problemas potenciales asociados a procesos térmicos.
- Reducción de fallas inesperadas y como consecuencia una disminución de reparaciones.
- Extensión del tiempo de vida de equipos o maquinarias.
- Habilidad para planear reparaciones.
- Determinación de la confiabilidad y eficiencia de un sistema.
- Análisis de tendencias en el desarrollo de problemas.
- Mejorar la producción e incrementar la satisfacción del cliente.
- Aseguramiento de la calidad de las reparaciones y nuevas instalaciones.
- Prevención de accidentes.
- Es no intrusivo; por lo tanto no requiere contacto físico ni modificación de las variables, sustancias o elementos del sistema analizado.
- Practico y portátil, sobre todo en áreas peligrosas de trabajo.

### 2.2.20 OBTENCIÓN DE LA TEMPERATURA DE UN CUERPO A PARTIR DE LA IMAGEN INFRARROJA.

Las cámaras de infrarrojo miden la radiación térmica emitida por un cuerpo u objeto. El hecho de que la radiación sea una función de la temperatura en la superficie de un cuerpo hace posible la medición y visualización de esta temperatura a través de una imagen. Sin embargo, la radiación medida por la cámara no sólo depende de la temperatura del objeto sino que también es función de la emitancia o emisividad del cuerpo, de la radiación producida por el medio que rodea al cuerpo de interés y por la atenuación o absorción debido a la atmósfera [3].

Para medir la temperatura de un cuerpo con exactitud, es necesario compensar los efectos provocados por las diferentes fuentes de radiación alrededor del cuerpo. Muchas de las veces éste proceso se realiza de manera automática dentro de la cámara; sin embargo, al analizar la imagen es necesario tener conocimiento de cómo se lleva a cabo esta compensación [3].

Como primer paso en el análisis de la imagen, se debe estimar la temperatura superficial del equipo a partir de los niveles de gris de la imagen; debe tenerse en cuenta que la radiación infrarroja ocurre en longitudes de onda correspondientes al color gris; por lo tanto, no se distinguen otros colores. En vista de esto, se hace uso de la información proporcionada en la escala conformada por el nivel de gris de una imagen y la temperatura correspondiente a dicho nivel y asociada a la imagen en cuestión [3].

De acuerdo a lo expresado en el párrafo anterior, se tiene que dado un nivel de gris de la imagen  $I[i][j]$ , el correspondiente valor de temperatura  $T$ , [3] se obtiene de la siguiente fórmula:

$$T = \left( \frac{T_{MAX} - T_{MIN}}{I_{MAX} - I_{MIN}} \right) \cdot I[i].[j] + T_{MIN} \quad (2.17)$$

Asumiendo una relación lineal entre los niveles de gris de la escala y los valores de temperatura en la imagen infrarroja.  $T_{MAX}$  y  $T_{MIN}$ , son los valores máximo y mínimo de temperatura indicados en la escala (nivel de gris-temperatura), asociada a la imagen. Del mismo modo, se tiene que:  $I_{MAX} - I_{MIN}$ , es el número de niveles de gris presentes en la imagen [3].

Una vez obtenidos los valores de temperatura de la imagen se realizan correcciones, en caso de ser necesarias, debido a condiciones ambientales y a la emitancia del cuerpo como se explica a continuación [3].

El parámetro más importante del objeto, involucrado en la medición de la temperatura, es la emisividad. Al adquirir una imagen térmica generalmente se asume que el valor de la emisividad del cuerpo bajo observación es unitario. Este valor se utiliza para convertir la radiación térmica medida a un valor correspondiente de temperatura. La compensación por efectos de emisividad, esto es, la conversión de un valor de temperatura medida con un valor de emisividad ( $\epsilon_1$ ), a un nuevo valor de temperatura con valor de emisividad ( $\epsilon_2$ ), es un proceso [3] que involucra esencialmente dos operaciones:

1. Dada la emisividad y el correspondiente valor de temperatura se calcula la densidad de potencia térmica medida por la cámara.
2. El valor de la densidad de potencia térmica obtenido se utiliza para obtener el nuevo valor de temperatura usando ahora el nuevo valor de emisividad ( $\epsilon_2$ ) especificado.

Para establecer una fórmula matemática que permita hacer esta compensación se empleará la ecuación de Stefan-Boltzmann, que proporciona la densidad de potencia térmica emitida por un cuerpo. De acuerdo a esta ecuación la densidad de potencia térmica [3], está dada por:

$$\boxed{W_{\lambda} = \epsilon_1 \sigma T_1^4 [\text{Watt} / \text{m}^2]} \quad (2.18)$$

## Capítulo II. Marco Teórico

Donde: ( $\epsilon_1$ ), es la emisividad del cuerpo, ( $\sigma$ ) es la *Constante de Boltzmann* y ( $T_1$ ), la temperatura del cuerpo.

Sin embargo, la ecuación (2.18) no es en general la radiación total del cuerpo. Al mismo tiempo que el objeto esta radiando energía debido a su temperatura superficial  $T_1$ , también esta absorbiendo radiación de su alrededor. Si el medio que rodea al cuerpo está a una temperatura efectiva promedio ( $T_{Amb}$ ), la radiación incidente sobre él se puede calcular también de la *Ecuación de Stefan-Boltzmann*, puesto que el efecto total del medio puede considerarse como el mismo efecto de un *cuerpo negro* de temperatura ( $T_{Amb}$ ) [3], por lo tanto se tiene que:

$$W_{\lambda Amb} = \sigma T_{Amb}^4 [Watt / m^2] \quad (2.19)$$

Este término se emplea para compensar por la radiación reflejada en el objeto y la radiación emitida por la atmósfera. En general la potencia térmica total del cuerpo [3], esta dada por:

$$\text{Potencia total} = \text{Potencia generada} + \text{Potencia reflejada} - \text{Potencia incidente.}$$

Expresado matemáticamente queda:

$$W_T = \sigma [\epsilon_1 T_1^4 + (1 - \epsilon_1) T_{Amb}^4 - T_{Amb}^4] = \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_{Amb}^4) \quad (2.20)$$

A partir de esta expresión (2.20), se puede calcular la temperatura del cuerpo de emisividad ( $\epsilon_2$ ), que produciría esta misma cantidad de potencia térmica:

$$\sigma \epsilon_2 (T_2^4 - T_{Amb}^4) = W_T = \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_{Amb}^4) \quad (2.21)$$

Resolviendo (2.21) para hallar  $T_2$ , finalmente se obtiene:

$$T_2 = \left[ \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} (T_1^4 - T_{Amb}^4) + T_{Amb}^4 \right]^{1/4} \quad (2.22)$$



Sin embargo, se debe recordar que ésta es una aproximación; es decir que para el caso de sensores que ocupen una banda particular del espectro infrarrojo ( $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ ), en lugar de la ecuación de Stefan-Boltzmann, se debe emplear la integral de la ecuación de Max Planck (2.5). El proceso de corrección, usando la ecuación de Planck, es una extensión del proceso descrito anteriormente, el cual involucra la solución de integrales por métodos de aproximación existentes en el cálculo numérico [3].

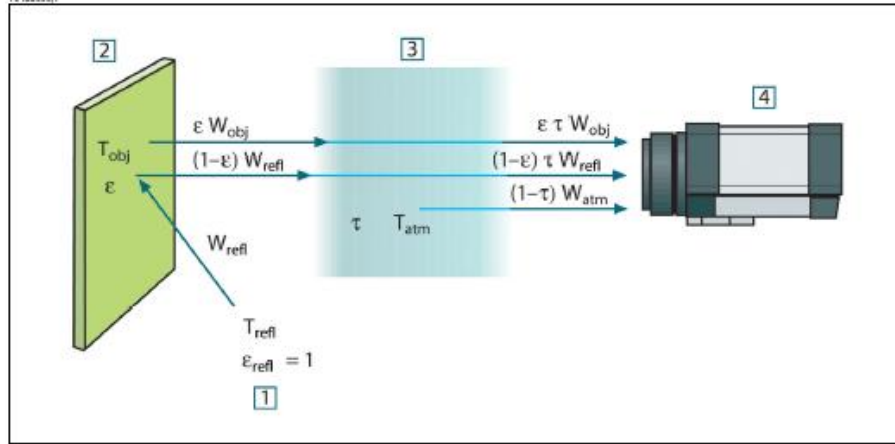
### **2.2.21 LA FÓRMULA DE MEDICIÓN [9]**

Al visualizar un objeto con una cámara termográfica, la cámara no sólo recibe radiación del propio objeto. También recibe radiación del entorno, ya que ésta se refleja en la superficie del objeto. Ambas se ven atenuadas en cierta medida por la atmósfera que se encuentra en el entorno de la medición. Debido a ello, se puede considerar que de la propia atmósfera proviene una tercera radiación.

Esta descripción de la situación de medición, tal y como se muestra en la figura 2.18, se aproxima a las condiciones reales. Los elementos omitidos podrían ser por ejemplo rayos de luz solar distribuidos en la atmósfera o radiación perdida, procedente de alguna fuente intensa de radiación situada fuera del campo visual. Las interferencias de este tipo son difíciles de cuantificar aunque, afortunadamente, en la mayoría de los casos son pequeñas y se pueden omitir. En caso de que sea imposible omitirlas, la configuración de las mediciones hará que el riesgo de interferencias sea obvio, al menos para un usuario experimentado. En ese caso es responsabilidad del usuario modificar la ubicación desde donde se tomarán las mediciones para evitar interferencias, por ejemplo cambiando la dirección de visualización, bloqueando las fuentes de radiación intensas, etc.

Aceptando la descripción anterior, podemos utilizar la figura 2.18, para extrapolar una fórmula que permita calcular la temperatura del objeto a partir de los resultados obtenidos con una cámara calibrada.

Capítulo II. Marco Teórico



**Figura 2.18** Representación esquemática de los parámetros y elementos a considerar en la medición termográfica. 1: Entorno; 2: Objeto; 3: Atmósfera; 4: Cámara termográfica. [9]

Asumiendo que la energía de radiación recibida  $W$  de una fuente de temperatura de cuerpo negro  $T_{fuente}$ , en una distancia corta genere una señal de salida de la cámara  $U_{fuente}$  proporcional a la potencia de entrada (cámara de potencia lineal) [9], se puede formular la ecuación (2.23.a):

$$U_{fuente} = CW(T_{fuente}) \quad (2.23.a)$$

En forma simplificada, se expresa de la siguiente manera:

$$U_{fuente} = C.W_{fuente} \quad (2.23.b)$$

Donde:  $C$  es una constante.

Si la fuente es un *cuerpo gris* con una emitancia ( $\epsilon$ ), la radiación recibida sería  $(\epsilon).(W_{fuente})$ . De esta manera, está todo listo para escribir los tres términos de la potencia de radiación [9] definidos como:

**Primero:** Emisión del objeto =  $\epsilon\tau W_{obj}$ .



## Capítulo II. Marco Teórico

Donde:  $(\varepsilon)$ , es la emitancia del objeto y  $(\tau)$ , es la transmitancia de la atmósfera. La temperatura del objeto es  $(T_{obj})$ .

**Segundo:** Emisión reflejada desde fuentes del entorno =  $(1 - \varepsilon) \cdot (\tau \cdot W_{refl})$

Donde:  $(1 - \varepsilon)$ , es la reflectancia del objeto. La temperatura de las fuentes del entorno es  $(T_{refl})$ .

Asumiendo que la temperatura  $(T_{refl})$ , es la misma para todas las superficies emisoras dentro de una semiesfera vista desde un punto de la superficie del objeto. Por supuesto, en algunos casos esto puede ser una simplificación de la situación real. No obstante, es una simplificación necesaria para obtener una fórmula que funcione y además, a  $T_{refl}$  se le puede dar un valor, al menos en teoría, que represente una temperatura eficaz en un entorno complejo.

Por otro lado, hay que destacar que se asumió la emitancia del entorno igual a uno. Esto es correcto según la *ley de Kirchhoff*, que establece que toda radiación que incida en las superficies del entorno irá siendo absorbida por las propias superficies. Por lo tanto, la emitancia es uno. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la última afirmación requiere para cumplirse que se considere una esfera completa alrededor del objeto.

**Tercero:** Emisión desde la atmósfera =  $(1 - \tau) \cdot (\tau W_{atm})$

Donde:  $(1 - \tau)$ , es la emitancia de la atmósfera. La temperatura de la atmósfera es  $(T_{atm})$ .

Finalmente, se puede escribir la potencia total de la radiación recibida, mediante la ecuación (2.24):

$$W_{tot} = \varepsilon \tau W_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau W_{refl} + (1 - \tau) W_{atm} \quad (2.24)$$

## Capítulo II. Marco Teórico

Si se multiplica cada término por la constante  $C$  de la ecuación (2.24) y se sustituyen los productos  $CW$  por sus correspondientes  $U$ , según la misma ecuación, se obtiene la ecuación (2.25), que se expresa a continuación:

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm}. \quad (2.25)$$

Al despejar la ecuación (2.25) para hallar la  $U_{obj}$ , se obtiene la siguiente ecuación:

$$U_{obj} = \left(\frac{1}{\varepsilon\tau}\right)U_{tot} - \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}\right)U_{refl} - \left(\frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau}\right)U_{atm}. \quad (2.26)$$

La ecuación (2.26), representa la fórmula de medición general utilizada en todos los equipos de termografía de FLIR Systems; como por ejemplo, la cámara termográfica ThermaCAM™ PM575, que se usará en el presente estudio. Los voltajes de la fórmula (2.26) [9], representan lo siguiente:

**Uobj:** Voltaje de salida de la cámara termográfica calculado para un cuerpo negro de temperatura ( $T_{obj}$ ). Es decir, un voltaje que pueda convertirse directamente en la temperatura del objeto analizado en las pruebas reales.

**Utot:** Voltaje de salida de la cámara termográfica medido realmente en las pruebas realizadas.

**Urefl:** Voltaje de salida teórico de la cámara termográfica para un *cuerpo negro* de temperatura  $T_{refl}$ , según la calibración.

**Uatm:** Voltaje de salida teórico de la cámara termográfica para un *cuerpo negro* de temperatura ( $T_{atm}$ ), según la calibración.



Para obtener una medición correcta, el usuario debe proporcionar los valores de algunos parámetros que se indican a continuación [9], y son necesarios para realizar los cálculos:

- La emitancia del objeto:  $\epsilon$
- La humedad relativa: HumRel.
- La temperatura ambiente:  $T_{amb}$ .
- La distancia al objeto:  $D_{obj}$ .
- La temperatura real en el entorno del objeto, (temperatura ambiente reflejada):  $T_{refl}$
- La temperatura de la atmósfera:  $T_{atm}$

### **2.2.22 ALGUNAS APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO INDUSTRIAL**

La termografía infrarroja tiene un gran número de aplicaciones y por lo tanto es muy difícil mencionar y describir a cada una de ellas [19], [20]. Debido a que los equipos de imágenes infrarrojas pueden detectar los incrementos de temperatura, son utilizados en numerosas áreas del sector industrial como herramienta fundamental del mantenimiento predictivo.

Como las pruebas de termografía infrarroja se realizan sin ningún contacto físico entre la cámara termográfica y el equipo, máquina o elemento bajo observación, se pueden realizar durante el funcionamiento normal de cualquier equipo o elemento de una empresa sin necesidad de interrumpir el proceso productivo [3]. Entre las aplicaciones más importantes de la termografía infrarroja en las empresas del sector eléctrico [21], se destacan las siguientes:

- Prueba termográfica de instalaciones eléctricas en general y líneas de transmisión de alta, media y baja tensión.
- Verificación de conexiones eléctricas y estado de elementos, tales como: bornes, fusibles,





anterior, hacen que se produzca calor; este calor eleva la resistencia y más resistencia produce aún más calor. Este ciclo de causa y efecto resulta eventualmente en una condición crítica y en el peor de los casos en una falla del sistema eléctrico.

La corrección de este problema a tiempo permite que el sistema sea confiable y que se mantenga dentro de los niveles establecidos de confiabilidad y productividad. Los beneficios directos se derivan de la reducción del costo en reparaciones sucesivas, la reducción del tiempo de inactividad del sistema y del incremento de la eficiencia y seguridad del sistema, entre otros.

#### **2.2.24 RESEÑA HISTORICA DEL ULTRASONIDO**

La historia del ultrasonido es parte de la historia de la acústica. Los primeros registros de una evaluación científica de la música es probablemente la de Pitágoras, quien en el siglo VI, A. C. descubrió que el alcance de dos cuerdas similares estiradas y de longitudes desiguales, emiten una nota más-alta que la larga y que si una cuerda es dos veces de mayor longitud que la otra, su tono difiere en una octava. Sin embargo los registros del uso de los instrumentos de cuerda preceden a Pitágoras por varios siglos. [22]

Una segunda contribución importante para la ciencia de la acústica es una observación publicada por Galileo en 1638 de que el tono esta asociado con las vibraciones. Un fraile franciscano llamado Reseña, contemporáneo de Galileo, fue el primero en medir realmente la frecuencia de cuerdas largas vibrando y calcular la frecuencia de las más cortas a partir de sus observaciones. [22]

Un número de físicos y matemáticos sentaron las bases para desarrollar la ciencia de la acústica durante los siglos XVII y XVIII. Entre los nombres conocidos están Robert Hooke (1635-1703), el autor de la ley de Hooke; Joseph Saveur (1653-1716) quien primero sugirió el nombre de acústica a la ciencia del sonido; Brook Taylor (1685-1731) el autor del teorema de la series infinitas; Isaac Newton (1642-1727) cuya ley del movimiento es básica para las ecuaciones



## Capítulo II. Marco Teórico

de la ondas usadas en el ultrasonido; Jean D'Alembert (1717-1783), Joseph Lagrange (1736-1813) y Jean Fourier (1768-1830). La ecuación fundamental de la onda de D'Alembert y la ecuación de onda más elaborada de Lagrange, son la base para entender la onda viajera. Las series matemáticas propuestas por Fourier, el cual es un método para expresar una función arbitraria como una serie de senos y cosenos, es idealmente apropiada para el análisis de las ondas ultrasónicas. [22]

En 1794, Lázaro Spallanzani y en 1798, Junine, descubrieron los ultrasonidos al observar que tapando las orejas de los murciélagos, éstos perdían su capacidad de orientación.

En 1877 Lord Rayleigh publicó su famosa obra "*La teoría del Sonido*" [23], que fue la piedra angular en el desarrollo de la ciencia de la acústica. Rayleigh, había trabajado en su casa con instrumentos rústicos de acuerdo a los patrones modernos pero muchos de sus tratados, producto de su investigación, son validos actualmente. [22]

Dos descubrimientos del siglo XIX fueron relevantes en el desarrollo de los métodos para generar y detectar la energía ultrasónica. El primero es la magnetostricción, revelada por Joule en una investigación publicada en 1847 [24]. La magnetostricción tiene que ver con el cambio en las dimensiones de un material magnético bajo la influencia de un campo magnético. El segundo es la piezoelectricidad, descubierta por los hermanos Curie en 1880 [25], ellos produjeron por primera vez, los ultrasonidos en el laboratorio, mediante el fenómeno piezoeléctrico. Éste fue el punto de partida para el desarrollo de equipos cada vez con más alta resolución. [22]

El ultrasonido como una rama de la ciencia acústica tuvo su origen en el estudio del sonido bajo el agua. La invención en 1912 del oscilador Fressenden, fue un progreso determinante en los sistemas de campanas, funciona electro-magnéticamente entre frecuencias de 500 Hz y 1000 Hz. Es capaz de enviar mensajes de código Morse entre barcos a 10 millas de distancia.

En 1972, se introduce la posibilidad de producir escalas de grises en los equipos de



ultrasonido, con lo cual se incrementa la resolución de las imágenes. Los primeros equipos producían imágenes en blanco y negro. Actualmente, en los equipos Doppler se utiliza la escala de color y la imagen obtenida es tridimensional.

Finalmente, hay que destacar que se han sugerido muchos usos imprácticos del ultrasonido, lo cual revela una falta de conocimiento de los principios básicos del ultrasonido. Esta falta de conocimiento ha llevado a su vez al debilitamiento y a falsas conclusiones concernientes a las aplicaciones prácticas del ultrasonido. Se puede evitar esta mala interpretación o al menos minimizarse, comprendiendo el ultrasonido desde sus principios básicos.

### **2.2.25 GENERALIDADES DEL ULTRASONIDO**

El término ultrasonido hace referencia a las ondas sonoras con frecuencias más altas que las que quedan dentro del alcance del oído humano, es decir, a frecuencias superiores a los 16 KHz, aproximadamente. Las ondas ultrasónicas obedecen a las mismas leyes básicas del movimiento ondulatorio de las ondas de frecuencias más bajas, las cuales conocemos como ondas sonoras.

El ultrasonido, a manera sencilla se entiende como una señal de audio que no puede ser captada por el oído humano, sirve en múltiples aplicaciones y es en muchos casos la manera de dar solución a ciertos problemas de una forma práctica y económica; sin embargo, dependiendo de la aplicación su implementación puede ser de mayor o menor complejidad, su funcionamiento se remite básicamente a los mismos principios físicos que rigen en los materiales piezoeléctricos, convirtiendo la energía mecánica en eléctrica y viceversa.

El ultrasonido como fenómeno físico, representa una rama de la acústica que trata sobre las ondas vibratorias con frecuencias por encima del rango de audición de la persona promedio, por ejemplo a frecuencias por encima de 16 KHz. (16.000 ciclos por segundo). Por lo general, el rango de audición de los jóvenes se extiende más allá de los 20 KHz., de esta manera establecer el límite más bajo del rango ultrasónico es algo arbitrario. El ultrasonido se usa equivocadamente al



## Capítulo II. Marco Teórico

referirse a aplicaciones de ondas vibratorias de frecuencias más bajas que producen resultados similares a los producidos por la energía ultrasónica. Últimamente, el término *macrosónico* ha sido aplicado a la energía sónica de alta intensidad, prescindiendo de la frecuencia. [22]

Las ondas ultrasónicas difieren de la luz y otras formas de radiación electromagnética, las cuales viajan libremente a través del vacío. Por otra parte, estas dos formas de energía obedecen a leyes similares de propagación. Las ondas ultrasónicas son también llamadas ondas elásticas, debido a que las propiedades elásticas del medio son responsables de sostener los requerimientos vibratorios para la propagación de la onda ultrasónica. Más adelante se discutirán los fundamentos teóricos del fenómeno de propagación de ondas elásticas. [22]

Las aplicaciones del ultrasonido se dividen en dos categorías correspondientes a ultrasonidos de baja intensidad y ultrasonidos de alta intensidad. Las aplicaciones de baja intensidad son aquellas donde el propósito principal es la transmisión de energía a través de un medio. El objetivo quizás sea aprender algo sobre el medio o pasar información a través de ese medio. El objetivo es nunca cambiar el estado del medio, Las aplicaciones típicas de baja intensidad incluyen pruebas no destructivas de materiales o dispositivos, medidas de los materiales, diagnóstico médico y la ganadería; aunque muchos generadores de sonido usados bajo la superficie del agua requieren suficiente energía eléctrica para suplir o abastecer una pequeña ciudad, aplicaciones marítimas tales como sonido de profundidad, rango de eco, comunicación y la detección submarina podría incluirse en esta categoría. Podría evitarse una incongruencia obvia designando una tercera categoría basado en el criterio de la intensidad para incluir solo las aplicaciones de sonido bajo el agua. [22]

Una corriente eléctrica que fluye a través del aire produce un fenómeno asociado que genera señales ultrasónicas de baja intensidad, las cuales son posibles de detectar y determinar; tales como la presencia de fugas eléctricas en equipos industriales y líneas de transmisión. Las aplicaciones de alta intensidad son aquellas donde el propósito es producir un efecto en el medio o su contenido, a través del cual se propaga la onda ultrasónica. Entre las aplicaciones típicas de



alta intensidad del ultrasonido se encuentran las siguientes: La terapia médica, atomización de líquidos, la mecánica de materiales quebradizos, limpieza, separación de células biológicas, soldadura de plástico y metales y la homogenización o mezcla de materiales.[22]

### **2.2.26 EL ULTRASONIDO EN LA NATURALEZA**

Para los animales de vida nocturna como los murciélagos, el empleo del eco es algo tan habitual, como las demás formas de señalización acústica. Su principio es muy simple, la onda sonora originada por el animal choca con los objetos que se encuentra en el camino, y regresa de nuevo. De acuerdo con el tiempo que transcurre para que la onda sonora regrese, el animal puede determinar la distancia a la que se encuentra el objeto, y por el carácter del eco, también determina las cualidades del objeto.

Muchos animales poseen la facultad de eco-localización. Un perro privado de la vista, puede aprender en un día o dos a no tropezar contra las paredes y los objetos grandes. El oído tan agudo que posee, distingue fácilmente el sonido reflejado de las superficies densas, que se produce mediante el ruido de sus pasos.

El hombre también es capaz de utilizar el eco. Por ejemplo, los ciegos de nacimiento, poseen un oído muy desarrollado y se orientan por el sonido de sus propios pasos o del bastón, y aprenden a no tropezar con los objetos mientras caminan. En comparación con los delfines o los murciélagos, esto es un método de orientación muy tosco, pero el carácter de los sonidos utilizados por el hombre no le permite efectuar reacciones más precisas.

De una manera similar se orientan los peces; el movimiento de sus cuerpos provoca en el medio submarino compresiones locales, que se propagan hacia distintas partes, igual que las ondas de sonido, comunes y corrientes. Su repercusión en los objetos lo capta un órgano especial, la línea lateral, que poseen todos los peces y anfibios rabudos. Por medio de esta vibro-



## Capítulo II. Marco Teórico

localización (las ondas originadas por los peces no tienen nada que ver con la gama acústica), dichos animales, incluso de noche, no tropiezan contra los obstáculos submarinos.

De las aves capaces de utilizar la eco-localización, las más conocidas son los guácharos, que viven en las islas del Mar Caribe y en los países próximos de América Latina. Los guácharos son aves nocturnas. Todo el día lo pasan en la profundidad de las cuevas, en plena oscuridad atraviesan rápidamente los sinuosos pasillos subterráneos, sin tropezar contra las paredes y los salientes. Las golondrinas salanganas y otras aves nocturnas también utilizan la eco-localización acústica para estos mismos fines. A los murciélagos y delfines la eco-localización no solo les sirve para esquivar obstáculos. Esta también es necesaria para hallar sus alimentos.

Por eso necesitan ultrasonidos de muy altas frecuencias, desde 40 hasta 300 mil ciclos por segundo y una longitud de onda de 1 a 3 mm. Estos seres no solo deben recibir información acerca del lugar donde está la presa en el momento dado, sino también hacia donde se dirige y que velocidad mantiene. Al parecer, por eso los murciélagos utilizan impulsos sonoros para la localización, en los que varía la frecuencia de las oscilaciones de las ondas sonoras.

El eco-localizador de los murciélagos es tan perfecto que puede distinguir pedacitos iguales de terciopelo, papel, esmeril o de madera contraenchapada. Cada objeto refleja de manera distinta las ondas sonoras. Por medio de su magnífico localizador, los murciélagos no solo pueden orientarse en el aire, sino también en el agua. Volando sobre la misma superficie del agua, envían hacia abajo señales acústicas y tan pronto reciben la respuesta adecuada, meten las garras en el agua y sacan la presa a la superficie.

Otros grandes especialistas en eco-localización son las ballenas y las focas de las regiones polares, quienes durante la mayor parte del año tienen que conseguir peces debajo del hielo, cubierto además por una gruesa capa de nieve. Finalmente, los ratones de monte, las musarañas y muchos otros animales también emplean la eco-localización, como sentido de ubicación que les garantizan la subsistencia, en los diferentes medios donde habitan.



### 2.2.27 ALGUNAS VENTAJAS DEL ULTRASONIDO

- Las ondas de frecuencias más altas tienen longitudes de onda más cortas, lo cual significa que la difracción o flexión en torno a un obstáculo de dimensiones determinadas se reduce en forma correspondiente. Por lo tanto, es más fácil dirigir y enfocar un haz de ultrasonido.
- Las ondas ultrasónicas pueden atravesar sin dificultad las paredes metálicas de tubos y recipientes. Esto quiere decir, que el sistema de medición entero puede montarse externamente al fluido; por lo tanto, el ultrasonido como fenómeno físico es no intrusivo. Esto es muy importante con fluidos hostiles, que son aquellos con propiedades corrosivas, radioactivas, explosivas o inflamables. Tampoco existe la posibilidad de que ocurra obstrucción con fluidos sucios o pastas aguadas.
- El ultrasonido puede emitirse y propagarse a través del tejido biológico, lo que lo hace idóneo para aplicaciones médicas.
- El silencio del ultrasonido se aprovecha en aplicaciones militares importantes.

### 2.2.28 PROPAGACION DE ONDAS ELÁSTICAS Y FENÓMENOS ASOCIADOS

Cuando una onda mecánica se propaga a través de un medio origina en las partículas de este un movimiento oscilatorio periódico con respecto a su posición de equilibrio. Debido a las propiedades elásticas de dicho medio, la onda se transmite de una capa a la siguiente y así sucesivamente sin que sus partículas se trasladen en la dirección en que avanza la perturbación. Si la frecuencia de esta perturbación es mayor que 16 [Khz], se llamara onda ultrasónica o ultrasonido. Para el uso efectivo de la energía del ultrasonido se requiere la comprensión de los principios básicos de la propagación de la onda, y los fenómenos asociados por su importancia en las aplicaciones del ultrasonido. [22]



## Capítulo II. Marco Teórico

El ultrasonido influye en cada aspecto del comportamiento humano. El fenómeno que hace posible este amplio rango de interés tiene sus aplicaciones lógicas y científicas. Los factores que afectan la propagación de la energía del ultrasonido son fundamentales para diseñar los sistemas que producirán el fenómeno deseado eficientemente. Un estudio de las características de propagación da mucha información sobre el medio por el cual viajan las ondas. De algún modo el ultrasonido se parece a la luz y otras formas de radiación electromagnética, porque es un movimiento de ondas y obedece a una ecuación de onda general. [22]

Cada tipo de onda en un medio homogéneo dado viaja a una velocidad que depende de las propiedades del medio. Similar a la luz el ultrasonido se refleja desde la superficie, y es refractado cuando se dirige de un medio a otro, lo cual produce cambios en la velocidad del sonido que se difracta en los bordes de la superficie, o alrededor de los obstáculos. Igualmente, la energía se dispersa de las partículas o superficies ásperas; así como la luz desde superficies similares o partículas de polvo. [22]

El ultrasonido también es como la electricidad; ya que las fuerzas que actúan alrededor de un área en un punto dado de la onda son análogas al voltaje eléctrico, y la velocidad potencial en ese punto es análoga a la corriente. Así la relación voltaje-corriente es una impedancia eléctrica, y la relación fuerza-velocidad es una impedancia acústica. Las impedancias en los dos casos son utilizadas de la misma manera; por ejemplo, para calcular los reflejos y transmisiones en una discontinuidad de impedancias e igualar los componentes para la transferencia de energía efectiva de un elemento a otro. [22]

Cuando una impedancia estacionaria de una línea de transmisión produce un reflejo que está en cualquier lugar de la fase con una onda incidente constante, las dos ondas se refuerzan entre ellas mismas para producir una onda constante. Esta es la condición de la resonancia la cual es importante en ciertos tipos de Interferómetros para medir distancias y algunos tipos de aplicaciones de alta intensidad. [22]



## Capítulo II. Marco Teórico

A una frecuencia determinada, el movimiento de una partícula en cualquier punto de la onda de ultrasonido es senoidal, si la fuerza desarrollada en las ondas permanece en el rango elástico del medio. Si dos ondas sinusoidales de frecuencias diferentes se superponen, sus amplitudes son sumadas y restadas de forma alternada, de tal manera que el efecto total es una onda con una amplitud igual a la suma de las amplitudes de cada onda y una frecuencia igual a la diferencia en las frecuencias de las ondas. El efecto es llamado pulso, y la nueva frecuencia se llama frecuencia de pulso. La frecuencia de pulso es utilizada con el *efecto Doppler* en muchas aplicaciones tales como medidas de la velocidad del flujo sanguíneo, de los movimientos del corazón o detección del movimiento de cuerpos extraños, entre otras. [22]

Cuando una onda se propaga a través de un medio, disminuye o se atenúa su amplitud. Existen varias causas de esta atenuación; tales como los cambios de la amplitud del frente de onda, cambios de energía acústica a energía calórica, (absorción) y la exploración de superficies irregulares. Un factor que afecta la atenuación es la relajación, un término que describe el retardo entre una perturbación inicial y un reajuste de la distribución de la energía inducida por la perturbación, y el flujo del calor desde una región bajo compresión a una región con baja presión. En un tiempo determinado el intercambio de energía llega o se aproxima a un equilibrio de valor exponencial. Un estudio del fenómeno de relajación da información considerable relativa a la naturaleza de los estados sólidos, líquidos y gaseosos de la materia. [22]

A altas intensidades del ultrasonido, la energía absorbida puede producir un considerable calor, de hecho, a intensidades extremadamente altas estas pueden producir suficiente calor para fundir el vidrio o acero. Otro fenómeno relacionado a las altas frecuencias de los líquidos es la cavitación, a la cual se le relacionan muchos de los efectos producidos. [22]

La *cavitación* esta relacionada a las fuerzas generadas de ondas de ultrasonido. Los radicales químicos libres son producidos por la cavitación la cual causa ciertas reacciones químicas. Las fuerzas desarrolladas son suficientemente fuertes para corroer materiales duros y resistentes. La cavitación es especialmente útil en la limpieza por ultrasonido. [22]

### 2.2.29 NATURALEZA DE LA PROPAGACION DEL ULTRASONIDO

Al ocurrir una perturbación ultrasónica en un medio elástico debido a una fuerza externa, las partículas en el origen de la perturbación se desplazan desde su posición de equilibrio  $X_0$ , describiendo una trayectoria limitada. [26]

Una vez iniciado el movimiento, este es resistido por las fuerzas elásticas del material, de este modo logra que cada elemento se pare en el punto  $X_1$  como se indica en la Figura 2.19, después de un desplazamiento finito “A” convirtiendo así su energía cinética en energía elástica. [26]

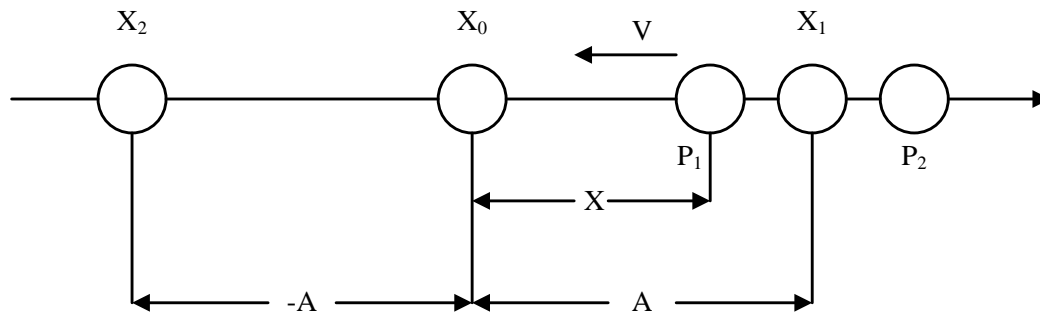


Figura 2.19. Cuerpo vibrante con movimiento armónico simple. [26]

Donde:

$X_0$  : Posición de equilibrio.

$X_1, X_2$  : Puntos máximos equivalentes ( $A, -A$ ).

$X$  : Elongación para un instante dado.

$P_1$  : Partícula 1, después de alcanzar la posición  $X_1$  y ceder parte de la energía a  $P_2$ .

$P_2$  : Partícula 2 adyacente, iniciando el movimiento vibratorio.

La energía elástica hace que la partícula en el punto  $X_1$  inicie el movimiento de retorno, luego llega a su posición de equilibrio  $X_0$  y continua moviéndose debido a la inercia adquirida, hasta alcanzar el punto  $X_2$  situado a una distancia finita “-A”. Nuevamente inicia el movimiento de

retorno a su posición de equilibrio, cumpliendo así un ciclo y continúa oscilando alrededor de él durante un lapso de tiempo. Parte de la energía de la vibración de la partícula es cedida a la adyacente, la cual también inicia las vibraciones con un movimiento armónico simple ya descrito y a su vez transmite energía a otra partícula adyacente y así sucesivamente. El fenómeno de transmisión de energía descrito se conoce como propagación de ondas ultrasónicas, dicha propagación ocurre a una velocidad finita “C”, [26] y viene dada por la siguiente expresión.

$$C = f\lambda \quad (2.27)$$

Donde: (f), es la frecuencia en Hertz o el número de oscilaciones por segundo y ( $\lambda$ ), es la longitud de onda. Esta velocidad no debe ser confundida con el movimiento armónico simple de cada partícula en vibración. [26]

Según el movimiento de las partículas se pueden diferenciar tres tipos de ondas ultrasónicas:

- Ondas Longitudinales.
- Ondas Transversales.
- Ondas Superficiales.

### **2.2.30 ONDAS LONGITUDINALES**

A estas ondas también se les da el nombre de ondas de compresión y se propagan en los tres medios: sólido, líquido y gaseoso. Se caracterizan porque el movimiento periódico de las partículas es paralelo al desplazamiento de la onda; es decir, en el medio aparecen puntos sometidos a compresión y tensión al paso de la onda ultrasónica, [26] como se muestra en la Figura 2.20.

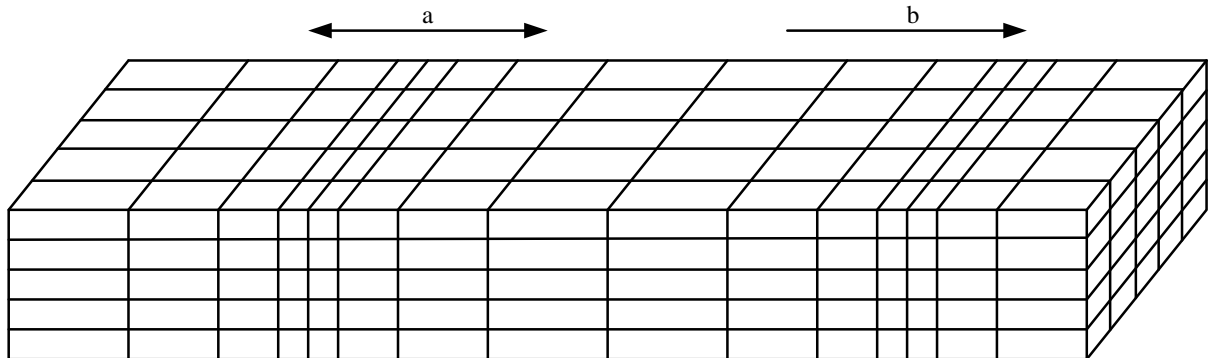


Figura 2.20. Ondas Longitudinales. [26]

En la figura 2.20, se tiene lo siguiente:

- a: Desplazamiento de las partículas durante la propagación de la onda.
- b: Dirección de la propagación.

La velocidad de propagación de las ondas longitudinales en un medio sólido, en función del módulo de Young ( $Y$ ), de Poisson ( $\sigma$ ) y en función de la densidad del material ( $\rho$ ), [26] viene dada por la siguiente expresión.

$$C_L = \left[ \frac{Y(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.28)$$

A través de los medios líquidos y gaseosos solamente se pueden propagar ondas longitudinales, la velocidad en estos medios depende de factores como la variación de la temperatura, si es un gas ideal o no ideal, etc. En una sección posterior se estudiará con más detalles la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido y se consideraran medios sólidos, líquidos y gaseosos. [26]

### 2.2.31 ONDAS TRANSVERSALES

También se conocen con el nombre de “*Ondas de Cizalladura*”, estas ondas solo se propagan en medios sólidos debido a las propiedades mecánicas como se indica en la figura 2.21. Se caracterizan por tener un movimiento periódico de las partículas en ángulos rectos, con respecto a la dirección de propagación de la onda ultrasónica, que solo se propaga en medios que ofrecen esfuerzos cortantes [26]. La velocidad de propagación de las ondas transversales es aproximadamente el 48 % ó 50 % de la velocidad de las ondas longitudinales. La velocidad en función del módulo Young ( $Y$ ), de Poisson ( $\sigma$ ) y de la densidad ( $\rho$ ), [5] para cualquier medio sólido viene dada por la siguiente expresión.

$$C_T = \left[ \frac{Y}{2\rho(1+\sigma)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.29)$$

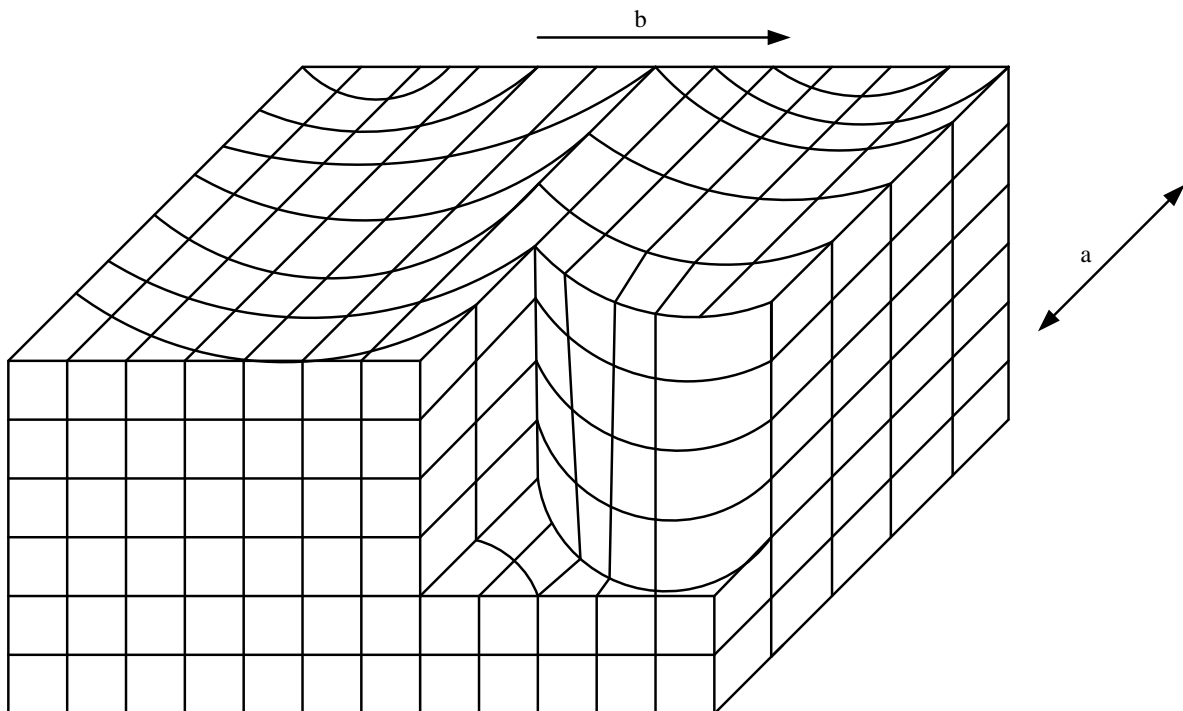


Figura 2.21. Ondas Transversales. [26]

En la figura 2.21.a, se tiene lo siguiente:

- a: Desplazamiento de las partículas durante la propagación de la onda.
- b: Dirección de la propagación.

### 2.2.32 ONDAS SUPERFICIALES O DE RAYLEIGH

Estas ondas se propagan a lo largo de la superficie de los medios sólidos, también se conocen como ondas de Lamb, se caracterizan por el movimiento periódico de las partículas en dos direcciones a lo largo y perpendicular a la propagación de la onda combinada, describiendo órbitas elípticas y su penetración debajo de la superficie alcanza a  $1.5 \lambda$ . Este tipo de ondas se usan en pruebas no destructivas de materiales, para detectar fallas superficiales, fallas en láminas y en paredes de tubos, [26] mas detalles de estas ondas pueden verse en la figura 2.22.

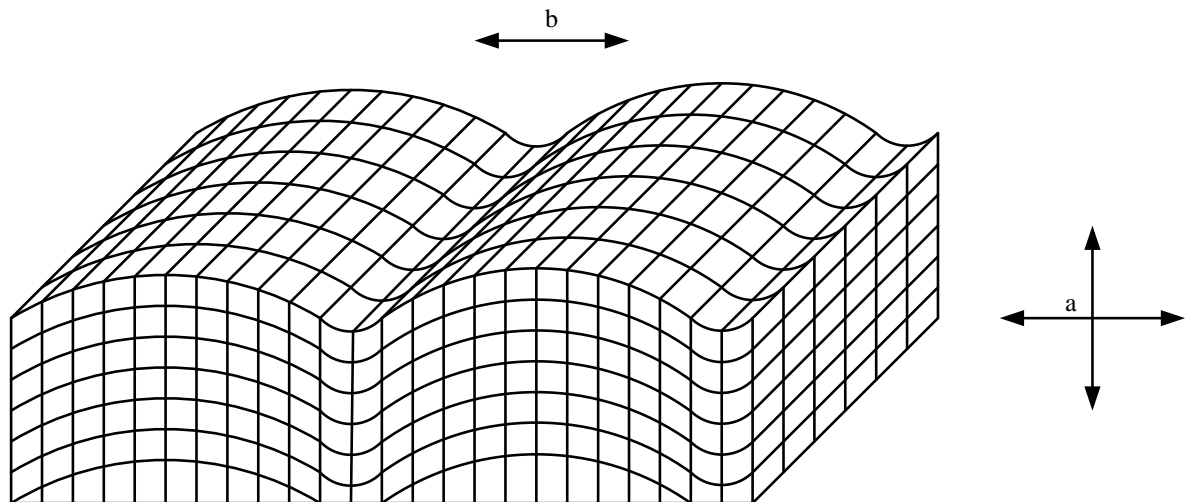


Figura 2.22. Ondas superficiales o de Rayleigh. [26]

En la figura 2.22 se tiene lo siguiente:

- a: Desplazamiento de la partícula durante la propagación de la onda.
- b: Dirección de la propagación.



Capítulo II. Marco Teórico

La velocidad de las ondas superficiales es aproximadamente un 10 % menor que la velocidad de las ondas transversales, [26] y viene dada por la siguiente ecuación.

$$C_S = \frac{0,87 + 1,12\sigma}{1 + \sigma} \left[ \frac{Y}{2\rho(1 + \sigma)} \right]^{\frac{1}{2}} \approx 0,9C_T \quad (2.30)$$

Cuando en una lámina se generan las ondas de Lamb, como las observadas en la figura 2.22, con un haz de velocidad  $C_L$  y que incide con un ángulo  $\alpha$  a la superficie, se obtiene  $C_F$  llamada velocidad de fase, [26] y viene dada por la relación que se indica a continuación:

$$C_F = \frac{C_L}{\text{SEN}\alpha} \quad (2.31)$$

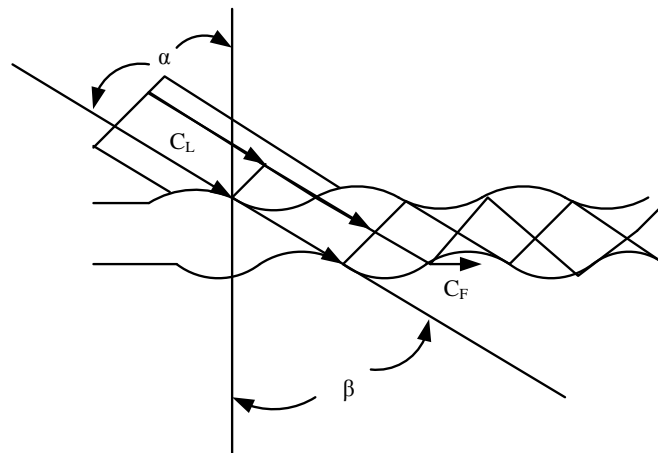
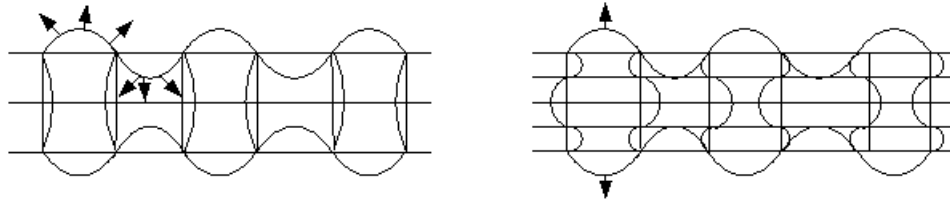


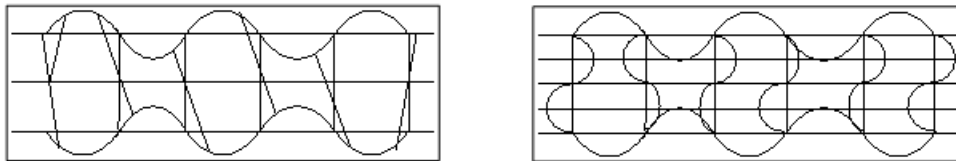
Figura 2.23. Generación y contorno de propagación de ondas de Lamb. [26]

Conociendo los valores del módulo de Young ( $Y$ ), del coeficiente de Poisson ( $\sigma$ ) y la densidad de un material sólido específico ( $\rho$ ), se puede determinar la velocidad de cualquiera de los tres tipos de ondas ultrasónicas para ese material. De forma inversa, conociendo las velocidades de los tres tipos de ondas ultrasónicas del sólido podemos determinar sus propiedades. [26]

Además se pueden obtener dos modos de vibración simétrica y asimétrica, como se indica en las figuras 2.24 y 2.25.



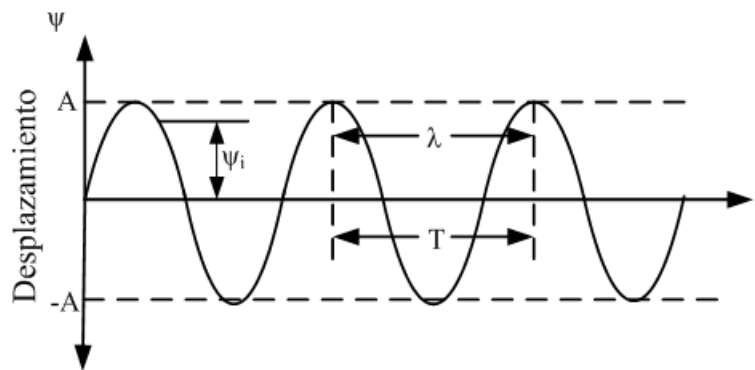
**Figura 2.24. Modos de Vibración Simétrico. [26]**



**Figura 2.25. Modos de Vibración Asimétrico. [26]**

### 2.2.33 ECUACIÓN DE ONDAS

Para describir completamente una onda ultrasónica debemos especificar el desplazamiento de cada partícula del medio como una función de tiempo [26], como se ilustra en la figura 2.26.



**Figura 2.26. Propagación de una onda sinusoidal en función del desplazamiento  $\psi$  de cada partícula y del tiempo  $t$ . [26]**

Al propagarse tanto las ondas longitudinales como las ondas transversales, cada partícula que

las conforman vibran con un movimiento armónico simple; por lo tanto, los desplazamientos de estas ondas varían a lo largo del medio. Este fenómeno se describe a cabalidad mediante una función sinusoidal [26], cuya ecuación general es la siguiente.

$$\psi = A \text{Sen} \left[ 2\pi \left( \frac{X}{\lambda} \pm \frac{t}{T} \right) + \theta \right] \quad (2.32)$$

Donde: ( $\psi$ ) es el desplazamiento de la partícula, ( $A$ ) es la amplitud de la onda, ( $X$ ) es la posición de equilibrio de la partícula medida a lo largo de la línea en la dirección de propagación de la onda, ( $\lambda$ ) es la longitud de onda, ( $T$ ) es el periodo de vibración de la partícula, y ( $\theta$ ) es el ángulo determinado por las condiciones iniciales. [26]

#### 2.2.34 LONGITUD DE ONDA

Es la distancia que existe entre dos máximos sucesivos o entre dos puntos cualesquiera consecutivos y que tienen la misma fase y se denota con la letra griega ( $\lambda$ ), [26]. Ver la fig. 2.26.

#### 2.2.35 ELONGACIÓN Y AMPLITUD

La distancia que existe para un instante  $t_i$  entre la partícula y su posición de equilibrio durante el desplazamiento se llama elongación ( $\psi_i$ ). Cuando el valor de este desplazamiento es máximo o mínimo se denomina amplitud ( $A$ ) de la onda, [26]. Ver la figura 2.26.

#### 2.2.36 PERÍODO Y FRECUENCIA

El tiempo que necesita la partícula para realizar un ciclo y que la onda se desplace una longitud ( $\lambda$ ), se llama periodo ( $T$ ), su unidad es el segundo (seg). El recíproco del período se llama frecuencia, su unidad es Hertz y viene dada en [ciclos/seg], [26]. Ver la figura 2.26.

### 2.2.37 FRENTE DE ONDA

La fase del movimiento de la partícula viene definida por la expresión  $[2\pi(X/\lambda - t/T) + \theta]$ . Trazando una superficie imaginaria a través del medio conectando todas las partículas que tienen la misma fase del movimiento, a esta superficie se le da el nombre de “Frente de Onda” [26], y se ilustra en las Figuras 2.27 y 2.28.

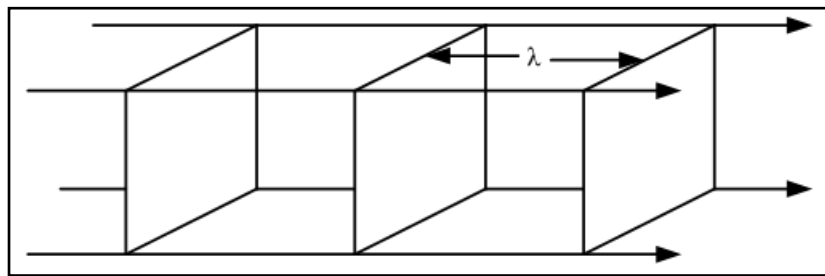


Figura 2.27. Frente de onda plano, producido por una fuente cuyas dimensiones (largo por ancho), son mayores que  $\lambda$ . [26]

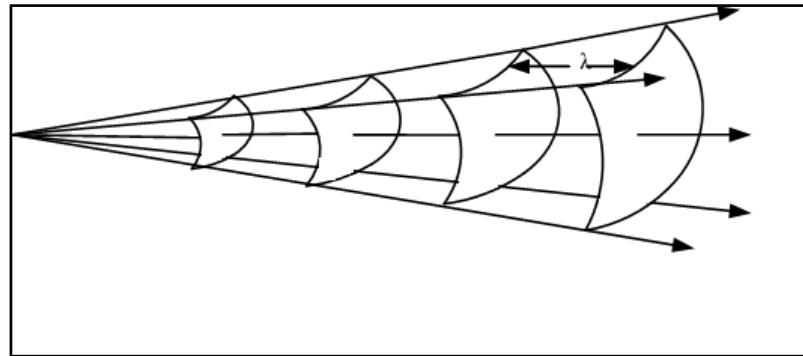


Figura 2.28. Frente de onda esférico proveniente de un generador puntual. [26]

### 2.2.38 SUPERPOSICIÓN DE LAS ONDAS

Es una propiedad importante de las ondas y consiste en que el desplazamiento instantáneo de una partícula en una región dada se determina por una simple combinación vectorial de los

desplazamientos correspondientes a cada una de las ondas que atraviesan en ese instante. Esta propiedad también se denomina “teorema de Fourier”. [26]

### 2.2.39 ECUACION DIFENCIAL DEL MOVIMIENTO DE ONDAS

Consideremos la propagación de una onda plana en un medio no atenuante con una velocidad “C” a lo largo del eje “X”, en un cualquier instante  $t_i$  el desplazamiento de la partícula ( $\psi$ ), puede ser representado por la ecuación general. [27]

$$\boxed{\psi = f(X - Ct) + g(X + Ct)} \quad (2.33)$$

El primer término del segundo miembro indica que la onda se propaga en dirección positiva del eje “X” y el segundo indica la propagación de onda en dirección opuesta. Diferenciando esta ecuación dos veces respecto a “X” luego dos veces con respecto a “t” y luego combinando las dos ecuaciones diferenciales, obtenemos la ecuación diferencial de onda. [27]

$$\boxed{\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}} \quad (2.34)$$

Para una onda que se propaga en cualquier dirección en el espacio tridimensional, la ecuación diferencial de la onda [27], se expresa de la forma siguiente.

$$\boxed{\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = C^2 \left[ \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right]} \quad (2.35)$$

### 2.2.40 ONDAS CONTINUAS Y PULSOS

Las ondas continuas son representadas por una senoide como se ilustra en la figura 2.26, se

## Capítulo II. Marco Teórico

caracterizan por no tener interrupciones periódicas en su forma, desde que se inicia su generación hasta que finaliza. El pulso es un corto grupo de ondas sinusoidales generadas periódicamente. Los pulsos se caracterizan por el ancho del pulso “ $\tau$ ” y su periodo de repetición  $T_p$ , donde la frecuencia de repetición  $f_p$  viene dada por la siguiente expresión. [26]

$$f_p = \frac{1}{T_p} \quad (2.36)$$

Estos valores ( $f_p$  y  $T_p$ ), son independientes de los valores de frecuencia de onda ( $f$ ), y de su recíproco ( $T$ ) o periodo de onda y según la forma de los pulsos pueden ser rectangulares o exponenciales [26], como se ilustran en las figuras 2.29a y 2.29b.

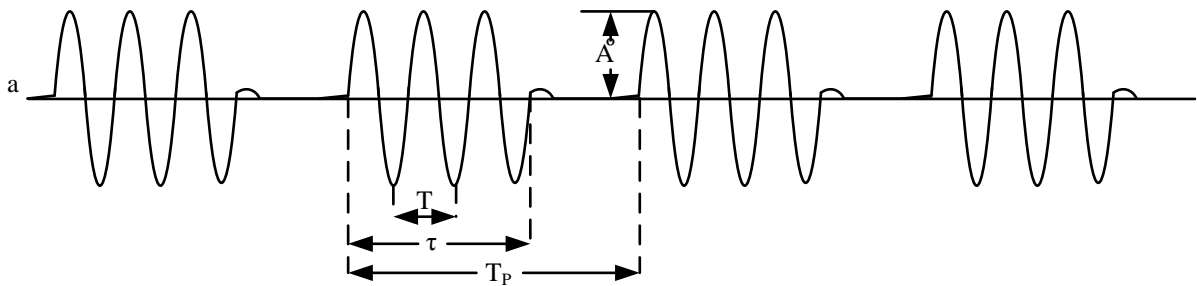


Figura 2.29a. Pulsos rectangulares [26]

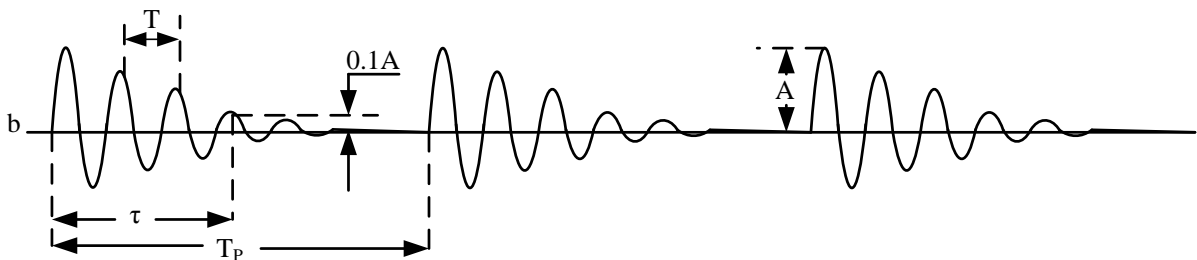


Figura 2.29b. Pulsos exponenciales [26]

Para las figuras 2.29a y 2.29b, se tiene lo siguiente:

T: Período de la onda.

A: Amplitud máxima de la onda.

$\tau$  :Período de pulso.

$T_p$  : Periodo de repetición.

La envolvente del pulso exponencial viene dada por:

$$\psi = Ae^{-v.t} \quad (2.37)$$

Donde: (A) es la amplitud máxima de la onda, (v) es el coeficiente de amortización del pulso y (t) representa el tiempo, y el ancho del pulso exponencial por el intervalo desde su inicio hasta el punto donde la amplitud de la envolvente ha decrecido al valor de  $0.1 A_{\max}$ . [26]

#### **2.2.41 IMPADANCIA ACUSTICA**

Este término representa una característica del medio determinada por sus propiedades elásticas, es una medida relativa de la resistencia que opone dicho medio al paso de las ondas ultrasónicas [26], y se obtiene usando la siguiente relación.

$$Z = \rho.C \quad (2.38)$$

Donde: ( $\rho$ ) es la densidad del material y (C), es la velocidad de propagación de la onda en el medio.

La importancia del parámetro Z de la relación (2.38), se refleja en la transmisión de ondas ultrasónicas del medio 1 al medio 2, para indicar la calidad del acoplamiento que hay entre ellos, además permite determinar el porcentaje de onda reflejada por la interfaz y el porcentaje de onda transmitida, mediante los coeficientes de reflexión y transmisión. [27]. Estos coeficientes se estudiarán mas adelante.

## 2.2.42 CHOQUE DE UNA ONDA DE ULTRASONIDO EN EL LÍMITE ENTRE DOS MEDIOS

Cuando una onda de ultrasonido encuentra una interface entre dos medios, la energía de la onda se distribuye de tal manera que depende del tipo de onda incidente, de cómo la onda se aproxima a la interface y de las propiedades acústicas de los dos medios. La condición es generalmente más complicada que la analogía óptica de un haz de luz incidente sobre la superficie de un objeto transparente. Como en la luz, la *Ley de Snell* es utilizada para determinar el ángulo de reflexión y refracción, pero el problema acústico se complica por el número mayor de formas de ondas y por las longitudes de ondas más largas usualmente asociadas a la energía del ultrasonido, los cuales son factores importantes en las distintas aplicaciones. [22]

La característica que conlleva a la *Ley de Snell*, es que a lo largo de un límite no deslizante, la velocidad de fase a través de la interfaz debe ser la misma para cada onda, a fin de completar las condiciones del límite en desplazamientos y esfuerzos [22], como se ilustra en la figura 2.30.

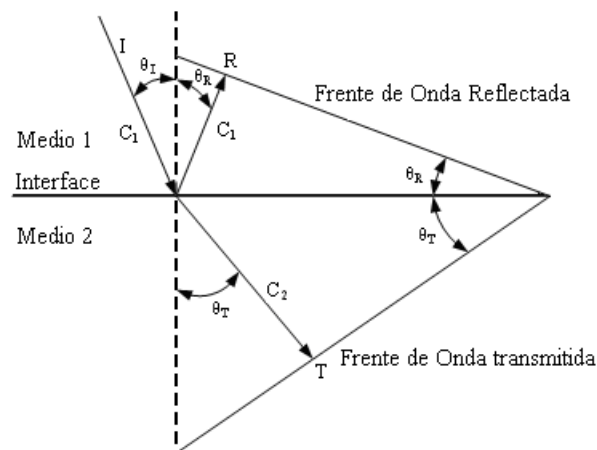


Figura 2.30. Desarrollo de la *Ley de Snell*. [22]

La velocidad de fase es la proporción a la cual un punto de la fase constante viaja a lo largo del límite [22], y está determinada por la ecuación que se indica a continuación:



$$C_p = \frac{C_a}{\text{Sen}\alpha_a} \quad (2.39)$$

De la ecuación (2.39) se tiene que  $C_a$ , es la velocidad de propagación de la onda en consideración y  $\alpha_a$ , es el ángulo entre el frente de onda y la superficie límite [22]. De acuerdo a la ecuación anterior  $C_p \geq C_a$ .

El modo de conversión ocurre en los sólidos porque los sólidos pueden sostener las fuerzas transversales y las fuerzas de dilatación. Los tipos de onda que pueden ser producidas por una onda incidente en una interface pueden determinarse resolviendo los componentes de fuerza y desplazamiento de la onda incidente a lo largo de las coordenadas del límite.

Estos requerimientos de fuerza y desplazamiento establecen las condiciones de borde para las soluciones particulares de la ecuación general de onda, con la cual es posible determinar los parámetros de las ondas reflejadas desde la interface y de las ondas transmitidas a través de la interface. Existen cuatro condiciones de borde para el caso general. En ambos lados de la interface las siguientes cantidades deben ser iguales. [22]

1. Desplazamientos normales.
2. Desplazamientos tangenciales.
3. Fuerzas normales.
4. Fuerzas tangenciales.

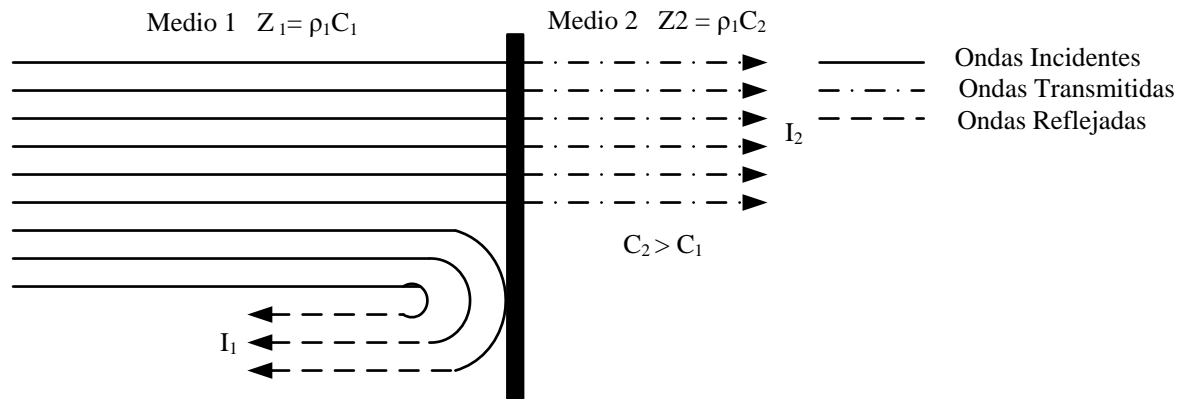
### 2.2.43 ONDAS ULTRASONICAS INCIDENTES Y REFLEJADAS

Al propagarse las ondas ultrasónicas en el medio 1 y al llegar a la interface con el medio 2, ocurre una conversión del modo de vibración de las partículas de la onda según su ángulo de incidencia y se representan dos casos conocidos como incidencia normal e incidencia angular, los

cuales se describen a continuación. [27]

### 2.2.43.1 INCIDENCIA NORMAL

Ocurre cuando un haz de ondas ultrasónicas incide normalmente sobre la interface que separa el medio 1 del medio 2. [27], de impedancias características distintas ( $Z_1 \neq Z_2$ ), como se ilustra en la figura 2.31.



**Figura 2.31. Haz de ondas ultrasónicas de incidencia normal [27]**

Puede observarse en la figura 2.31, como parte de la energía sonora incidente se refleja en el medio 1 y el resto de la energía se retransmite al medio 2, sin que ocurra la conversión a otro modo de vibración. [27]

Los coeficientes de reflexión (R) y de transmisión (T) en función de la impedancia acústica y de la intensidad de la onda. [27], vienen dados por las siguientes expresiones:

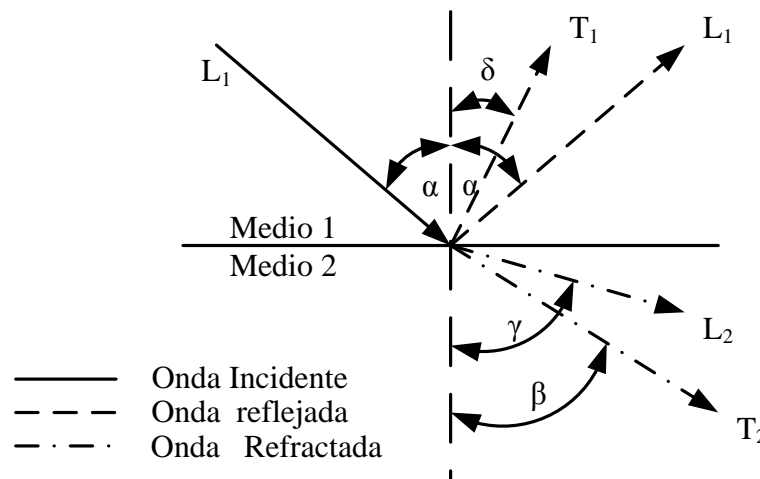
$$R = \left[ \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right]^2 = \frac{I_1}{I_0} \quad (2.40)$$

$$T = \frac{4Z_1Z_2}{Z_1 + Z_2} \frac{I_2}{I_0} \quad (2.41)$$

De las expresiones anteriores (2.40) y (2.41) se tienen que la suma de R+T es igual a la unidad,  $Z_1$  y  $Z_2$  es la impedancia característica del medio 1 y del medio 2 respectivamente, y además  $I_0, I_1$  e  $I_2$  son las intensidades de las ondas, incidentes, reflejadas y transmitidas. [27]

### 2.2.43.2 INCIDENCIA ANGULAR

Se produce cuando un haz de ondas ultrasónicas longitudinales incide con un ángulo ( $\alpha$ ), sobre la interface que separa dos medios con diferentes impedancias. En el límite parte de la energía puede convertirse en otros modos de vibración (ondas transversales), acompañados de una reflexión y refracción. [27], como se indica en la figura 2.32.



**Figura 2.32. Reflexión y Refracción de una Onda Longitudinal que incide con un ángulo ( $\alpha$ ) acompañada con una conversión a otros modos de vibración. [27]**

En la figura 2.32 se tiene lo siguiente:

$L_i$  : Ondas Longitudinales.

$T_i$  : Ondas Transversales.

i : Subíndice que indica el medio.

Las velocidades y direcciones de las diversas ondas son determinadas por la *Ley de Snell*.

$$\frac{C_{L1}}{\text{Sen}\alpha} = \frac{C_{T1}}{\text{Sen}\delta} = \frac{C_{L2}}{\text{Sen}\gamma} = \frac{C_{T2}}{\text{Sen}\beta} \quad (2.42)$$

Donde:  $C_{Li}$  y  $C_{Ti}$  representan las velocidades de las ondas longitudinales y transversales en el medio 1 y 2 respectivamente. [27], como se ilustra en la figura 2.32.

Cuando el ángulo de incidencia ( $\alpha$ ) va aumentando, el ángulo ( $\gamma$ ) también aumenta. ( $\alpha$ ) toma el primer valor crítico cuando  $\gamma = 90^\circ$ , y el haz longitudinal refractado ( $L_2$ ) se propaga a lo largo del límite. A mayores ángulos de incidencia las ondas  $L_2$  se reflejan totalmente y sólo se transmiten a través del medio 2 las ondas  $T_2$ . Al tomar  $\alpha$  el segundo valor crítico el ángulo  $\beta = 90^\circ$  y el haz  $T_2$ , refractado se propaga a lo largo del límite como ondas superficiales. [27]

#### 2.2.44 ONDAS ESTACIONARIAS

Al propagarse una onda ultrasónica continua en un medio y encuentra un plano límite normal, las ondas incidente y reflejada en el medio interfieren entre si alcanzando un estado de equilibrio, como se ilustra en la figura 2.33.

A lo largo de la trayectoria uno, el desplazamiento de cualquier punto de este medio vendrá dado por la suma algebraica de los desplazamientos de las ondas incidente y reflejada, dando origen a posiciones de amplitud cero, llamados nodos, debido a que las ondas están desfasadas en  $180^\circ$  y posiciones de amplitud máxima o antinodos debido a que las ondas están en fase. [27]



## Capítulo II. Marco Teórico

estacionario, [22] el tiempo entre los puntos de presión en un receptor viene dado por:

$$T_D = \frac{\lambda}{(C_o + \bar{v})} \quad (2.43)$$

Donde:  $\lambda$  es la longitud de onda en el medio,  $T_D$  es el período Doppler de la onda de sonido, y  $C_o$  es la velocidad del sonido en el medio, [22]. Por consiguiente, la frecuencia del receptor es

$$f_r = \frac{1}{T_D} = \left( \frac{C_o + |\bar{v}_r|}{\lambda} \right) = \frac{f_o}{C_o} \cdot (C_o + |\bar{v}_r|) \quad (2.44)$$

Donde:  $f_o$  es la frecuencia transmitida. Si la velocidad del receptor,  $V_r$  esta en la dirección opuesta. [22]

$$f_r = \frac{1}{T_D} = \left( \frac{C_o - |\bar{v}_r|}{\lambda} \right) = \frac{f_o}{C_o} \cdot (C_o - |\bar{v}_r|) \quad (2.45)$$

Si la velocidad del receptor,  $V_r$  esta en el ángulo  $\theta_r$  en una línea a través del receptor y el transmisor, [22] la frecuencia del receptor es la siguiente:

$$f_r = \frac{f_o}{C_o} \cdot (C_o + |\bar{v}_r| \cdot \cos \theta_r) \quad (2.46)$$

Donde, si  $\theta_r < \pi/2$ , el signo del coseno es positivo e indica que el movimiento atrae o une al transmisor y receptor y si  $\theta_r > \pi/2$ , el signo del coseno es negativo; por lo tanto, la fuente y el receptor se están alejando. [22]

Si el medio y el receptor son estacionario y la fuente es móvil a una velocidad  $V_s$ , la distancia entre la fuente y el receptor cambia por  $(|V_s| \cos \theta_s) \cdot T_o$ . Durante un periodo de la frecuencia de la fuente  $T_o$ . Por lo tanto, [22] la distancia entre los picos sucesivos en la onda de Doppler es:

$$\lambda_D = \frac{C_o}{(C_o - |v_r| \cdot \cos \theta_r)} T_o \quad (2.47)$$

y la frecuencia recibida viene dada por:

$$f_r = \frac{C_o}{\lambda_D} = \frac{C_o}{(C_o - |v_s| \cdot \cos \theta_s) T_o} = \frac{f_o \cdot C_o}{(C_o - |v_s| \cdot \cos \theta_s)} \quad (2.48)$$

Donde el signo del coseno es opuesto a la dirección de la fuente en relación con el receptor. [22]

#### 2.2.46 CAMPO ULTRASONICO

Sean un traductor en forma de disco de radio  $a$ , el cual genera ondas continuas que son propagadas a través del sólido. La región donde se propagan las ondas se llama “*Campo Ultrasonico*”, su configuración depende de la longitud de onda  $\lambda$ , y de las dimensiones del transductor. [26]

El campo se divide en dos zonas llamadas campo cercano o de “*Fresnel*” y el campo lejano o de “*Fraunhofer*”, el limite de separación esta a una distancia  $a^2/\lambda$  desde el origen de las ondas, como se ilustra en la figura 2.34, y la variación de la intensidad con la distancia desde el origen, sobre el eje axial se observa en la figura 2.35.

Para impulsos la configuración del campo es diferente aunque transcurrido un tiempo de tres o más periodos, se convierte en un campo similar al de las ondas continuas. [26]

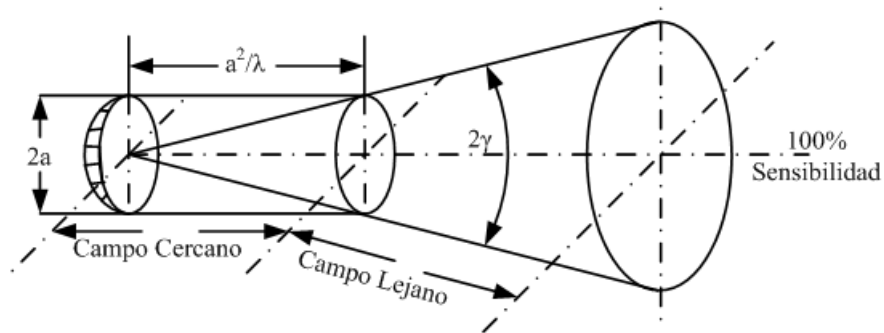


Figura 2.34. Contorno aproximado de haz ultrasónico cuando  $\lambda \ll 2a$ . [26]

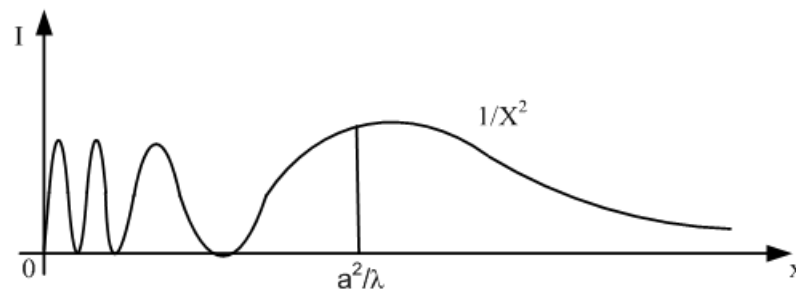


Figura 2.35. Distribución de intensidad lo largo de eje x. I: intensidad, x: Distancia. [26]

En el campo cercano desde el origen y a lo largo de su extensión existe una marcada variación de intensidad, la cual consiste de una serie de máximo y mínimo. En la figura 2.36, se muestra el campo cercano en el cual la sección brillante corresponde a intensidad máxima y la oscura a intensidad mínima. [26]

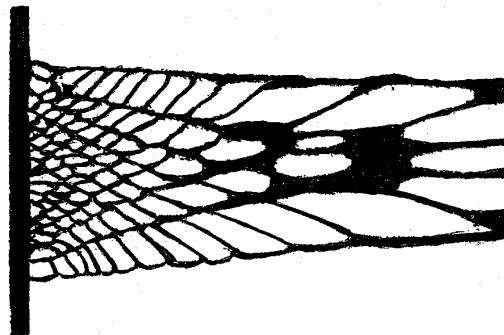


Figura 2.36. Campo cercano de un haz ultrasónico producido por un transductor en un líquido. [26]





Capítulo II. Marco Teórico

de signo si se invierte la dirección del esfuerzo. Así es que en las superficies de un cristal expuesto alternativamente a un esfuerzo de tracción y un esfuerzo de compresión existe un potencial alternativamente positivo y negativo, (tensión alterna). [27]

Efecto	Causa	Esquema	Resultado
Efecto Piezoeléctrico Directo	Compresión sobre el cristal		Voltaje positivo sobre las caras
	Tracción sobre el cristal		Voltaje negativo sobre las caras

Figura 2.37a. Efecto piezoeléctrico directo del cuarzo. Corte X. [27]

El efecto piezoeléctrico es reversible; es decir, cuando se aplica una carga eléctrica a la superficie del cristal, esta se contrae o se expande según el signo de la carga eléctrica. Una tensión eléctrica alterna, aplicada a las superficies del cristal, da origen a oscilaciones mecánicas de presión que se manifiestan como una expansión y contracción de la superficie del cristal, [27] como se ilustra en las figuras 2.37a y 2.37b.

Efecto	Causa	Esquema	Resultado
Efecto Piezoeléctrico Inverso	Voltaje positivo sobre las caras		Expansión del cristal
	Voltaje negativo sobre las caras		Contracción del cristal

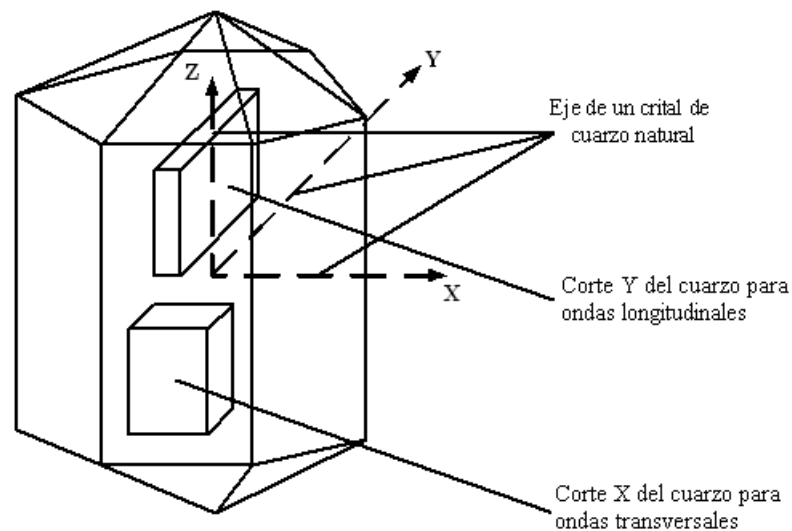
Figura 2.37b. Efecto piezoeléctrico inverso del cuarzo. Corte X. [6]

## Capítulo II. Marco Teórico

De la reversibilidad se extrae, de modo inmediato, que puede emplearse el mismo principio para generar y recibir ondas longitudinales ultrasónicas. En efecto, en la mayoría de los casos se utiliza un mismo cristal como emisor y receptor. [27]

El efecto piezoeléctrico no es propio de todos los cristales y sólo se produce en determinadas condiciones. El ejemplo más conocido es el cuarzo. Un cristal de cuarzo natural tiene una forma determinada, siempre recurrente, que se describe con ayuda de los ejes cristalográficos, designados como ejes X, Y y Z, igual que en un sistema de coordenadas cartesianas normales, [27] como se ilustra en las figuras 2.38 y 2.39.

El efecto piezoeléctrico sólo se consigue en el cuarzo si la lámina de cuarzo ha sido cortada del cristal, perpendicularmente al eje X o al eje Y. En el primer caso, la deformación mecánica del cristal tiene lugar en la misma dirección del campo eléctrico; en el segundo caso perpendicularmente a ella. Por esto se habla de cuarzos con oscilaciones de corte X y de corte Y. Los cuarzos de corte X generan ondas longitudinales; los de corte Y, ondas transversales. En la mayoría de los casos se considera el corte X. [27]



**Figura 2.38. Sistema simplificado de coordenadas en un cristal de cuarzo, posiciones de corte X e Y. [27]**

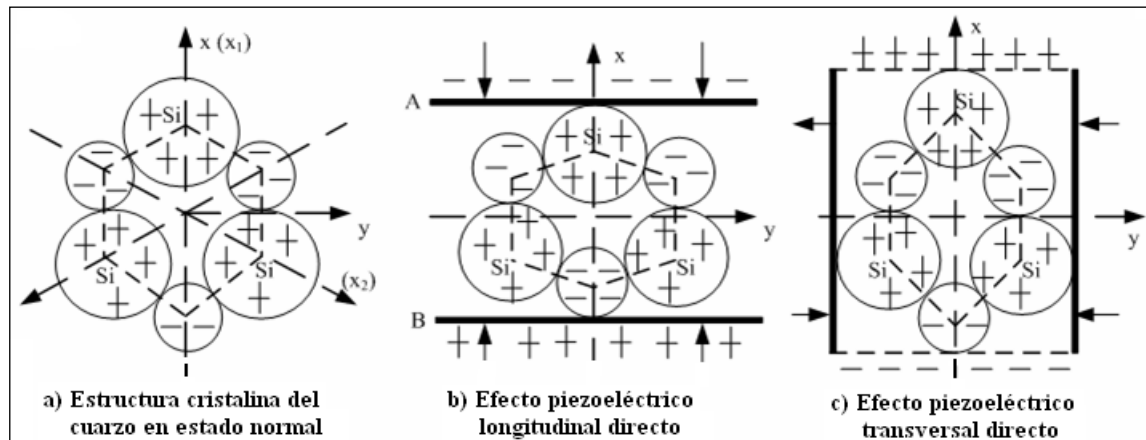


Figura 2.39. Efecto piezoeléctrico del cuarzo. [27]

Además del cuarzo, la turmalina como mineral natural, presenta también el efecto piezoeléctrico. Una relevancia mucho mayor han alcanzado los transductores cerámicos sinterizados que adquieren el efecto piezoeléctrico por polarización, esto es un enfriamiento desde una alta temperatura característica del material con exposición a altos voltajes eléctricos. Sin embargo, el efecto piezoeléctrico puede perderse por despolarización cuando se excede la temperatura de Curie. [27]

Los materiales cerámicos sinterizados más importantes son el Titanato de Bario, el Sulfato de Litio, el Zirconato de Plomo-Titanio (PZT) y el Metanobiato de Plomo. [27]

### 2.2.49 ANÁLISIS ULTRASÓNICO

El análisis ultrasónico en el sentido amplio es el análisis de las señales acústicas emitidas por un dispositivo o sistema para detectar condiciones indeseables tales como las fallas incipientes, que son el primer aviso de futuras fallas más severas. Las personas a través del sistema auditivo en buenas condiciones físicas, aplican un análisis sónico mental en el rango audible sin estar concientes de su mecanismo. El reconocimiento de la voz de una persona, el reconocimiento del vuelo de un avión, y el reconocimiento de un desafino en un piano que suena entre otros casos,

son algunas formas típicas que las personas usan para realizar un análisis del sonido. [22]

Principios similares pueden aplicarse en la industria, pero aquí la señal recibida debe ser procesada de manera tal que la identificación de una falla pueda ser hecha basados en la visión, en vez de usar una presentación de datos auditivos directamente. Cualquier sistema en movimiento genera un sonido. Si el sistema está operando normalmente, la señal emitida puede ser llamada "*huella acústica*" de ese sistema. La huella acústica en consecuencia, identifica la condición normal; por lo tanto, cualquier anomalía afectará el carácter del sonido emitido.

El análisis de la huella acústica es realizado comparando la conocida huella normal, con el sonido emitido por el sistema operando y esto se realiza mediante un equipo ultrasónico. [22]

### 2.2.50 EFECTO CORONA

Se conoce como descarga o efecto corona a la pérdida de carga producida por la ionización del aire que rodea a un conductor cargado, [28]. La ruptura dieléctrica del aire que se produce por el efecto corona ocurre cuando la intensidad del campo eléctrico alcanza los  $3 \cdot 10^6$  [V/m].

Las descargas por efecto corona se producen en la proximidad de la superficie de los materiales cuando la intensidad de campo eléctrico (E), posee un valor tal que supera la rigidez dieléctrica del aire. Los mencionados flujos eléctricos comienzan cuando un electrón libre es acelerado a través de un gas por acción del campo eléctrico, este electrón puede adquirir la energía suficiente para provocar la aparición de nuevos electrones libres, mediante su colisión con átomos del gas; a este proceso se le denomina ionización por impacto de electrón. [29]

También se produce la fotoionización, en la cual un fotón proveniente de una fuente distante impacta con un átomo, entregando una cantidad de energía tal que permite la liberación de un electrón y la creación de un ion positivamente cargado. La mayoría de las colisiones son de tipo elásticas y los electrones pierden sólo una pequeña parte de su energía cinética en cada una de



esas colisiones [29].

Ocasionalmente, un electrón puede impactar a un átomo con la energía suficiente para excitarlo. Cuando esto sucede el átomo adquiere un nivel de energía superior: uno o más de sus electrones pasan a un nivel orbital superior, por lo que el electrón que lo impactó pierde parte de su energía cinética al crear dicho estado. Posteriormente, el conjunto de átomos excitados volverá a su estado normal, irradiando este exceso de energía en forma de luz, calor y ruido audible. Esta liberación de energía corresponde a la emisión de radiación electromagnética [29].

El efecto corona ocasiona principalmente la degradación de los aisladores en las líneas de distribución de alta tensión, provocando la caída de estas y finalmente la pérdida de energía eléctrica. Este efecto es causado por la contaminación atmosférica; una conexión incorrecta, filamentos rotos, aisladores dañados y conexiones defectuosas a tierra [30].

### 2.2.51 ARCO ELECTRICO

Un arco eléctrico, es un fenómeno que ocurre cuando la electricidad fluye o viaja a través del espacio, rompiendo la rigidez dieléctrica del aire. El arco que se forma cuando una protección de sobrecorriente se abre o por la ocurrencia de un rayo, son ejemplos conocidos; sin embargo, entre dos puntos de un sistema eléctrico, la electricidad siempre trata de buscar el camino de menor resistencia, ya sea viajando por los conductores eléctricos o estableciendo un arco de corriente a través del aire [2].

El arco eléctrico produce una de las mayores temperaturas conocidas que ocurren en el Planeta, alrededor de 35.000 grados Fahrenheit. Esto es cuatro veces la temperatura superficial del sol. El intenso calor del arco causa la expansión súbita del aire y provoca una explosión con muy alta presión del aire. Todos los materiales conocidos son evaporizados a esta temperatura; por lo tanto, se expanden en volumen. Por ejemplo el Cobre: 67.000 veces, el Agua: 1670



veces). La explosión puede propagar el metal derretido en el aire a mayores distancias con gran fuerza [31].

### **Causas del arco eléctrico:**

El arco puede ser iniciado por las siguientes causas [31]:

- **Impurezas y Polvo:** Las impurezas y polvo en la superficie del aislamiento pueden proporcionar un camino para la corriente, permitiendo un flashover y creando la descarga del arco a través de la superficie.
- **Corrosión:** La corrosión de los equipos puede proporcionar impurezas en la superficie del aislamiento. La corrosión también debilita el contacto entre las terminales de los conductores incrementando la resistencia de contacto a través de la oxidación o alguna otra contaminación corrosiva. La condensación del vapor y el goteo del agua pueden crear un camino en la superficie de los materiales aislantes. Esto puede crear un flashover a tierra y la intensificación del potencial del arco de fase a fase.
- **Contactos Accidentales:** El contacto accidental con la exposición de las partes vivas puede iniciar el arco de una falla.
- **Caída de Herramienta:** La caída accidental de la herramienta puede causar un cortocircuito momentáneo, produciendo chispas e iniciando el arco.
- **Sobre-Voltajes a través de espacios estrechos:** Cuando el espacio de aire entre conductores de diferentes fases es muy estrecho (debido a la mala calidad o al daño de los conductores), el arco puede ocurrir durante los sobre voltajes temporales.
- **Falla de los materiales aislantes:** El arco eléctrico también es causado por la utilización

o diseño inapropiado del equipo, o por procedimientos de trabajo inadecuados.

### **2.2.52 TRACKING (SEGUIMIENTO)**

Conocido también como "pequeño arco", no es más que una corriente buscando o siguiendo la ruta de menor resistencia a través de fallas en el aislamiento de un conductor [2].

El término descargas parciales, es el nombre simple y común para pequeñas descargas (arcos) que ocurren típicamente dentro o entre materiales aislados, destruyendo el aislamiento. Los daños producidos por el tracking superficial se ven como un árbol sobre el aislamiento; típicamente encontrado sobre los switchgear [32].

El efecto tracking eléctrico es una de las principales causas de la destrucción del aislamiento, lo cual puede crear descargas totales y fallas eléctricas. Los procesos industriales requieren ejecutar mantenimiento predictivo en las plantas; por lo tanto, se requiere tener un equipo que pueda detectar las descargas parciales por medio de las frecuencias de radio emitidas por ellas (1Mhz a 20 Mhz) trabajando sin necesidad de apagar el sistema eléctrico [32].

Aunque teóricamente, el ultrasonido puede ser usado en sistemas de bajo, medio y alto voltaje, en la mayoría de las aplicaciones se usa para monitorear sistemas de medio y alto voltaje. A menudo, el ultrasonido es usado para monitorear sistemas con voltajes que exceden los 2.000 Voltios, especialmente en switchgears cerrados. En estos casos, el ultrasonido es especialmente útil para determinar problemas de tracking [2].

En un switchgear cerrado, la frecuencia con que se determinan problemas detectando el tracking excede notablemente a los detectados usando equipos infrarrojos, tales como cámaras termográficas, debido a que la emisión de calor por tracking es casi imperceptible. Sin embargo se recomienda usar ambos métodos para evaluar switchgears [2].



**2.2.53 TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES SEÑALES ULTRASÓNICAS**

Algunas fallas eléctricos poseen un sonido característico y un espectro que los diferencia; también se pueden diferenciar perfectamente la tipología de las fallas [33].

A continuación en la tabla 2.2, se describen brevemente algunas formas características de las fallas consideradas en el presente trabajo.

**Tabla 2.2. Efecto Corona, Tracking y Arco Eléctrico y sus formas características [33]**

	<p><b>CORONA:</b> El sonido es un zumbido constante. El principal armónico se encuentra en 60Hz. El espectro de corona mostrará gran cantidad de armónicos similares al de 60Hz.</p>
	<p><b>TRACKING (Descarga parcial):</b> Aumenta la intensidad del sonido y luego la descarga. El sonido se caracteriza por un zumbido acompañado de burbujas que explotan. Se encontrarán menos armónicos similares a los de 60Hz.</p>
	<p><b>ARCO:</b> El sonido es intermitente. Se caracteriza por un sonido de fritura. Contiene muy pocos armónicos, similares a los de 60Hz.</p>

Fuente: Hipertexto de internet.



---

# CAPÍTULO III

## MARCO METODOLÓGICO



## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo corresponde al diseño metodológico, muestral y estadístico, que son fundamentales en la investigación y que contribuyen a formar una estructura ordenada para el análisis de la información la cual, dentro del marco metodológico llevará a la interpretación de los resultados, también es cierto que científicamente la metodología es un procedimiento general para lograr de una manera precisa el objetivo de la investigación.

El Marco Metodológico, según Hernández, Fernández y Baptista (2003) [34], es: “Aquel que presenta los métodos y técnicas para realizar la investigación de manera sistemática. Su importancia radica en que a través del estudio de la muestra y del análisis de los gráficos o datos estadísticos, se logra que los resultados obtenidos tengan un grado máximo de exactitud y confiabilidad”. (p. 126).

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Tomando en consideración el texto titulado: “Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales”, de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL); el cual en su primera parte nos habla de las normas que se deben seguir para la elaboración y presentación de Trabajos de Grado, Especialización, Maestría y Tesis Doctorales; de acuerdo con el capítulo II del mismo, se puede afirmar que la investigación a realizar esta enmarcada dentro de la modalidad de una investigación de campo de carácter descriptivo y de tipo experimental, también cumple con la modalidad de una investigación documental y de un proyecto factible. A continuación se presentan algunos fragmentos tomados del manual de la UPEL, que permiten definir claramente el tipo de investigación realizada. [35]

En la Sección Primera del capítulo II del texto antes referido sobre la Investigación de Campo se expone lo siguiente:



### Capítulo III. Marco Metodológico

“Se entiende por *Investigación de Campo*, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. Los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios. Sin embargo, se aceptan también estudios sobre datos censales o muestrales no recogidos por el estudiante, siempre y cuando se utilicen los registros originales con los datos no agregados; o cuando se trate de estudios que impliquen la construcción o uso de series históricas y, en general, la recolección y organización de datos publicados para su análisis mediante procedimientos estadísticos, modelos matemáticos, econométricos o de otro tipo”. [35]

En la Sección Segunda del capítulo II del mismo texto sobre la Investigación de Documental se expone lo siguiente:

“Se entiende por *Investigación Documental*, el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y en general, en el pensamiento del autor”. [35]

Finalmente en la Sección Tercera del capítulo II sobre los Proyectos Factibles se expone lo siguiente:

“*El Proyecto Factible* consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades”. [35]



### 3.2 TIPO DE ESTUDIO

De acuerdo con el método de investigación utilizado, el presente trabajo consiste en un estudio de tipo descriptivo, pues se enfocará en describir la situación actual de la unidad de mantenimiento en subestaciones de la empresa *Electricidad de Valencia* en lo relativo al mantenimiento predictivo en las subestaciones bajo estudio.

De acuerdo a los autores: Hernández, Fernández y Baptista en su libro titulado: *Metodología de la Investigación*. (Año: 2003. Página: 117). Plantean este tipo de trabajo como un *Estudio Descriptivo*, y lo conceptualizan como aquellos que miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Esta medición debe ostentar la mayor precisión posible. El investigador debe definir que se va a medir y como lograr la precisión de esta medición. [34]

De acuerdo a lo señalado en los párrafos anteriores, se puede afirmar que la presente investigación es un estudio tipo *Descriptivo*, porque se detallan las características fundamentales, destacando los elementos esenciales que identifican el tema estudiado.

### 3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez definido el tipo de estudio a realizar y de establecer los objetivos de la investigación, los investigadores deben concebir la manera práctica y concreta de responder a las preguntas de investigación. Esto implica seleccionar o desarrollar un diseño de investigación y aplicado al contexto particular de su estudio.

Así mismo, Hernández y Otros (1998), refieren que el diseño es: “El plan concebido para responder a las preguntas de investigación. El diseño señala lo que es necesario hacer para alcanzar los objetivos, contestar las interrogantes y analizar la certeza de las hipótesis formuladas en un contexto en particular”. (p. 12). [36]



### Capítulo III. Marco Metodológico

En la presente investigación el diseño del estudio es de campo, por cuanto los datos se obtendrán directamente de situaciones concretas y mediante fuentes primarias, constituidas por el personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa. *Electricidad de Valencia*.

Por consiguiente, Tamayo (2001), señala que el estudio de campo es: “Un análisis sistemático de un determinado problema, cuya información proviene directamente de la realidad”, por lo cual los denomina primarios. También señala que: “Su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos, lo cual facilita su revisión o modificación en caso de surgir dudas”. (p. 110). [37]

En este sentido, el presente trabajo de investigación se considera un estudio de campo, pues la información se recolectara en el ambiente propio de la empresa objeto de estudio. Por lo tanto, si el diseño esta concebido el producto final de un estudio tendrá mayores posibilidades de ser válido. No es lo mismo seleccionar un tipo de diseño que otro, cada uno tiene sus características propias. La precisión de la información obtenida puede variar en función del diseño o estrategia elegida.

#### 3.4 ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente *Trabajo Especial de Grado* se desarrollará en las siguientes subestaciones eléctricas: Castillito, Planta del Este, Centro y Quizanda; las cuales pertenecen a la empresa. *Electricidad de Valencia*, con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV, las cuales fueron designadas para ser objeto de estudio en la investigación.

#### 3.5 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en el capítulo I, se realizarán las siguientes fases de investigación:



### **3.6 PRIMERA FASE: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

En esta fase se procederá a realizar la búsqueda de información concerniente a la aplicación de la termografía infrarroja y el ultrasonido como técnicas de mantenimiento predictivo en los diferentes dispositivos, equipos o elementos presentes en las subestaciones bajo estudio. Para cumplir con el propósito de esta fase, se procederá de acuerdo con los pasos indicados a continuación:

- **Revisión bibliográfica de textos:** Ya sean textos especializados en los temas tratados, trabajos de grado relacionados con los contenidos, artículos de revistas técnicas especializadas en mantenimiento predictivo mediante la aplicación de la termografía infrarroja y el ultrasonido; además de las diferentes publicaciones provenientes de hipertextos disponibles en internet. Esta revisión bibliográfica se hará a través de visitas a las diferentes bibliotecas y mediante la búsqueda en Internet.
- **Revisión documental:** Para obtener los datos requeridos en la investigación, relacionados con las subestaciones designadas, se consultaran los historiales, informes, reportes u otro tipo de publicaciones que contengan los datos históricos asociados a las labores de mantenimiento predictivo y detección de fallas incipientes en las subestaciones bajo estudio, también se consultarán manuales técnicos que permitan establecer criterios para identificar los niveles de severidad de las fallas y los parámetros críticos que estén asociados con las mismas; finalmente se investigara acerca de las normas de seguridad industrial vigentes en la empresa, las cuales son de obligatorio cumplimiento a la hora de realizar las pruebas de termografía infrarroja, o de ultrasonido en las diferentes subestaciones.
- **Consultas a Especialistas:** Con la finalidad de disponer de información actualizada y confiable, se contará con la asesoría de especialistas en el tema tratado; para ello se realizarán consultas en el momento requerido, que permitan aclarar cualquier duda que pueda surgir

durante el desarrollo de la investigación; así como también, establecer los criterios de trabajo y emitir opiniones que garanticen el desarrollo eficaz del tema tratado.

Para cumplir con esta exigencia, se cuenta con la asesoría académica del profesor tutor asignado por la *Universidad de Carabobo*, con la asesoría institucional por parte de un Ingeniero electricista designado por la empresa. *Electricidad de Valencia*, y con algunos profesionales especializados en las técnicas de mantenimiento empleadas, los cuales emiten continuamente informes en formatos de hipertextos disponibles en internet y han puesto a la disposición de los interesados, sus páginas de consulta en línea por la vía de correo electrónico; cabe destacar que muchos de ellos poseen una experiencia comprobada y pertenecen a reconocidas empresas, que laboran en diversas áreas del mantenimiento eléctrico en general.

- **Observación directa:** Esta actividad será realizada en cada una de las subestaciones señaladas en los párrafos anteriores, y consiste en obtener datos y formular criterios que permitan conocer con exactitud cuales son las condiciones necesarias para realizar de manera segura y eficaz, las labores de mantenimiento predictivo en subestaciones empleando las técnicas de termografía y ultrasonido, haciendo énfasis en los componentes y elementos eléctricos que serán objeto de estudio en el presente "*Proyecto de Grado*", los cuales se enumeran a continuación: Transformadores de potencia, transformadores de corriente, transformadores de tensión, disyuntores, seccionadores, descargadores de sobretensión (Pararrayos), aisladores, aisladores pasamuros, conectores, conductores, fusible de alta tensión y tableros de control.

### **3.7 SEGUNDA FASE: ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO GENERALIZADO**

Luego de culminar la primera fase, se procederá a elaborar un procedimiento modelo generalizado en el cual se indiquen con detalles, todos los pasos necesarios que permitan la





### Capítulo III. Marco Metodológico

ejecución del mantenimiento predictivo empleando las técnicas de la termografía infrarroja y el ultrasonido, en subestaciones con niveles de tensión 115 / 34,5 y 13,8 Kv.

El procedimiento propuesto se explicará con detalles en el Capítulo V, y consta de dos partes. La primera parte estará orientada a la aplicación de la técnica de termografía infrarroja, y la segunda parte se orientará a la aplicación de la técnica de ultrasonido; ambas técnicas son independientes una de otra y se debe tener en cuenta que la técnica del ultrasonido solo se enfocará en tres fenómenos físicos que son: Efecto corona, tracking y arco eléctrico, mientras que la termografía infrarroja no presentará ninguna limitación más que las indicadas en el alcance del presente estudio.

#### 3.8 TERCERA FASE: PRUEBAS PILOTO

Luego de culminar con la segunda fase, se realizarán un conjunto de pruebas piloto enfocadas en la aplicación de la técnica de termografía en las subestaciones designadas en el alcance del presente estudio, pertenecientes a la empresa *Electricidad de Valencia*, mediante visitas programadas y planificadas en las diferentes subestaciones.

La realización de estas pruebas piloto, permitirán comprobar si el procedimiento realizado es correcto, o requiere de alguna modificación para adaptarse a las condiciones de las diferentes subestaciones eléctricas y a los diferentes equipos, dispositivos o elementos bajo estudio.

Debe tenerse en cuenta que no se escatimarán esfuerzos por lograr el objetivo general planteado en el Capítulo I, del presente *“Proyecto de Grado”*.

#### 3.9 POBLACIÓN

Una vez planteado el problema y delimitados los objetivos, es necesario señalar las personas que forman parte de esta investigación, las cuales constituyen a los empleados de la unidad de



mantenimiento de subestaciones de la empresa. *Electricidad de Valencia*, distribuidos de la siguiente manera: Un (01) ingeniero jefe de la unidad de mantenimiento de subestaciones, un (01) ingeniero coordinador de las protecciones, tres (03) técnicos electricistas especializados en termografía y dos (02) técnicos electricistas de la cuadrilla de mantenimiento predictivo en subestaciones, lo cual totaliza siete (07) empleados.

De acuerdo con Tamayo (2001), se define a la población como: “La totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto de entidades que participan de una determinada característica y se le denomina población por contribuir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación”. (p. 176). [37]

La población se clasifica según su número, en finita debido a que son menos de 100.000 personas, tal como lo reseña Sierra (1995) cuando afirma que: “Este tipo de universos son iguales o inferiores a cien mil unidades”. (p. 54). [38]

Según su función, la población que conforma la presente investigación, es accesible ya que al ser reducida en tamaño siete (7) personas, y al estar ubicada en un área geográfica susceptible de ser abordada por los investigadores, será posible desarrollar el estudio sobre la totalidad de los miembros del universo poblacional considerado.

### 3.10 MUESTRA

Tamayo, (1998), define la muestra como: “Un subconjunto o una parte de la población que se emplea para estudiar dicha población, esta tiene que ser representativa; es decir, de ser igual o parecerse a la población”. (p. 47). [37]

Debido a que la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa: *Electricidad de Valencia*, cuenta con un escenario de población reducido de siete (07) empleados, no se aplicaron



técnicas de muestreo o criterios muestrales en la presente investigación; por lo tanto, se tomó el cien por ciento (100 %) de la población, por tratarse de una muestra pequeña y finita también llamada (muestra intencional).

### **3.11 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Las técnicas de recolección de datos, según Tamayo (2001). “Constituyen estrategias que permiten el levantamiento de la información, lo cual hace posible determinar las necesidades de la problemática objeto de la investigación”. (p. 65).

Según García y Salcedo (1998), señalan lo siguiente:

La selección de técnicas de recolección de datos para una investigación se inicia en el momento en que un investigador comienza su contacto con la realidad empírica, conociendo exactamente que es lo que se desea investigar a través de los objetivos de la investigación. Se trata entonces, de relacionarse con los momentos metodológicos y técnicos de la investigación, los cuales se distinguen del momento teórico y lógico en el cual se seleccionó el problema, se elaboraron los objetivos y se construyó el cuerpo teórico de la misma (p. 431).

Es así como, Sabino (2002), señala al respecto:

Un instrumento de recolección de datos es, en principio, cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información. Dentro de cada instrumento concreto pueden distinguirse dos aspectos diferentes: forma y contenido. La forma del instrumento se refiere al tipo de aproximación que se establece con lo empírico, a las técnicas que se utilizan para esta tarea. En cuanto al contenido este queda expresado en la especificación de los datos que se necesitan conseguir (p. 582).

Es así como se utilizó la encuesta, según Tamayo (2001). “Es la relación directa establecida entre el investigador y su objeto de estudio a través de individuos o grupos con el fin de obtener testimonios orales” (p. 184). [37]



Para recolectar la información se empleó un instrumento diseñado por los investigadores, el cual representa un “*Cuestionario*”, en el mismo se realizaron las anotaciones correspondientes a la situación actual del problema en estudio, dicho instrumento esta conformado por diez (10) preguntas de tipo dicotómicas; es decir: Si o No, con la finalidad de solicitar información a un número socialmente significativo de personas relacionadas con el problema estudiado; para luego, mediante un análisis cuantitativo obtener conclusiones y proponer posibles soluciones.

### 3.11.1 TÉCNICAS

La encuesta, Según Rodríguez (2006), es: “La técnica cuantitativa que consiste en una investigación realizada sobre una muestra de sujetos, representativa de un colectivo más amplio que se lleva a cabo en el contexto de la vida cotidiana, utilizando procedimientos estandarizados de interrogación con el fin de conseguir mediciones cuantitativas sobre una gran cantidad de características objetivas y subjetivas de la población” (p. 57).

Así mismo, se puede observar que la encuesta es un instrumento confiable, ya que la misma se le aplicará directamente al personal que labora a diario en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa *Electricidad de Valencia*, y sólo ellos pueden opinar y suministrar la información requerida en la investigación.

### 3.11.2 INSTRUMENTOS

El Cuestionario, según García (1988), es: “El instrumento de la encuesta para realizar la recolección de datos rigurosamente estandarizado que operacionaliza las variables objeto de observación e investigación, por ello las preguntas de un cuestionario son los indicadores”. (Ver Anexo B.1).

De igual manera, el cuestionario da a conocer las diferentes interrogantes que tiene el personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa.

### 3.12 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LOS DATOS

El análisis de los datos se puede realizar de tres formas según Tamayo (2001). “Puede ser a través de una codificación, tabulación o estadísticas” (p. 187). Estas herramientas consisten en la asignación de un símbolo o número a la categoría de un ítem o pregunta, con la finalidad de facilitar los procesos para la preparación y obtención de los análisis necesarios. [37]

En este sentido, el análisis se realizó a través de la técnica de estadística descriptiva. Cada una de las preguntas fue tabulada, graficada y posteriormente analizada, las cuales demostraron en forma porcentual las respuestas ofrecidas por los cuestionados. Los detalles correspondientes al análisis e interpretación de resultados del cuestionario, se exponen claramente en el capítulo IV, del presente “*Trabajo de Grado*”.

Según Tamayo (2001), la estadística descriptiva se define como:

Aquella que utiliza técnicas y medidas que indican las características de los datos disponibles. Comprende el tratamiento y análisis de datos que tienen por objeto resumir y describir los hechos que han proporcionado la información, y que por lo general toman la forma de tablas, gráficos, cuadros e índices (p. 312).

### 3.13 VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

La validación del instrumento se realizó a través de la opinión de dos (02) expertos, quienes juzgaron la coherencia, calidad y precisión de los ítems formulados, de acuerdo a la opinión de Hernández, (1998), [36] quien señala lo siguiente: “La validez en términos generales se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que se pretende medir” (p.236). Es decir, el instrumento debe reflejar un dominio específico del contenido de lo que se mide. En este sentido, el método empleado para llevar a cabo la validación del instrumento será el de “*Juicios de Expertos*”, el cual según Sierra (1999), [38] queda definido de la siguiente manera:



### Capítulo III. Marco Metodológico

Consiste en la entrega de los instrumentos a los especialistas para que analicen y establezcan criterios en relación al cumplimiento de las condiciones necesarias para recoger la información; es decir, se determinará hasta donde los ítems de los instrumentos son representativos del dominio de contenido de la propiedad que se desea medir (p. 121).

Luego de la entrega de los formatos del instrumento propuesto por los investigadores a los expertos, estos procedieron a revisar el instrumento y emitieron su juicio mediante cartas aprobatorias confirmando y validando al instrumento, otorgándole un Rango de validez de carácter “Elevado”, lo que confirma que se puede proceder a aplicar el mismo.

En el Anexo B.2, del presente Trabajo se presentan las cartas aprobatorias de la validez del instrumento empleado, de acuerdo al juicio de los tutores; quienes validaron su contenido; además se presenta la prueba de validez del instrumento y el cuadro técnico metodológico correspondiente al procedimiento propuesto por los autores.

#### 3.14 CONFIABILIDAD

De acuerdo a Hurtado (2000), el término confiabilidad se refiere: “Al grado en que la aplicación repetida del instrumento a las mismas unidades de estudio, en idénticas condiciones, produce iguales resultados, dando por hecho que el evento medido no ha combinado” (p. 420).

Por lo tanto, para calcular la confiabilidad del instrumento se aplicará el método de *Prueba Piloto* del instrumento. Una prueba piloto o preliminar se realiza para saber como funciona el instrumento y si es necesario hacer ajustes al mismo.

Hurtado (2000), afirma que una prueba piloto es:

Una aplicación previa que se hace del instrumento a un grupo pequeño de personas con características similares a las de la muestra (pero no pertenecientes a ella), con el fin de verificar si la redacción es acertada, y si los ítems permiten realmente obtener



la información deseada y en general si el instrumento funciona apropiadamente. (p. 432).

Finalmente el instrumento fue aplicado directamente a la muestra, conformada por siete (07) empleados, ya que el mismo previamente fue estudiado, analizado y validado por los expertos.

### 3.15 CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD

Para determinar la confiabilidad del instrumento se aplicó el coeficiente Alfa-Cronbach, el que Hemández, R. y otros (1998), definen como: “El que requiere una sola administración del instrumento de medición y produce valores que oscilan entre 0 y 1, se aplica la medición y se calcula el coeficiente” (p.242). [36]

De acuerdo a la aplicación del coeficiente Alfa-Cronbach a la prueba piloto del instrumento, se obtuvo un coeficiente de confiabilidad ( $\alpha$ ), de 96 %. Los detalles del cálculo de  $\alpha$ , se presentan en el (Anexo B.3), como se puede observar en el referido anexo, este coeficiente representa un nivel de confiabilidad con carácter de “Elevado”, de acuerdo al rango de validez desglosado en la prueba de validez presentada en el (Anexo B.2); por lo tanto, se concluye que los ítems tienen una correlación alta con la prueba.

A continuación se presenta la fórmula empleada en el (Anexo B.3) para obtener el coeficiente de confiabilidad ( $\alpha$ ) del instrumento aplicado:

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left[ 1 - \frac{\sum S^2i}{S^2T} \right] \quad (3.1)$$

De la fórmula (3.1) se tiene lo siguiente:

N : N° de ítems

$S^2i$  : Sumatoria de la varianza de los ítems



$S^2T$ : Varianza total

Evidentemente, este coeficiente producirá valores que oscilan entre 0 y 1, donde el coeficiente “0”, no produce confiabilidad y “1”, produce la máxima confiabilidad. (Ver Anexo B.3).

### **3.16 CUARTA FASE: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Esta fase se desarrollará completamente en el Capítulo VI, en ella se expondrán de manera clara y sencilla las conclusiones y recomendaciones del presente “*Proyecto de Grado*”; se espera que las mismas aporten una valiosa información que sirva como punto de partida para futuras investigaciones sobre los temas tratados.





# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo de la investigación, se obtuvieron las representaciones gráficas de las respuestas obtenidas en la encuesta aplicada al personal que interviene directamente en el procedimiento propuesto; así como también, se hizo una interpretación de los resultados en forma particular para cada ítems del cuestionario, determinando así aspectos predominantes, que están directamente relacionados con la opinión emitida por parte de los encuestados.

Luego de haber aplicado el instrumento a los trabajadores de la unidad de mantenimiento en subestaciones de de la empresa: *Electricidad de Valencia*. Ubicada en el sector Los Colorados del Municipio Valencia del Estado Carabobo, se procedió a realizar la medición de los datos obtenidos en el instrumento, analizándolos cualitativa y cuantitativamente.

Estos datos se analizaron porcentualmente, agrupando cada uno de los ítems por indicador, con la finalidad de establecer mayor precisión en los resultados.

La evaluación de los datos esta articulada con el *Marco Teórico* y las *Bases Teóricas* que sustentan la presente investigación; por lo tanto, el análisis realizado está teóricamente fundamentado, así como también los resultados obtenidos al respecto.

La relación porcentual se aplicó a los datos obtenidos de las alternativas planteadas en el cuestionario realizado y se distribuyeron en gráficos circulares, los cuales permiten identificar de manera objetiva, los resultados obtenidos de forma cualitativa y cuantitativa.

A continuación se presentan cada una de las preguntas formuladas en el cuestionario con su representación gráfica y el análisis respectivo. En el (Anexo B.1), se presenta el modelo del instrumento (cuestionario), propuesto por los investigadores.

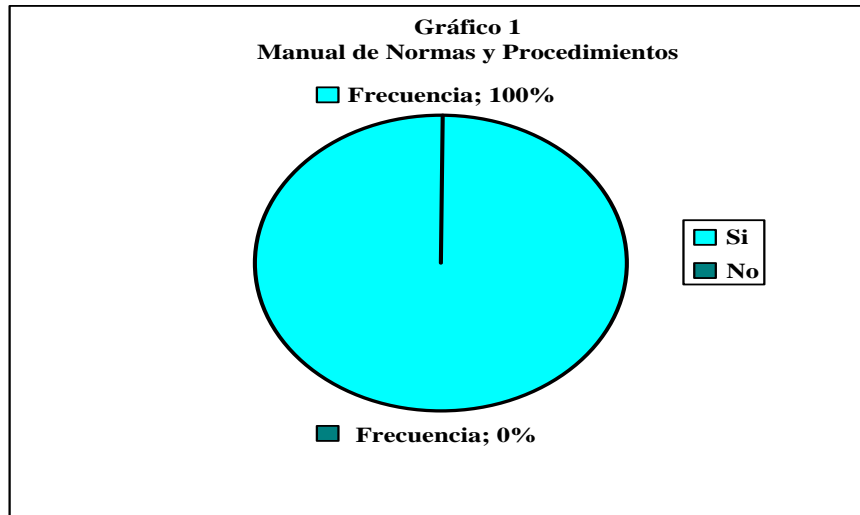
**Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados**

1.- ¿Conoce usted lo que es un manual de normas y procedimientos?

**Cuadro 1. Datos estadísticos del primer ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
Si	7	100
No	0	0
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario Año: 2008

**Análisis del Gráfico 1:** En el primer ítem, referente al conocimiento de los manuales de normas y procedimientos, se observó que el 100 por ciento del personal encuestado conoce lo que es un manual de normas y procedimientos; manifestando con esta afirmación que conocen como es su estructura, para qué sirve y cuál es la importancia que tiene para el desarrollo de los procesos asociados a las labores diarias; que en este caso corresponden a la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa.



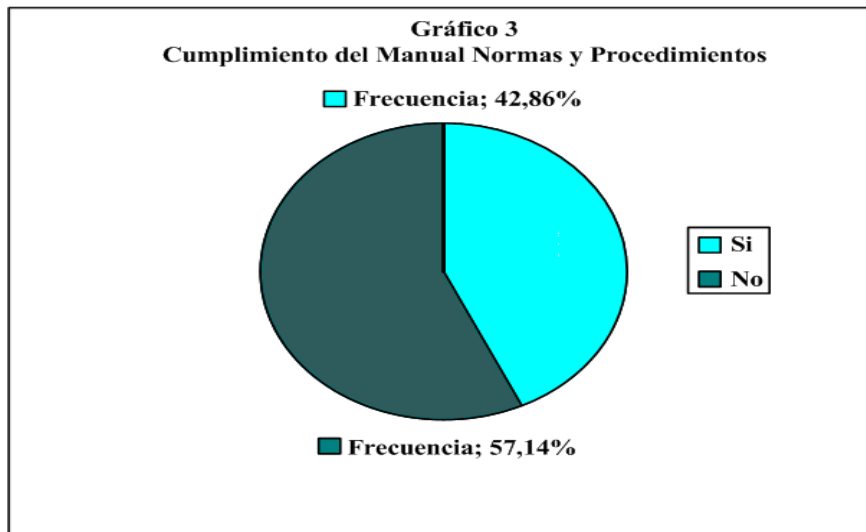
**Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados**

3. - ¿La adopción de normas y procedimientos para realizar la termografía y el ultrasonido con el aval de la unidad de mantenimiento de la empresa garantiza el cumplimiento de los mismos?

**Cuadro 3. Datos estadísticos del tercer ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
<b>Si</b>	3	42.86
<b>No</b>	4	57.14
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario Año: 2008

**Análisis del Gráfico 3:** En el tercer ítem, referente a la adopción de normas y procedimientos para realizar la termografía y el ultrasonido con el aval de la unidad de mantenimiento de la empresa el 57,14 % de los encuestados consideran que esto no garantiza el cumplimiento de los mismos; mientras que el 42,86 % restante, piensa que si. Esto revela de algún modo que se requiere de tiempo para vencer la resistencia al cambio que naturalmente se presenta ante la aplicación de una nueva dinámica de trabajo.

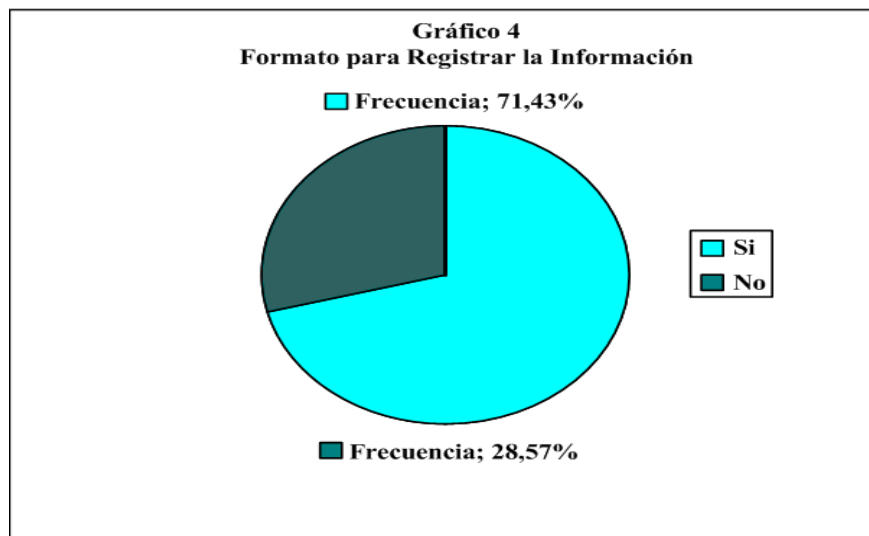
Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados

4.- ¿La unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa cuenta con formatos que permitan registrar la información (obtenida mediante la termografía y el ultrasonido), sobre la ocurrencia de fallas incipientes en forma oportuna y faciliten su ubicación?

**Cuadro 4. Datos estadísticos del cuarto ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
Si	5	71.43
No	2	28.57
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario Año: 2008

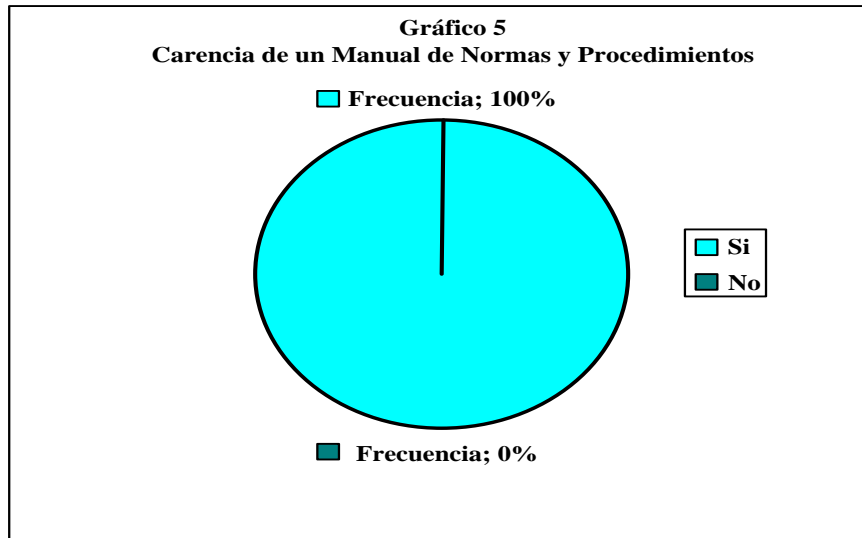
**Análisis del Gráfico 4:** En el cuarto ítem, referente a la existencia o no, de formatos que permitan registrar la información relativa a la ocurrencia de fallas incipientes, luego de aplicar las técnicas de termografía y ultrasonido, en forma oportuna y permitan establecer la ubicación de las mismas, el 71,43 % de los encuestados opina que si existen, mientras que el 28,57 % restantes dice que no. Esto se debe básicamente, a los diferentes criterios que han predominado hasta ahora en la empresa por la ausencia de un procedimiento propio y de conocimiento colectivo.

5.- ¿Cree usted, que la carencia de un manual de normas y procedimientos para realizar el mantenimiento predictivo en subestaciones afecte las labores de mantenimiento en las mismas?

**Cuadro 5. Datos estadísticos del quinto ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
<b>Si</b>	7	100
<b>No</b>	0	0
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario. Año: 2008

**Análisis del Gráfico 5:** En el quinto ítem, referente a la carencia de un manual de normas y procedimientos para realizar el mantenimiento predictivo en subestaciones, y si esto afecta las labores de mantenimiento de las mismas; Todo el personal encuestado; es decir el 100 % manifestó que si se ven afectadas directamente las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones de la empresa. Esto resalta la necesidad que tiene el personal por disponer de un procedimiento sistemático y uniforme para desempeñar sus labores.





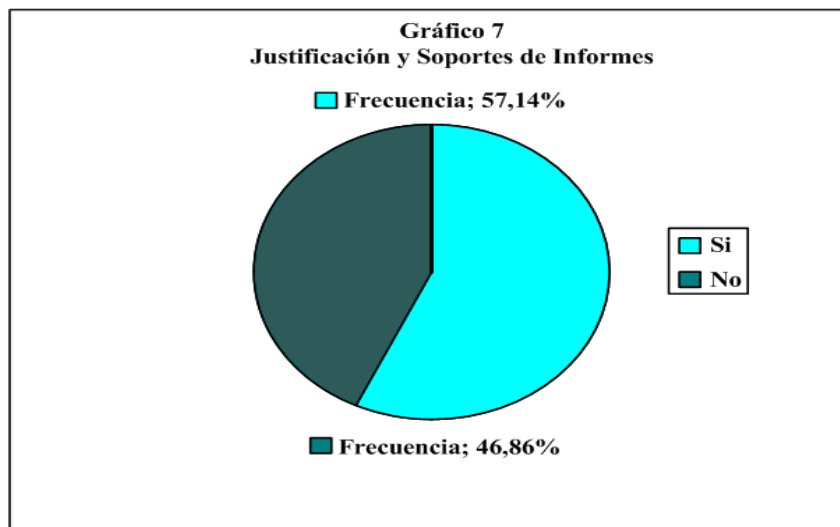
**Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados**

7.- ¿Los informes, registros o reportes de fallas, se elaboran justificadamente con todos sus soportes?

**Cuadro 7. Datos estadísticos del séptimo ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
<b>Si</b>	4	57.14
<b>No</b>	3	42.86
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario. Año: 2008

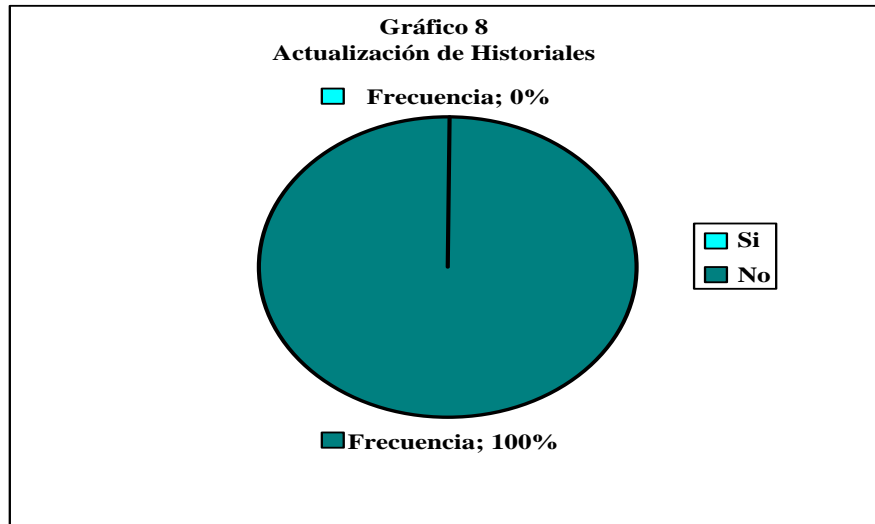
**Análisis del Gráfico 7:** En el séptimo ítem, referente a la entrega de los soportes respectivos de los informes o reportes de fallas incipientes detectadas mediante el mantenimiento predictivo en las subestaciones, usando termografía, el 57,14 % de los encuestados opina que si se entregan todos los soportes, mientras que el 42,86 % restantes dice que no. Esto se debe básicamente, a los diferentes criterios que han predominado hasta ahora en la empresa, por la ausencia de un procedimiento propio y de conocimiento colectivo.

8.- ¿Los historiales, archivos o registros de fallas se actualizan regularmente?

**Cuadro 8. Datos estadísticos del octavo ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
Si	0	0
No	7	100
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario. Año: 2008

**Análisis del Gráfico 8:** En el octavo ítem, referente a la actualización de los historiales, archivos o registros de fallas, todo el personal encuestado; es decir, el 100 % manifestó que no se actualizan regularmente. Este es un indicador muy importante, porque el mantenimiento predictivo en sí, requiere de datos históricos de fallas para poder seguir de cerca la evolución en el tiempo de las fallas y el comportamiento de las redes a través de dicha evolución; esto permite encontrar los niveles críticos y establecer mas acertadamente los niveles de severidad que presentarán las diferentes fallas, lo cual mejora significativamente la toma de decisiones.

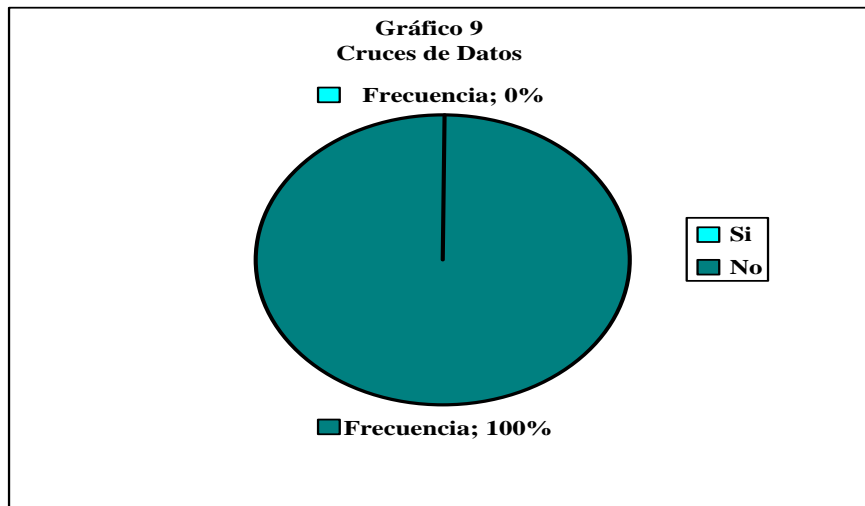
**Capítulo IV. Análisis e Interpretación de Resultados**

9.- ¿Se efectúan cruces de datos (parámetros o indicadores), relativos a las fallas semanalmente?

**Cuadro 9. Datos estadísticos del noveno ítem**

Alternativa	Frecuencia (Nº Personas)	Porcentaje (%)
Si	0	0
No	7	100
<b>Total</b>	7	100

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)



Fuente: Datos obtenidos a través de la aplicación de cuestionario. Año: 2008

**Análisis del Gráfico 9:** En el noveno ítem, referente a si se efectúa o no el cruce de datos (parámetros o indicadores), relativos a las fallas semanalmente, todo el personal encuestado; es decir, el 100 % manifestó que no se hace. Este es un indicador muy importante, porque puede evitar fallas recurrentes en diferentes subestaciones, ocasionadas por los mismos efectos o fenómenos asociados; de tal manera que debe evitarse concebir a las subestaciones de forma aislada unas de otras; sobre todo en el caso de fallas incipientes y evolutivas, porque muchas de ellas son similares, de la misma naturaleza o provenientes de un origen común.





---

# CAPÍTULO V

## LA PROPUESTA



## CAPÍTULO V. LA PROPUESTA

### 5.1 PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

La presente investigación tiene como Objetivo General: “Elaborar un procedimiento para la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV, pertenecientes a la empresa. *Electricidad de Valencia* (ELEVAl), que optimice las labores de mantenimiento predictivo de la empresa, usando los recursos disponibles en la misma”.

Dicho procedimiento, será el modelo de propuesta viable que le permita al personal que labora en la unidad de mantenimiento de la empresa, contar con un instrumento sistemático a corto plazo, que se utilice para coordinar todas las funciones relacionadas con las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones designadas para tal fin y con las técnicas antes señaladas.

El presente manual de normas y procedimientos, es una representación de las normas, políticas y procedimientos existentes en la empresa *Electricidad de Valencia*, fue elaborado como propuesta, ya que le permitirá a la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, servir como punto de partida; hasta obtener la solución definitiva a la problemática planteada en el Capítulo I, del presente trabajo.

De este modo, se podrá establecer en la empresa de una manera clara y precisa, cuales son las principales normas y los procedimientos respectivos, que deberá seguir el personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, para realizar las actividades de mantenimiento predictivo en las subestaciones designadas, aplicando las técnicas de termografía y ultrasonido, de una manera eficaz y eficiente; apoyados en las normas de calidad ISO 9001 (2.000).



## 5.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta presentada en el párrafo anterior surgió de una carencia que tiene la empresa, luego de un análisis descriptivo mediante la observación directa, se pudo detectar que en el departamento de mantenimiento de la empresa *Electricidad de Valencia*, específicamente en el área de mantenimiento predictivo de la misma, no existe un procedimiento para realizar las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV, mediante la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido; por lo tanto, el personal que labora en dicha área de mantenimiento, necesita disponer de un procedimiento sistematizado para realizar el mantenimiento predictivo; el cual le indique el orden y los aspectos técnicos que deben tener presente en el desempeño de sus actividades.

Es por esta razón que se propone realizar un manual de normas y procedimientos para contribuir con el logro del desarrollo técnico y organizativo, con el fin de instruir al personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, acerca de cuales son las actividades o labores que deben realizar de forma sistemática; apoyándolos en los aspectos técnicos especializados y en los lineamientos de las normas de calidad: ISO 9001 (2.000); de esta manera, se obtienen soluciones prácticas y confiables a una serie de debilidades encontradas, por la falta de conocimiento sobre las normas y procedimientos, que rigen la dinámica de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento predictivo en subestaciones, con las técnicas antes mencionadas.

## 5.3 FUNDAMENTOS DE LA PROPUESTA

La propuesta objeto de estudio en el presente *Trabajo de Grado*, esta apoyada en un conjunto de bases teóricas que contienen los fundamentos, leyes y principios relativos a las teorías de la radiación térmica, la teoría del ultrasonido y el mantenimiento predictivo; a lo largo del desarrollo de todo el marco teórico, también aparecen las definiciones de términos asociados con la investigación y que permiten explicar de manera clara el contenido de la misma.



Todo el Marco Teórico, y las Bases Teóricas de la investigación se encuentran desarrollados en el Capítulo II, y a partir de los conocimientos teóricos contenidos en el referido capítulo, se procedió a elaborar el “*Manual de Normas y Procedimientos*”, que contiene todas las consideraciones de la propuesta planteada.

#### 5.4 ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA

El “*Manual de Normas y Procedimientos*” presentado como propuesta en el presente *Trabajo de Grado*, está estructurado por tres (3) capítulos a través de los cuales se desarrollan todos los lineamientos necesarios para cumplir con la estructura recomendada para la elaboración y documentación de manuales de calidad de acuerdo con las normas ISO 9001 (2.000), teniendo en cuenta que en el año 2003, la empresa *Electricidad de Valencia*, inició la implementación de dichas normas, y fue la primera empresa de servicio eléctrico del país en optar por esa certificación.

**El Capítulo I.** Contiene la Introducción, Normativas de uso, Identificación de la empresa, Reseña Histórica, Misión y Visión, Organigrama de la empresa.

**El Capítulo II.** Contiene los objetivos del manual, el propósito y el alcance del mismo y los objetivos del Departamento del Mantenimiento de la empresa.

**El Capítulo III.** Contiene las normas y los procedimientos relativos a la aplicación de las técnicas señaladas, los flujogramas de cada procedimiento y un glosario de términos básicos del manual.

#### 5.5 ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA

La propuesta será aplicada a corto plazo y su implementación depende de la Gerencia de Negocios de Distribución de la empresa; la supervisión estará en manos del jefe de la unidad de





mantenimiento de la empresa, y su efectividad será comprobada a través de la aplicación de un instrumento tipo cuestionario; el cual se le aplicará al personal que realiza las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones de la empresa, antes de la puesta en práctica del procedimiento elaborado para las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido.

## 5.6 FACTIBILIDAD DE LA PROPUESTA

De acuerdo al análisis e interpretación de los resultados del instrumento aplicado; en el Capítulo IV, se observó que la población seleccionada está conciente de la necesidad de diseñar y proponer un manual de normas y procedimientos, para la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, *Electricidad de Valencia*, con la finalidad de que la Gerencia de Negocios de Distribución, pueda tomar decisiones de manera amplia, que se adapten a las necesidades actuales de la empresa. Sin embargo, cualquier propuesta requiere del análisis de factibilidad de manera detallada; es decir, desde el punto de vista económico, técnico, operativo y psicosocial. A continuación se exponen brevemente los referidos aspectos.

### 5.6.1 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Desde el punto de vista económico se considera que el proyecto es factible, ya que la empresa *Electricidad de Valencia*, cuenta con los recursos necesarios para desarrollar el manual como se indica en la **Tabla 5.1**; por lo tanto, la inversión realizada traerá beneficios a la empresa que se traducirán en ahorros por mantenimiento no programado, al reducir significativamente las labores de mantenimiento correctivo ejecutado por el personal de la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, poniendo de manifiesto las mejoras en el rendimiento de los empleados que laboran en ella.

A continuación en la **Tabla 5.1**, se presenta el costo estimado que tendrá la elaboración del manual de normas y procedimientos propuesto para la empresa.

Tabla 5.1. Costo estimado del Manual de Normas y Procedimientos Propuesto

Descripción	Cantidad	Precio Unitario (Bsf.)	Total (Bsf.)
Carpetas	10	20,00	200,00
Resma de papel	2	20,00	40,00
Forros Plásticos	10	10,00	100,00
Honorarios Profesionales	1	2.000,00	2.000,00
Asesor Externo	1	1.000,00	1.000,00
<b>Total General (Bsf.):</b>			<b>3.340,00</b>

Fuente: Ochoa y Carmona (2008).

### 5.6.2 FACTIBILIDAD TÉCNICA

En lo referente a la factibilidad técnica, por un lado, la empresa *Electricidad de Valencia*, cuenta con un equipo termográfico marca: ThermaCam PM575™, para realizar las pruebas de termografía; además, también cuenta con un personal técnico calificado y los datos necesarios que permitirán elaborar el procedimiento para el mantenimiento predictivo en las subestaciones consideradas en el presente proyecto; aunado a esto, existe buena disposición por parte del personal técnico de la unidad de mantenimiento en subestaciones de la empresa para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

### 5.6.3 FACTIBILIDAD OPERATIVA

Desde el punto de vista operativo, el proyecto es factible, ya que la empresa *Electricidad de Valencia*, no tendrá que tomar medidas respecto a las Instalaciones porque cuenta con los espacios físicos necesarios requeridos y que se ajustan a las necesidades del personal técnico; por otra parte, se realizarán las labores sin necesidad de ampliar la estructura organizativa. De igual manera, la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa cuenta con el equipo profesional y técnico necesario, para la implementación del procedimiento propuesto.



#### **5.6.4 FACTIBILIDAD PSICOSOCIAL**

La propuesta presentada tiene incidencia positiva sobre el personal, ya que representa una iniciativa que se origina a partir de una necesidad real de la empresa y en la misma se consideran todos los aspectos psico-sociales, que beneficien al personal en la realización sistemática de las labores de mantenimiento predictivo en las subestaciones designadas, con un alto rendimiento y apoyados en la garantía que ofrecen las normas de calidad ISO 9001 (2.000).

A continuación se presenta el desarrollo de la propuesta, el cual consiste en un manual de normas y procedimientos, adaptado a la realidad de la empresa, tomando en cuenta sus recursos y de acuerdo a todo el desarrollo teórico contenido en el Capítulo II, del presente *Trabajo Especial de Grado*.



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**ELECTRICIDAD DE VALENCIA**

**Valencia – Estado Carabobo**



Electricidad de Valencia

**PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO**

**PREDICTIVO EN SUBESTACIONES**

**UNIDAD DE MANTENIMIENTO**

**Valencia, Mayo de 2008**



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA**

**ELECTRICIDAD DE VALENCIA**

**Valencia – Estado Carabobo**



Electricidad de Valencia

**PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO**

**PREDICTIVO EN SUBESTACIONES**

**UNIDAD DE MANTENIMIENTO**


*Autores:*

**José Ochoa**

**Francisco Carmona**




*Capítulo V. La Propuesta*

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>CAPÍTULO I</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 03 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<h1>CAPÍTULO I</h1>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>INTRODUCCIÓN</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 04 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>INTRODUCCIÓN</b>					
<p>El presente manual de normas y procedimientos, es parte de un <i>Trabajo Especial de Grado</i> de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la <i>Universidad de Carabobo</i>, a través del cual los autores pretenden desarrollar un estudio teórico-práctico que permita sistematizar las labores del mantenimiento predictivo en las subestaciones de <i>Electricidad de Valencia</i>, con niveles de tensión de: 115 / 34,5 / 13,8 kV, empleando técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido.</p> <p>El manual está conformado por tres capítulos, cada uno de los cuales contiene lo siguiente:</p> <p><b>El Capítulo I.</b> Contiene la Introducción, Normativas de uso, Identificación de la empresa, Reseña Histórica, Misión y Visión, Organigrama de la empresa</p> <p><b>El Capítulo II.</b> Contiene los objetivos del manual, el propósito y el alcance del mismo y los objetivos de la unida de mantenimiento de subestaciones de la empresa.</p> <p><b>El Capítulo III.</b> Contiene las normas y los procedimientos relativos a la aplicación de las técnicas señaladas, los flujogramas de cada procedimiento y un glosario de términos básicos del manual.</p> <p>La importancia de la elaboración de este manual de normas y procedimientos para la empresa <i>Electricidad de Valencia</i> radica en que el mismo representa una herramienta que permitirá organizar de manera sistemática el proceso de mantenimiento predictivo en las subestaciones con los niveles de tensión antes señalados, y al mismo tiempo le permitirá al personal técnico de la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, contar con las normas y procedimientos específicos, en lo relativo a la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido, apoyados en la metodología que ofrecen las normas: <b>ISO 9001 (2.000)</b>.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>NORMATIVAS DE USO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		<b>Pág. 05 de 72</b>
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• El presente manual será aprobado por el Jefe de la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa <i>Electricidad de Valencia</i>.</li><li>• El presente manual se extenderá al Jefe de la unidad de mantenimiento de subestaciones y a todos los técnicos del área de mantenimiento predictivo de la empresa.</li><li>• El Jefe de la unidad de mantenimiento de subestaciones y los técnicos, del área de mantenimiento predictivo de la empresa, velaran por el cumplimiento de las funciones y responsabilidades descritas en el manual.</li><li>• La unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa, realizará las respectivas revisiones semestrales del manual, o cuando existan cambios, modificaciones u otros aspectos que puedan afectar la normativa legal de la empresa.</li><li>• El manual no debe ser rayado, mutilado, fotocopiado o sustraído de la Institución sin la autorización respectiva.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	





		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 06 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>UBICACIÓN</b>					
La empresa <i>Electricidad de Valencia</i> , está ubicada en la avenida Andrés Eloy Blanco, (al frente del Elevado), Sector Los Colorados – Valencia. Estado Carabobo.					
<b>RECURSO HUMANO</b>					
La unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa cuenta con siete (7) empleados:					
(1) Ingeniero Jefe de la unidad de mantenimiento de subestaciones.					
(1) Ingeniero coordinador de protecciones					
(5) Técnicos electricistas					
<b>ACTIVIDAD A LA QUE SE DEDICA</b>					
“ <i>Electricidad de Valencia</i> ” es una empresa del sector público, dedicada a la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, buscando llevar electricidad a los municipios: Valencia, Los Guayos, Guacara y sus alrededores, para satisfacer así a todos sus clientes asegurando un servicio óptimo y de Calidad.					
<b>TECNOLOGÍA</b>					
La unidad de mantenimiento de subestaciones actualmente cuenta con tecnología de punta, sistemas automatizados y todas las herramientas y equipos necesarios para efectuar el trabajo diario, propio de su actividad sin contratiempos.					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>RESEÑA HISTÓRICA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 07 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p>El 29 de Septiembre de 1.889 se ilumina por primera vez con energía eléctrica una pequeña parte de Valencia, esto sucedió en la inauguración del alumbrado eléctrico en la plaza Bolívar y sus adyacencias. Luego el 20 de Septiembre de 1.904, cinco años después, los empresarios y visionarios Thomas Miller, Jhon Aikman y Carlos Stelling formaron una sociedad bajo la firma de “Stelling &amp; CIA”, cuyo objetivo principal era la explotación de energía, comenzaron con una planta de dos calderas y en ese entonces Valencia tenía una población de Veinticinco mil quinientos cincuenta (25.550) habitantes aproximadamente.</p> <p>Cuatro (4) años mas tarde específicamente el 20 de Agosto de 1.908, nace la sociedad comercial en forma de compañía anónima llamada “C.A. Electricidad de Valencia” con un capital de Quinientos mil Bolívares (Bs.500.000) y en caja una cantidad de Ochenta y dos mil quinientos Bolívares (Bs.82.500). La empresa fue creciendo y en el año 1.910 se inaugura la planta Hidráulica “Aguacatal”, en la hacienda que lleva su mismo nombre, aprovechando el caudal de agua del río “El Torito” y con dos (02) centrales (“El Milagro” y “La California”), esta planta podía generar Novecientos cincuenta (950) KVA en Veinte mil (20.000) Voltios y cincuenta (50) Hertz; actualmente esta planta esta fuera de servicio, pues ya alcanzo su máxima capacidad operativa, pero su infraestructura está en muy buen estado.</p> <p>Ese mismo año la compañía eleva su capital gracias a la entrada de un grupo de inversionista, luego en los años `30 debido a la gran demanda de energía y con visión futurista se construye la planta “Dr. Ernesto Stelling”, con seis (06) unidades Diesel y una capacidad de quince (15) MVA y Veinte (20) KV, ubicada en la Av. Bolívar Norte de Valencia.</p> <p>En el año 1.950 la “C.A. Electricidad de Valencia”, se vio en la necesidad de abrir otra planta, en esta oportunidad se crea una planta con cuatro (4) unidades Diesel y una capacidad de Doce mil novecientos ochenta (12.980) KVA y cuatro mil ochocientos (4.800) Voltios, ubicada en la Zona Industrial “La Quizanda”, hoy conocida como “Planta del Este”.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>RESEÑA HISTÓRICA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 08 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p>En la década de los setenta se produce el cambio normalizado de frecuencia llevándolo de cincuenta (50) Hertz a sesenta (60) Hertz, y de esta manera quedan sin servicio las Plantas “Aguacatal” y “Dr. Ernesto Stelling”; del mismo modo los equipos de la planta “La Quizanda”. Por otro lado se realizan interconexiones con la Empresa eléctrica del Estado, y en “Planta del Este” se instalan tres (03) nuevas unidades de cincuenta y seis (56) MVA.</p> <p>En el año de 1.980 la compañía adquiere dos (02) nuevas Turbinas de cuarenta (40) MVA, luego seis (06) años más tarde se realiza una remodelación de los equipos para trabajar con tecnología turbogas. En el año 1.992 se construye la Planta “Castillito” ubicada en la zona Industrial Castillito, esta planta contaba con tres (03) unidades generadoras y una capacidad de sesenta (60) MVA, con una transmisión de ciento quince (115) KV y una distribución de trece mil ochocientos (13.800) Voltios, dicha planta se encuentra interconectada con “Planta del Este”.</p> <p>En el año 2.001 comienza una nueva etapa en la compañía, con el proceso de Construcción de dos (02) nuevas Subestaciones, y una ampliación en “Planta Castillito” todas las Subestaciones de la “C.A. Electricidad de Valencia” se encuentran interconectadas esto con el objeto de mantener un suministro de energía confiable a sus clientes, del mismo modo en el año 2.003 se da inicio al proceso de implementación de las Normas: <b>ISO 9001 (2.000)</b>, convirtiéndose en la primera empresa de servicio en optar por esta certificación.</p> <p>Actualmente, por disposición del Presidente de la República Bolivariana de Venezuela, Hugo Rafael Chávez Frías, a través del <b>Decreto N° 5.330</b>, publicado en <b>Gaceta Oficial N° 38.736</b> el 31 de julio de 2007 con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica de Reorganización del Sector Eléctrico, fue nacionalizada la empresa <i>Electricidad de Valencia</i> en conjunto con todas las empresas del sector eléctrico del país, con el propósito de reorganizar el sector eléctrico nacional y mejorar el servicio en todo el país.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>MISIÓN Y VISIÓN</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 09 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>MISIÓN</b></p> <p>“<i>Electricidad de Valencia</i>” es una empresa pública que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica en armonía con el ambiente. Su propósito es garantizar a sus clientes atención y servicio de excelente calidad; a sus trabajadores bienestar y desarrollo integral bajo principios de eficiencia, honestidad y ética; a sus accionistas una justa retribución y a las comunidades mejor calidad de vida dentro de un contexto de responsabilidad social.</p>					
<p><b>VISIÓN</b></p> <p>Igualmente y siguiendo con sus ideologías, “<i>Electricidad de Valencia</i>” se enfoca en la siguiente Visión:</p> <p>“<i>Ser la empresa líder en servicios públicos en la región central del país, mediante el uso de recursos de calidad, orientada a la excelencia y a la satisfacción de los clientes.</i>”</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>ORGANIGRAMA GENERAL DE LA EMPRESA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 10 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FUNCIONES DE LAS UNIDADES ORGANIZATIVAS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 11 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Gerencia General:</b> La principal función de la <i>Gerencia General</i> consiste en hacer uso eficaz del capital y los recursos de la empresa, conseguir que todo el personal trabaje unido, establecer buenas relaciones con la todos los departamentos y el personal de la empresa, con los clientes y las instituciones públicas y privadas vinculadas directa o indirectamente con la empresa; así como también, debe dirigir y controlar todas las actividades administrativas de la empresa.</p> <p><b>Unidades de Negocios de Distribución:</b> Disponer de una red eléctrica completamente integrada e independiente, operando bajo condiciones de diseño que permita entregar al cliente un servicio de calidad en una forma confiable, rentable y altamente competitiva; mediante un esquema eficiente de inversiones incrementales.</p> <p><b>Unidad de Mantenimiento de Subestaciones:</b> Dirigir y realizar el mantenimiento de la red (preventivo, predictivo y correctivo), asegurando su máxima fiabilidad y disponibilidad. Mantenimiento y control de calidad de los elementos de Automatización y Telecontrol de las redes. Analizar informes de averías, riesgos y puntos críticos de mantenimiento, y dirigir acciones correctoras. Indicadores de medida del mantenimiento, distinguiendo entre el preventivo, predictivo y el correctivo. Investigar y planificar la implantación de nuevas tecnologías y materiales de mantenimiento de la red. Gestionar las contrataciones de bienes y servicios de la unidad, junto con los equipos, herramientas, materiales y vehículos existentes.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>ORGANIGRAMA ESPECÍFICO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 12 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>ORGANIGRAMA DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones] </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


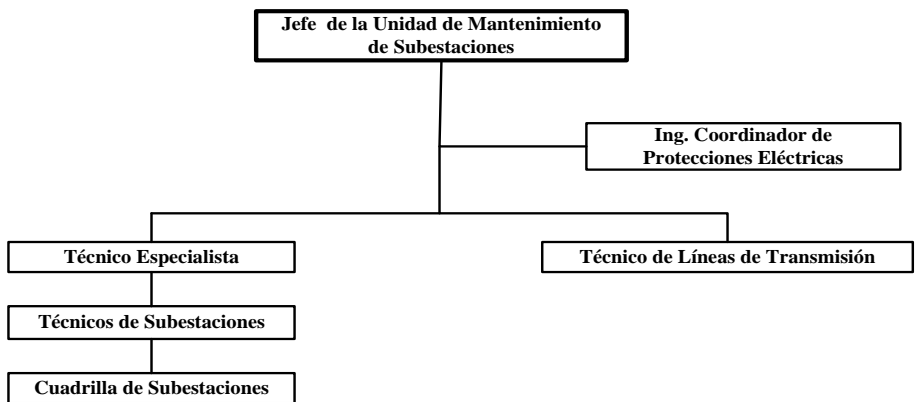


		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 13 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<b>Título del Cargo:</b> Jefe de Unidad de Mantenimiento					
<b>Reporta a:</b> Jefe de Unidad de Negocios de Distribución					
<b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
Supervisar y controlar las acciones necesarias para el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de las Subestaciones; de acuerdo al programa de mantenimiento elaborado conjuntamente con la Unidad de Producción y Mantenimiento de Redes, con la finalidad de brindar la continuidad y calidad del servicio eléctrico, garantizando el funcionamiento de los equipos en Subestaciones y dando cumplimiento a las metas fijadas por la alta gerencia tales como: (T.T.I.) Tiempo Total de Interrupciones, Frecuencia de Interrupciones, etc., siguiendo lineamientos de la unidad de mantenimiento.					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordinar los diferentes trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo, a ser ejecutados por el personal técnico o las empresas contratistas, a fin de mantener la operatividad del servicio eléctrico.</li> <li>• Elaborar los programas de adquisición de equipos técnicos y/o repuestos, de acuerdo a las especificaciones técnicas, con el fin de ejecutar las reparaciones en las Subestaciones, para mantenerlas operativas.</li> <li>• Canalizar los trámites administrativos para la contratación de las empresas de servicios externas, para realizar los mantenimientos en las Subestaciones; a fin de garantizar el buen funcionamiento de las mismas.</li> <li>• Elaborar, controlar y ejecutar el plan anual de gastos e inversiones del área de mantenimiento de redes, de acuerdo a lineamientos del Jefe de la unidad y normas internas de la empresa, con la finalidad de llevar el control de gastos.</li> <li>• Realizar estudios de calidad a equipos y puesta a prueba de nuevas tecnologías, sobre la base de normas internacionales de calidad y esquemas de precio/costo; a fin de mejorar los Sistemas de Distribución.</li> </ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	






 Electricidad de Valencia		MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS			
NOMBRE DEL PROCESO		MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES			
ASUNTO		DESCRIPCIÓN DE CARGO			
FECHA DE VIGENCIA	12-2008	REV. Nº	CODIFICACION	Pág. 14 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b>					
<p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el jefe de la Unidad de Negocios de Distribución, con el ingeniero coordinador de protecciones, con los técnicos de la unidad de mantenimiento de subestaciones, con el personal técnico que conforman las cuadrillas de mantenimiento de líneas de distribución.</p> <p><b>Relaciones Externas:</b> Las mantiene con los jefes de las diferentes subestaciones de la empresa, con empresas contratistas del área de mantenimiento eléctrico en general, con empresas e instituciones del sector público o privado vinculadas a <i>Electricidad de Valencia</i>.</p> <p><b>Actividades:</b> El ocupante recibe lineamientos generales del Jefe de la Unidad de Negocio de Distribución, a quien reporta sus objetivos a través de informes mensuales sobre avances en la ejecución del programa de mantenimiento y análisis de las principales fallas ocurridas en el sistema eléctrico, así como sus incidencias en el Tiempo total de interrupciones (T.T.I). Su autonomía está delimitada por la función técnica de su cargo para dar resultados de su gestión, actuando con libertad en lo concerniente a la planificación del trabajo que permita mantener la operatividad de las subestaciones. En ese sentido es responsable de velar porque las actividades programadas se ejecuten de acuerdo a la planificación establecida y se cumplan las normas de calidad, higiene y seguridad que garanticen el menor riesgo humano posible. Es responsable de mantener en buen funcionamiento los equipos o componentes de las subestaciones (115 Kv. , 34 Kv. , 13.8 Kv. y 2.4 Kv.), Que garanticen la continuidad y calidad del servicio eléctrico de la empresa, de acuerdo a los parámetros y lineamientos establecidos en presupuesto anual de gastos e inversiones; así como velar por la seguridad del personal, materiales y equipos a cargo para la ejecución de los trabajos. Esta limitado en cuanto al acceso de la información de nuevos desarrollos tecnológicos (Internet), equipos de computación y software. Debe mantener relaciones internas Con el CODE, para intercambiar información sobre fallas, operaciones del sistema y programación de interrupciones. Con el área de Redes, para coordinar la ejecución de los trabajos programados. Con Desarrollo y Tecnología de la Medición, para realizar pruebas de funcionamiento de nuevos equipos e instalaciones. Con el área de Compras, para gestionar y tramitar compras de materiales y equipos; así como canalizar acciones en el servicio de mantenimiento de la flota de vehículos. Con Administración de Personal y Nomina.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 15 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<b>Nivel Educativo:</b> Ingeniero Electricista Mención Potencia					
<b>Experiencia:</b> cinco (5) años					
<b>Conocimientos:</b> Debe tener experiencia en mantenimiento de Transformadores, Interruptores, celdas de alta tensión, medición de resistencia de aislamiento, pruebas de alto potencial, equipos de medición de factor de potencia, Inyectores de corriente, equipos de prueba, coordinación de protecciones y mediciones, entre otros. Sólidos conocimientos en elaboración y control de presupuesto, programación de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo, equipos y materiales de operación, de seguridad, de medición así como Normas Nacionales e Internacionales de Calidad, inglés técnico y habilidad supervisora.					
<b>Habilidades y Destrezas:</b> Debe tener alta sensibilidad interpersonal que le permita conciliar intereses entre entes públicos y privados. Una alta capacidad analítica, habilidad para redactar informes, una constante búsqueda de información y actualización en cuanto a nuevas tecnologías y competencias que le permitirán desarrollar personas, tomar decisiones efectivas y asesorar asertivamente en la materia de su competencia. Manejo de herramientas bajo ambiente Windows, saber conducir vehículo sincrónico y tener licencia de 5to. Grado.					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
 <pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones]         </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 16 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<b>Título del Cargo:</b> Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas. <b>Reporta a:</b> Jefe de Mantenimiento de Subestaciones. <b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
La principal función del área del Departamento de Mantenimiento es coordinar y garantizar el buen funcionamiento de las protecciones en el sistema de ELEVVAL.					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Evaluar las características, ajustes y puesta en servicios de las protecciones eléctricas, para garantizar el funcionamiento y selectividad adecuados, que permitan mantener la calidad del servicio eléctrico.</li><li>• Coordinación de protecciones.</li><li>• Análisis de fallas.</li><li>• Coordinar los diferentes trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo, a ser ejecutados por el personal técnico o las empresas contratistas, a fin de mantener la operatividad del servicio eléctrico.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 17 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b></p> <p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones y Técnicos de Subestaciones.</p> <p><b>Relaciones Externas:</b> Mantiene con los proveedores de materiales y equipos, para intercambiar información sobre especificaciones técnicas de los equipos y materiales, para realizar las pruebas de los mismos para su aceptación.</p> <p><b>Actividades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coordinación de protecciones.</li> <li>• Corridas de cortocircuito.</li> <li>• Coordinación de manteniendo.</li> <li>• Control de inspección de subestaciones.</li> <li>• Estudio de nuevas tecnologías en el área de protección ajuste y puesta en servicio de equipos de protección, análisis de fallas</li> </ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 18 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<p><b>Nivel Educativo:</b> Ingeniero Electricista  <b>Experiencia:</b> un (1) año.  <b>Conocimientos:</b> Debe tener experiencia en mantenimiento de Transformadores, Interruptores, celdas de alta tensión, medición de resistencia de aislamiento, pruebas de alto potencial, equipos de medición de factor de potencia, Inyectores de corriente, equipos de prueba, coordinación de protecciones y mediciones, entre otros.</p> <p><b>Habilidades y Destrezas:</b> Debe tener una alta capacidad analítica, habilidad para redactar informes, una constante búsqueda de información y actualización en cuanto a nuevas tecnologías y competencias que le permitirán desarrollar personas, tomar decisiones efectivas y asesorar asertivamente en la materia de su competencia. Manejo de herramientas bajo ambiente Windows, Autocad, Software de Calculo de Cortocircuito y Coordinación de Protecciones. Saber conducir vehículo sincrónico y tener licencia de 5to. Grado.</p>					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
 <pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones]   </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 19 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<p><b>Título del Cargo:</b> Técnico Especialista III. <b>Reporta a:</b> Jefe de Mantenimiento de Subestaciones y Técnico de Mantenimiento II <b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.</p>					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
<p>La función principal es la de coordinar y ejecutar el programa de operaciones y mantenimiento establecido por la Unidad de Mantenimiento; a fin de prestar un servicio eléctrico de excelente calidad, de acuerdo a las normas establecidas por la empresa para satisfacer al cliente</p>					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Coordinar la elaboración y ejecución del programa de mantenimiento de las instalaciones de subestaciones, a objeto de lograr su conservación y operación de acuerdo a los lineamientos establecidos por la empresa.</li><li>• Controlar las operaciones de las subestaciones conjuntamente con el personal del CODE; a fin de dar cumplimiento a las metas de la Unidad de Gestión de Redes, manteniéndose los patrones de calidad existentes.</li><li>• Ejecutar las operaciones mayores en las subestaciones y equipos asociados, de tal manera de alcanzar su restablecimiento en el menor tiempo posible; a fin de asegurar la confiabilidad del servicio eléctrico.</li><li>• Participar en el estudio de ingeniería en el área de mantenimiento, que permita mejorar los sistemas y equipos de subestaciones; a fin de incrementar los niveles de eficiencia.</li><li>• Ejecutar programas de operaciones y mantenimiento conjuntamente con las unidades de Distribución, Producción y Operaciones; a fin de garantizar que se realicen en el menor tiempo posible.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 20 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b>					
<p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones , Técnicos y Electricistas.</p> <p><b>Relaciones Externas:</b> Mantiene relaciones con las Empresas Contratistas, para coordinar y supervisar la limpieza de las Subestaciones. Con Clientes industriales, comerciales y residenciales para realizar mantenimientos y brindar asesorías. Con empresas suministradoras de equipos, para realizar pruebas de los mismos.</p> <p><b>Actividades:</b> El ocupante reporta al Ingeniero de Mantenimiento, quien establece lineamientos generales y las actividades a ser ejecutadas, debe reportar diariamente en forma verbal y escrita de los avances del mantenimiento ejecutado a las subestaciones y las principales fallas ocurridas en el sistema eléctrico. Supervisar y controlar el área operativa de subestaciones tanto a nivel de equipos como del personal que debe laborar bajo las normas establecidas por la empresa. Así mismo informar al supervisor inmediato de aquellas situaciones que considere relevante o que requieran su intervención, para la toma de decisiones que impliquen costos y seguridad</p> <p>Es responsable por el funcionamiento eficiente y el mantenimiento adecuado a las subestaciones de la empresa, para mantenerlas en buen estado de funcionamiento; así como velar por el uso adecuado de equipos de protección integral de los trabajadores y el cumplimiento de las normas y procedimientos de la empresa, para garantizar la ejecución del trabajo sin riesgos de accidentes.</p> <p>Por la naturaleza del cargo el ocupante debe tener alta disponibilidad para trabajar bajo esquemas de contingencia, en días y horas no laborables; a fin de ejecutar actividades relacionadas con mantenimiento de las subestaciones y cumplir con las exigencias del área.</p> <p>Debe mantener relaciones internas Con el CODE, para coordinar las operaciones en conjunto en el sistema, con Desarrollo para coordinar el montaje de nuevos equipos. Con Administración de Personal y Nomina, para canalizar tramites administrativos del personal a su cargo. Con Seguridad Industrial, para coordinar las acciones en función del cumplimiento de las normas de Seguridad.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 21 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<p><b>Nivel Educativo:</b> T.S.U. Electricidad Mención Potencia</p> <p><b>Experiencia:</b> (8) años.</p> <p><b>Conocimientos:</b> En sistemas eléctricos, subestaciones, equipos asociados, análisis de parámetros de demanda y sólidos conocimientos en electrónica, Transformadores de alta y baja tensión, protecciones, mediciones y operaciones en subestaciones y líneas de transmisión.</p> <p><b>Habilidades y Destrezas:</b> El ocupante debe tener habilidad supervisora, redacción de informes, proactivo y capacidad para tomar decisiones efectivas y asesorar asertivamente en la materia de su competencia y manejo de herramientas bajo ambiente Windows (Word, Excel y Power Point). Saber conducir vehículo sincrónico y tener licencia de 5to. Grado.</p>					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
<pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones] </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


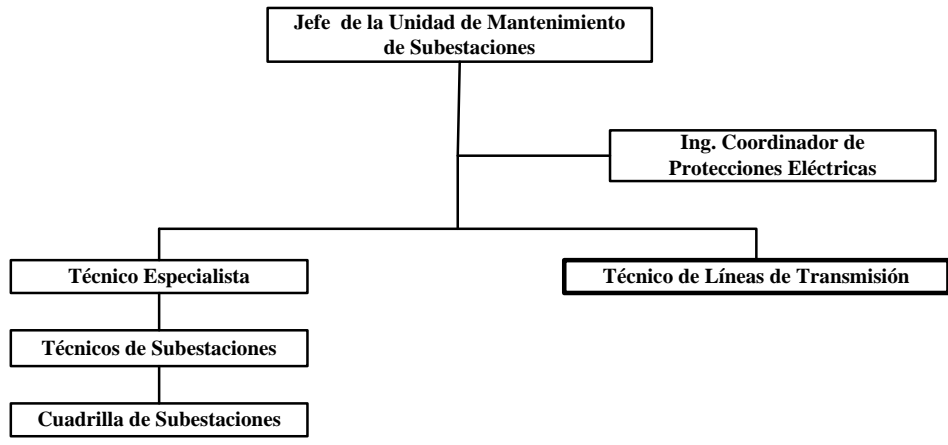





		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 22 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<p><b>Título del Cargo:</b> Técnico de operaciones II  <b>Reporta a:</b> Jefe de Mantenimiento de Subestaciones  <b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.</p>					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
<p>La función principal es la de mantener y vigilar todos los equipos asociados a las Subestaciones, de acuerdo al programa de mantenimiento e inspecciones físicas; a fin de garantizar la continuidad y calidad del servicio eléctrico.</p>					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantar un diagnostico en cada una de las Subestaciones, de acuerdo a los lineamientos de la unidad, a fin de verificar el buen funcionamiento de los equipos y realizar las correcciones necesarias.</li> <li>• Corregir las fallas y anomalías, de acuerdo al diagnostico realizado, a fin de mantener en buen estado de funcionamiento las Subestaciones y equipos asociados.</li> <li>• Realizar los mantenimientos correctivos por emergencia, presentadas a nivel de Subestaciones; a fin de solventar las situaciones irregulares en las mismas para mantener la continuidad del servicio eléctrico.</li> <li>• Realizar la solicitud de materiales al área de almacén, de acuerdo al diagnostico realizado, con el propósito de ejecutar las reparaciones en las diferentes subestaciones.</li> <li>• Participar en el estudio de ingeniería en el área de mantenimiento, que permita mejorar los sistemas y equipos de subestaciones; a fin de incrementar los niveles de eficiencia.</li> <li>• Ejecutar programas de operaciones y mantenimiento conjuntamente con las unidades de Distribución, Producción y Operaciones; a fin de garantizar que se realicen en el menor tiempo posible.</li> </ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 23 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b>					
<p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones, Técnicos y Electricistas.</p>					
<p><b>Relaciones Externas:</b> Mantiene relaciones con las Empresas Contratistas, para coordinar y supervisar la limpieza de las Subestaciones. Con clientes industriales, comerciales y residenciales para realizar mantenimientos y brindar asesorías.</p>					
<p><b>Actividades:</b> El ocupante recibe lineamientos generales del Ingeniero de Mantenimiento, a quien reporta diariamente en forma verbal y semanalmente a través de órdenes de trabajo e informes de gestión de las principales fallas ocurridas en el sistema eléctrico, así como sus incidencias en el Tiempo total de interrupciones (T.T.I). Su autonomía está delimitada por la función técnica de su cargo.</p>					
<p>Es responsable de mantener en buen estado de funcionamiento las Subestaciones y garantizar la continuidad del servicio eléctrico; así como hacer cumplir las normas de calidad, higiene y seguridad que garanticen el menor riesgo humano, igualmente garantizar la seguridad del personal, materiales y equipos a cargo para la ejecución de los trabajos.</p>					
<p>Debe mantener relaciones internas Con el CODE, para coordinar las operaciones en conjunto para ejecutar los trabajos, Con Desarrollo para coordinar el montaje de nuevos equipos. Con Producción, para coordinar el mantenimiento de los equipos asociados a las maquinas en el área. Con Administración de Personal y Nomina, para canalizar tramites administrativos del personal a su cargo con Seguridad Industrial para coordinar las acciones en función del cumplimiento de las normas de Seguridad.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 24 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<p><b>Nivel Educativo:</b> T.S.U. Electricidad Mención Potencia</p> <p><b>Experiencia:</b> (5) años.</p> <p><b>Conocimientos:</b> Experiencia en sistemas de potencia y sólidos conocimientos en Transformadores, Interruptores y redes.</p> <p><b>Habilidades y Destrezas:</b> El ocupante debe tener habilidad supervisora, manejo de equipo de computación, redacción de informes, proactivo y capacidad para tomar decisiones efectivas y asesorar asertivamente en la materia de su competencia.</p> <p>Saber conducir vehículo sincrónico y tener licencia de 5to. Grado.</p>					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
 <pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones]     </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 25 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<p><b>Título del Cargo:</b> Técnico de mantenimiento II <b>Reporta a:</b> Jefe de Mantenimiento de Subestaciones. <b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.</p>					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
<p>La función principal es la de realizar las inspecciones en las diferentes subestaciones de la empresa, con la finalidad de diagnosticar en que estado se encuentran y aplicar los correctivos necesarios de acuerdo al programa de mantenimiento anual del área.</p>					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Levantar la información sobre los mantenimientos preventivos, predictivo y correctivos, de acuerdo a los lineamientos de la unidad, con la finalidad de ejecutar los trabajos, para mantener la calidad y continuidad del servicio eléctrico.</li><li>• Realizar la solicitud de materiales al área de almacén, de acuerdo al diagnostico realizado, con el propósito de ejecutar las reparaciones en las diferentes subestaciones.</li><li>• Coordinar, ejecutar y supervisar los trabajos en cada subestación, con la finalidad de verificar que se cumplan con las normas de la empresa y se ajusten al programa de mantenimiento.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 26 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b>					
<p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones, Técnicos y Electricistas.</p>					
<p><b>Relaciones Externas:</b> Mantiene relaciones con las Empresas Contratistas, para coordinar y supervisar la limpieza de las Subestaciones. Con Clientes industriales, comerciales y residenciales para realizar mantenimientos y brindar asesorías.</p>					
<p><b>Actividades:</b> El ocupante recibe lineamientos generales del Ingeniero de Mantenimiento, a quien reporta diariamente en forma verbal y semanalmente a través de órdenes de trabajo e informes de gestión de las principales fallas ocurridas en el sistema eléctrico, así como sus incidencias en el Tiempo total de interrupciones (T.T.I). Su autonomía está delimitada por la función técnica de su cargo.</p>					
<p>Es responsable de mantener en buen estado de funcionamiento las Subestaciones y garantizar la continuidad del servicio eléctrico; así como hacer cumplir las normas de calidad, higiene y seguridad que garanticen el menor riesgo humano, igualmente garantizar la seguridad del personal, materiales y equipos a cargo para la ejecución de los trabajos.</p>					
<p>Debe mantener relaciones internas Con el CODE, para coordinar las operaciones en conjunto para ejecutar los trabajos, Con Desarrollo para coordinar el montaje de nuevos equipos. Con Producción, para coordinar el mantenimiento de los equipos asociados a las maquinas en el área. Con Administración de Personal y Nomina, para canalizar tramites administrativos del personal a su cargo con Seguridad Industrial para coordinar las acciones en función del cumplimiento de las normas de Seguridad.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 27 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<p><b>Nivel Educativo:</b> T.S.U. Electricidad Mención Potencia</p> <p><b>Experiencia:</b> Cinco (5) años.</p> <p><b>Conocimientos:</b> Experiencia en sistemas de potencia y sólidos conocimientos en Transformadores, Interruptores y redes.</p> <p><b>Habilidades y Destrezas:</b> Debe tener habilidad supervisora, manejo de equipo de computación, redacción de informes, proactivo y capacidad para tomar decisiones efectivas y asesorar asertivamente en la materia de su competencia.</p> <p>Saber conducir vehículo sincrónico y tener licencia de 5to. Grado.</p>					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
<pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones]   </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 28 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>I.- IDENTIFICACION DEL CARGO</b>					
<p><b>Título del Cargo:</b> Electricista <b>Reporta a:</b> Jefe de Mantenimiento de Subestaciones. <b>Gerencia:</b> Negocio de Distribución.</p>					
<b>II.- PROPÓSITO GENERAL DEL CARGO</b>					
<p>La función principal es la de realizar las inspecciones en las diferentes subestaciones de la empresa, con la finalidad de diagnosticar en que estado se encuentran y aplicar los correctivos necesarios de acuerdo al programa de mantenimiento anual del área.</p>					
<b>III.- FINALIDADES PRINCIPALES</b>					
<ul style="list-style-type: none"><li>• Saber realizar e interpretar planos eléctricos.</li><li>• Estar en capacidad de corregir fallas que se presente.</li><li>• Conocer como hacer las tomas de cargas y medición de variables eléctricas en Subestaciones no atendidas.</li><li>• Estar en la capacidad montaje de componentes y equipos de subestaciones tales como: Aisladores, pararrayos, cables, cortacorrientes, crucetas, transformadores de corriente y potencial, demás herrajes. También saber realizar copas terminales y empalmes de alta y baja tensión.</li><li>• Manejo y operación de Grúa de hasta 15 toneladas</li><li>• Conducir y mantener en buen estado los vehículos asignados (350 y 750 Tipo Cesta o Furgón)</li><li>• Velar por el buen uso y resguardo de los equipos y herramientas de trabajo.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 29 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>IV.-NATURALEZA DEL CARGO</b>					
<p><b>Relaciones Internas:</b> Mantiene relaciones directas con el Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones, Técnicos.</p> <p><b>Relaciones Externas:</b> Mantiene relaciones con las Empresas Contratistas, para coordinar y supervisar la limpieza de las Subestaciones. Con clientes industriales, comerciales y residenciales para realizar mantenimientos y brindar asesorías.</p>					
<p><b>Actividades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Realiza mantenimiento a componentes y partes de las Subestaciones tales como: Interruptores, Transformadores Seccionadores, Banco de baterías y Celdas de interruptores.</li><li>• Asiste con el técnico en la realización de prueba de equipos:(Pruebas de aislamiento TTR, alto potencial, resistencia contacto, etc.).</li><li>• Realiza inspecciones periódicas a las subestaciones no atendidas.</li><li>• Realiza tomas de cargas y medición de variables eléctricas en Subestaciones no atendidas.</li><li>• Corrige eventuales fallas que se presentan en las subestaciones.</li><li>• Ejecuta mantenimiento general a las subestaciones (Pintura, soldadura, alumbrado, limpieza de equipos, etc.).</li><li>• Realiza otras actividades inherentes al cargo que le sean asignadas por su supervisor.</li></ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	





		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>DESCRIPCIÓN DE CARGO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 30 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>V.-REQUERIMIENTO DEL CARGO</b>					
<p><b>Nivel Educativo:</b> Bachiller Industrial mención electricidad o electricista egresado del INCES y curso de Liniero</p> <p><b>Experiencia:</b> cuatro (4) años.</p> <p><b>Conocimientos:</b> En electricidad general, fabricación de empalmes tubulares, copas terminales, mediciones de alta y baja tensión, equipos de medición, transformadores, seccionadores, líneas de alta y baja tensión.</p> <p><b>Habilidades y Destrezas:</b> Para interrelacionarse, facilidad de expresión, proactivo, trabajo en equipo. Conducir vehiculo tipo sexta y poseer licencia de 5to grado.</p>					
<b>V.-UBICACIÓN DEL CARGO EN LA ESTRUCTURA ORGANIZATIVA</b>					
<pre> graph TD     A[Jefe de la Unidad de Mantenimiento de Subestaciones] --- B[Ing. Coordinador de Protecciones Eléctricas]     A --- C[Técnico Especialista]     A --- D[Técnico de Líneas de Transmisión]     C --- E[Técnicos de Subestaciones]     E --- F[Cuadrilla de Subestaciones]   </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>CAPÍTULO II</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 31 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<h1>CAPÍTULO II</h1>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>OBJETIVOS DEL MANUAL</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 32 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>OBJETIVO GENERAL</b>					
<p>Sistematizar la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y del ultrasonido como estrategias de mantenimiento predictivo, en equipos, dispositivos o elementos bajo estudio, presentes en las subestaciones de la empresa <i>Electricidad de Valencia</i>, con niveles de tensión de 115, 34,5 y 13,8 kV; usando los lineamientos establecidos en las normas de calidad ISO 9001 (2.000).</p>					
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilitar la introducción de cambios favorables en el proceso de optimización y desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento predictivo en la empresa.</li> <li>• Proporcionar al personal técnico del área de mantenimiento predictivo de la empresa, las herramientas necesarias para que realicen sus labores de manera eficaz y eficiente.</li> </ul>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROPÓSITO Y ALCANCE DEL MANUAL</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 33 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>PROPÓSITO</b>					
<p>Contribuir con el mejoramiento del desempeño del personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de <i>Electricidad de Valencia</i>, a través del establecimiento y delimitación de las normas y procedimientos para el mantenimiento predictivo en las subestaciones designadas, manteniendo un criterio racional, profesional y apegado a la normativa de la empresa.</p>					
<b>ALCANCE</b>					
<p>Las normas y los procedimientos desarrollados, estarán bajo la responsabilidad de la unidad de mantenimiento de subestaciones de <i>Electricidad de Valencia</i>, y deben ser adoptados por el personal técnico que labora en el área de mantenimiento predictivo de la empresa, a fin de asegurar el mayor nivel de confianza posible en el funcionamiento de los mismos.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>CAPÍTULO III</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 34 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<h1>CAPÍTULO III</h1>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>REQUISITOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 35 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b><u>REQUISITOS</u></b>					
<p>Los técnicos designados por el Jefe de la Unidad de Mantenimiento en Subestaciones de la empresa deben cumplir las siguientes exigencias:</p>					
1.- Deben estar acreditados para realizar la termografía y además, tener experiencia en el desempeño de labores de mantenimiento en subestaciones bajo carga.					
2.- Deben poseer con carácter de obligatoriedad, los implementos de seguridad proporcionados por la empresa, en el momento de realizar las labores de mantenimiento en subestaciones; de acuerdo con los niveles de tensión considerados y con las normas de seguridad industrial vigentes en la empresa.					
3.- Deben comunicar por escrito a los jefes de las subestaciones, para coordinar en que momento se podrán realizar las labores de mantenimiento predictivo.					
4.- Deben subordinarse a las instrucciones y recomendaciones de los ingenieros jefes de las subestaciones, quienes autorizan o no realización de las labores de mantenimiento predictivo en las instalaciones, dependiendo de la condición real de operatividad del sistema.					
5.- Deben presentar sus credenciales vigentes, ante los jefes de las subestaciones de la empresa					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>NORMAS DE SEGURIDAD</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 36 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b><u>NORMAS DE SEGURIDAD DE LA LOPCYMAT</u></b>					
<b>Artículo No. 54 (LOPCYMAT) Deberes de los Trabajadores y Trabajadoras:</b>					
<p>1. Ejercer las labores derivadas de su contrato de trabajo con sujeción a las normas de seguridad y salud en el trabajo, no sólo en defensa de su propia seguridad y salud, sino también con respecto a los demás trabajadores(as) y en resguardo de las instalaciones donde labora.</p>					
<p>2. Hacer uso adecuado y mantener en buenas condiciones de funcionamiento, los sistemas de control de las condiciones inseguras de trabajo en la empresa o puesto de trabajo, de acuerdo a las instrucciones recibidas, dando cuenta inmediata al supervisor o al responsable de su mantenimiento del mal funcionamiento de los mismos. El trabajador(a) deberá informar al Servicio de Seguridad y Salud en el trabajo de la empresa o al Comité de Seguridad y Salud Laboral cuando, de acuerdo a sus conocimientos y experiencia, considere que los sistemas de control a que se refiere esta disposición no correspondiesen a las condiciones inseguras que se pretende controlar.</p>					
<p>3. Usar en forma correcta y mantener en buenas condiciones los equipos de protección personal de acuerdo a las instrucciones recibidas dando cuenta inmediata al responsable de su suministro o mantenimiento, de la pérdida, deterioro, vencimiento o mal funcionamiento de los mismos. El trabajador(a) deberá informar al Servicio de Seguridad y Salud en el trabajo de la empresa o al Comité de Seguridad y Salud laboral cuando, de acuerdo a sus conocimientos y experiencia, considere que los equipos de protección personal suministrados no corresponden al objetivo de proteger contra las condiciones inseguras a las que está expuesto.</p>					
<p>4. Hacer buen uso y cuidar las instalaciones de saneamiento básico, así como también las instalaciones y comodidades para la recreación, utilización del tiempo libre, descanso, turismo social, consumo de alimentos, actividades culturales, deportivas y en general, de todas las instalaciones de servicio social.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




Capítulo V. La Propuesta

 Electricidad de Valencia		<b>MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>NORMAS DE SEGURIDAD</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		<b>Pág. 37 de 72</b>
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p>5. <i>Respetar y hacer respetar los avisos, carteleros de seguridad e higiene y demás indicaciones de advertencias que se fijaren en diversos sitios, instalaciones y maquinarias de su centro de trabajo, en materia de seguridad y salud en el trabajo.</i></p> <p>6. <i>Mantener las condiciones de Orden y limpieza en su puesto de trabajo.</i></p> <p>7. <i>Acatar las instrucciones, advertencias y enseñanzas que se le impartieren en materia de seguridad y salud en el trabajo.</i></p> <p>8. <i>Cumplir con las normas e instrucciones del Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo establecido por la empresa.</i></p> <p>9. <i>Informar de inmediato, cuando tuvieren conocimiento de la existencia de una condición insegura capaz de causar daño a la salud o la vida, propia o de terceros, a las personas involucradas, al Comité de Seguridad y Salud Laboral y a su inmediato superior, absteniéndose de realizar la tarea hasta tanto no se dictamine sobre la conveniencia o no de su ejecución.</i></p> <p>10. <i>Participar activamente en forma directa o a través de la elección de representantes, en los Comités de Seguridad y Salud Laboral y demás organismos que se crearen con los mismos fines.</i></p> <p>11. <i>Cuando se desempeñen como supervisores(as), capataces, caporales, jefes(as) de grupos o cuadrillas y, en general, cuando en forma permanente u ocasional actúen como cabeza de grupo, plantilla o línea de producción vigilar la observancia de las prácticas de seguridad y salud por el personal bajo su dirección.</i></p> <p>12. <i>Denunciar ante el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales, cualquier violación a las condiciones y medio ambiente de trabajo, cuando el hecho lo requiera o en todo caso en que el empleador(a) no corrija oportunamente las deficiencias denunciadas.</i></p> <p>13. <i>Acatar las pautas impartidas por los supervisores(as) inmediatos a fin de cumplir con las normativas de prevención y condiciones de seguridad manteniendo la armonía y respeto en el trabajo.</i></p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 38 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
1	Jefe de Mantenimiento	1.1 Revisa si tiene informes o solicitudes pendientes <b>¿Hay Informes?</b> 1.a Evalúa los informes y atiende las solicitudes 1.b Realiza correcciones 1.c Soluciona los problemas 1.d Da instrucciones a los Técnicos <b>¿No hay Informes?</b> 1.2 Elabora una Orden de Trabajo			
2	Jefe de Mantenimiento	2.1 Selecciona al personal que realizará la inspección			
3	Técnico	3.1 Selecciona los equipos, implementos y accesorios que se usarán en la prueba de termografía			
4	Técnico	4.1 Verifica que la cámara funciona correctamente 4.2 Revisa la carga de la batería. <b>¿Funciona?</b> → (Paso 5); <b>¿No funciona?</b> 4.2.a Redacta informe 4.2.b Entrega informe al Jefe de mantenimiento 4.2.c Espera instrucciones			
5	Técnico	5.1 Solicita diagrama trifilar y unificar de la subestación <b>¿Hay diagrama?</b> 5.1.a Revisa el diagrama 5.1.b Plantea las rutas posibles 5.1.c Traza una ruta de inspección → (Paso 6) <b>¿No hay diagrama?</b> 5.2 Busca en la base de datos del PC 5.3 Imprime el diagrama → (5.1.a)			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 39 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
6	Técnico	6.1 Ubica los historiales de la subestación a inspeccionar 6.2 Clasifica los elementos a inspeccionar 6.3 Consulta los historiales de fallas de cada elemento si existen 6.4 Selecciona los datos más reciente de cada elemento si existe			
7	Técnico	7.1 Solicita el formato de recolección de datos de termografía (Ver Anexo C1) <b>¿Hay formato?</b> 7.1.a Saca varias copias dependiendo del numero de elementos a inspeccionar en la subestación 7.1.b Anota la Fecha y Hora 7.1.c Anota el Lugar de Inspección 7.1.d Anota los valores de temperatura de operación registrando los historiales de los elementos a inspeccionar → (Paso 8) <b>¿No hay formato?</b> 7.2 Busca en la Base de Datos del PC 7.3 Imprime el formato → (7.1a)			
8	Técnico	8.1 Antes de iniciar la termografía en subestaciones debe considerar lo siguiente: 8.1.a Se requieren por lo menos dos (2) técnicos en el lugar donde se realiza la termografía porque el uso de la cámara termográfica, en algunos casos provoca en fracciones de segundos la pérdida momentánea de la orientación espacial del operador de la cámara; de tal manera que uno de los técnicos pueda mantener el contacto visual permanente con el entorno y vigilar los movimientos de su compañero garantizando la seguridad de ambos.			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 40 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
8	Técnico	<p>8.1b Los técnicos en termografía deben tener pleno conocimiento de las normas técnicas contenidas en el presente manual y de las normas de seguridad industrial vigentes en la empresa sin excepción. Ver sección de normas técnicas del presente manual.</p> <p>8.1.c Presenta por escrito la orden de trabajo firmada por el Jefe de la Unidad de Mantenimiento ante el Jefe o encargado de la subestación respectiva, quien autorizará o no la realización de la termografía y dará las recomendaciones pertinentes dependiendo de las condiciones de la subestación.</p> <p>8.1.d Dispone de los implementos de seguridad (Botas dieléctricas y Casco), necesarios para permanecer sin tocar nada y desplazarse por las zonas permitidas de la subestación, de acuerdo a la normativa de seguridad vigente en la empresa. No se requiere el uso de lentes ni de guantes.</p> <p>8.1.e Respeta las distancias de seguridad para la aproximación mínima a los equipos y demás elementos energizados en la subestación, de acuerdo a los niveles de tensión considerados y conforme a la normativa de seguridad vigente en la empresa. Ver sección de normas técnicas del presente manual y Ver Anexo C2.</p> <p>8.1.f no excede las distancias máximas y mínimas dadas por el fabricante de la cámara termográfica usada. (Consultar el manual del equipo). → (Paso 9)</p>			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 41 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
9	Técnico	<p>9.1 Ajusta los Parámetros de la Cámara termográfica haciendo lo siguiente:</p> <p>9.1.a Mide y ajusta la temperatura ambiente del lugar, usar un termómetro.</p> <p>9.1.b Mide y ajusta la humedad relativa del lugar, usar un medidor de humedad</p> <p>9.1.c Verifica y ajusta la emisividad apropiada dependiendo del tipo de material del objeto, equipo o elemento observado. Apoyarse en la tabla de emisividad de materiales Indicada en el (Anexo A1)</p> <p>9.1.d Verifica si existen fuentes generadoras de radiación (calor), cercanas o alrededor del objetivo que se pretende medir.</p> <p><b>¿Hay fuente de radiación?</b></p> <p>9.1.d.1 Cambia la posición del punto de medición respetando las distancias mínimas de seguridad dentro de la subestación, distancia máxima y mínima de funcionamiento óptimo de la cámara termográfica.</p> <p>9.1.d.2 Busca un ángulo de medición que permita obtener una imagen óptima del objetivo observado. → 9.1.e</p> <p><b>¿No hay fuente de radiación?</b></p> <p>9.1.e Mide la distancia aproximada desde el punto de medición hasta el objetivo observado, tomando en cuenta las distancias mínimas de seguridad. (Anexo C2)</p>			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 42 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
9	Técnico	<p>9.1.f Ajusta el Campo y Nivel de la cámara considerando lo siguiente:</p> <p>9.1.f.1 No se debe intentar obtener un termograma sin que antes se ajuste el campo y nivel de la cámara termográfica.</p> <p>9.1.f.2 Ubica de manera visual un objeto fijo del entorno, cercano al objetivo a medir con la cámara y cuya temperatura aparente reflejada se aproxime a la temperatura de operación bajo carga del objetivo observado. Puede emplear un termómetro infrarrojo para medir la temperatura del objeto, equipo o elemento de interés.</p> <p>9.1.f.3 En el caso de cámaras termográfica marca ThermaCAM™ PM575, apunta hacia el objeto fijo y presiona el botón de modo automático para que la cámara ajuste automáticamente el campo y el nivel que se usará en la prueba.</p> <p>9.1.f.4 Para otro tipo de cámaras termográficas consultar con el manual respectivo lo referente al ajuste automático del campo y nivel.</p> <p>9.1.f.5 Una vez ajustado el campo y nivel de la cámara termográfica, no se debe modificar este ajuste durante el resto de la prueba; a menos que exista uno o varios elementos cuyo rango de temperatura quede fuera del campo y nivel previamente ajustado; en este caso puede recurrirse al ajuste manual de la cámara, para colocar los valores de campo y nivel que abarquen el rango de temperatura deseado.</p>			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 43 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
9	Técnico	9.1.g Anota la carga a la que está sometido el equipo, dispositivo o elemento analizado al momento de realizar la termografía. Este dato es conocido por los operadores de la subestación designada mediante los instrumentos de medición presentes en los diferentes tableros de control de la subestación → (Paso 10)			
10	Técnico	<p>10.1 Obtiene el termograma del objeto, equipo o elemento considerando lo siguiente:</p> <p>10.1.a Verifica que el lente de la cámara termográfica esté lo mas limpio posible y que no esté empañado o rayado.</p> <p>10.1 b Selecciona en el menú de la cámara las funciones de medida que usará recordando que en el caso de las cámaras ThermaCAM™ PM575, las funciones de medida son: Isoterma, Medidor puntual, Área y Variación lineal de temperatura. Si tiene dudas debe consultar la sección de definición de términos del manual.</p> <p>10.1.c Mantiene la pantalla de la cámara lo más despejada posible y visualizar la menor cantidad de funciones del menú para poder apreciar con detalles el objetivo observado sin que interfieran con la medición algunas letras o números de parámetros irrelevantes.</p> <p>10.1.d Ajusta el enfoque de la cámara termográfica hasta obtener una imagen nítida del objetivo observado, recordar que un mal enfoque produce una medición errónea que conduce a un resultado incorrecto.</p>			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>		
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>		
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>		
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 44 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>				
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>		
10	Técnico	<p>10.1.e Visualiza con detalle el objetivo de interés y su entorno con la finalidad de descubrir si existe algún punto o zona cuya temperatura presente un mayor contraste que el resto de la imagen observada.</p> <p><b>¿No hay puntos de altos contraste? → (Paso 11)</b></p> <p><b>¿Hay puntos de altos contraste?</b></p> <p>10.2 Aumenta o disminuye convenientemente el zoom de la cámara termográfica hasta obtener la mejor imagen del punto o zona de alto contraste, y al mismo tiempo garantiza que la temperatura está dentro del rango obtenido al ajustar el campo y nivel de la cámara.</p> <p>10.3 Corrige el enfoque hasta obtener una imagen nítida y de alta resolución del punto o zona de alto contraste para evitar una medición errónea.</p> <p>10.4 Posiciona el indicador de temperatura que corresponda con el tipo de medición seleccionada justo en el punto, superficie o perfil térmico donde aparece la mayor lectura de alto contraste.</p> <p>10.5 Lee el valor del “Delta T” que se visualiza en la pantalla de la cámara evitando mover la posición el indicador de temperatura para no perder el punto óptimo medición hallado en el paso anterior.</p> <p>10.6 Congela la imagen, en el caso de la cámara ThermaCAM™ PM575, basta pulsar el botón S y soltarlo para congelar la imagen, para otras cámaras se debe consultar el manual de usuario.</p>		
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>
Fecha:		Fecha:		Fecha:

## Capítulo V. La Propuesta


		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 45 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
10	Técnico	<p>10.7 Mide el valor numérico del “Delta T”, expresado en grados centígrados (°C), en el punto o zona de alto contraste, anota el valor medido y lo compara con los diferentes intervalos de variación del “Delta T”. (Ver Anexo C3).</p> <p>10.8 Establece el grado de severidad del punto o zona de alto contraste dependiendo de los criterios de comparación del paso anterior y luego determina si existe o no una falla en el equipo, dispositivo o elemento observado.</p> <p>10.9 Completa el formato de termografía. (Ver Anexo C4).</p> <p>10.10 Emite conclusiones, recomendaciones y observaciones, en base a los resultados obtenidos en la medición.</p> <p>10.11 Graba el termograma. En el caso de la cámara ThermaCAM™ PM575, basta pulsar el botón S durante un (1) segundo, o hasta que aparezca el nombre del archivo de la imagen y se grabará el termograma observado.</p> <p><b>¿Quedó bien?</b></p> <p style="margin-left: 20px;">10.11.a Realiza un respaldo</p> <p style="margin-left: 20px;">10.11.b Obtiene una foto digital del elemento</p> <p style="margin-left: 20px;">10.11.c Identifica el elemento → (Paso 11)</p> <p><b>¿No quedó bien?</b></p> <p>10.2 Cambia el ángulo de medición</p> <p>10.3 Cambia la distancia sin salir de los valores máximos y mínimos.</p> <p>10.14 Corrige los parámetros en caso de ser necesario</p> <p>10.15 Verifica los ajustes</p> <p>10.16 Anota los cambios realizados → 10.1</p>			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




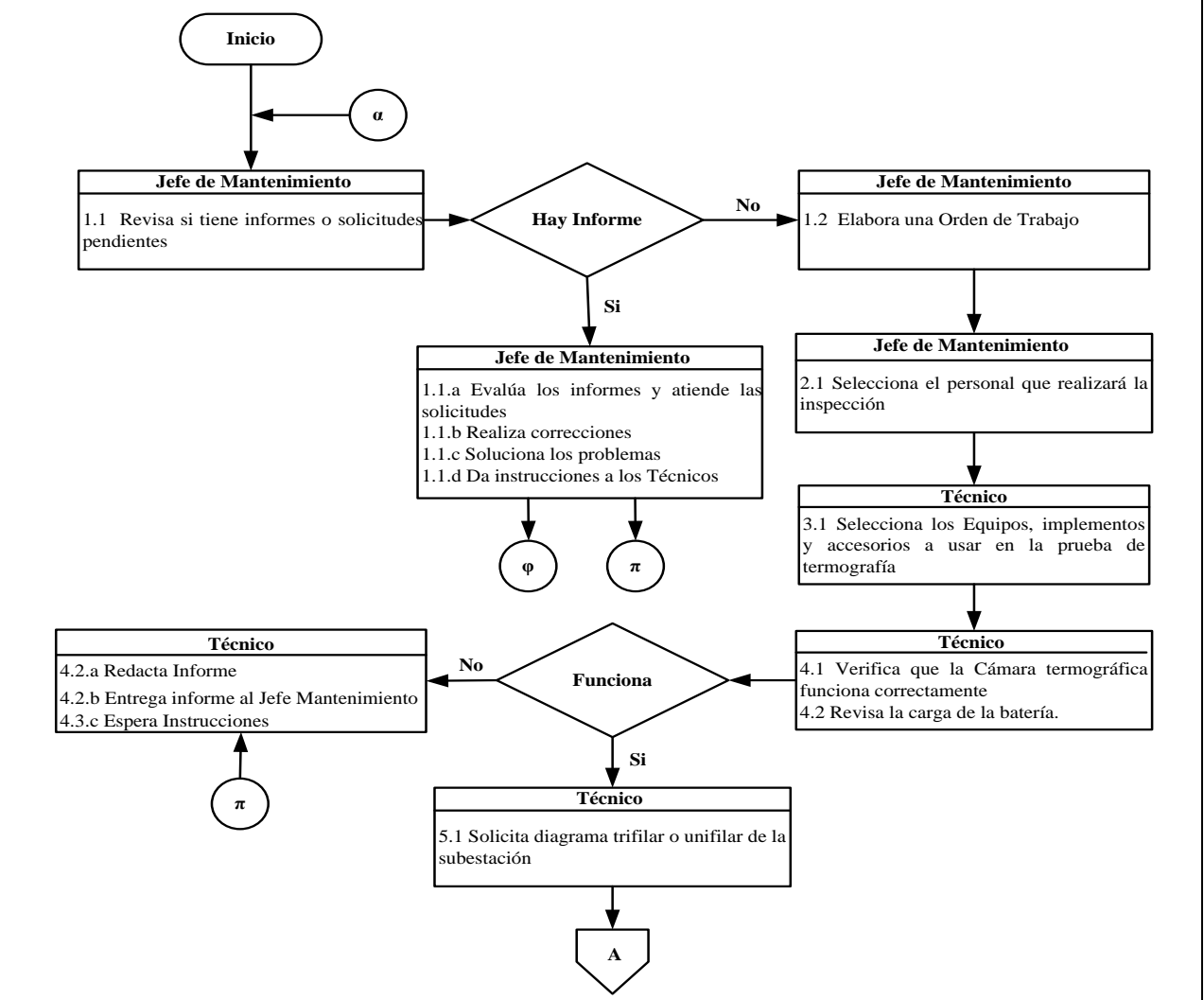



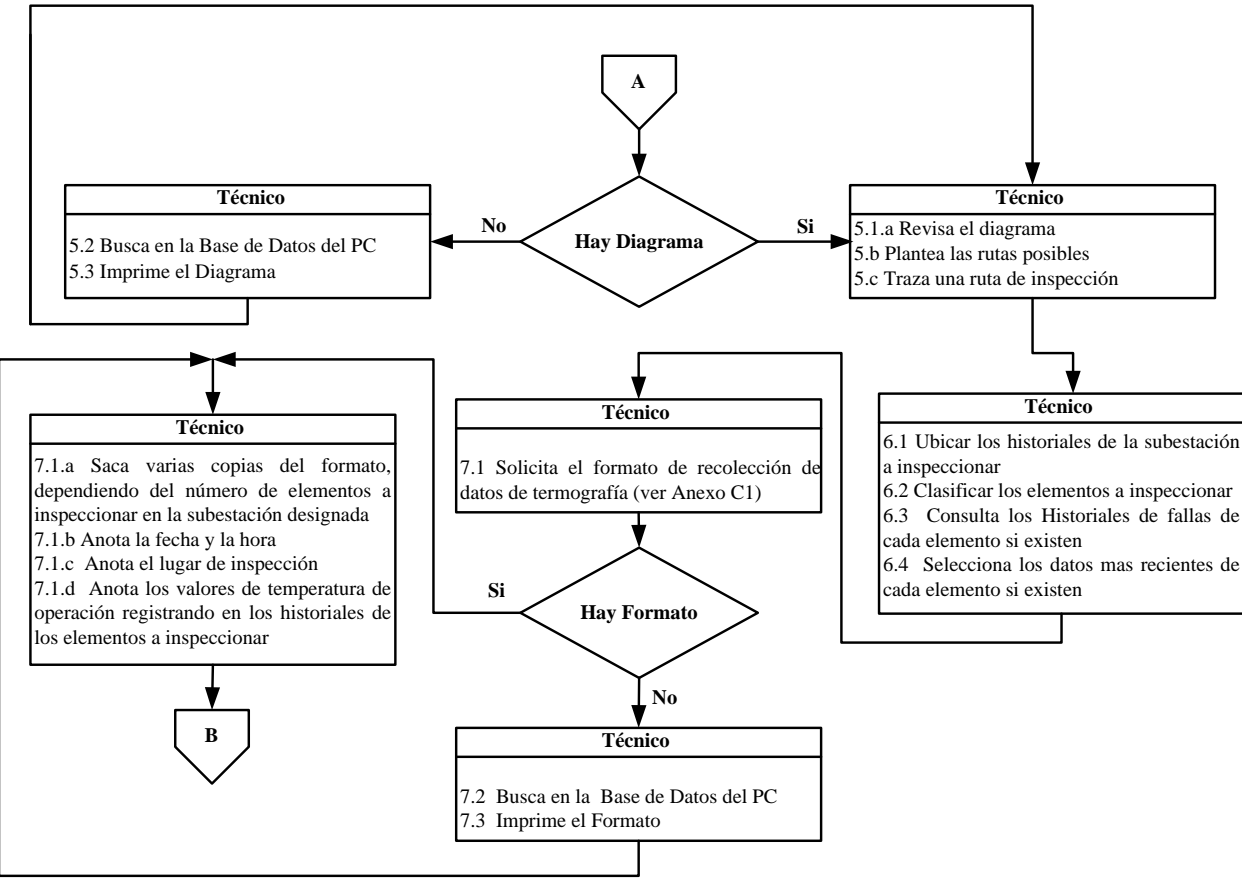
		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 46 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
11	Técnico	11.1 Verifica si terminó toda la inspección <b>¿Terminó?</b> → (Paso 12) <b>¿No terminó?</b> 11.2 Continúa con el siguiente elemento de la ruta → (Paso 10)			
12	Técnico	12.1 Apaga la cámara, retira el lente con cuidado y evita rayarlo 12.2 Retira la batería de la cámara 12.3 Retira la Flashcard y la guarda evitando golpearla o dañarla 12.4 Guarda la cámara evitando golpearla o dañarla → (Paso13)			
13	Técnico	13.1 Transfiere los datos de la Flashcard a la PC 13.2 Respalda los datos en un CD para evitar perderlos 13.3 Emplea el software específico de procesamiento termográfico compatible con la cámara termográfica usada. En el caso de la cámara ThermaCAM™ PM575, el fabricante proporciona los software siguientes: Agema Viwer y Agema Reaport. 13.3.a Usando los programas antes indicados en el paso anterior, con ayuda de un computador procesa el primer termograma. 13.3.b Evalúa el termograma empleando criterios de termografía cualitativa y cuantitativa, si tiene alguna duda revisa la sección de definición de términos del presente manual. 13.3.c Analiza los resultados obtenidos de acuerdo al paso anterior. 13.3.d Emite conclusiones del termograma en el formato de inspección termográfica. (Ver Anexo C4)			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 47 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
13	Técnico	<p><b>¿Se detectó falla?</b>  13.4 Identifica el elemento fallado y su ubicación exacta. Debe colocar el nombre del elemento, código, nombre de la subestación donde esta localizado y demás descriptores del formato de inspección termográfica. (Ver Anexo C4)  13.5 Describe el tipo de falla y anota las observaciones en el formato de inspección termográfica. (Ver Anexo C4)  13.6 Verifica el grado de severidad obtenido durante la inspección realizada y comprueba si los resultados coinciden con los obtenidos en la computadora y son correctos. (Ver Anexo C3)  13.7 Realiza un reporte definitivo en el formato de inspección. (Ver Anexo C4)  13.8 Establece recomendaciones a corto, mediano o largo plazo; dependiendo del grado de severidad de la falla o anomalía.  <b>¿Hay más termogramas?</b> →13.9  <b>¿No se detectó una falla? ¿Hay más termogramas?</b> →13.9  13.9 Procesa el siguiente termograma →13.3b  <b>¿No hay más termogramas?</b> →(Paso 14)</p>			
14	Técnico	14.1 Realiza Informe Final de la subestación 14.2 Firma el Informe y lo fotocopia 14.3 Envía al Jefe de Mantenimiento los dos Informes (Original y Copia) →(Paso 1) 14.4 Recibe copia del Informe firmada por el Jefe de Mantenimiento			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>TERMOGRAFÍA INFRARROJA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 48 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
14	Técnico	14.5 Actualiza los Historiales de fallas de la subestación 14.6 Archiva una copia del informe y los historiales actualizado 14.7 Espera Instrucciones del Jefe de Mantenimiento <b>¿Hay Instrucciones?</b> →(Paso 15) <b>¿No hay Instrucciones?</b> →(Paso 16)			
15	Técnico	15.1 Lee las Instrucciones 15.2 Ejecuta las Instrucciones <b>¿Hay Mantenimiento Correctivo?</b> 15.2.a Coordina con el Jefe de Mantenimiento el Plan General de trabajo 15.2.b Realiza Mantenimiento Correctivo de acuerdo al plan 15.2.c Reestablece el servicio 15.2.d Verifica el funcionamiento de elementos corregidos 15.3 Elabora informe de Mantenimiento correctivo 15.4 Envía informe al jefe de mantenimiento 15.5 Solicita al Jefe de Mantenimiento la Prueba de Termografía de los elementos sometidos a Mantenimiento Correctivo →(Paso 1) <b>¿No hay Mantenimiento Correctivo?</b> →(Paso 16)			
16	<b>FIN DEL PROCEDIMIENTO</b>				
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 49 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 50 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


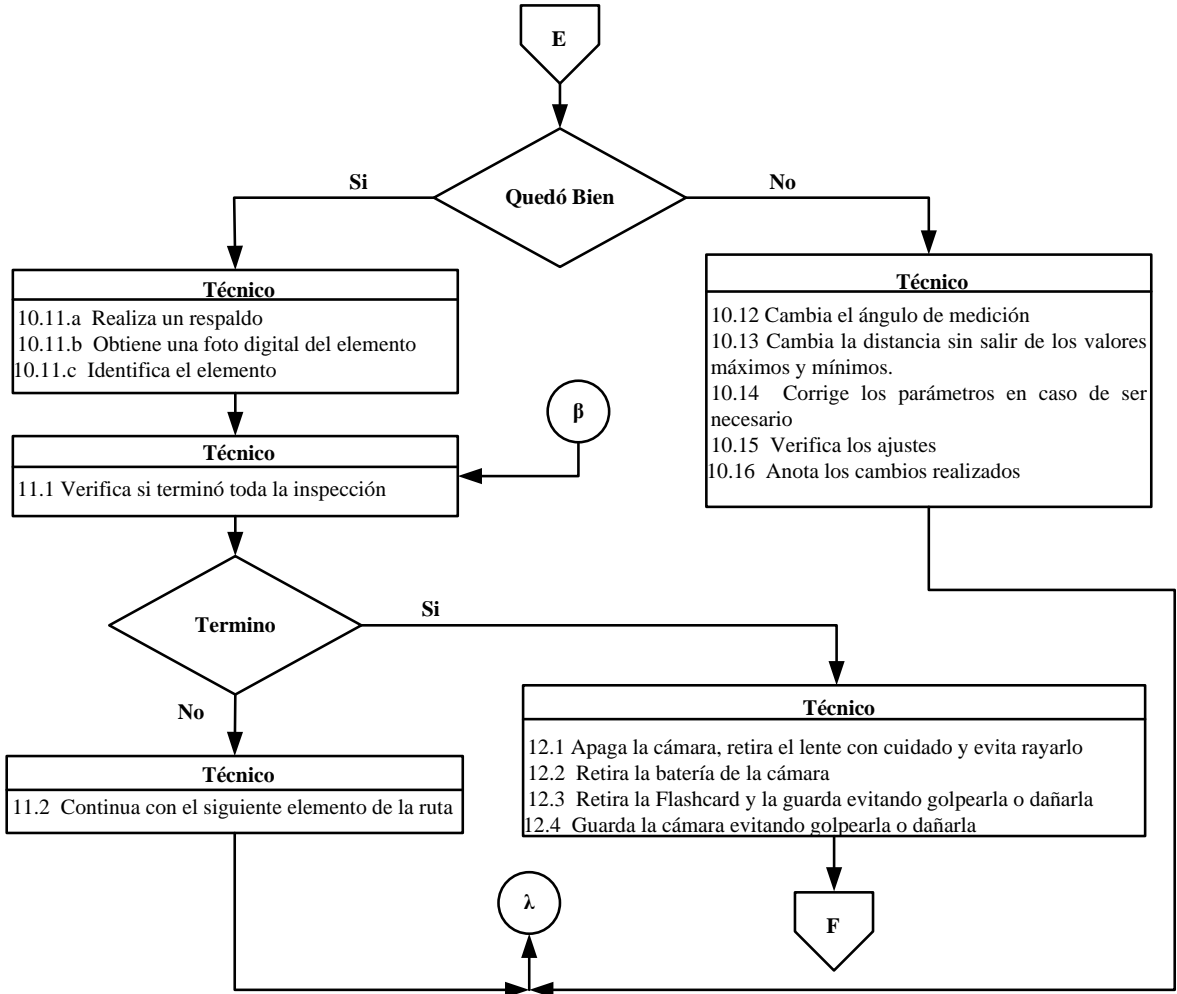
 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 51 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<div style="text-align: center;">  </div>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


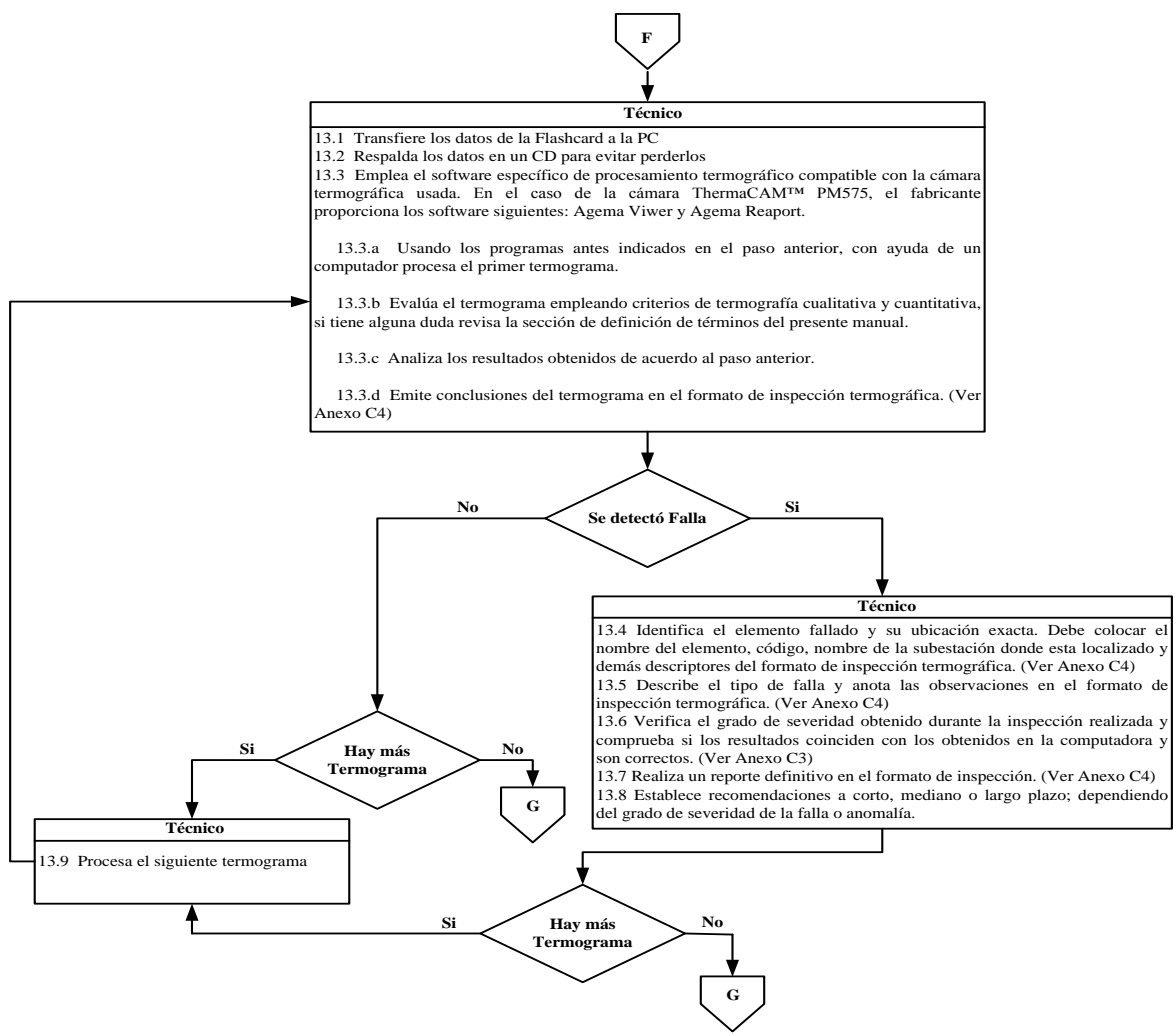
		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 52 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<pre> graph TD     C{{C}} --&gt; D1{Hay Fuente de Radiación}     D1 -- No --&gt; C     D1 -- Si --&gt; B1[9.1.d.1 Cambia la posición del punto de medición respetando las distancias mínimas de seguridad dentro de la subestación, distancia máxima y mínima de funcionamiento óptimo de la cámara termográfica. 9.1.d.2 Busca un ángulo de medición que permita obtener una imagen óptima del objetivo observado.]     B1 --&gt; B2[9.1.e Mide la distancia aproximada desde el punto de medición hasta el objetivo observado, tomando en cuenta las distancias mínimas de seguridad. (Anexo C2) 9.1.f Ajusta el Campo y Nivel de la cámara considerando lo siguiente: 9.1.f.1 No se debe intentar obtener un termograma sin que antes se ajuste el campo y nivel de la cámara termográfica. 9.1.f.2 Ubica de manera visual un objeto fijo del entorno, cercano al objetivo a medir con la cámara y cuya temperatura aparente reflejada se aproxime a la temperatura de operación bajo carga del objetivo observado. Puede emplear un termómetro infrarrojo para medir la temperatura del objeto, equipo o elemento de interés. 9.1.f.3 En el caso de cámaras termográfica marca ThermaCAM™ PM575, apunta hacia el objeto fijo y presiona el botón de modo automático para que la cámara ajuste automáticamente el campo y el nivel que se usará en la prueba. 9.1.f.4 Para otro tipo de cámaras termográficas consultar con el manual respectivo lo referente al ajuste automático del campo y nivel. 9.1.f.5 Una vez ajustado el campo y nivel de la cámara termográfica, no se debe modificar este ajuste durante el resto de la prueba; a menos que exista uno o varios elementos cuyo rango de temperatura quede fuera del campo y nivel previamente ajustado; en este caso puede recurrirse al ajuste manual de la cámara, para colocar los valores de campo y nivel que abarquen el rango de temperatura deseado. 9.1.g Anota la carga a la que está sometido el equipo, dispositivo o elemento analizado al momento de realizar la termografía. Este dato es conocido por los operadores de la subestación designada mediante los instrumentos de medición presentes en los diferentes tableros de control de la subestación.]     B2 --&gt; D2{{D}}     </pre>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


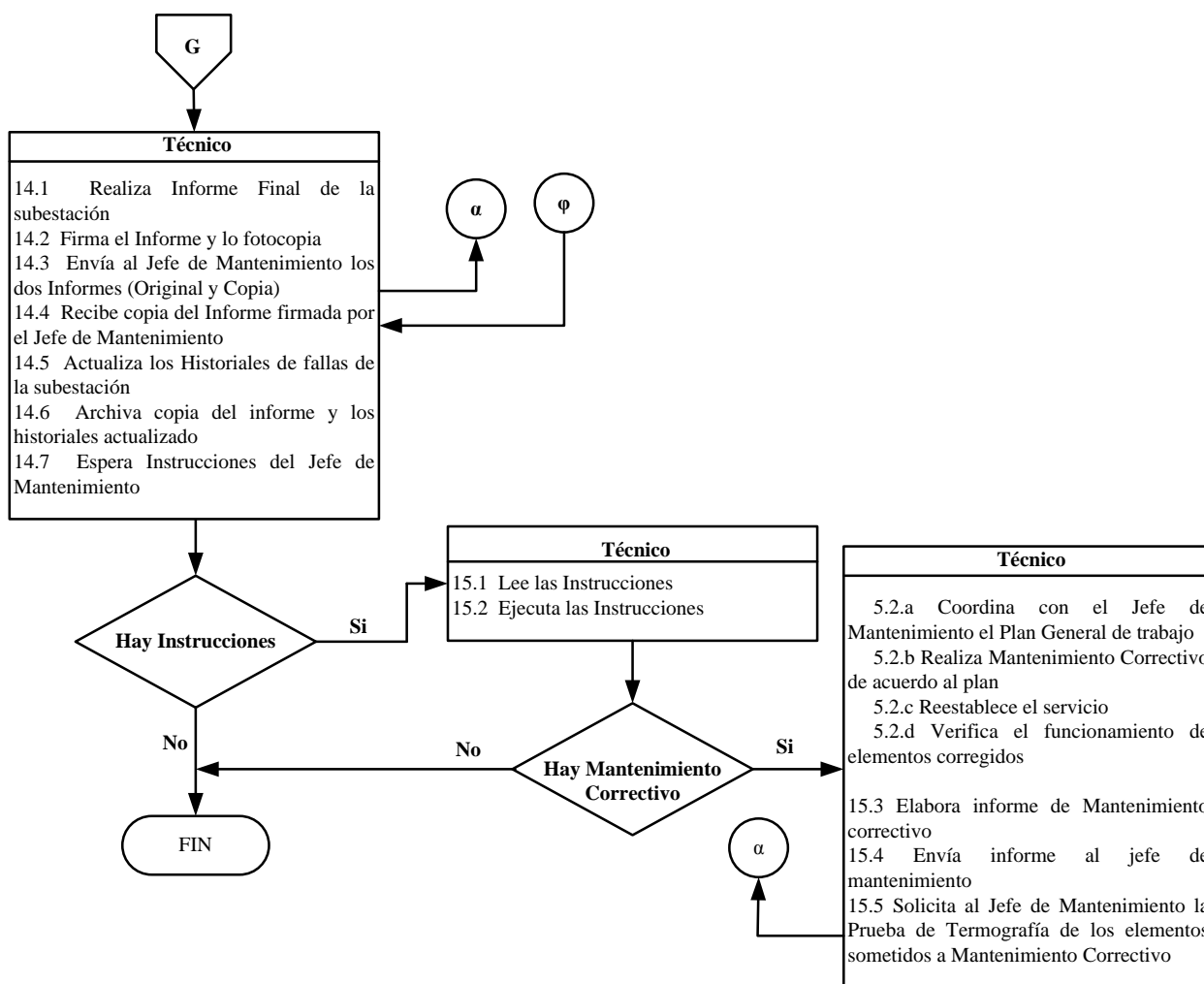
Capítulo V. La Propuesta

		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>		
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>		
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>		
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 53 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>				
<p><b>Técnico</b></p> <p>10.1 Obtiene el termograma del objeto, equipo o elemento considerando lo siguiente:</p> <p>10.1.a Verifica que el lente de la cámara termográfica esté lo mas limpio posible y que no esté empañado o rayado.</p> <p>10.1 b Selecciona en el menú de la cámara las funciones de medida que usará recordando que en el caso de las cámaras ThermaCAM™ PM575, las funciones de medida son: Isoterma, Medidor puntual, Área y Variación lineal de temperatura. Si tiene dudas debe consultar la sección de definición de términos del manual.</p> <p>10.1.c Mantiene la pantalla de la cámara lo más despejada posible y visualizar la menor cantidad de funciones del menú para poder apreciar con detalles el objetivo observado sin que interfieran con la medición algunas letras o números de parámetros irrelevantes.</p> <p>10.1.d Ajusta el enfoque de la cámara termográfica hasta obtener una imagen nítida del objetivo observado, recordar que un mal enfoque produce una medición errónea que conduce a un resultado incorrecto.</p> <p>10.1.e Visualiza con detalle el objetivo de interés y su entorno con la finalidad de descubrir si existe algún punto o zona cuya temperatura presente un mayor contraste que el resto de la imagen observada.</p>				
<p><b>Técnico</b></p> <p>10.2 Aumenta o disminuye convenientemente el zoom de la cámara termográfica hasta obtener la mejor imagen del punto o zona de alto contraste, y al mismo tiempo garantiza que la temperatura está dentro del rango obtenido al ajustar el campo y nivel de la cámara.</p> <p>10.3 Corrige el enfoque hasta obtener una imagen nítida y de alta resolución del punto o zona de alto contraste para evitar una medición errónea.</p> <p>10.4 Posiciona el indicador de temperatura que corresponda con el tipo de medición seleccionada justo en el punto, superficie o perfil térmico donde aparece la mayor lectura de alto contraste.</p> <p>10.5 Lee el valor del “Delta T” que se visualiza en la pantalla de la cámara evitando mover la posición el indicador de temperatura para no perder el punto óptimo medición hallado en el paso anterior.</p> <p>10.6 Congela la imagen, en el caso de la cámara ThermaCAM™ PM575, basta pulsar el botón S y soltarlo para congelar la imagen, para otras cámaras se debe consultar el manual de usuario.</p> <p>10.7 Mide el valor numérico del “Delta T”, expresado en grados centígrados (°C), en el punto o zona de alto contraste, anota el valor medido y lo compara con los diferentes intervalos de variación del “Delta T”. (Ver Anexo C3).</p> <p>10.8 Establece el grado de severidad del punto o zona de alto contraste dependiendo de los criterios de comparación del paso anterior y luego determina si existe o no una falla en el equipo, dispositivo o elemento observado.</p> <p>10.9 Completa el formato de termografía. (Ver Anexo C4).</p> <p>10.10 Emite conclusiones, recomendaciones y observaciones, en base a los resultados obtenidos en la medición.</p> <p>10.11 Graba el termograma. En el caso de la cámara ThermaCAM™ PM575, basta pulsar el botón S durante un (1) segundo, o hasta que aparezca el nombre del archivo de la imagen y se grabará el termograma observado.</p>				
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>
Fecha:		Fecha:		Fecha:




 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 54 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 55 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE TERMOGRAFÍA</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 56 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 57 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
1	Jefe de Mantenimiento	1.1 Revisa si tiene informes o solicitudes pendientes <b>¿Hay informes o solicitudes?</b> 1.1.a Evalúa los informes y atiende las solicitudes 1.1.b Realiza correcciones 1.1.c Soluciona problemas 1.2.d Da instrucciones a los Técnicos <b>¿No hay informes o solicitudes?</b> 1.2 Elabora una Orden de Trabajo			
2	Jefe de Mantenimiento	2.1 Selecciona al personal que realizará la inspección			
3	Técnico	3.1 Selecciona los equipos, implementos y accesorios que se usarán en la prueba de ultrasonido			
4	Técnico	4.1 Verifica que el equipo de ultrasonido funciona correctamente 4.2 Revisa la carga de la batería. <b>¿Funciona? → (Paso 5); ¿Si no funciona?</b> 4.2.a Redacta informe 4.2.b Entrega informe al Jefe de mantenimiento 4.2.c Espera instrucciones			
5	Técnico	5.1 Solicita el formato de Ultrasonido <b>¿Hay formato?</b> a) Anota la fecha y la hora b) Anota el lugar de la inspección → (Paso 6) <b>¿No hay formato?</b> 5.2 Busca en la base de datos del PC 5.3 Imprime el formato → (5.1.a)			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 58 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
6	Técnico	6.1 Solicita diagrama unifilar de la subestación <b>¿Hay diagrama unifilar?</b> 6.1.a Revisa el diagrama 6.1.b Plantea las rutas posibles 6.1.c Elabora una ruta de inspección → (Paso 7) <b>¿No hay diagrama unifilar?</b> 6.2 Busca en la Base de Datos del PC 6.3 Imprime el Diagrama → (6.1.a)			
7	Técnico	7.1 Clasifica los elementos a inspeccionar 7.2 Consulta Historiales de fallas de cada elemento 7.3 Selecciona los datos recientes → (Paso 8)			
8	Técnico	8.1 Ajusta los Parámetros del Equipo cambiando: 8.1.a Frecuencia 8.1.b Distancia 8.1.c Angulo de medición → (Paso 9)			
9	Técnico	9.1 Rastrea el ultrasonido del elemento si existe <b>¿Se logra escuchar bien?</b> 9.1.a Graba el ultrasonido 9.1.b Realiza un respaldo 9.1.c Obtiene una foto digital del elemento 9.1.d Completa el formato de ultrasonido 9.1.e Identifica el elemento → (Paso10) <b>¿No se logra escuchar nada?</b> 9.2 Varía la frecuencia 9.3 Cambia el ángulo de medición			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 59 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
9	Técnico	9.4 Cambia la distancia sin salir de los valores máximos y mínimos que da el fabricante del equipo 9.5 Corrige los parámetros 9.6 Verifica los ajustes 9.7 Anota los cambios realizados → (9.1)			
10	Técnico	10.1 Obtiene el ultrasonido con distancia máxima 10.1.a Procede similarmente al paso (9) pero usando la distancia máxima permitida 10.2 Obtiene el ultrasonido con distancia mínima 10.2.a Procede similarmente al paso (9) pero usando la distancia mínima permitida 10.3 Compara de forma auditiva los ultrasonidos grabados en los pasos (9) y (10) 10.4 Establece conclusiones, recomendaciones y observaciones de cada ultrasonido → (Paso11)			
11	Técnico	11.1 Verifica si terminó toda la inspección de los diferentes elementos <b>¿Termino la inspección?</b> → (Paso12) <b>¿No termino la inspección?</b> 11.2 Continúa la inspección con el siguiente elemento de la ruta → (Paso8)			
12	Técnico	12.1 Verifica los archivos de ultrasonido grabados 12.2 Retira la unidad de almacenamiento de datos del receptor de ultrasonido si existe y la guarda 12.3 Apaga el receptor de ultrasonido 12.4 Retira la batería del receptor			
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 60 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>		<b>Actividad</b>		
12	Técnico		12.5 Guarda el receptor → (Paso13)		
13	Técnico		13.1 Transfiere los datos grabados en la unidad de almacenamiento extraíble o desde el receptor de ultrasonido a la PC 13.2 Respalda los datos en un CD 13.3 Emplea el software específico de procesamiento de archivos de ultrasonido compatible con el receptor utilizado en la prueba 13.3.a Procesa el primer archivo de ultrasonido 13.3.b Evalúa cada archivo y lo compara con el patrón de ultrasonido respectivo con la ayuda del software 13.3.c Analiza los resultados de cada ultrasonido 13.3.d Emite conclusiones de cada uno de los ultrasonidos analizados. <b>¿Se detectó una falla?</b> 13.4 Identifica el elemento fallado y su ubicación exacta 13.5 Determina el tipo de falla causada, de acuerdo a la coincidencia con los patrones ultrasónicos de Efecto corona, Tracking o Arco eléctrico 13.6 Describe el tipo de falla 13.7 Evalúa el grado de severidad indicando si es: Bajo, Medio, Alto, Muy alto o Crítico. 13.8 Realiza un reporte en el formato de inspección		
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

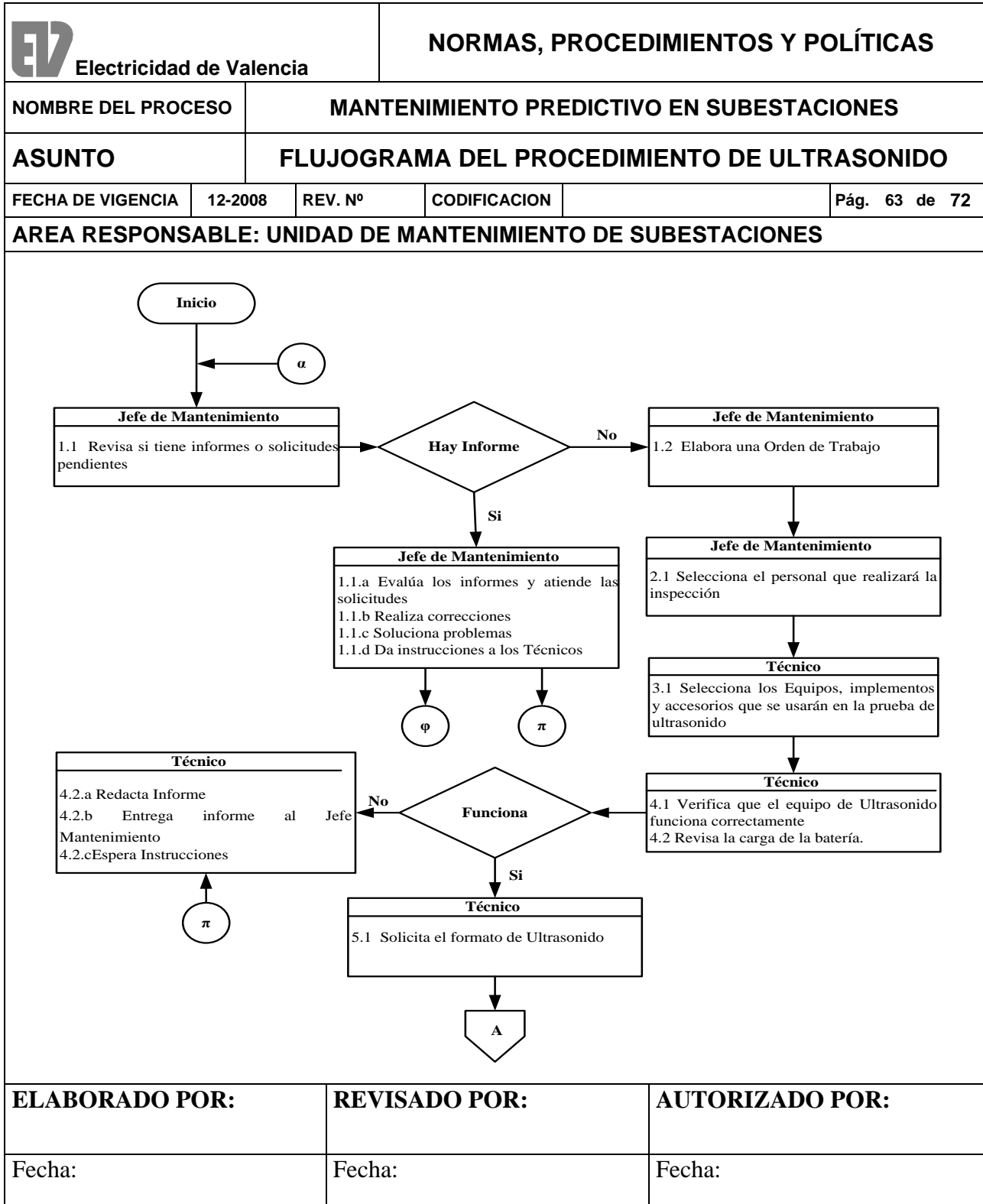


 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 61 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
13	Técnico	13.9 Plantea soluciones (corto, mediano o largo plazo) <b>¿Hay más ultrasonidos?</b> → (13.10) <b>¿No se detectó una falla?</b> <b>¿Hay más ultrasonidos?</b> → (13.10) 13.10 Procesa el siguiente termograma → (13.3.b) <b>¿No hay más ultrasonidos?</b> → (Paso 14)			
14	Técnico	14.1 Realiza Informe Final de la subestación 14.2 Firma el Informe y lo fotocopia 14.3 Envía al Jefe de Mantenimiento los dos Informes (Original y Copia) → (Paso 1) 14.4 Recibe copia del Informe firmada por el Jefe de Mantenimiento 14.5 Actualiza los Historiales de fallas 14.6 Archiva copia del informe y los historiales 14.7 Espera Instrucciones del Jefe de Mantenimiento <b>¿Hay instrucciones</b> → (Paso 15) <b>¿No hay instrucciones</b> → (Paso 16)			
15	Técnico	15.1 Lee las instrucciones 15.2 Ejecuta las Instrucciones <b>¿Hay Mantenimiento Correctivo?</b> 15.2.a Coordina con el Jefe de Mantenimiento el Plan General de trabajo 15.2.b Realiza Mantenimiento Correctivo de acuerdo al plan			
<b>ELABORADO POR:</b>					
<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>			
Fecha:		Fecha:		Fecha:	


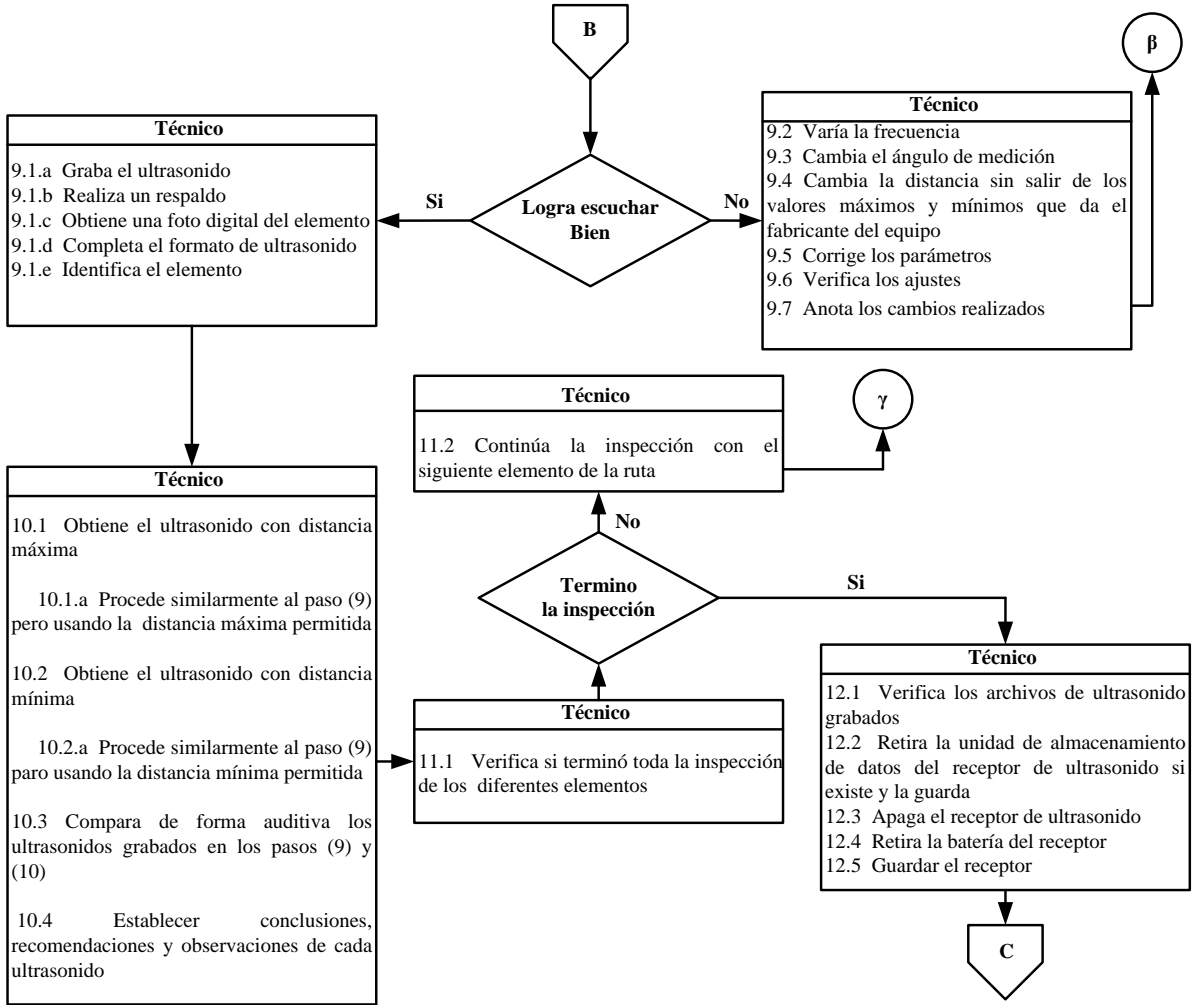



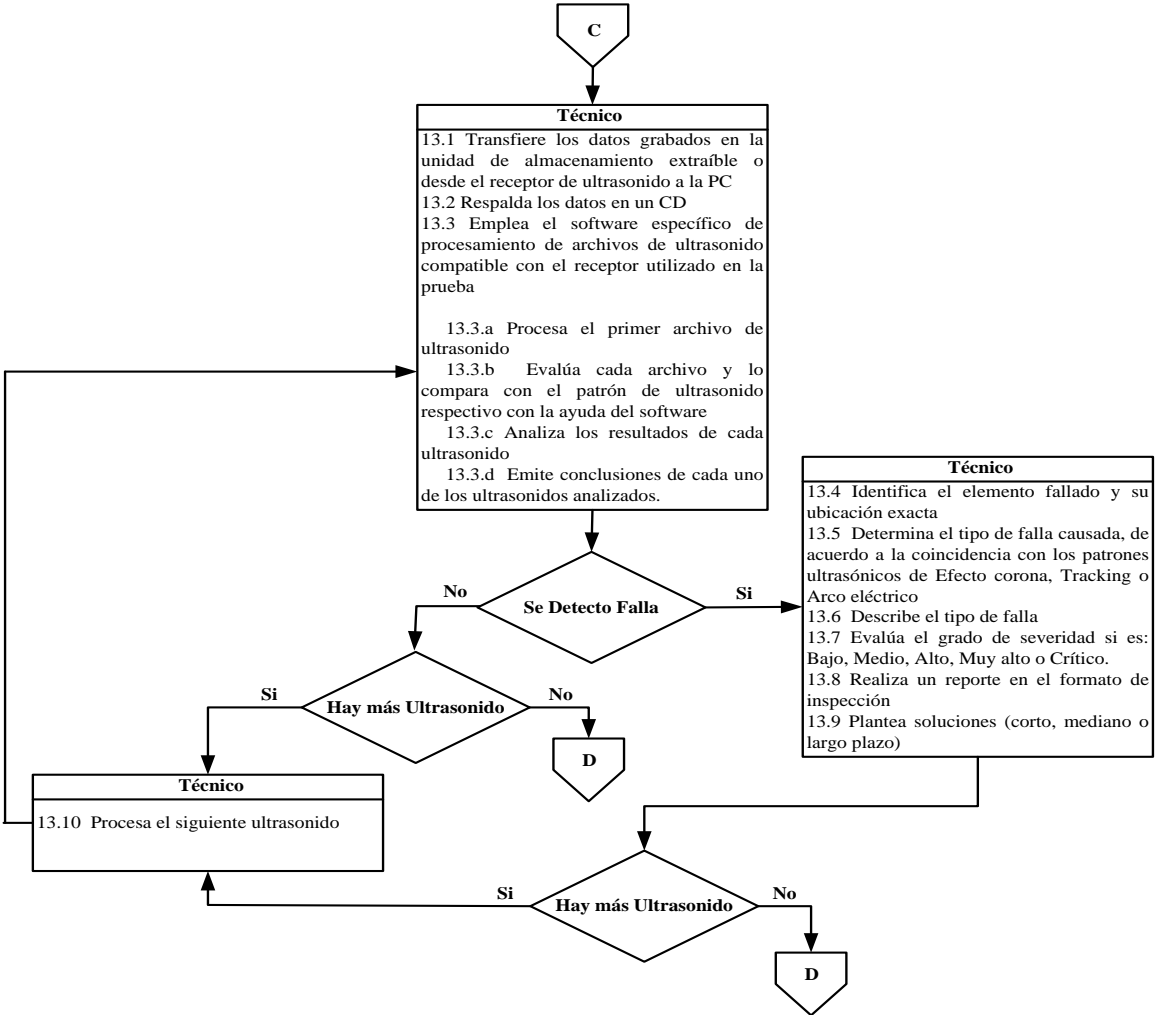



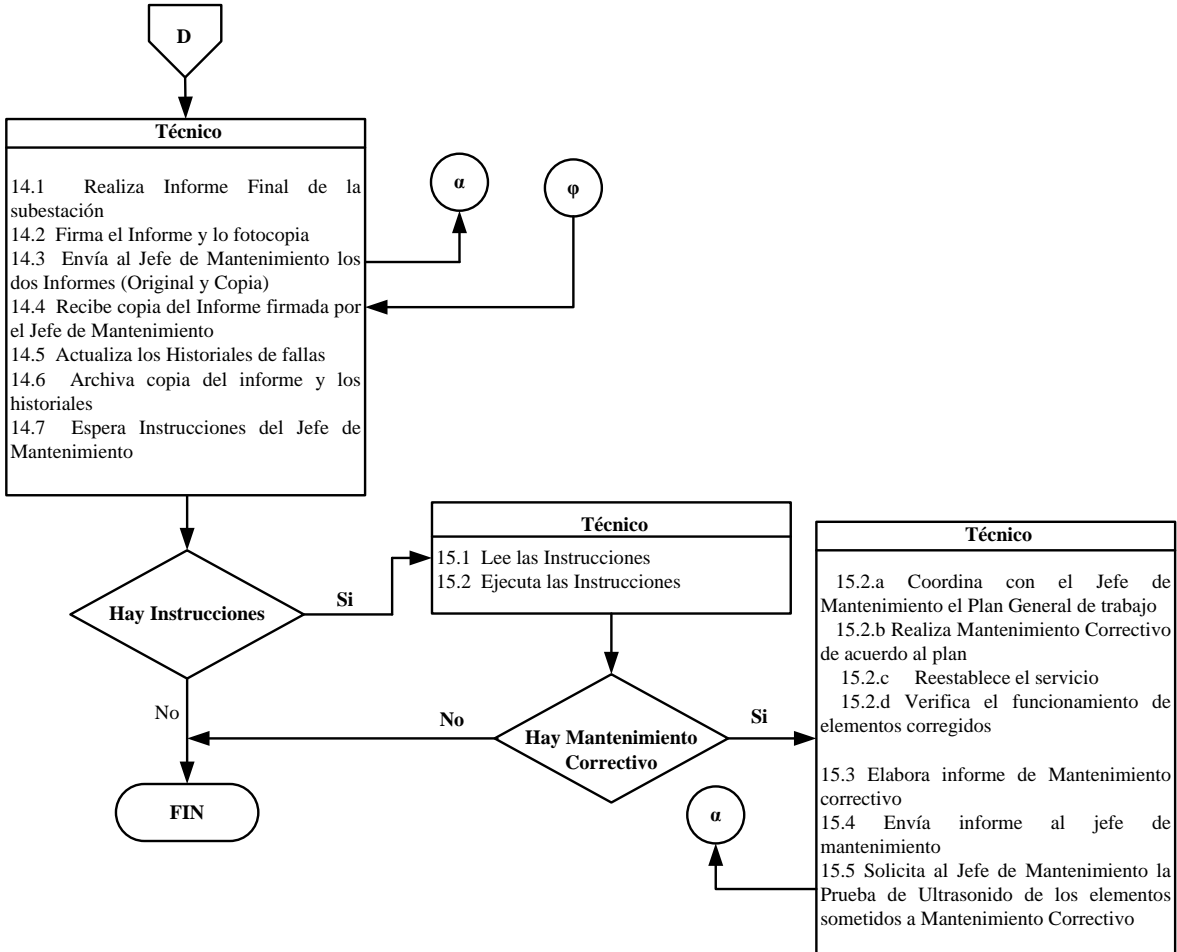
 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>	Pág. 62 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>Pasos</b>	<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>			
15	Técnico	15.2.c Reestablece el servicio 15.2.d Verifica el funcionamiento de los elementos corregidos 15.3 Elabora informe de Mantenimiento correctivo 15.4 Envía informe al jefe de mantenimiento 15.5 Solicita al Jefe de Mantenimiento la Prueba de Ultrasonido de los elementos sometidos a Mantenimiento Correctivo →(Paso 1) <b>¿Si no hay Mantenimiento Correctivo? → (Paso 16)</b>			
16	<b>FIN DEL PROCEDIMIENTO</b>				
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




<b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	CODIFICACION	Pág. 64 de 72	
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 65 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 66 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	

 <b>Electricidad de Valencia</b>		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>FLUJOGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 67 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 68 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Angulo de Medición:</b> Es aquel ángulo relativo entre el objetivo analizado y el equipo de medición empleado.</p> <p><b>Arco Eléctrico:</b> Un arco eléctrico, ocurre cuando la electricidad fluye o viaja a través del espacio, el arco que se forma cuando una protección de sobrecorriente se abre o cuando ocurre una descarga atmosférica visualizándose un rayo.</p> <p><b>Cámara Termográfica:</b> Es un equipo que se utiliza para obtener las imágenes termográficas de los objetivos analizados, opera en el rango infrarrojo, es decir, de la radiación térmica de un cuerpo.</p> <p><b>Campo:</b> Es la parte del rango de temperatura que estamos utilizando. Otra forma de llamarle es "contraste térmico".</p> <p><b>Control:</b> Es la evaluación y medición de la ejecución de los planes con el fin de detectar y prever desviaciones, para establecer las medidas correctivas necesarias.</p> <p><b>Diagrama Trifilar:</b> Son representaciones de todas las partes que componen a un sistema de potencia de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr una visualización completa del sistema, mostrando las tres fases.</p> <p><b>Diagrama Unifilar:</b> Son representaciones de todas las partes que componen a un sistema de potencia de modo gráfico, completo, tomando en cuenta las conexiones que hay entre ellos, para lograr una visualización completa del sistema de la forma sencilla en una sola fase.</p> <p><b>Distribución:</b> La red de distribución de la energía eléctrica es una parte del sistema de suministro eléctrico, a cargo de las compañías distribuidoras de electricidad.</p> <p><b>Efecto Corona:</b> Es un fenómeno causado por la ionización del aire circundante al conductor debido a los altos niveles de tensión, y al campo magnético de las líneas, ocurre cuando las moléculas de aire se ionizan, éstas son capaces de conducir la corriente eléctrica y parte los electrones que circulan por la línea pasan a circular por el aire. Tal circulación producirá un incremento de temperatura en el gas, que se tornará de un color rojizo para niveles bajos de temperatura, o azulado para niveles altos.</p> <p><b>Emisividad:</b> Se denota con la letra (<math>\epsilon</math>), y es un número adimensional relacionado con la capacidad de un objeto real para irradiar energía térmica, como si éste fuera un cuerpo negro.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	




		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		<b>Pág. 69 de 72</b>
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Enfoque:</b> Es el proceso a través del cual se ajusta el lente de la cámara termográfica para obtener la imagen más nítida posible del objetivo observado.</p> <p><b>Flashcard:</b> Es un sistema de almacenamiento informático para dispositivos electrónicos portátiles como cámaras digitales, en forma de tarjeta de memoria.</p> <p><b>Flujograma:</b> Es la representación grafica de los procedimientos mediante el uso de figuras geométricas sencillas, asociadas a cada paso de los procedimientos.</p> <p><b>Formato:</b> Es una manera particular de codificar información para almacenarla en un archivo informático, o en papel.</p> <p><b>Grado de Severidad:</b> Es un indicador basado en criterios confiables, para establecer el nivel de deterioro en equipos, dispositivos o elementos, causados por fallas eléctricas.</p> <p><b>Historiales de Fallas:</b> Reportes de la ocurrencia de fallas indicando sus características descriptivas.</p> <p><b>Humedad Relativa:</b> La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.</p> <p><b>Informes:</b> Es el documento caracterizado por contener información u otra materia reflejando el resultado de una investigación adaptado al contexto de una situación dada.</p> <p><b>Isoterma:</b> Es una función para medir temperatura que tienen algunas cámaras termográficas, la isoterma sustituye algunos colores de la escala de la cámara, por otros de elevado contraste; de esta forma marca un intervalo de igual temperatura aparente.</p> <p><b>Manual:</b> Es el documento que contiene la descripción de actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa, o de dos o mas de ellas.</p> <p><b>Mantenimiento Correctivo:</b> El termino “mantenimiento correctivo” es sinónimo de “reparación”. Esto no quiere decir que no pueda existir este tipo de intervenciones, de hecho el fin último de todo tipo de mantenimiento es reparar o sustituir componentes dañados, con la finalidad de alargar la vida útil del equipo o elemento en cuestión.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	







Capítulo V. La Propuesta

 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		<b>Pág. 70 de 72</b>
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Mantenimiento Predictivo:</b> Se puede definirse como un tipo de mantenimiento que se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la falla, o al momento en que el equipo, máquina o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas.</p> <p><b>Mantenimiento Preventivo:</b> El mantenimiento preventivo o programado, se basa en la sustitución de componentes cuando suponemos de manera teórica que se ha agotado la vida útil de los mismos.</p> <p><b>Medidor Puntual:</b> Es una función de medida de los equipos de medición termográfica, que se usan para apuntar o enfocar la medida realizada, en algún punto particular del objetivo observado.</p> <p><b>Metodología:</b> Se refiere a los métodos de investigación que se siguen para alcanzar una gama de objetivos en un área de interés.</p> <p><b>Nivel:</b> Es el punto medio del campo. Otra forma de entender el nivel es como el "brillo térmico".</p> <p><b>Normas:</b> Son reglas de cumplimiento obligatorio, que se establecen con la finalidad de hacer cumplir las políticas de la empresa.</p> <p><b>Normas ISO 9001 (2.000):</b> Son normas de calidad establecidas por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) que se pueden aplicar en cualquier tipo de organización. Se componen de estándares y guías relacionados con sistemas de gestión y de herramientas específicas como los métodos de auditorias.</p> <p><b>Organigrama:</b> Un organigrama es la representación gráfica de la estructura organizativa de una empresa u organización. El organigrama es un modelo abstracto y sistemático, que permite obtener una idea uniforme acerca de la estructura formal de una organización.</p> <p><b>Orden de Trabajo:</b> La orden de trabajo es un documento que sirve para coordinar y autorizar la realización de un trabajo de manera organizada y llevar a cabo una acción inteligente de tal forma que sea funcional y precisa.</p> <p><b>Patrones Ultrasónicos:</b> Son modelos de señales características del espectro ultrasónico asociados a algunas fallas o anomalías específicas.</p> <p><b>Planificar:</b> Proceso de establecer metas y cursos de acción para alcanzar esas metas.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 71 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Proceso:</b> Es un conjunto de actividades o eventos que se realizan o suceden con un determinado fin. Este término tiene significados diferentes según la rama de la ciencia o la técnica en que se utilice.</p> <p><b>Procedimientos:</b> Descripción de las actividades que deben seguirse en la realización de las funciones de una unidad administrativa, establecen el orden sistemático y la secuencia de actividades que deben seguirse en la realización de un trabajo.</p> <p><b>Punto de Alto Contraste:</b> Son puntos donde las imágenes térmicas presentan cambios significativos respecto a una temperatura de referencia que se traduce en un cambio en la tonalidad de los colores o de los tonos de gris de las imágenes observadas.</p> <p><b>Radiación Térmica:</b> Es una forma de radiación electromagnética. Los cuerpos emiten radiación térmica como consecuencia de su temperatura. Puesto que todos los objetos tienen una temperatura, todos emiten radiación térmica. A mayor temperatura, mayor cantidad de radiación térmica será emitida.</p> <p><b>Sistema:</b> Conjunto ordenado de normas y procedimientos a seguir dentro de una organización, rutinas y procesos por los cuales el trabajo debe ser realizado, especialmente cuando diferentes componentes deben juntarse y coordinarse.</p> <p><b>Subestaciones:</b> Son instalaciones eléctricas usadas para la transformación de la tensión de la energía eléctrica. Las subestaciones eléctricas elevadoras se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para aumentar la tensión de salida de sus generadores. Cerca de las poblaciones y de los consumidores, se encuentran las subestaciones eléctricas reductoras que reducen el nivel de tensión para que sea apto para el uso de medianos consumidores.</p> <p><b>Termografía Cualitativa:</b> Es una técnica que se basa en el análisis de la imagen térmica para revelar y localizar la existencia de anomalías, y evaluarlas.</p> <p><b>Termografía Cuantitativa:</b> Es una técnica que utiliza la medida de temperatura como criterio para determinar la gravedad de un problema, y así establecer la prioridad de su reparación.</p> <p><b>Termografía Infrarroja:</b> Es la ciencia de adquisición y análisis de la imágenes térmicas obtenida mediante los dispositivos de adquisición a distancia.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



 Electricidad de Valencia		<b>NORMAS, PROCEDIMIENTOS Y POLÍTICAS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROCESO</b>		<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES</b>			
<b>ASUNTO</b>		<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>			
<b>FECHA DE VIGENCIA</b>	12-2008	<b>REV. Nº</b>	<b>CODIFICACION</b>		Pág. 72 de 72
<b>AREA RESPONSABLE: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES</b>					
<p><b>Termograma:</b> Se refiere a cada píxel de imagen se le asocia un color o nivel de gris, el cual representará una imagen de temperatura dada, de acuerdo a una escala predeterminada.</p> <p><b>Temperatura Ambiente:</b> Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor, por lo general un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. Físicamente es una magnitud escalar dada por una función creciente del grado de agitación de las partículas de los materiales. A mayor agitación, mayor temperatura.</p> <p><b>Temperatura Aparente Reflejada:</b> Es la temperatura que refleja el objeto observado hacia el medio que lo rodea, en forma de radiación térmica.</p> <p><b>Tiempo Total de Interrupciones (T.T.I):</b> Es un indicador de confiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica, mientras este parámetro sea menor, el sistema es más confiable.</p> <p><b>Termómetro Infrarrojo:</b> Es un equipo de medición de temperatura que emplea la radiación infrarroja que desprende el objeto observado y la traduce en su temperatura correspondiente, la cual expresa en grados centígrados o Fahrenheit.</p> <p><b>Tracking:</b> Conocido también como "pequeño arco", no es más que una corriente buscando o siguiendo la ruta de menor resistencia a través de fallas en el aislamiento de un conductor</p> <p><b>Ultrasonido:</b> Son ondas sonoras con frecuencias mayores a las percibidas por el oído humano, es decir, a frecuencias superiores a los 16 Khz, aproximadamente.</p> <p><b>Valor Delta T:</b> Es una medida de diferencia de temperaturas entre la temperatura actual del componente bajo observación, y alguna temperatura de referencia, se utiliza para determinar cuánto se aleja una anomalía del valor "normal". A esto se le llama medida cuantitativa, comparativa.</p> <p><b>Variación Lineal de Temperatura:</b> Es una función de medida de las cámaras termográficas que muestra la curva de temperatura en una línea trazada sobre la imagen. En las cámaras sólo puede ser visualizada en dirección vertical u horizontal.</p>					
<b>ELABORADO POR:</b>		<b>REVISADO POR:</b>		<b>AUTORIZADO POR:</b>	
Fecha:		Fecha:		Fecha:	



---

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## CONCLUSIONES

Luego de culminar el presente *Trabajo Especial de Grado*, es oportuno señalar que en el mismo se elaboró una propuesta en el Capítulo V, por parte de los autores, la cual consiste en un manual de normas y procedimientos, orientado a la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido, como herramienta sistemática que le permita al personal que labora en la unidad de mantenimiento de subestaciones de la empresa *Electricidad de Valencia*, disponer de una metodología estructurada que garantice la confiabilidad, eficiencia y eficacia en la aplicación y análisis de los resultados obtenidos mediante las técnicas antes señaladas.

Por otro lado, los autores desean resaltar que mientras se sigan los lineamientos claramente establecidos y explicados con detalles en el capítulo III del manual propuesto, se garantiza la confiabilidad de los resultados que arrojen las pruebas realizadas, a los diferentes equipos o elementos bajo estudio presentes en las subestaciones designadas, empleando las técnicas de la termografía y el ultrasonido.

Debido a las diferencias que se presentan comúnmente entre la teoría y la práctica, es preciso validar a través del tiempo el procedimiento propuesto y someterlo a pruebas o ensayos; de tal manera que se puedan mejorar las rutinas de mantenimiento existentes en la empresa; esto significa, que el procedimiento deberá experimentar cambios continuos y no debe ser concebido como un ente absoluto y mucho menos perfecto, entendiendo que los cambios naturales y evolutivos forman parte del mantenimiento en su esencia.

También es importante señalar que para los transformadores en general, (de potencia, transformadores de tensión y de corriente), la termografía permite detectar fallas incipientes sólo en los elementos y accesorios externos a los referidos equipos, (Bushing, conductores y conectores); ya que en el interior de los mismos la termografía revela un análisis térmico muy difuso y por lo tanto, no es preciso ni concluyente a la hora de diagnosticar fallas internas; para



## *Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones*

ello se recurre a técnicas de análisis más especializadas como la cromatografía de gases, análisis y medición de vibraciones, análisis del aceite, entre otras; sin embargo, la técnica del ultrasonido si puede revelar síntomas importantes de fallas incipientes o evolutivas que ocurran en el interior de los mismos.

La técnica del ultrasonido se sugiere como complementaria a la termografía, porque permite despejar dudas que puedan surgir con la termografía, sobre todo en el caso de conectores flojos o falsos contactos, en la unión de dos o más conectores de diferentes equipos o elementos, entre otros casos, que bajo ciertas condiciones pudieran registrar niveles térmicos normales, cuando en realidad están en condición de falla.

Finalmente, los autores pretenden dejar claro que la termografía infrarroja y el ultrasonido representan dos técnicas de mantenimiento predictivo que están apoyadas sobre una extensa y compleja teoría, asociada a fenómenos físicos que no pueden ser visualizados o percibidos directamente por los sentidos humanos de la visión y la audición; lo cual supone un verdadero reto, tanto para quien realiza las pruebas como para quien analiza los resultados; ya que se deben considerar estos fenómenos imperceptibles de manera indirecta, y lo más objetivamente posible y es aquí precisamente, donde el procedimiento aplicado adquiere un gran valor.

## RECOMENDACIONES

En virtud de contribuir al mejoramiento continuo tanto del personal técnico, como de la empresa *Electricidad de Valencia*, los autores del presente *Trabajo Especial de Grado*, desean compartir las experiencias adquiridas a lo largo de la investigación realizada; aprovechando la oportunidad que se presenta para sugerir las siguientes recomendaciones, con la esperanza de que puedan ser de utilidad en el futuro.

Antes de realizar cualquier prueba de termografía o de ultrasonido en subestaciones, es muy importante que se cumpla con lo siguiente:

- Al momento de realizar las pruebas de termografía y ultrasonido en subestaciones, se recomienda al personal técnico respetar las normas de seguridad vigentes en la empresa para evitar accidentes que pongan bajo riesgo su vida; también deben respetar las distancias mínimas de aproximación a elementos energizados, dependiendo de los niveles de tensión considerados en las diferentes subestaciones y evitar absolutamente, el contacto físico con cualquier equipo, dispositivo o elemento presente en la subestación; además, deben disponer de todos los implementos de seguridad como cascos y botas dieléctricas en buen estado.
- La prueba de termografía deben realizarla por lo menos dos (2) técnicos, no es recomendable que las realice una sola persona, ya que el uso de equipos termográficos requiere de mantener la concentración en las pruebas y algunos equipos requieren la visualización directa a través de un visor; esto trae como consecuencia que se pierda momentáneamente el sentido de ubicación espacial; lo cual supone un alto riesgo al pretender estar sólo en las subestaciones operativas; por el contrario, estando dos personas uno vigila la ubicación del otro, garantizando la seguridad de ambos.



## Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

- La prueba de ultrasonido, requiere de un análisis más visual que auditivo; para ello se recomienda emplear un software que permita comparar los espectros de patrones ultrasónicos de fallas características, (como en el caso del efecto corona, tracking o arco eléctrico), con los espectros de los ultrasonidos detectados con equipos especializados, (preferiblemente de alta sensibilidad); de este modo se evitan las ambigüedades en el diagnóstico causadas por un exceso de confianza en los sonidos percibidos; existen ultrasonidos que pueden confundir al oído humano, pero no a los analizadores de espectros ultrasónicos.
- Se recomienda a la empresa tramitar la certificación a los técnicos que realicen las pruebas de termografía y ultrasonido; dicha credencial es expedida por empresas especializadas de reconocida trayectoria, a fin de reducir los errores en la inspección, detección, diagnóstico y análisis de fallas; y al mismo tiempo mejorar la confiabilidad de las pruebas realizadas.
- El procedimiento elaborado en el presente *Trabajo Especial de Grado*, constituye una herramienta sistematizada; por lo tanto, se recomienda a la empresa *Electricidad de Valencia*, expandirlo a otras áreas de aplicación de la unidad de mantenimiento de la empresa, como son las líneas de transmisión o las plantas de generación; a fin de desarrollar un sistema integral de mantenimiento y no supeditarlos solamente a las subestaciones.
- El manual propuesto es solo una parte de un conjunto de líneas de investigación que están en crecimiento y vale la pena abordar; se recomienda a los futuros profesionales de la ingeniería eléctrica que asuman el reto de continuar realizando aportes al mantenimiento predictivo, que cada día cobra más importancia; sobre todo en lo relativo al desarrollo de patrones térmicos de los diferentes equipos y elementos presentes en las subestaciones, con el propósito de encontrar los modelos físicos y matemáticos que representen el comportamiento térmico de cada uno de los equipos y elementos estudiados para lograr el mantenimiento predictivo cuantitativamente.





# BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS



## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Torres Pedro, *“Metodología Recomendada en el Análisis Predictivo y Preventivo de Equipos Eléctricos Industriales Mediante el uso de Termografía por Imágenes.”*, Universidad de Carabobo, Valencia-Venezuela, año 2001.
- [2] Dávila Carmen y Jiménez Raúl, *“Metodología Recomendada en el Análisis Predictivo y Preventivo de Equipos Eléctricos industriales mediante el uso de ultrasonido”*, Universidad de Carabobo, Valencia-Venezuela, año 2002.
- [3] Torres H, Cesar, *“Análisis de Imágenes Infrarrojas: Inspección de Cableado Eléctrico”*. Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, Tonantzintla, Puebla, año1998, Consultado el 10 de enero de 2007. Tomado de la red mundial:  
<http://ccc.inaoep.mx/~labvision/tesis/Analisis%20de%20imagenes%20infrarrojas%20inspeccion%20de%20cableado%20electrico%20-%20Torres.pdf>
- [4] Alpízar Villegas, Emilio, *“Capítulo 5. Mantenimiento”*, Consultado el 25 de Enero de 2007. Tomado de la red mundial:  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual4/cap5.pdf>
- [5] KAY ELECTRIC C.A, *“Técnicas de Mantenimiento y Pruebas en Equipos Eléctricos Industriales”*.
- [6] Monografías.com, *“Mantenimiento y Seguridad Industrial”*, Consultado el 05 de febrero de 2007. Tomado de la red mundial:  
<http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial/mantenimiento-industrial.shtml>



- [7] Ordóñez G, Antonio, “*Introducción al Mantenimiento Predictivo*”, Universidad de Sevilla – Escuela Universitaria Politécnica, Consultado el 15 de febrero de 2007. Tomado en red mundial: [http://www.aloj.us.es/optico/notas\\_tecnicas/Notas\\_Tecnicas\\_pdf/Introduccion\\_Mantenimiento\\_Predictivo.pdf](http://www.aloj.us.es/optico/notas_tecnicas/Notas_Tecnicas_pdf/Introduccion_Mantenimiento_Predictivo.pdf)
- [8] Antara Ronald, “*Mantenimiento Predictivo de Generadores Eléctricos*”, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú, Diciembre 2000, Consultado el 20 de febrero de 2007. Tomado en red mundial: <http://fiec.uni.edu.pe/838008D/home.htm>
- [9] User’s Manual ThermaCAM<sup>TM</sup> Reporter, Versión 8.2, Publ N°: 1558573, Rev a 236-ENGLISH (EN) - August 1, 2007, Consultado el 15 de enero de 2007. Tomado en red mundial: [http://www.alpine-components.co.uk/files/pdfs/manuals/software/flir/ThermaCAM\\_Reporter-8-Manual.pdf](http://www.alpine-components.co.uk/files/pdfs/manuals/software/flir/ThermaCAM_Reporter-8-Manual.pdf)
- [10] G. C. M. Meijer and A. W. Hearwaarden, “*Thermal Sensors*”, Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia, 1994.
- [11] Gary L. Orlove, “*Infrared Imaging and Radiometry. Optical Inspection and Testing*”, Critical Reviews, Vol. CR46.
- [12] SI Termografía Infrarroja, “*Fundamento de Transmisión de Calor y Termografía Infrarroja*”, Consultado el 04 de marzo de 2007. Tomado de la red mundial: <http://www.termografia.com/paginas/aplicaciones/teoria.htm>
- [13] Thomas D. McGee, “*Principles and Methods of Temperature Measurements*”, John Wiley & Sons, 1988.



## Bibliografía y Referencias

---

- [14] Wiely D. H. Van Groningen, G. F. Vermeij, "*Geometric Reconstruction of Buried Heat Sources from a Surface Thermogram*", IEEE Transactions on Pattern. Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAIVII-7, No. 5, September. 1985.
- [15] Peter S. Kealy and Simon J. Hook, "*Separating Temperature and Emissivity in Thermal Infrared Multispectral Scanner Data: Implications for Recovering Land Surface Temperatures*", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 31, No. 6, November 1993.
- [16] S.A. Hovanessian, "*Introduction to Sensor Systems*", Artech House, 1988.
- [17] Jacob Fraden, "*AIP Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs and Applications*", MP Press, New York, 1993.
- [18] Grupo CONDUMEX, "*Manual Técnico: Selección de Cables de Energía*", 1995.
- [19] Fred P. Sutton, "*Manual: Infrared Inspection Programs for Predictive Maintenance*", Thermal Vision, 1995.
- [20] Mike Lloyd, "*Thermal Imaging Systems*", Plenum Press, New York, 1975.
- [21] Solomantenimiento, "*Termografía y Termovisión en Mantenimiento. Uso de Cámaras Termográficas en el Mantenimiento Preventivo*", Consultado el 15 de marzo de 2007. Tomado en red mundial:  
<http://www.solomantenimiento.com/m-termografia.htm>
- [22] D. Ensminger, *Ultrasonics Fundamentals, technology, Applications*, Basel, New York, 1988



## Bibliografía y Referencias

- [23] B. Brown and D. Gordon, *Ultrasonic Techniques in Biology and Medicine* , Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, 1967.
- [24] D. Gordon, *Ultrasound as Diagnostic and Surgical Tool* , Williams & Wilkins, Baltimore, 1964.
- [25] J. M. Vant Went, *Ultrasonic and Ultrashort Waves in Medicine* , Elsevier, Amsterdam, 1954.
- [26] Filipezynski, Z. and J. wehr, *Ultrasonic Methods of Testing Materials*, Baltimore, 1969
- [27] Blitz M. Jack, *Ultrasonics Fundamentals*”, Sc. F. Inst. P, 1970
- [28] EFECTO CORONA, Consultado 20 de Marzo de 2007. Tomado de la red Mundial:  
<http://bacterio.uc3m.es/docencia/profesores/herreros/itts/ficheros/Corona.pdf>
- [29] Andrade R. Marcos, Liptching Ariel y Gomez M. Eugenia. “*Detección de Efecto Corona en Aislamientos de Media y Alta tensión*”. Montevideo- Uruguay, 2005.
- [30] EQUIPO DE PRUEBAS, Consultado 25 de Marzo de 2007. Tomado de la red Mundial:  
<http://www.equipo-de-pruebas.com/Efecto%20Corona.pdf>
- [31] Funke Ingenieros, “*Análisis en Sistemas Eléctricos*”, Consultado 22 de Marzo de 2007. Tomado de la red Mundial:  
[http://www.funken.com.mx/activosfunken\\_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf](http://www.funken.com.mx/activosfunken_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf)
- [32] Power News Vol 2 No. 5 - Octubre de 2002, Consultado 28 de Marzo de 2007. Tomado de la red Mundial:  
<http://www.esidecolombia.com/archivospdf/powernews5.pdf>



- [33] Ananta Soluciones Industriales, “*Inspección Eléctrica Ultrasonido*”, Consultado 11 de Marzo de 2007. Tomado de la red Mundial:  
<http://www.ananta.es/InspeccionElectricaUltrasonidos.pdf>
- [34] Hernández, Fernández y Baptista P., “*Metodología de la Investigación*”, México, 2003, Editorial Oasis.
- [35] UPEL, “*Manual de Trabajos Especial de Grado y Maestrías y Tesis Doctorales*” Caracas, 2001.
- [36] Hernández-Sampieri, R. y Otros, “*Metodología de la Investigación*”, México, 1998, Editorial Mc-Graw Hill.
- [37] Tamayo y Tamayo, M., “*El Proceso de la Investigación Científica*”, México, 2001, Limusa Noriega Editores.
- [38] Sierra, E., “*Introducción a la metodología de la investigación*”, La Habana, 1995, Editorial de ciencias médicas
- [39] G. Alberto y Servat A., “*Manual para Documentar Sistemas de Calidad*”, México, 1999, Editorial. Prentice Hall.



# ANEXOS



# ANEXOS “A”



**ANEXO A.1**

**Tabla 1. Emitancias de materiales comunes**

Cobre - pulido	0.02	Plomo – gris	0.28	Ladrillo-áspero rojizo	0.90
Oro - pulido	0.02	Concreto	0.54	Madera - rugosa	0.9
Aluminio pulido	0.05	Bronce - poroso	0.55	Papel - negro brillante	0.9
Latón - pulido	0.03	Acero - laminado	0.56	Papel - blanco	0.9
Estaño - brillante	0.05	Plomo -oxidado	0.63	Arcilla	0.91
Níquel - en hierro moldeado	0.05	Cobre - oxidado	0.65	Resma - negra	0.91
Níquel puro - pulido	0.05	Acero - oxidado rojizo	0.69	Papel alquitrán	0.92
Tungsteno	0.05	Hierro - oxidado	0.74	Porcelana – barnizada	0.92
Aluminio áspero	0.07	Tela - asbesto	0.78	Cuarzo	0.93
Cobre - brillante	0.07	Nieve	0.8	Laca - coloreada	0.93
Platino – pulido	0.08	Carbón - puro	0.81	Plomo - polvo rojo	0.93
Plomo - brillante	0.08	Hierro moldeado-áspero	0.81	Ladrillo – mamposteria	0.94
Cromo - pulido	0.10	Resma - brillante en metal	0.82	Papel - negro opaco	0.94
Bronce - pulido	0.10	Hierro - laminado	0.83	Pintura de aceite	0.94
Mercurio –puro	0.10	Ladrillo - áspero vidrioso	0.85	Papel asbesto	0.94
Acero - hoja de níquel	0.11	Ladrillo - arcilla	0.85	Caucho	0.95
Hierro-grabado brillante	0.16	Madera - suavizada	0.85	Pizarra - asbesto	0.96
Hoja – zinc	0.2	Yeso	0.85	Carbón vegetal - polvo	0.96
Hierro moldeado – pulido	0.21	Laca – negro brillante	0.87	Acero - Superficie Áspera	0.96
Latón - opaco	0.22	Laca - blanca	0.87	Barra deasbesto	0.96
Acero - laminado	0.24	Acero – muy oxidado	0.88	Hielo	0.97
Aluminio oxidado	0.25	Cobre – muy oxidado	0.88	Laca - negro mate	0.97
Acero - galvanizado	0.28	Cobre – muy oxidado	0.88	Piel humana	0.97
Hierro - galvanizado	0.28	Esmalte	0.9	Polvo de grafito	0.97
Hierro - pulido grabado	0.28	Esmalte - brillante	0.9	Agua	0.98

Fuente: Infrared Training Center (ITC)

**ANEXO A.2**

**Tabla 1. Estándares utilizados en la inspección de equipo eléctrico**

	<b>USN</b>	<b>NETA</b>	<b>NMAC</b>	<b>HSB</b>			
Reparación recomendable	10-24 °C sobre el ambiente	Investigar	1-3 °C sobre normal	Aconsejable	5-8 °C sobre normal	Advertencia	5-1°C sobre normal
Reparación importante	25-39 °C sobre el ambiente	Deficiencia	4-15 °C sobre normal	Intermedio	9-28°C sobre normal	Alerta	11-20 °C sobre normal
Reparación obligatoria	40-69 °C sobre el ambiente	NA	NA	Serio	29-56 °C sobre normal	Alarma	21-40 °C sobre normal
Reparación inmediata	70 °C+ sobre el ambiente	Primordial	16 °C+ sobre normal	Critico	56°C+ sobre normal	Peligro	41 °C+ sobre normal

Fuente: USN, NETA, NMAC, HSB

NA= No Aplicable

Los acrónimos utilizados en esta tabla son los siguientes:

**USN:** United States Navy.

**NETA:** International Electrical Testing Association.

**NMAC:** Nuclear Maintenance Applications Center.

**HSB:** The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company.



# ANEXOS “B”



## ANEXO B.1 CUESTIONARIO

1. ¿Conoce usted lo que es un Manual de Normas y Procedimientos?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
2. ¿Considera que el diseño de un Manual de Normas y Procedimientos para realizar el mantenimiento predictivo en las subestaciones de la empresa, apoyado en un conjunto de pruebas piloto, mejoraría el funcionamiento de la Unidad de Mantenimiento?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
3. ¿La adopción de normas y procedimientos para realizar la termografía y el ultrasonido con el aval de la Unidad de Mantenimiento de la empresa garantiza el cumplimiento de los mismos?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
4. ¿La Unidad de Mantenimiento de la empresa cuenta con formatos que permitan registrar la información (obtenida mediante la termografía y el ultrasonido), sobre la ocurrencia de fallas incipientes en forma oportuna y faciliten su ubicación?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
5. ¿Cree usted que la carencia de un Manual de Normas y Procedimientos para realizar el mantenimiento predictivo en subestaciones afecte las labores de mantenimiento en las mismas?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
6. ¿Se le entrega al Jefe de Mantenimiento algún informe o reporte mensual, sobre la realización de las jornadas de mantenimiento predictivo en las subestaciones de la empresa?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
7. ¿Los informes, registros o reportes de fallas, se elaboran justificadamente con todos sus soportes?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
8. ¿Los Historiales, Archivos o Registros de fallas se actualizan regularmente?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
9. ¿Se efectúan cruces datos, (parámetros o indicadores), relativos a las fallas semanalmente?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_
10. ¿Se realizan estimaciones de costos ocasionados por fallas recurrentes, a pesar de ser sometidas a labores de mantenimiento predictivo, u otro tipo?  
SI\_\_\_\_ NO\_\_\_\_



**ANEXO B.2.**  
**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO**

Quien suscribe: Ing. Guillermo Ubieda. Cédula de Identidad: V- 2.122.800  
Tutor académico  
*Universidad de Carabobo*

***Hace constar lo siguiente:***

Como profesor universitario y tutor académico, he revisado el instrumento de recolección de datos de la investigación titulada: **“PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA.”**, realizado por los bachilleres: Ochoa José A. Cédula de identidad: 10.730.338 y Carmona J. Francisco. Cédula de identidad: 12.648.975.

Dicho instrumento consiste en un cuestionario que consta de diez (10) ÍTEMS, con respuestas de tipo dicotómicas. Este cuestionario fue comparado con el cuadro metodológico de operacionalización de variables presentado por los sustentantes a la par de los objetivos específicos de los investigadores. Una vez revisado se considera **"VALIDO"** el instrumento, con un rango de **"ELEVADO"**, según los resultados que se adjuntan a continuación.

En Valencia, a los diez (10) días del mes de Marzo del año dos mil ocho.

---

Ing. Guillermo Ubieda



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Quien suscribe: Ing. Luis E. Pereyra G. Cédula de Identidad: V- 15.979.025

Unidad de Mantenimiento de Subestaciones

*Electricidad de Valencia*

### *Hace constar lo siguiente:*

Como profesional de la Unidad de Mantenimiento en subestaciones, he revisado el instrumento de recolección de datos de la investigación titulada: **“PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA.”**, realizado por los bachilleres: Ochoa José A. Cédula de identidad: 10.730.338 y Carmona J. Francisco, Cédula de identidad: 12.648.975.

Dicho instrumento consiste en un cuestionario que consta de diez (10) ÍTEMS, con respuestas de tipo dicotómicas. Este cuestionario fue comparado con el cuadro metodológico de operacionalización de variables presentado por los sustentantes a la par de los objetivos específicos de los investigadores. Una vez revisado se considera **"VALIDO"** el instrumento, con un rango de **"ELEVADO"**, según los resultados que se adjuntan a continuación.

En Valencia, a los diez (10) días del mes de Marzo del año dos mil ocho.

---

Ing. Luis E. Pereyra G

## PRUEBA DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

Ingeniero: Guillermo Ubieda.

Bachilleres: José Ochoa y Francisco Carmona.

Título del Trabajo Especial de Grado: **“PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA.”**

### INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

ÍTEM	REDACCIÓN		PERTINENCIA		CORRESPONDENCIA		OBSERVACIONES
	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

### TABULACIÓN DE RESULTADOS

	REDACCIÓN		PERTINENCIA		CORRESPONDENCIA		Σ	%
	adecuado	inadecuado	Adecuado	inadecuado	adecuado	inadecuado		
Resultados								

Se requiere la opinión de 2 expertos para certificar el 100% de la validez

### RANGO DE VALIDEZ

90 – 100	Elevada
70 – 89	Aceptable
41 – 69	Regular
21 – 40	Baja
0 – 20	Muy Baja

## PRUEBA DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

Ingeniero: Luis E. Pereyra G.

Bachilleres: José Ochoa y Francisco Carmona.

Título del Trabajo Especial de Grado: **“PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SUBESTACIONES DE 115 / 34,5 / 13,8 kV, UTILIZANDO TÉCNICAS DE TERMOGRAFÍA Y ULTRASONIDO. CASO DE ESTUDIO. EMPRESA ELECTRICIDAD DE VALENCIA.”**

### INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

ÍTEM	REDACCIÓN		PERTINENCIA		CORRESPONDENCIA		OBSERVACIONES
	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

### TABULACIÓN DE RESULTADOS

	REDACCIÓN		PERTINENCIA		CORRESPONDENCIA		Σ	%
	adecuado	inadecuado	Adecuado	inadecuado	adecuado	inadecuado		
Resultados								
Se requiere la opinión de 2 expertos para certificar el 100% de la validez								

### RANGO DE VALIDEZ

90 – 100	Elevada
70 – 89	Aceptable
41 – 69	Regular
21 – 40	Baja
0 – 20	Muy Baja



### CUADRO TÉCNICO METODOLÓGICO

**Objetivo General:** Elaborar un procedimiento para la aplicación de las técnicas de termografía infrarroja y ultrasonido en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV, pertenecientes a la empresa. *Electricidad de Valencia* (ELEVVAL), que optimice las labores de mantenimiento predictivo de la empresa, usando los recursos disponibles en la misma.

Objetivos Específicos	Variables	Indicadores	Ítems	Instrumentos y/o Técnicas de Recolección
Analizar la aplicación de la termografía infrarroja y el ultrasonido como técnicas de mantenimiento predictivo de equipos, dispositivos o elementos presentes en las subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 / 13,8 kV.	Termografía y Ultrasonido	-Normas y procedimientos -Normas y Procedimientos de Termografía y Ultrasonido - Formatos utilizados - Reporte de mantenimiento predictivo en subestaciones - Informes, registros, soportes - Historiales y actualización - Cruces de datos - Costos estimados por fallas	1 3 4 6 7 8 9 10	Encuesta
Realizar un conjunto de pruebas piloto en algunas subestaciones pertenecientes a la empresa Electricidad de Valencia, para determinar a cuáles equipos, dispositivos o elementos bajo estudio, es más conveniente aplicarle la prueba de termografía infrarroja dependiendo de sus características funcionales.	Factibilidad operacional	-Funcionamiento de la Unidad de mantenimiento de Subestaciones de la empresa - Carencia de un Manual	2 5	Encuesta
Elaborar un procedimiento modelo generalizado, que permita la ejecución del mantenimiento predictivo en subestaciones con niveles de tensión de 115 / 34,5 y 13,8 kV.	Manual de Normas y Procedimientos	- Misión - Visión - Objetivos - Descripción de cargos - Normas y Procedimientos - Glosario - Anexos		Manual de Normas y Procedimientos

Fuente: Ochoa y Carmona. (2008)

### ANEXO B.3 CÁLCULO DE CONFIABILIDAD

**Tabla 1. Resumen estadístico del cuestionario**

Personas	ÍTEMS										Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>1</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	8
<b>2</b>	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	5
<b>3</b>	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	6
<b>4</b>	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	5
<b>5</b>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	6
<b>6</b>	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	5
<b>7</b>	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	6
<b>Sumatoria</b>	7	7	3	5	7	7	4	0	0	1	41
<b>Promedio</b>	1	1	0,429	0,714	1	1	0,571	0	0	0,143	5,714
<b>Desviación</b>	0	0	0,535	0,488	0	0	0,535	0	0	0,378	1,935
<b>Varianza</b>	0	0	0,286	0,238	0	0	0,286	0	0	0,143	0,81
<b>Varianza Total:</b>										<b>7</b>	
<b>Grado de Confiabilidad:</b>										<b>0,96</b>	

Fuente: Ochoa y Carmona (2008)

**Calculo tipo de la varianza para el ítem 3:**

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2 = \frac{1}{7}(1^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2) - 0,429^2 = 0,286$$

**Calculo tipo de la desviación para el ítem 3:**

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,286} = 0,535$$

**Calculo tipo de la sumatoria varianza de los ítems:**

$$\sum_{i=1}^n S_i^2 = (0 + 0 + 0,286 + 0,238 + 0 + 0 + 0,286 + 0 + 0 + 0) = 0,81$$

**Calculo tipo de la varianza total:**

$$S_T^2 = \sum_{i=1}^n (x_T - \bar{x}_T)^2 = (8 - 5,714)^2 + (5 - 5,714)^2 + (6 - 5,714)^2 + (5 - 7,14)^2 + (6 - 7,14)^2 + (5 - 7,14)^2 + (6 - 7,14)^2 = 7$$

**Calculo Tipo del Coeficiente Alfa-Cronbach:**

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{S^2 T} \right] = \frac{10}{10-1} \left[ 1 - \frac{0,81}{7} \right] = 0,96$$

Expresándolo en porcentajes se tiene:  $\alpha = 96 \%$

**Tabla2. Resultado del Cuestionario en Valores Absolutos**

ÍTEM	SI	NO	TOTAL
1	7	0	7
2	7	0	7
3	3	4	7
4	5	2	7
5	7	0	7
6	7	0	7
7	4	3	7
8	0	7	7
9	0	7	7
10	1	6	7

Fuente: Ochoa y Carmona (2008)



**Tabla 3. Resultado del Cuestionario en Valores Porcentuales**

<b>ÍTEM</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	100	0	100
<b>2</b>	100	0	100
<b>3</b>	42.86	57.14	100
<b>4</b>	71.43	28.57	100
<b>5</b>	100	0	100
<b>6</b>	100	0	100
<b>7</b>	57.14	42.86	100
<b>8</b>	0	100	100
<b>9</b>	0	100	100
<b>10</b>	14.29	85.71	100

Fuente: Ochoa y Carmona (2008)



# ANEXOS “C”



**ANEXO C2**

**Tabla 1. Distancia de Acercamiento para Empleados Calificados**

<b>Nivel de tensión</b>	<b>Distancia Recomendada [Cm]</b>
300 V o Menor	Evitar Contacto
Mayor de 300 V y Menor a 750 V	30,5
Mayor de 750 V y Menor que 2 kV	46
Mayor de 2 kV y Menor que 15 kV	61
Mayor de 15 kV y Menor que 37 kV	91
Mayor de 37 kV y Menor que 87,5 kV	107
Mayor de 87,5 kV y Menor que 121 kV	122
Mayor de 121 kV y Menor que 140 kV	137

Fuente: Infrared Training Center (ITC). 2006

**Tabla 2. Distancia Recomendada desde el Suelo a Líneas de Alto Voltaje**

<b>Voltaje Fase a Fase</b>	<b>Distancia Mínima [Pie]</b>
750 – 50.000	10
50.000 – 75.000	11
75.000 – 125.000	13
125.000 – 175.000	15
175.000 – 250.000	17
250.000 – 370.000	21
370.000 – 550.000	27
550.000 – 1.000.000	42

Fuente: Infrared Training Center (ITC). 2006

ANEXO C3

**Tabla 1. Directrices para inspección infrarroja de instalaciones de distribución eléctrica aéreas o subterráneas**

Instalación de Distribución	Incremento de Temperatura( $\Delta T$ )	Severidad/Comentario
Aérea	21 °C a 60 °C 37 °F a 108 °F	<b>Grado 2:</b> Medidas correctivas requeridas, de acuerdo a la planificación ó tan pronto como sea posible, dependiendo del tipo de caga distribuida y de la magnitud del incremento de temperatura dentro del rango mencionado.
	20 °C 25 °F a 36 °F	<b>Grado 3:</b> Medidas correctivas no requeridas. Deben ser registradas.
Subterráneas	Mayor de 61 °C Mayor de 190 °F	<b>Grado 1:</b> Medidas correctivas requeridas <u>INMEDIATAMENTE</u> .
	5 °C a 10 °C 8 °F a 18 °F	<b>Grado 2:</b> Medidas correctivas requeridas, de acuerdo a la planificación ó tan pronto como sea posible, dependiendo del tipo de caga distribuida y de la magnitud del incremento de temperatura dentro del rango mencionado.
	2 °C a 4 °C 5 °C a 7 °C	<b>Grado 3:</b> Medidas correctivas no requeridas. Deben ser registradas.
	Mayor de 11 °C Mayor de 19 °F	<b>Grado 1:</b> Medidas correctivas requeridas <u>INMEDIATAMENTE</u> .

Fuente: Infrared Training Center (ITC). 2006

**Nota:** ( $\Delta T$ : Es la diferencia de temperatura entre la temperatura de la instalación y la temperatura de referencia).



**Tabla 2. Incremento de temperatura del Delta T.**

<b>Severidad</b>	<b>Grados Fahrenheit. [° F]</b>	<b>Grados Centígrados [° C]</b>
<b>Menor</b>	18 a 36	10 a 20
<b>Seria</b>	37 a 89	21 a 49
<b>Crítica</b>	Por encima de 90	Por encima de 50

Fuente: Infrared Training Center (ITC). 2006

**Nota:**

**Menor:** Acción correctiva requerida si es posible.

**Seria:** Medida correctiva requerida tan pronto como sea posible.

**Crítica:** Corregir de inmediato.

**ANEXO C4**

**REPORTE DE INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA**

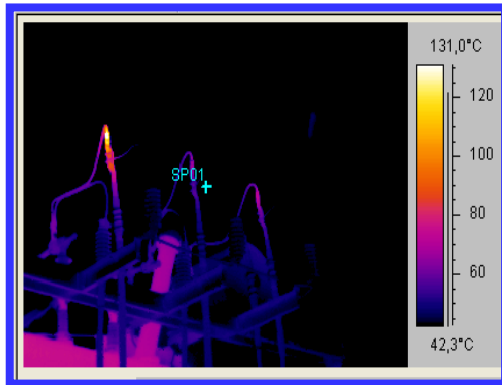


Electricidad de Valencia  
Unidad Negocios de Distribución  
Mantenimiento de Subestaciones

Técnico: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_  
Hora: \_\_\_\_\_

Parámetros	Ubicación
Emisividad:	Subestación:
Distancia:	Circuito:
Temperatura Ambiente:	Código:
Temperatura Reflejada:	Elemento:
Temperatura de Referencia:	Imagen N°:
Humedad Relativa:	Carga:
Nivel:	
Campo:	

**Imagen Termográfica**



**Imagen Real**



Grado de Severidad	Próxima Inspección
Normal:	Cada 6 Meses
Leve:	Cada 3 Meses
Grave:	Cada Mes
Crítica:	Menor a 15 días
Muy Crítica:	Corregir Inmediatamente
<b>Observación:</b>	
<b>Recomendación:</b>	

\_\_\_\_\_  
*Firma Técnico Responsable*

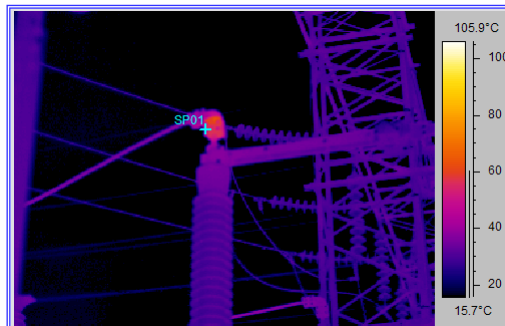


# ANEXOS “D”

## ANEXO D.1 TERMOGRAFÍA S/E CASTILLITO

 Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

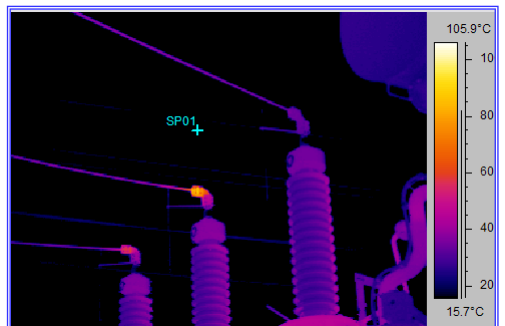
### Termografía S/E Castillito



**Fecha :** 30/07/2007  
**Hora:** 09:00  
**Ubicación :** S/E Castillito  
**Circuito :** H-205  
**Elemento :** Conexión en seccionador H-204  
**Temperatura :** 61 °C  
**Conclusión :** Punto Caliente LEVE  
**Observación :** Realizar seguimiento

 Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

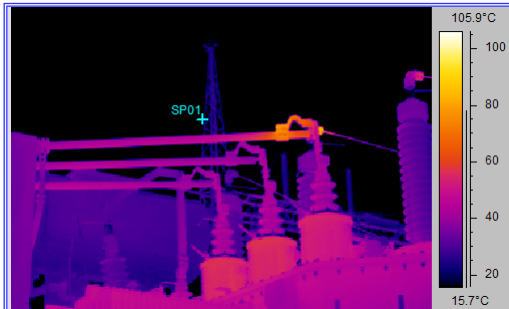
### Termografía S/E Castillito



**Fecha :** 30/07/2007  
**Hora:** 09:00  
**Ubicación :** S/E Castillito  
**Circuito :** TX,2  
**Elemento :** Conexión a bushing  
**Temperatura :** 87 °C  
**Conclusión :** Punto Caliente GRAVE  
**Observación :** Aplicar correctivo lo antes posible

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

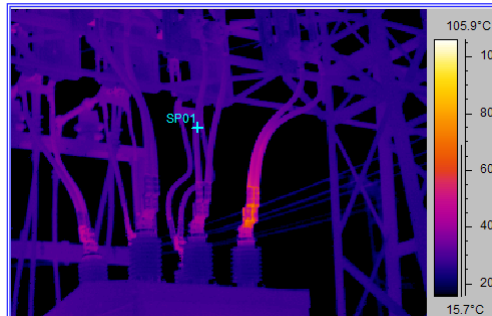
### Termografía S/E Castillito



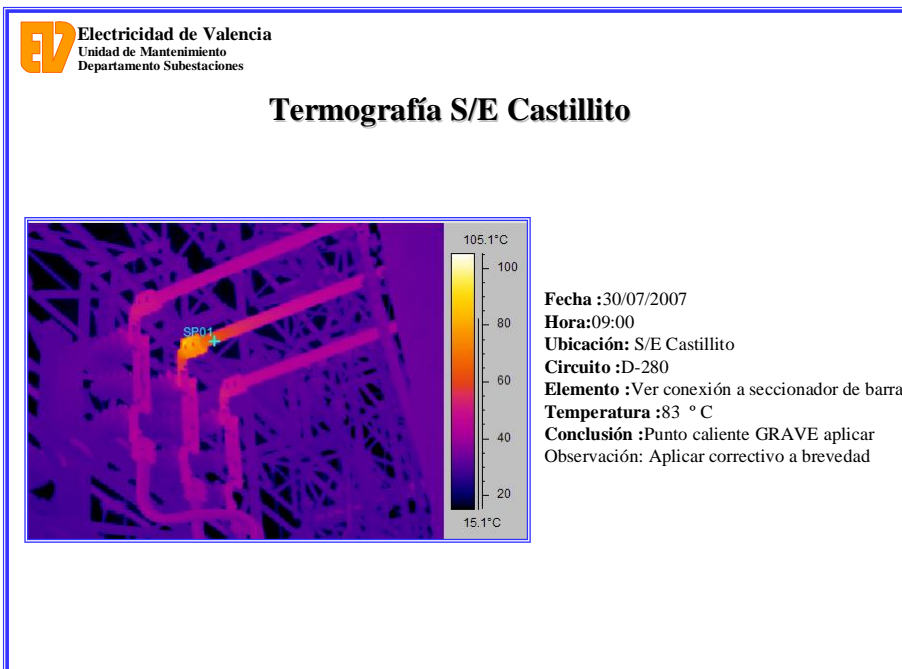
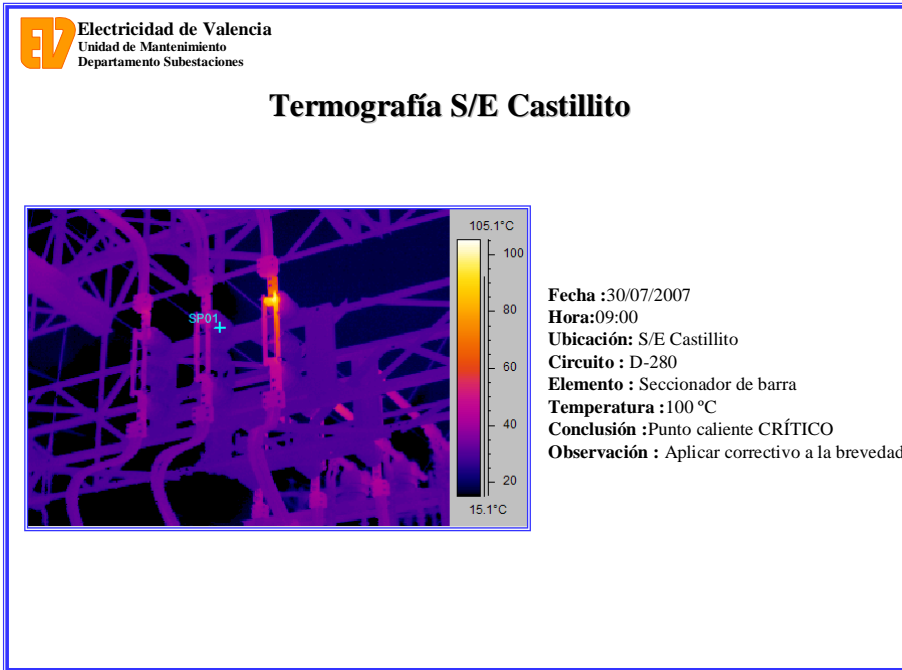
**Fecha :**30/07/2007  
**Hora:**09:00  
**Ubicación :**S/E Castillito  
**Circuito :**TX,2  
**Elemento :** Conexión a bushing de 13,8 KV.  
**Temperatura :** 83 °C  
**Conclusión :** Punto Caliente GRAVE  
**Observación :** Aplicar correctivo lo antes posible

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Castillito



**Fecha :**30/07/2007  
**Hora:** 09:00  
**Ubicación :** S/E Castillito  
**Circuito :** D-180  
**Elemento :** bushing del lado de la barra  
**Temperatura :** 70 °C  
**Conclusión :** Punto caliente GRAVE  
**Observación :** Aplicar correctivo lo antes posible

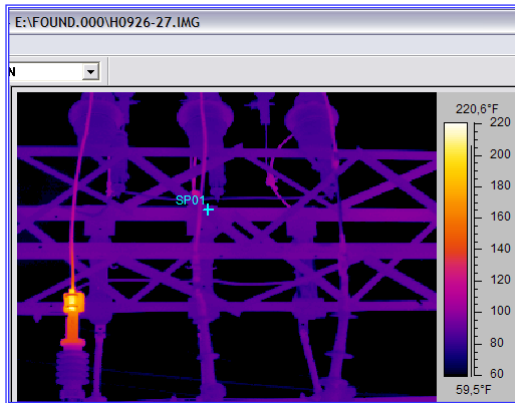


## ANEXO D.2

### TERMOGRAFÍA S/E PLANTA ESTE

Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

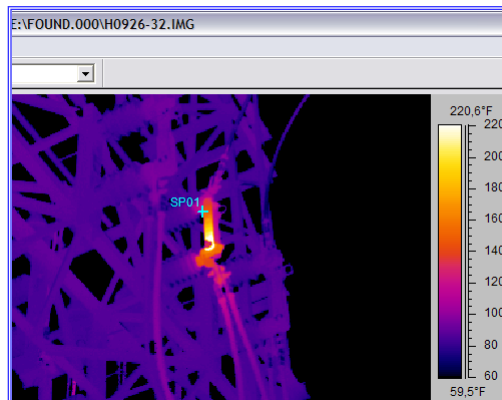
#### Termografía S/E Planta Este



**Fecha :** 26/09/2007  
**Hora:** 09:00  
**Ubicación:** S/E Planta Este  
**Circuito :** Salida No 6  
**Elemento :** Seccionador de línea copa terminal  
**Temperatura :** 205 ° C  
**Conclusión :** Punto Caliente CRITICO Realizar  
**Observación :** Realizar correctivo a la brevedad

Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

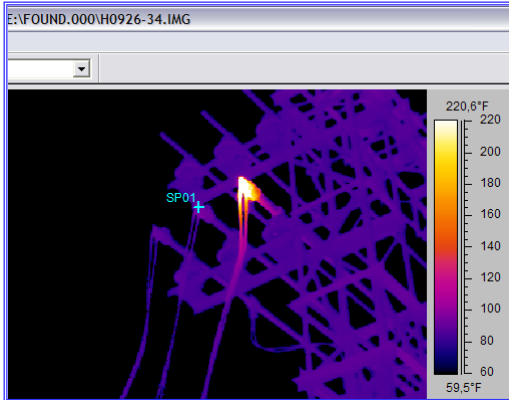
#### Termografía S/E Planta Este



**Fecha :** 26/09/2007  
**Hora:** 09:00  
**Ubicación:** S/E Planta Este  
**Circuito :** Salida D-1205 ELEVALL II  
**Elemento :** Seccionador de salida  
**Temperatura :** 220 ° C  
**Conclusión :** Punto Caliente CRITICO  
**Observación:** Realizar correctivo a la brevedad

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Planta Este



**Fecha :**26/09/2007  
**Hora:**09:00  
**Ubicación:** S/E Planta Este  
**Circuito:** Alimentación del D-180 hacia la barra tabular  
**Elemento :** D-180  
**Temperatura :** 220° C  
**Conclusión :**Punto Caliente CRITICO  
**Observación:** Realizar correctivo a la brevedad

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Planta Este

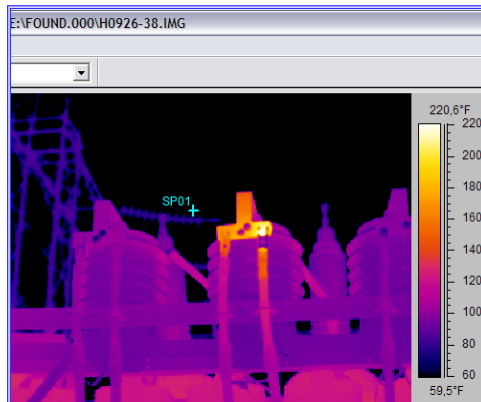


**Fecha :**26/09/2007  
**Hora:**09:00  
**Ubicación:** S/E Planta Este  
**Circuito :**Servicios auxiliares N° 2  
**Elemento :** Tranformador (3x25 KVA)  
**Temperatura :** 195° C  
**Conclusión:** Punto Caliente GRAVE  
**Observación:** Realizar correctivo a la brevedad



 **Electricidad de Valencia**  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

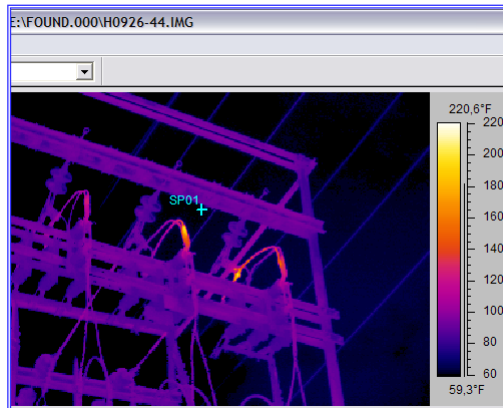
### Termografía S/E Planta Este



**Fecha :**26/09/2007  
**Hora:**09:00  
**Ubicación:** S/E Planta Este  
**Circuito:** Transformador de corriente lado de 13.8Kv  
**Elemento :** TX , 1 115/13,8 k V.  
**Temperatura :** 220° C  
**Conclusión :** Punto Caliente CRITICO  
**Observación:** Realizar correctivo a la brevedad

 **Electricidad de Valencia**  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Plata Este



**Fecha :**26/09/2007  
**Hora:**09:00  
**Ubicación:** Planta Este  
**Circuito:** D-124  
**Elemento :** Conexión en seccionador  
**Temperatura :** 182°C  
**Conclusión :** Punto Caliente GRAVE  
**Observación:** Realizar correctivo a la brevedad

## ANEXO D.3 TERMOGRAFÍA S/E CENTRO

Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Centro

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		-5,1	52,5		
SP01	49,1				

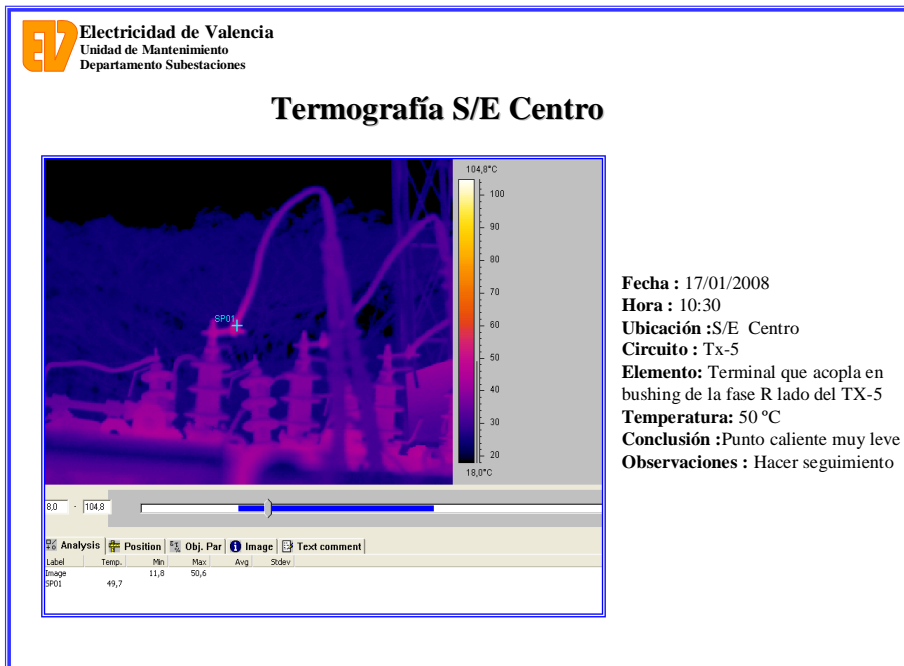
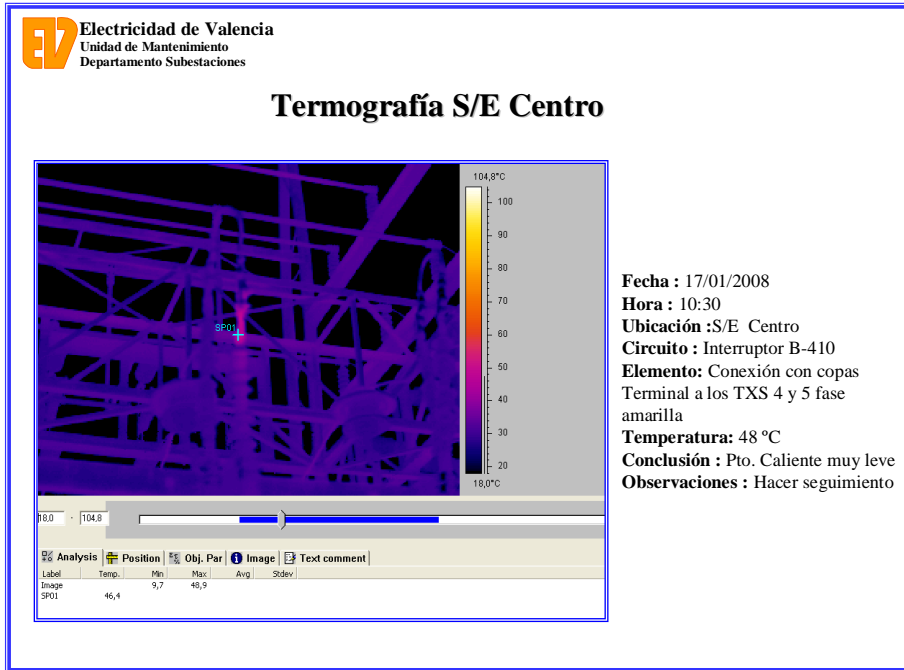
**Fecha :** 17/01/2008  
**Hora :** 10:30  
**Ubicación :** S/E Centro  
**Circuito :** Secc. Tx. B-313  
**Elemento :** Conectores y secc.  
**Temperatura :** 52 °C  
**Conclusión :** Punto caliente muy leve  
**Observaciones :** programar corte para corregir o hacer seguimiento

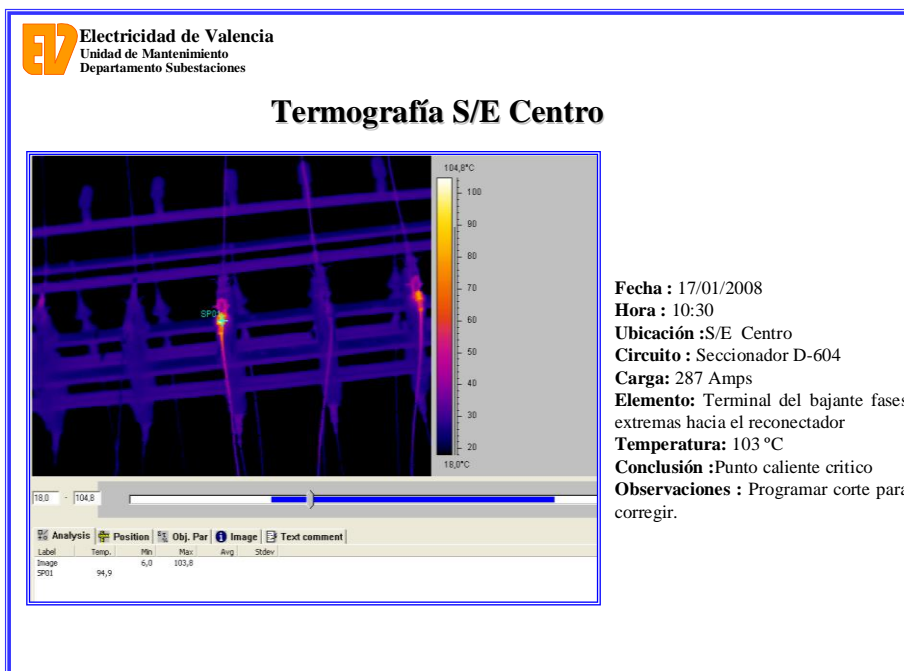
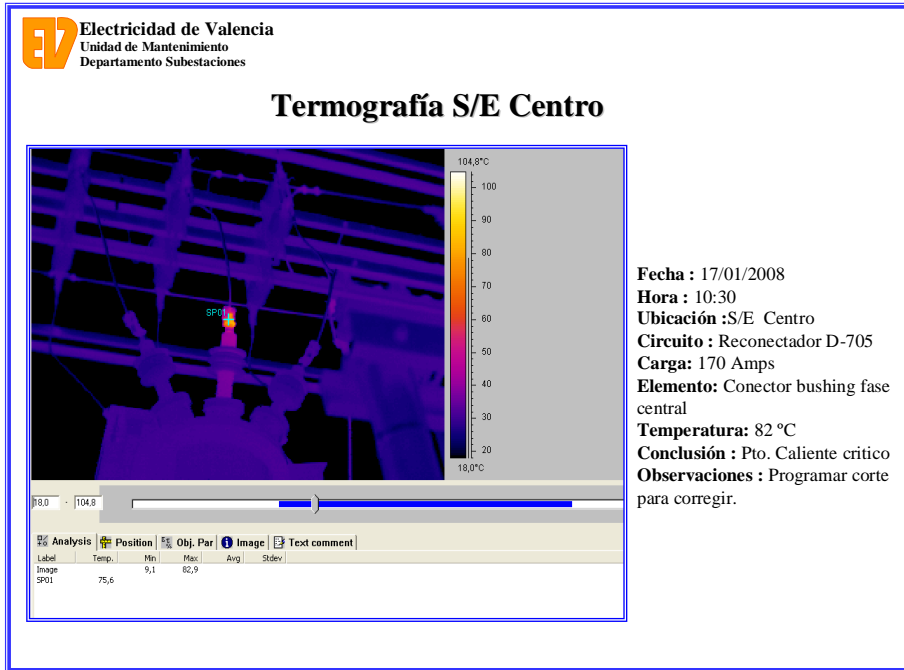
Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Centro

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		4,5	54,9		
SP01	46,6				

**Fecha :** 17/01/2008  
**Hora :** 10:30  
**Ubicación :** S/E Centro  
**Circuito :** Tx.-1 lado BT  
**Elemento :** Terminal acople de copas Terminales, fases roja y azul  
**Temperatura :** 54 °C  
**Conclusión :** Punto caliente leve  
**Observaciones :** Programar corte para corregir





## ANEXO D.4

### TERMOGRAFÍA S/E QUIZANDA

**Electricidad de Valencia**  
 Unidad de Mantenimiento  
 Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image					
SP01	54.5	-5.6	68.6		

**Fecha :** 15/01/2008  
**Hora :** 15:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** TX-8 34.5/13.8 KV  
**Elemento :** Conector lado Baja tensión  
**Temperatura:** 68 °C  
**Conclusión :** Punto caliente muy leve  
**Observaciones :** Hacer seguimiento

**Electricidad de Valencia**  
 Unidad de Mantenimiento  
 Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image					
SP01	45.8	-16.9	69.1		

**Fecha :** 15/01/2008  
**Hora :** 15:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** Secc. Barra H-204  
**Elemento :** Conector del pin lado barra fase R  
**Temperatura:** 69 °C  
**Conclusión :** Punto Caliente leve  
**Observaciones :** Programar corte para corregir, posible cambio del conector.

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

**Fecha :** 15/01/2008  
**Hora :** 15:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** Interruptor D-480  
**Elemento :** Terminal que acopla en bushing de la fase R lado del TX-4  
**Temperatura:** 63 °C  
**Conclusión :** Punto caliente leve  
**Observaciones :** Programar corte para corregir, posible cambio de Terminal y tornillería.

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		3.1	63.5		
SP01	55.9				

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

**Fecha :** 15/01/2008  
**Hora :** 15:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** Interruptor D-480  
**Elemento :** Terminal de la fase S que hace conexión con copas Terminal de las turbinas  
**Temperatura:** 48 °C  
**Conclusión :** Punto caliente muy leve  
**Observaciones :** Programar corte para corregir, posible cambio de Terminal y tornillería.

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		-8.7	48.4		
SP01	44.0				

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

**Fecha :** 15/01/2008  
**Hora :** 15:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** Secc. Lado barra B-318 TX-3 y 4 34.5/13.8 KV  
**Elemento:** Terminal del bajante  
**Temperatura:** 54 °C  
**Conclusión :** Punto caliente muy leve  
**Observaciones :** Programar corte para corregir, posible cambio de terminales y tornillería.

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		-15.3	54.3		
SP01	29.7				

**EV** Electricidad de Valencia  
Unidad de Mantenimiento  
Departamento Subestaciones

### Termografía S/E Quizanda

**Fecha :** 06/02/2008  
**Hora :** 09:30  
**Ubicación :** S/E Quizanda  
**Circuito :** Principal TX-4  
**Elemento:** Interruptor D-480 fase R  
**Temperatura:** 69 °C  
**Conclusión :** Punto Caliente Leve  
**Observaciones :** Posible cambio de tortillería, conductor y Terminal

Label	Temp.	Min	Max	Avg	Stdev
Image		4.4	69.4		
SP01	61.8				