

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica**  
**Eléctrica y Mecatrónica**



**CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE TERMOGRAFIA  
INFRARROJA ACTIVA, COMO ENSAYO NO  
DESTRUCTIVO, PARA DETECTAR Y EVALUAR  
FALLAS EN JUNTAS SOLDADAS**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Melgarejo Alvarez, Evert Paul**

**Condori Flores, Julver Jamil**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesor:

**Dr. Gordillo Andia Carlos Alberto**

**Arequipa- Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 28 de Diciembre del 2022

**Dictamen: 006120-C-EPIMMEM-2022**

Visto el borrador del expediente 006120, presentado por:

**2009202351 - MELGAREJO ALVAREZ EVERT PAUL**

**2007190251 - CONDORI FLORES JULVER JAMIL**

Titulado:

**CONTROL DE CALIDAD MEDIANTE TERMOGRAFIA INFRARROJA ACTIVA, COMO ENSAYO NO  
DESTRUCTIVO, PARA DETECTAR Y VALUAR FALLAS EN JUNTAS SOLDADAS**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1469 - CHIRE RAMIREZ EMILIO  
DICTAMINADOR**



**1634 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE  
DICTAMINADOR**



**1734 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

Dedico

A Dios por guiarme en cada paso que doy y bendecirme día a día, a mis padres Víctor Melgarejo y Ruth Alvarez por creer en mí, darme la confianza y los valores con los que me he formado, a mi hermana Miriam ser inspiración y apoyo constante. A Maricela y Arturo por aconsejarme, apoyarme y estar siempre para mí.

**Evert Paul Melgarejo Alvarez**

Dedico

A mis padres Salome y Poliento quienes me impulsan a ser mejor cada día, en especial a mi esposa Yanina quien fue mi soporte en mi camino profesional, mis hijos Ariana y Salvador por motivarme a seguir adelante para que cada una de mis metas sean alcanzadas y ser un ejemplo.

**Julver Jamil Condori Flores**

¿Cómo que “si puedo”? preguntó Jesús, Todo es posible si uno cree.

**Marcos 9:23**



## RESUMEN

El trabajo de tesis tiene como finalidad realizar un ensayo no destructivo (END/NDT), que busca una mejora en relación a los métodos convencionales que normalmente son utilizados para la inspección de componentes soldados.

La técnica a utilizar es Termografía Infrarroja (TIR) con método Activo, por prontitud, facilidad que resulta al utilizar y lo versátil que puede llegar a hacer para diversos usos que se le puede emplear en áreas de producción, construcción y mantenimiento. Siendo una técnica que va a proporcionar información cuantitativa sobre diversas fallas ocultas que se pueden producir en los materiales, componente, juntas y otros en los que se aplique el ensayo.

Actualmente la industria tiene la necesidad de tener un mayor control en la calidad de las juntas soldadas, que apliquen en los múltiples componentes, estructuras y otros a trabajar, siendo muchas de ellas, piezas críticas por lo que se necesita tener certeza alta del proceso que se llevó a cabo. La incorrecta inspección y análisis puede ocasionar un mal funcionamiento o colapso de la maquinaria, equipo o estructura.

Con el fin de cumplir el trabajo planteado, se ha producido múltiples probetas soldadas en acero estructural, las cuales son sometidas a la técnica de Termografía Infrarroja con método Activo para recopilar imágenes y datos, los cuales serán interpretados para detectar fallas. Se llevan a cabo en ambientes controlados, como se va a demostrar en el desarrollo de la presente tesis donde se va a demostrar en mayor profundidad como se ha llevado el ensayo, equipo utilizados, resultados, interpretación y recomendación.

**Palabras Clave:** Termografía Infrarroja, ensayos no destructivos, calidad de soldadura.

## ABSTRACT

The purpose of the thesis work is to carry out a non-destructive test (END/NDT), which seeks an improvement in relation to the conventional methods that are normally used for the inspection of welded components.

The technique to be used is Infrared Thermography (TIR) with the Active method, due to its speed, ease of use and how versatile it can be for various uses that can be used in production, construction and maintenance areas. Being a technique that will provide quantitative information on various hidden failures that can occur in the materials, components, joints and others in which the test is applied.

Currently, the industry needs to have greater control over the quality of welded joints, which are applied to the multiple components, structures and others to be worked on, many of them being critical parts, which is why it is necessary to have high certainty of the process that it was carried out. Incorrect inspection and analysis can cause a malfunction or collapse of the machinery, equipment or structure.

In order to fulfill the proposed work, multiple welded structural steel specimens have been produced, which are subjected to the Infrared Thermography technique with the Active method to collect images and data, which will be interpreted to detect failures. They are carried out in controlled environments, as will be demonstrated in the development of this thesis where it will be demonstrated in greater depth how the trial has been carried out, the equipment used, the results, interpretation and recommendation.

**Key words:** Infrared thermography, non-destructive testing, welding quality.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	xv
INDICE DE TABLAS.....	xix
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	3
1. MARCO METODOLOGICO.....	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2. OBJETIVOS DE ESTUDIO.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
1.3. HIPÓTESIS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. VARIABLES.....	6
1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	6
1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	6
1.6. ANTECEDENTES.....	6
1.7. METODOLOGIA.....	8

1.7.1. Preliminar .....	8
1.7.2. Ensayos Experimentales .....	8
1.7.3. Evaluación y Resultados .....	8
CAPÍTULO II .....	10
MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. Marco Normativo en Soldadura .....	11
2.1.1. Internacional.....	11
2.1.1.1. Especificaciones del Proceso de Soldadura (WPS) .....	11
2.1.1.2. Registro de Calificación del Procedimiento (PQR) .....	12
2.1.1.3. Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador (WPQR).....	12
2.1.1.4. ASME .....	12
2.1.1.5.AWS.....	13
2.1.2. Nacional .....	14
2.1.2.1. AWS D1.1 .....	14
2.1.2.2. INACAL.....	16
2.1.2.2.1. Objetivos del Sistema Nacional de la Calidad .....	17
2.1.2.3. Reglamento nacional de edificaciones .....	17
2.2. Soldadura.....	18
2.2.1. Definición.....	18
2.2.2. Tipos de Uniones soldadas .....	19
2.2.2.1. A tope .....	20
2.2.2.2. Esquina.....	22

2.2.2.3.	Traslape.....	23
2.2.2.4.	Borde.....	24
2.2.2.5.	Tipo T.....	25
2.2.3.	Tipos de Posición de unión soldada.....	26
2.2.3.1.	Filete.....	27
2.2.3.2.	Bisel.....	32
2.2.3.3.	Relleno.....	33
2.2.3.4.	Tapón.....	34
2.2.4.	Tipos de soldadura.....	34
2.2.4.1.	Heterogénea.....	34
2.2.4.2.	Soldadura Blanda.....	36
2.2.4.3.	Soldadura Fuerte.....	36
2.2.4.4.	Homogénea.....	37
2.2.4.5.	Por presión.....	38
2.2.4.6.	Por fusión.....	39
2.2.5.	Clasificación de los procesos de soldadura.....	41
2.2.5.1.	Soldadura por arco metal y gas (GMAW, MIG).....	41
2.2.5.2.	Soldadura por arco de tungsteno con gas o gas inerte de tungsteno (GTAW/TIG).....	42
2.2.5.3.	Soldadura por arco metálico protegido (SMAW).....	43
2.2.5.4.	Soldadura por arco tubular (FCAW).....	44
2.2.6.	Método de aplicación de la soldadura.....	45

2.2.7.	Simbología de la soldadura .....	45
2.2.7.1.	Símbolos de soldadura primarios .....	46
2.2.7.2.	Símbolos complementarios .....	46
2.2.7.3.	Colocación de los símbolos de soldadura .....	47
2.3.	Calidad en Soldadura .....	48
2.3.1.	Calidad basada en el aspecto de la soldadura .....	48
2.3.2.	Calidad basada en la inspección visual .....	49
2.3.3.	Calidad basada en otros métodos de pruebas no destructivas (NDT/END) .....	49
2.3.4.	Calidad basada en los códigos de soldadura estructural .....	50
2.3.5.	Normas de calidad internas .....	50
2.4.	Terminología y clasificación .....	51
2.4.1.	Diseño .....	54
2.4.2.	Tecnología de soldeo .....	55
2.4.3.	Control de soldeo, tratamiento térmico.....	56
2.4.4.	Inspección y Ensayos .....	56
2.4.4.1.	Inspección y prueba de las soldaduras en ángulo (uniones en T) .....	56
2.4.4.2.	Inspección y pruebas de las soldaduras de ranura (juntas a tope).....	57
2.4.4.3.	Métodos de ensayo de soldaduras .....	58
2.4.5.	Criterios de inspección en fallas de soldaduras .....	58
2.4.5.1.	Sensibilidad.....	60
2.4.5.2.	Umbral de Detección .....	60
2.4.5.3.	Indicación.....	60

2.4.5.4.	Discontinuidad .....	61
2.4.5.5.	Defecto .....	61
2.4.5.6.	Discontinuidad crítica .....	62
2.4.5.7.	Interpretación .....	62
2.4.5.8.	Evaluación.....	62
2.5.	Defectología de las soldaduras .....	63
2.5.1.	Fallas en el proceso de soldadura.....	63
2.5.1.1.	Fracturas en el cordón de la soldadura.....	64
2.5.1.1.1.	Fracturas longitudinales .....	64
2.5.1.1.2.	Fracturas transversales .....	64
2.5.1.1.3.	Fracturas en la interfase de la soldadura .....	65
2.5.1.1.4.	Fractura en la raíz.....	65
2.5.1.2.	Porosidades .....	66
2.5.1.3.	Discontinuidades en el proceso de soldadura .....	66
2.5.1.4.	Falta de Fusión y Penetración .....	67
2.5.1.5.	Inclusión de escoria.....	67
2.5.1.6.	Socavado .....	68
2.5.1.7.	Concavidad.....	69
2.5.2.	Criterios de fallas en la soldadura.....	70
2.5.3.	Medidas de análisis de las fallas .....	70
2.6	Ensayos Destructivos y No Destructivos.....	71
2.6.1	Pruebas destructivas .....	71

2.6.2	Tipos de ensayos destructivos .....	71
2.6.3	Pruebas no destructivas (NDT/END).....	75
2.7.	Termografía.....	84
2.7.1.	Certificaciones y Normativa.....	84
2.7.2.	Definición .....	86
2.7.3.	Conceptos aplicados en la termografía .....	86
2.7.3.1.	Emisión .....	86
2.7.3.2.	Reflexión.....	87
2.7.3.3.	Trasmisión.....	88
2.7.3.4.	Ley de Kirchhoff de radiación térmica.....	88
2.7.4.	Relación que se da entre Emisión y reflexión.....	89
2.7.5.	Transmisión de calor y temperatura.....	89
2.7.6.	Tipos de transmisión de calor .....	90
2.7.6.1.	Conducción .....	90
2.7.6.2.	Convección.....	91
2.7.6.3.	Radiación .....	91
2.7.7.	Condiciones estacionarias y transitorias .....	92
2.7.7.1.	Temperatura ambiente.....	93
2.7.7.2.	Radiación .....	93
2.7.7.3.	Condiciones meteorológicas .....	94
2.7.7.4.	Ambiente.....	95
2.7.7.5.	Luz .....	96

2.7.8.	Condiciones para medición de termografía .....	96
2.7.8.1.	Medición en metales .....	97
2.7.9.	Dispositivos de análisis de resultados de termografías.....	97
2.7.9.1.	Cámara termográfica.....	97
2.7.9.2.	Parámetros de Manejo en cámara termográfica.....	99
2.7.9.3.	Escala de colores .....	100
2.7.9.3.1.	Barra de colores monocromáticas .....	101
2.7.9.3.2.	Barras de colores policromáticas .....	102
2.7.10.	Parámetros a controlar en ensayo Termográfico.....	103
2.7.11.	Ventajas y Deficiencias de la técnica de termografía.....	103
2.7.11.1.	Ventajas.....	103
2.7.11.2.	Deficiencias.....	104
2.7.12.	Preparación de los equipos termográficos .....	104
2.7.13.	Técnicas de ensayo para termografía .....	105
2.7.13.1.	Termografía pasiva .....	106
2.7.13.2.	Termografía activa .....	106
CAPÍTULO III .....		111
3.MATERIALES Y PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO .....		112
3.1.	Material de estudio .....	112
3.2.	Aplicaciones .....	112
3.3.	Composición Química .....	113
3.4.	Propiedades Mecánica .....	113

3.5. Equipos, instrumentos de medición y materiales Consumibles.....	114
3.6. Preparación de Probetas.....	114
3.6.1. Platinas y tubería.....	116
3.6.2. Probetas terminadas e identificadas.....	118
3.7. Defectología de Probetas .....	122
3.8. Condiciones para Aplicación.....	122
3.8.1. Calentamiento .....	123
3.8.2. Condiciones y configuración de Equipo .....	124
3.9. Ensayo Termográfico.....	125
Capítulo IV .....	130
4. Análisis y Resultados .....	131
4.1. PROBETA P1 .....	131
4.2. PROBETA P2.....	133
4.3. PROBETA P3.....	135
4.4. PROBETA P4 – TUBO .....	137
CONCLUSIONES .....	141
RECOMENDACIONES .....	143
REFERENCIAS .....	144
ANEXOS.....	148

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de uniones soldadas .....	19
Figura 2: Soldadoras con y sin preparación de bordes .....	20
Figura 3: Tipos de uniones soldadas a tope.....	22
Figura 4: Representación de una soldadura de junta en esquina.....	23
Figura 5: Soldadura de traslape .....	24
Figura 6 : Tipo de soldadura en borde.....	25
Figura 7: Representación del tipo de soldadura en T .....	26
Figura 8: Representación de la soldadura tipo filete por posición plana.....	29
Figura 9: Representación de la soldadura tipo filete por posición horizontal.....	30
Figura 10: Representación de la soldadura tipo filete por posición vertical.....	31
Figura 11: Representación de la soldadura tipo filete por posición de cabeza.....	32
Figura 12: Simbología de las aplicaciones por soldadura con bisel.....	33
Figura 13: Soldadura de tipo relleno .....	33
Figura 14 : Soldadura de tapón .....	34
Figura 15: Proceso de la soldadura fuerte y blanda.....	35
Figura 16: Representación de una soldadura por presión.....	39
Figura 17: Representación de la soldadura Arco de metal y gas.....	42
Figura 18: Representación de la soldadura por GTAW/TIG .....	43
Figura 19: Representación de soldadura SMAW .....	44
Figura 20: Representación de la soldadura FCAW .....	45
Figura 21: Símbolos primarios en planos de soldadura .....	46
Figura 22: Símbolos complementarios en planos de soldadura .....	46

Figura 23: simbología de los tipos de soldadura.....	47
Figura 24: elementos de un símbolo de soldadura.....	48
Figura 25 Características de los métodos de ensayo de dureza.....	73
Figura 26 Comportamiento de la probeta durante el ensayo de tracción.....	74
Figura 27 Especificaciones de la probeta para ensayo Charpy.....	75
Figura 28 Tubo de vacío empleado para elaborar rayos x.....	77
Figura 29 Calentamiento excesivo en clip de conexión.....	80
Figura 30 Aplicación de LP a un cordón de soldadura.....	84
Figura 31 Cámara Termográfica.....	98
Figura 32 Calentamiento excesivo en clip de conexión.....	100
Figura 33 Escala Monocromatica.....	101
Figura 34 Variedad de Escala Monocromatica.....	102
Figura 35 Escala Policromatica.....	103
Figura 36 Diferentes fuentes de excitación para termografía Infrarroja Activa.....	107
Figura 37 Partes de una imagen de Termografía Infrarroja por Lock - in.....	109
Figura 38 Sistema de Termografía Lock-In.....	110
Figura 39 Platinas y Tubo para para realizar las probetas para ensayo térmico.....	117
Figura 40 Carpa para trabajo de soldadura.....	117
Figura 41 Equipo para soldar Miller XMT 425, con el que se realizó la soldadura de las probetas.....	118
Figura 42 Probetas soldadas que presentan defectología según lo planteado.....	119
Figura 43 Probetas que han pasado por limpieza.....	120
Figura 44 Probetas identificadas y marcadas.....	121
Figura 45 Horno para calentamiento de Probetas a Temperatura optima.....	123
Figura 46 Horno eléctrico Thermolyne Scientific F6010.....	126

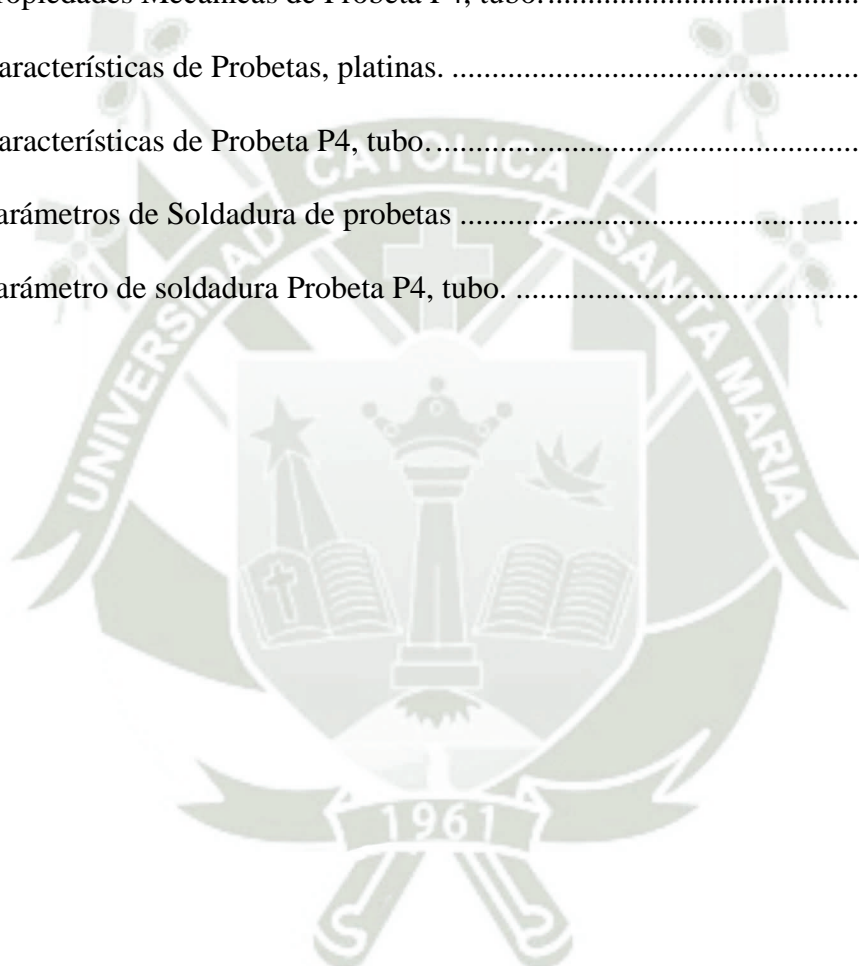
Figura 47	Termómetro digital industrial .....	127
Figura 48	Equipo Termográfico HIKMICRO .....	128
Figura 49	Software HIKMICRO Analyzer .....	129
Figura 50	Termograma Probeta P1, etapa calentamiento Negro – Blanco .....	132
Figura 51	Termograma Probeta P1, etapa calentamiento Blanco – Azul .....	133
Figura 52	Termograma Probeta P2, etapa calentamiento Negro – Blanco .....	134
Figura 53	Termograma Probeta P2, etapa calentamiento Blanco – Negro .....	135
Figura 54	Termograma Probeta P3, etapa calentamiento Blanco – Negro .....	136
Figura 55	Termograma Probeta P3, etapa enfriamiento Blanco – Negro .....	137
Figura 56	Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta arco iris .....	138
Figura 57	Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta Blanco – Azul ..	139
Figura 58	Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta Negro – Blanco	140
Figura 59	Adquisición de materiales en Bohler para probetas .....	148
Figura 60	Platinas de Acero A36 preparadas.....	148
Figura 61	Tubo de Acero A53 Grado B Cedula 40 preparados.....	149
Figura 62	Lugar, Equipo y Consumible para ensayos .....	149
Figura 63	Probetas con defectologías luego de soldadura.....	150
Figura 64	Probetas limpias y preparadas para ser marcadas .....	150
Figura 65	Modelo de marca de Probetas .....	151
Figura 66	Probeta P1 de estudio .....	151
Figura 67	Probeta P2 de estudio .....	152
Figura 68	Probeta P3 de estudio .....	152
Figura 69	Probeta P4, Tubo de estudio, 1 vista .....	153
Figura 70	Probeta P4, Tubo de estudio, 2 vista .....	153
Figura 71	Probeta P4, Tubo de estudio, 3 vista .....	154

Figura 72	Horno para Realizar los ensayos .....	154
Figura 73	Medición con Termómetro Infrarrojo 52224A .....	155
Figura 74	Equipo Termográfico en uso y toma de muestra.....	156
Figura 75	Errores en Toma de Termogramas .....	156



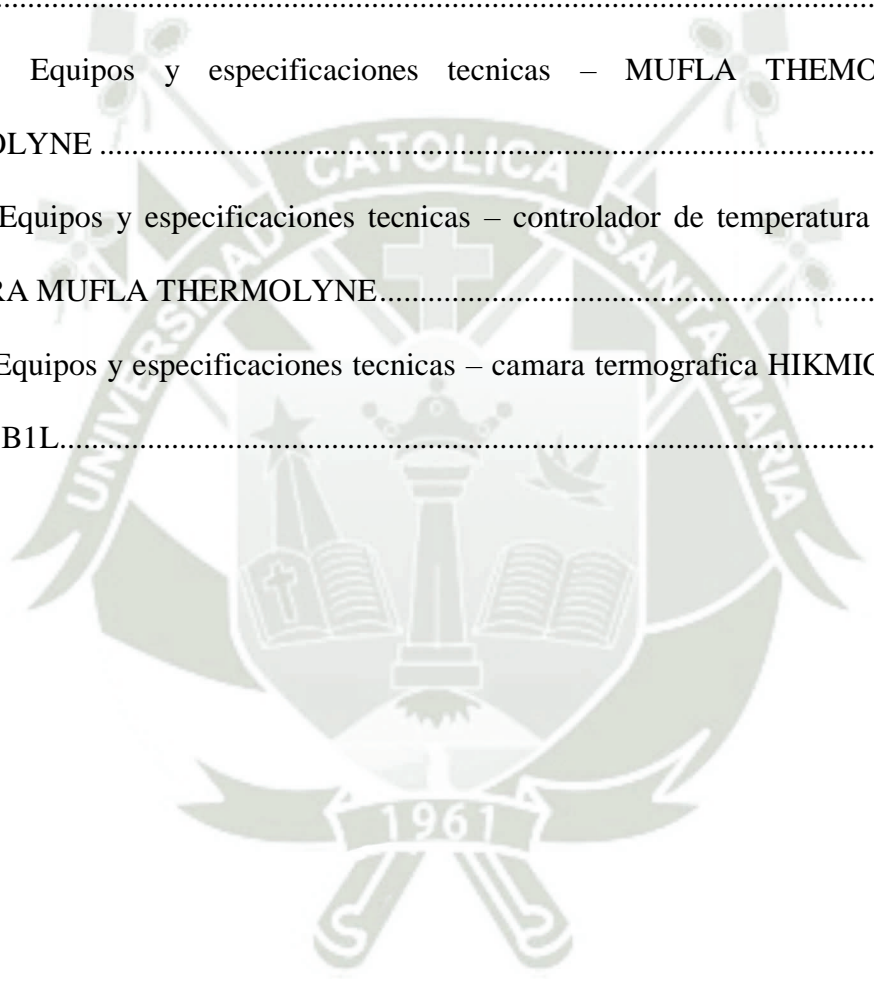
## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Metodología de Ensayo .....	9
Tabla 2 Composición de Probetas, platinas.....	113
Tabla 3 Composición de la Probeta 4 - Tubo .....	113
Tabla 4 Propiedades Mecánicas de Probetas, platinas .....	113
Tabla 5 Propiedades Mecánicas de Probeta P4, tubo.....	114
Tabla 6 Características de Probetas, platinas. ....	115
Tabla 7 Características de Probeta P4, tubo.....	115
Tabla 8 Parámetros de Soldadura de probetas .....	115
Tabla 9 Parámetro de soldadura Probeta P4, tubo. ....	116



## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Registro Fotográfico .....	148
Anexo 2 Tabla de emisividad .....	157
Anexo 3 Equipos y especificaciones tecnicas equipo de soldadura XMT 425 VS .....	158
Anexo 4 Equipos y especificaciones tecnicas – termometro infrarrojo MASTERCOOL 52224 A .....	161
Anexo 5 Equipos y especificaciones tecnicas – MUFLA THEMO SCIENTIFIC THERMOLYNE .....	162
Anexo 6 Equipos y especificaciones tecnicas – controlador de temperatura EUROTHERM 2116 PARA MUFLA THERMOLYNE.....	164
Anexo 7 Equipos y especificaciones tecnicas – camara termografica HIKMICRO HM-TP51- 3AXF/W-B1L.....	175



## INTRODUCCION

La elaboración del presente documento es dar una propuesta y proyecto de investigación diferente a lo que se realiza convencionalmente en lo referente a ensayos no destructivos END/NDT para detectar y evaluar defectos en cuanto a soldadura que se aplica en juntas soldadas, esto se basa en el estudio de la termografía Infrarroja con una técnica Activa, El proyecto se constituye en IV capítulos, los cuales tienen los argumentos necesarios para poder ser realizado.

En el primer Capítulo se presenta el planteamiento teórico del proyecto, en el que se procede a describir el problema, se identifican aspectos generales, objetivo principal y objetivos específicos, los cuales se buscan alcanzar, hipótesis, Justificación del caso, variables dependientes y variables independientes, se tiene un estudio de antecedentes referidos a termografía infrarroja y ensayos no destructivos END/NDT y finalmente la metodología que se utiliza para llevar a cabo la realización del proyecto

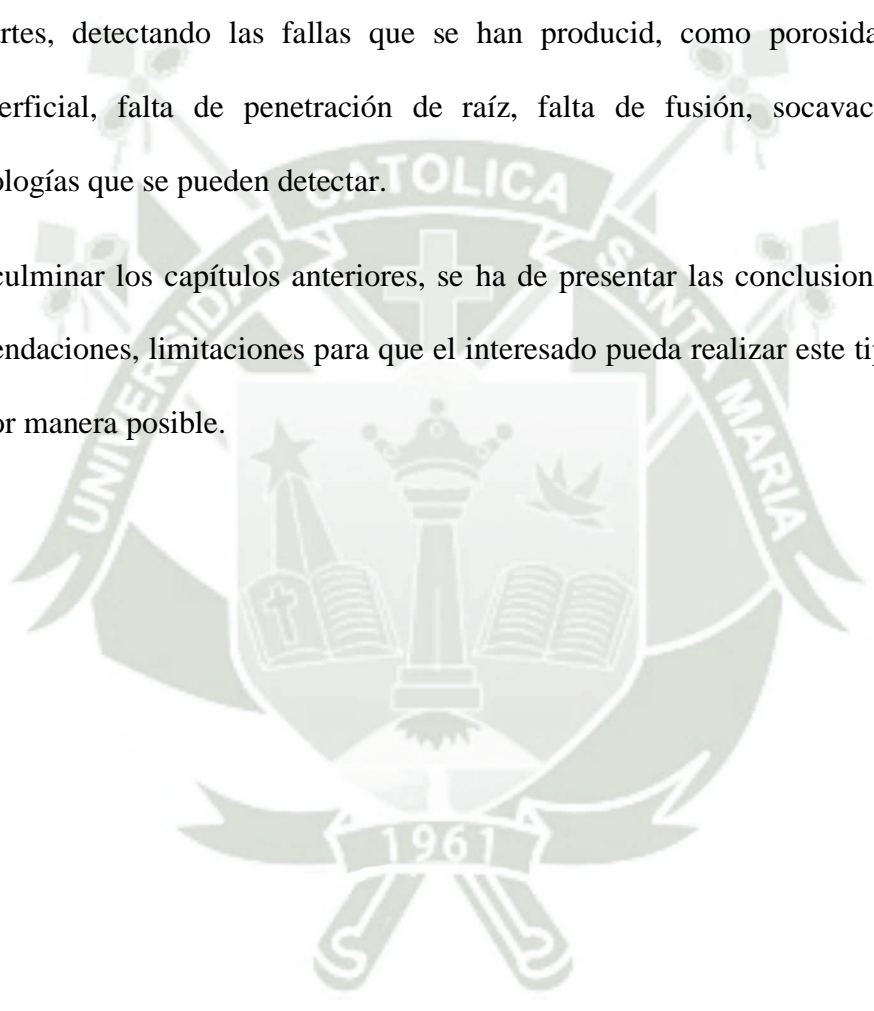
En el Segundo Capítulo se presenta el Marco Teórico necesario para entender y poder realizar el proyecto. Se desarrolla la teoría de Soldadura, Calidad, Ensayos no destructivos END/NDT, Termografía Infrarroja, método activo. Toda la teórica básica y necesaria para entender el estudio que se va a realizar y que se busca lograra a través de esta.

En el Tercer Capítulo Se ha de realizar la etapa preliminar, en el cual está la preparación, selección de parámetros que es fundamental para llevar este tipo de ensayos, ya que si son mal seleccionados se tendrá errores desde la primera medición, como posibles daños en los componentes en los que se va a realizar el estudio. Como se va a llevar la ejecución de los

ensayos, Se va a tomar en cuenta todos los elementos y componente fundamentales, seleccionar equipos necesarios para tener posteriormente datos confiables.

En el Cuarto Capítulo se tendrá la Recolección de Datos y Fotografía para interpretación de cada una de las probetas utilizadas, donde se va a analizar el cordón de soldadura global, por partes, detectando las fallas que se han producido, como porosidad superficial y subsuperficial, falta de penetración de raíz, falta de fusión, socavación entre otras defectologías que se pueden detectar.

Al culminar los capítulos anteriores, se ha de presentar las conclusiones del proyecto, recomendaciones, limitaciones para que el interesado pueda realizar este tipo de ensayo de la mejor manera posible.





## **1. MARCO METODOLOGICO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Dentro de lo que es control de Calidad, la unión de juntas por medio de soldadura si no es el principal pilar a considerar es uno de ellos, y causa inquietud, ansiedad en los proyectos de construcción, producción o mantenimiento, conocer la condición en el que se ha realizado, ya que es clave en el éxito que se ha de tener a futuro.

Se tiene múltiples ensayos no destructivos (END/NDT), como inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido, partículas magnéticas y radiografía. Los cuales cuentan con un campo importante en cuanto a su utilización en la detección de fallas y defectos.

Pero se ha de tener en cuenta que cada ensayo mencionados anteriormente cuenta con beneficios, pero también con ciertas limitaciones, por lo que siempre se tiene la necesidad de tener nuevas tecnologías que puedan ayudar, que permitan tener otros puntos de vista pero que sea efectivo, dentro de este grupo de ensayos que permiten no alterar la forma ni propiedades de los componentes.

### **1.2. OBJETIVOS DE ESTUDIO**

#### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Valuar la Técnica termográfica Infrarroja con método Activo, en la inspección de soldadura para detectar fallas y defectos.

#### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Investigar sobre ensayos no destructivos, normas, códigos que se tiene que tener en cuenta para la inspección de soldadura mediante Termografía.
- Aplicar la técnica de Termografía Activa a componentes soldados de defectología que se conozca.

- Identificar los beneficios de esta técnica END/NDT y las limitaciones que puede tener al realizar el proyecto
- Analizar los datos obtenidos de los termogramas, seguidamente interpretar las fallas que se pueden hallar en las diferentes probetas.

### 1.3. HIPÓTESIS

Dado que se tiene un progresivo aumento de proyectos en el país, en lo que es producción, mantenimiento y construcción; tanto en industria, minería y otros, el método de Termografía infrarroja con técnica Activa, tiene un potencial importante en todos estos ámbitos, por la precisión y alta sensibilidad que va a permitir tener una valoración de objetos en análisis alta, para detección de fallas frente a otros ensayos no destructivos (END/NDT).

### 1.4. JUSTIFICACIÓN

En proyectos de áreas de producción, construcción o mantenimiento se desarrollan múltiples actividades que están relacionadas con la aplicación de soldadura que es sumamente importante por el comportamiento estructural que tendrán posterior a su aplicación.

Luego de la aplicación se tiene que tener en cuenta que hay posibilidad de encontrar fallas como: fisuras, inclusiones, porosidad, grietas, socavación, escoria, falta de penetración de raíz, falta de fusión entre otros.

Lo que lleva a utilizar una tecnología que pueda ayudar a tener un control de calidad rápido y efectivo, con resultados precisos, confiables y en el menor tiempo posible.

Por lo que se opta con un ensayo No Destructivo (END/NDT), con la técnica de Termografía Infrarroja Activa, el cual tiene un potencial grande para control de calidad en junta de soldaduras y con costos mínimos.

## **1.5. VARIABLES**

### **1.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Ensayo no destructivo (END/NDT), método Termografía Infrarroja con técnica Activa
- Buscar alternativas para la mejora en la calidad de inspección de juntas de soldadura.
- Reducción de tiempo en el proceso de inspección de juntas soldadas

### **1.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Detección de fallas y defectos en juntas soldadas.

## **1.6. ANTECEDENTES**

Daniel L. Balegas (2007) “Termografía Infrarroja: Una técnica multifacética para Evaluación no destructiva (END)”. Examina dos enfoques: Termografía pasiva y activa (estimulada), siendo una variedad relacionada a un modo temporal de estimulación. Se insta en el interés de uso de modelos térmicos sencillos que pueden ayudar a mejorar mucho los diagnósticos, exclusivamente permitiéndole ser cuantitativo.

M. Vollmer, K.-P Mollmann (2013), “Termografía Infrarroja. Fundamentos, investigación y aplicaciones”. La termografía se viene aplicando a la investigación y desarrollo, como a una amplia variedad de campos, ensayos no destructivos, mantenimiento predictivo, monitorización de condiciones, detección gaseosa entre otras.

Ilustra las ventajas con anécdotas en base de experiencias que ha tenido.

Velasco & Cano (2019), Considera que hay una Alta demanda en múltiples proyectos industriales y de construcción en Bogotá. Menciona la gran importancia de los diferentes sectores industriales aplicando ensayos no destructivos (END) y otros que de adecuen a las necesidades, y poder determinar fallas, poder advertir daños y pérdidas. Añade que se busca calificar al personal en el procedimiento de soldadura y que estos se encuentren calificados y poder asignarles un servicio generando un mercado más amplio de empleo

J. H. A. Rocha – Y. V. Póvoas (2017) La termografía infrarroja como un ensayo no destructivo para la inspección de puentes de concreto armado. Presenta metodologías, limitaciones y ventajas del ensayo de Termografía infrarroja para la inspección de hormigón armado. Está centrada en una aplicación pasiva en campo y laboratorio. El ensayo que se realizo es una alternativa para detectar defectos en estructuras, teniendo un mayor grado de eficacia cuando se tiene superficies anómalas. Es necesario tener en cuenta que para obtener mejores resultados y eficacia se recomienda combinar otros métodos.

Maldaque (2002) “Introducción a la termografía infrarroja Activa a los NDT”. Se presenta una investigación de termografía infrarroja activa a los ensayos no destructivos (END). Se da cuenta de las perdidas térmicas mostraban algunos contrastes falsos que afectan la confiabilidad de los resultados obtenidos, lo que nos lleva a que estos son sencillos de interpretar, porque se tienen imagines fáciles de procesar y extraer información

## 1.7. METODOLOGIA

La metodología que se emplea para garantizar una correcta evaluación de fallas y defectos por Ensayos no destructivos, Termografía Infrarroja Activa se desarrolla por etapas: Preliminar, Ensayos Experimentales y finalmente con la evaluación y resultados. La cual cada una cuenta con una serie de actividades que se debe llevar a cabo.

### 1.7.1. Preliminar

Revisión de bibliografía, publicaciones, textos, artículos académicos, ensayos y el material necesario para entender, comprender el tema y las técnicas a emplear

- Bibliografía
- Elaboración de Probetas
- Identificación de Defectos
- Técnica Termográfica

### 1.7.2. Ensayos Experimentales

Se ha de aplicar la técnica de ensayo no destructivo con termografía activa a probetas que se han diseñado y fabricado y par obtener un registro de imágenes que servirá para un análisis.

- Preparación de Probetas
- Realización de Ensayo Termográfico
- Registro de imágenes

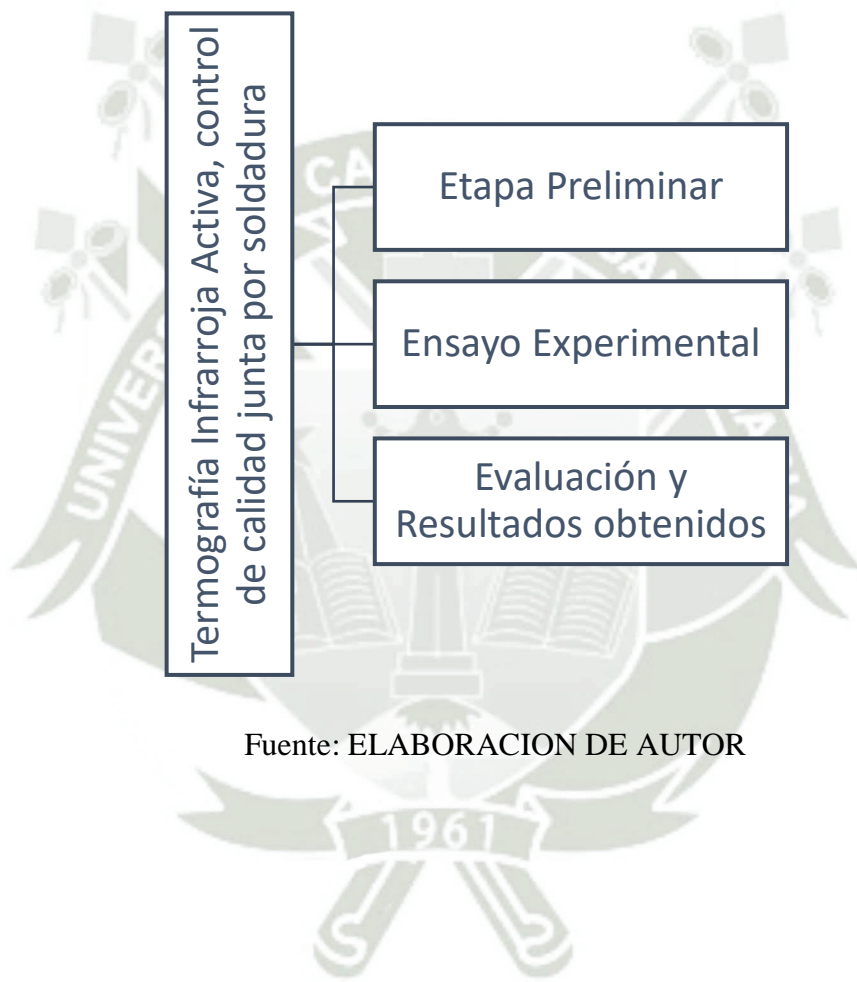
### 1.7.3. Evaluación y Resultados

Con el registro de Imágenes que se tiene se tendrá hallazgos significativos para poder analizar, cada probeta que se sometió al ensayo.

- Probetas con registros

- Evaluación y comparación.

**Tabla 1** Metodología de Ensayo



Fuente: ELABORACION DE AUTOR



## CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1.Marco Normativo en Soldadura

#### 2.1.1. Internacional

##### 2.1.1.1.Especificaciones del Proceso de Soldadura (WPS)

Las Especificaciones del Proceso de Soldadura o también conocidas como WPS, son un documento escrito donde se debe desarrollar los pormenores y determinar las características de la soldadura a realizarse evaluando que se cumplan las condiciones de calidad en el proceso de soldadura (Quality Weld Service, 2021).

Para esto, se incluye en el WPS, las características del rango de amperaje a utilizar, la técnica de soldeo a realizarse (posición, proceso, etc), el grado y características del material base a utilizarse, las temperaturas de precalentamiento de los materiales y los tratamientos térmicos que se le darán a la soldadura cuando sea terminada. Además, evaluando según de la norma a utilizar en este procedimiento de la soldadura, la forma en que se va utilizar WPS tiene que ser evaluado por los ensayos de laboratorio. Según Quality Weld Service (2021), considera que los principales motivos para desarrollar un WPS son:

- Reduce el riesgo que se tiene al elaborar una soldadura errónea.
- Ayuda a controlar su distorsión y también a minimizar tensiones
- Minimiza el gasto que se produce por realizar un proceso inapropiado.
- Ayuda a dar credibilidad a los clientes.
- Muy pedido para cumplir la norma.

#### **2.1.1.2. Registro de Calificación del Procedimiento (PQR)**

El registro de calificación del procedimiento, es un documento importante que debe ser redactado antes del WPS, ya que este establece un conjunto de procedimientos y materiales preliminares, ya que este PQR, sirve para determinar la calidad y si cumplen con los requerimientos mínimos de los procesos de soldadura. Tomando así en el proceso, análisis de los materiales, evaluación de los ensayos a considerar (ya sean destructivos o no destructivos) y la calidad de la soldadura que deberá ser analizada. Además, que, en este documento, se deberá registrar la cantidad de muestras o probetas que se utilizarán en el proceso de prueba, con el nombre de la evaluación, tipo del material a utilizar y los demás requisitos mínimos de soldadura. (Quality Weld Service, 2021)

#### **2.1.1.3. Registro de Calificación del Rendimiento del Soldador (WPQR)**

Es la certificación o documento que indica que el soldador ha pasado de forma exitosa y satisfactoria la evaluación por medio un examen de soldadura, donde se le ha evaluado, las posiciones de soldadura, los tipos de cordones que se han realizado, si tienen algún tipo de defecto o deformación (fracturas, elevaciones, etc). (Quality Weld Service, 2021)

#### **2.1.1.4. ASME**

Formada en el año 1880 como una organización de miembros, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos es conocida y respetada por desarrollar, mantener y publicar más de 500 normas relacionadas con las industrias mecánica y de ingeniería. Esto les ha llevado a recibir un estatus superior y respeto sobre otras organizaciones relacionadas con la industria. Sus códigos crean normas

para una gran red de trabajadores interconectados, incluyendo diseñadores, fabricantes, instaladores, inspectores, operadores y personal de mantenimiento. ASME no es la única organización que desarrolla normas para la soldadura y otros procedimientos mecánicos; sin embargo, sus procesos de certificación los hacen superiores a los demás. El detalle y las especificaciones que ponen en sus códigos les permiten proporcionar orientación e instrucción para cada procedimiento. Esto permite a la ASME exigir un aumento de la formación y las pruebas para cada paso de un proyecto de soldadura. (Piquer, 2010)

Con los códigos de la ASME, los soldadores tienen más libertad en cuanto a las diferentes resistencias y tamaños de los materiales que utilizan. La soldadura de materiales de tuberías personalizadas puede ser una molestia debido a los procedimientos de precalificación que tienen que pasar los soldadores. Pero con la libertad y la variedad que ofrecen los códigos ASME, la soldadura a medida es más eficaz y fiable. (Giachino & Weeks, 2017)

Según Pique (2010) ASME proporciona códigos para más de 500 procedimientos diferentes. Estas normas suelen abordar:

- Códigos de pruebas de rendimiento
- Tecnología de presión
- Tecnología nuclear
- Normalización

#### **2.1.1.5.AWS**

El Programa de Soldadores Certificados de AWS proporciona un medio para la transferencia de las calificaciones de los soldadores de un empleador a otro sin necesidad de volver a realizar pruebas. La norma define los requisitos mínimos para la participación de los soldadores en los métodos que deben utilizar los

empleadores para adoptar el programa. Los empleadores de AWS soldados certificados son responsables del trabajo realizado por sus empleados. Los empleadores pueden aceptar la certificación AWS sin pruebas adicionales o pueden añadir los requisitos que consideren necesarios para satisfacer una necesidad específica. (Piquer, 2010)

Algunas normas o documentos contractuales pueden requerir que el propietario, ingeniero u otras personas que aprueben el uso de soldados certificados por AWS en su trabajo. Baldomir, Isis, Plaza, & Vicente (2005) considera que AWS será responsable de mantener lo siguiente:

- Solicitud de soldador certificado por AWS
- Inventario de la evaluación que se realiza al soldador.
- Informes de acción de descertificación
- Mantenimiento de los registros de certificación
- Registro Nacional de Soldadores
- Lista de instalaciones de prueba acreditadas

### **2.1.2. Nacional**

Debido a los pedidos de la calidad en los proyectos de soldaduras, las compañías han considerado importante este trabajo del profesional del soldador, por ello para elaborar un proyecto óptimo y eficaz es importante clasificarlos, es decir debido a esta calidad necesaria se da un valor a cada soldador según la norma AWS mencionada anteriormente. En el Perú la norma más utilizada en este rubro es la norma AWS D1.1 (o sus siglas en inglés Structural Welding Code Steel).

#### **2.1.2.1. AWS D1.1**

El código de soldadura más utilizado en Perú, y quizás en Norteamérica, es el Código de Soldadura Estructural - Acero AWS D1.1/D1.1M. Se especifica como

norma de calidad en cientos de documentos contractuales cada año. Sin embargo, nos encontramos con que menos de la mitad de los fabricantes que necesitan utilizarlo tienen un conocimiento sólido de cómo seguir lo que dicta el código. La razón principal por la que los fabricantes recurren a la norma AWS D1.1 es para calificar los procedimientos de soldadura y a los soldadores. Sin embargo, este código contiene mucho más que detalles sobre el proceso de cualificación. La norma D1.1 puede ser una herramienta inestimable que, si se aplica correctamente, puede suponer un enorme ahorro de costes. El propósito del código es garantizar la calidad, por lo que es lógico que, si se aplica de forma correcta y coherente, aumente la calidad de los productos que se fabrican. Este código proporciona muchos más detalles de los que nunca pensó cuando se trata de realizar soldaduras en componentes estructurales. Sin embargo, es extremadamente difícil de seguir si nunca se ha recibido una instrucción adecuada sobre cómo hacerlo. Sin duda, es posible coger el código y aprender por sí mismo a utilizar procedimientos de soldadura precalificados y a calificar los procedimientos de soldadura mediante pruebas. Sin embargo, con una instrucción adecuada puede evitar los costosos errores que son inevitables cuando uno va por libre. O, al menos, podrá acelerar la curva de aprendizaje. (Giachino & Weeks, 2017)

Baldomir, Isis, Plaza, & Vicente (2005) considera que este tipo de código engloba varios parámetros que se usan para soldar armazones de acero. Siempre y cuando el código disponga en los contratos, se tiene que exigir cumplir el código, salvo cuando el supervisor de obra o el contrato lo dispongan, es por ello que según el autor estima varios requisitos que tiene el código:

- Referencias que aportan al cliente sumar esta norma.

- Esquemas de las uniones de soldaduras que son vitales para formas tubulares y las que no son tubulares.
- Una calificación preliminar del WPS y también el detalle del proceso de la soldadura (WPS).
- Una evaluación al WPS y una aprobación por los soldadores para elaborar su trabajo mediante el código.
- Parámetros globales para elaborar los armazones de acero que dirige este código, anexados los parámetros para un metal general, técnicas, estructuración del material, reparación y la mano laboral.
- Control para calificar responsabilidad del inspector, como los criterios que se usan para aprobar soldaduras y también el tipo de proceso general para elaborar la inspección y también para elaborar los ensayos tipo no destructivos (NDT).
- Tipo de soldaduras de acero en pernos.
- Armazón tubular y los parámetros de las otras partes que se destinan a los armazones tubulares salvo que se diga lo opuesto.
- Compensación de los armazones mediante la soldadura de acero.

#### 2.1.2.2. INACAL

Significa Instituto Nacional de la Calidad que es una entidad del sector público que se encarga del Sistema Nacional de la Calidad. Ya que esta vinculados con el Ministerio de la Producción, a nivel nacional y también es técnica, funcional, económica, financiera y administrativa. En julio de 2014, mediante la Ley N° 30224, se creó el Sistema Nacional de la Calidad y el Instituto Nacional de la Calidad. Mediante el Decreto Supremo N° 046-2014-

PCM se aprobó la Política Nacional de la Calidad. El INACAL ofrece servicios de asesoramiento e infraestructura de calidad a instituciones públicas y privadas. (Dirección de Metrología, 2014).

#### **2.1.2.2.1. Objetivos del Sistema Nacional de la Calidad**

- Acordar cuales son las reglas de calidad y los grados variables que dispone el gobierno, de acuerdo con la PNC o Política Nacional de la calidad.
- Informar las actividades de la norma, la evaluación, metrología y la acreditación de la norma, cogido y estándares que son considerados a nivel mundial y tiene un convenio con el Perú.
- Suscitar a el avance de la calidad respecto a su cultura favoreciendo a una buena gestión de esta y también al empleo del manejo del soporte d ela calidad.
- Ayudar a la verificación de estas normas que requieren en varios mercados a nivel local para la exportación potencial.
- Desconcentrar los trabajos de la infraestructura que tiene la calidad para poder explicar todas las demandas a nivel nacional.

#### **2.1.2.3.Reglamento nacional de edificaciones**

El Reglamento Nacional de Edificación de Perú (RNE) es responsabilidad del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y está publicado en línea por el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. El Perú no dispone de un código activo para las edificaciones. En su lugar, depende en gran medida de la formación y la concienciación del público para la eficiencia energética. El Perú exige desarrollar normas voluntarias sobre

eficiencia energética. El Reglamento Nacional de Construcción de Perú, actualizado por última vez en 2006, tiene secciones sobre equipos mecánicos y eléctricos y aislamiento, pero se desconoce hasta qué punto aborda las medidas de eficiencia energética. (Gobierno del Peru, 2020)

Perú ya cuenta con algunas políticas nacionales sobre eficiencia energética. El siguiente paso es establecer códigos completos y obligatorios que establezcan directrices estrictas para la eficiencia en los edificios. Completar las normas comerciales y residenciales conducirá a un mayor cumplimiento y eficiencia en los edificios, y es la forma más fácil de alcanzar los objetivos establecidos por la Ley de Promoción de la Eficiencia Energética. Los códigos pueden integrarse en el Reglamento Nacional de Edificación, que actualmente se ocupa de los equipos mecánicos y eléctricos y del aislamiento, o crearse como entidades independientes. (Gobierno del Peru, 2020)

## **2.2. Soldadura**

### **2.2.1. Definición**

Es un procedimiento en donde existe una junta entre metales por calor, puede ser con colaboración de un metal añadido o sin él, para que exista una continuación entre ellos. Este proceso requiere de un abastecimiento de calor porque se necesita fundir estos materiales metálicos, este metal añadido debe ser evaluado para que pueda unirse, para ello se debe comprobar su fuerza de adherencia y que tenga una alta cohesión. Los resultados de la soldadura pueden ser considerable debido a que el metal añadido y su variación puede variar por el suministro de calor respecto a sus propiedades por ello debe evitarse que se genere porosidad, fisuras en el momento que se junten estos metales; sujetando firmemente ambas piezas metálicas para minimizar la deformación. (Tiznado, 2015)

### 2.2.2. Tipos de Uniones soldadas

Dependiendo del tipo de trabajo que realice un soldador, se requieren diferentes tipos de soldadura. No siempre se puede soldar en la posición más deseada, todo depende del tipo de soldadura que se requiera y de las juntas que se necesiten. A veces puede ser en el techo, en una esquina o en el suelo. Las juntas de soldadura son un borde o punto donde se juntan de dos a más piezas de metal. Las dos o más piezas (ya sean de metal o de plástico) se unen con la ayuda de un proceso de soldadura adecuado para formar una unión fuerte. (Tiznado, 2015)

El término diseño de las juntas de soldadura se refiere a la forma en que las piezas de metal se unen o se alinean entre sí. Los cinco diseños básicos de juntas son las juntas a tope, las juntas de solapa, las juntas en T, las juntas de esquina exterior y las juntas de borde. ilustra la forma en que se unen los miembros de la junta. (Rodríguez P. , 2001)

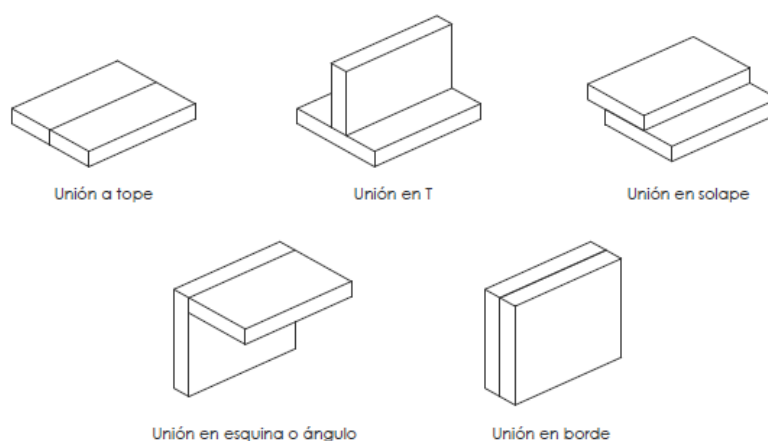


Figura 1 - *Tipos de uniones soldadas*

Fuente: Rodríguez P. (2001)

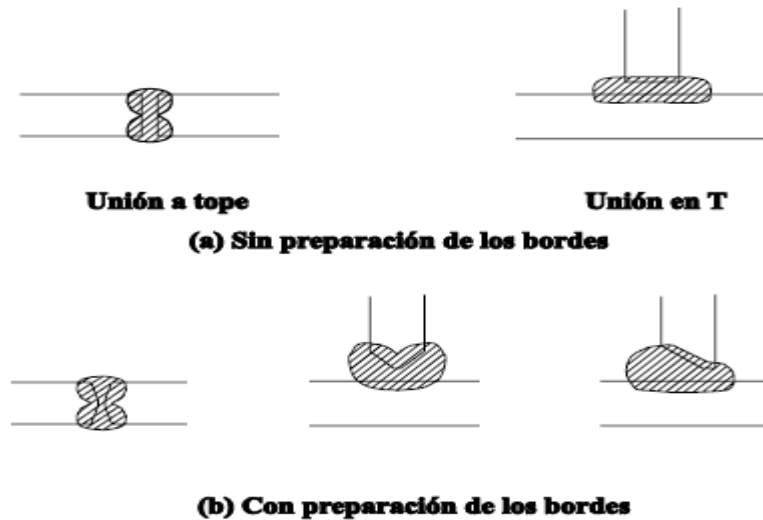


Figura 2 - Soldaduras con y sin preparación de bordes

Fuente: Tiznado (2015)

### 2.2.2.1. A tope

La soldadura a tope es uno de los tipos más sencillos y versátiles de uniones soldadas. La unión se realiza simplemente colocando dos piezas de metal juntas y soldándolas a lo largo de la unión. En una unión a tope, los bordes del metal se juntan de forma que el grosor de la unión es aproximadamente igual al del metal. Las superficies metálicas suelen ser paralelas entre sí, aunque puede haber alguna diferencia de grosor o desalineación de las chapas. Las juntas a tope pueden soldarse por un lado o por ambos lados con alguna forma de soldadura de ranura.

Este tipo de soldadura se considera como la unión que se forma colocando los extremos de dos piezas juntas se llama unión a tope. En la unión a tope, las dos piezas se encuentran en el mismo plano o una al lado de la otra. Es el tipo de unión más sencillo que se utiliza para unir piezas de metal o plástico. (Rodríguez P. , 2001)

### **Tipos de uniones soldadas a tope**

Este tipo de soldadura se realiza de diferentes maneras, y cada una sirve para un propósito diferente. Algunos ejemplos típicos según Tiznado (2015) de uniones soldadas a tope:

- Soldadura a tope cuadrada. La soldadura a tope cuadrada se utiliza principalmente para proyectos en los que los metales tienen un grosor de  $\frac{3}{16}$  de pulgada o menos. La soldadura a tope cuadrada es bastante fuerte, pero no se recomienda si la estructura terminada está sujeta a cargas de choque o fatiga con un uso prolongado.
- Soldadura a tope acanalada. Si desea soldar metales de más de  $\frac{3}{16}$  de pulgada de espesor, es probable que tenga que utilizar la unión a tope acanalada. El ranurado de las placas metálicas se utiliza para dar a la unión la resistencia necesaria. Los metales más gruesos tienen más espacio para aplicar la masilla y el ranurado de las chapas da como resultado una unión más permanente.
- Soldadura a tope en V. La soldadura a tope en V es más común en marcos de  $\frac{1}{4}$ " a  $\frac{3}{4}$ " de grosor. El ángulo cónico para la conexión suele ser de unos 60 grados para la chapa y de 75 grados para el tubo. Se puede preparar el metal con la ayuda de una máquina especial de biselado o un soplete de corte. El cordón de soldadura en forma de V es más caro de fabricar que una unión a tope cuadrada. También necesitará más material de relleno para esta soldadura que para la junta cuadrada.
- Soldadura a tope en doble V. La soldadura a tope en doble V es ideal para una gran variedad de proyectos. Su principal ventaja es que los metales de más de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de grosor pueden ser ranurados por ambos lados. Sin embargo,

puede utilizarse en placas metálicas más finas cuando la resistencia a la carga es crítica.

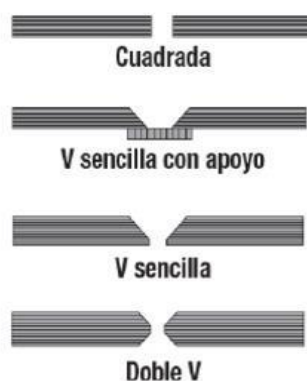


Figura 3 - *Tipos de uniones soldadas a tope*

Fuente: Tizado (2015)

#### 2.2.2.2. Esquina

La soldadura de juntas de esquina se refiere a los casos en los que dos materiales se unen en la "esquina" para formar una forma de L. Puede utilizar las uniones de esquina para construir piezas de chapa, incluyendo marcos, cajas y aplicaciones similares. Para completar esta unión, comience por clavar los bordes exteriores y, a continuación, realice el mismo movimiento curvo en zigzag que hicimos para nuestra soldadura en T fileteada. Las uniones de esquina pueden ser difíciles porque a menudo no se puede apoyar la mano en el material para estabilizar la mano de la antorcha. Es posible que quieras practicar un recorrido en seco a lo largo de la junta para asegurarte de que vas a ser capaz de soldar cómodamente, yo he llegado a sujetar una mordaza a otra pieza de material para crear un reposa manos. (Giachino & Weeks, 2017)

Este tipo de soldadura es la unión que se forma colocando la esquina de dos piezas en ángulo recto se denomina unión de esquina. Las dos piezas que se van a soldar con la junta de esquina forman la forma de L. (Tiznado, 2015)

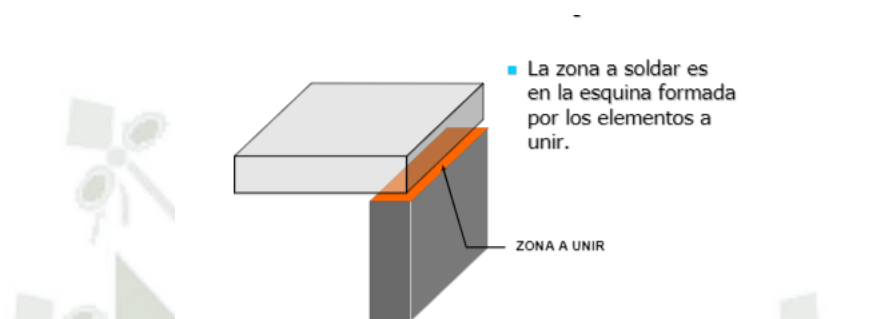


Figura 4 - *Representación de una soldadura de junta en esquina*

Fuente: Rodríguez P (2001)

### 2.2.2.3. Traslape

Las juntas de soldadura de traslape son esencialmente una versión modificada de la junta a tope. Se forman cuando dos piezas de metal se colocan superpuestas una sobre otra. Se suelen utilizar para unir dos piezas de distinto grosor. Las soldaduras pueden realizarse en uno o en ambos lados. En una unión solapada, los bordes del metal se solapan de manera que el grosor de la unión es aproximadamente igual al grosor combinado de ambas piezas de metal. La distancia de solapamiento de las superficies puede variar desde una fracción de pulgada hasta varios centímetros o incluso metros. Este tipo de soldadura suele unirse realizando una soldadura de filete a lo largo del borde de una placa, uniéndola a la superficie de la otra. Hay varias formas alternativas de soldar juntas de solapa en las que la soldadura se realiza a través de una o ambas piezas

de metal que unen la solapa en el centro del solapamiento. Las soldaduras pueden realizarse en un lado o en ambos lados de la unión. Los posibles inconvenientes de este tipo de unión por soldadura son el desgarro laminar o la corrosión debida a la superposición de materiales. Sin embargo, como todo, esto puede evitarse utilizando las técnicas correctas y modificando las variables según sea necesario.

La unión solapada se forma cuando las dos partes se colocan una sobre otra y luego se sueldan. Puede ser de una o dos caras. Este tipo de unión por soldadura se utiliza sobre todo para unir dos piezas de distinto grosor. (Tiznado, 2015)

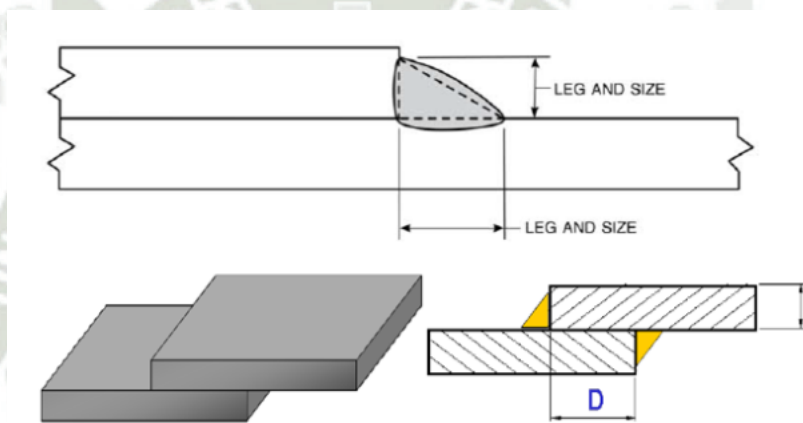


Figura 5 - Soldadura de traslape

Fuente: Tiznado (2015)

#### 2.2.2.4. Borde

Las Juntas de Soldadura de borde se aplican a menudo a piezas de chapa que tienen bordes rebordeados o se colocan en un lugar en el que se debe realizar una soldadura para unir las piezas adyacentes. Al tratarse de una soldadura de tipo ranura, las uniones de borde, las piezas se colocan una al lado de la otra y se sueldan en el mismo borde. En una junta de borde, las superficies metálicas se colocan juntas de manera que los bordes sean uniformes. Una o

ambas placas pueden formarse doblándolas en ángulo. La finalidad de una unión soldada es unir las piezas de manera que las tensiones se distribuyan. (Piquer, 2010)

Algunas juntas pueden soportar ciertos tipos de fuerzas mejor que otras; por ello cada uno de los procesos que tiene la soldadura tiene parámetros que influyen en el rendimiento. Entonces, este tipo de soldadura va ser la unión formada por la soldadura de los bordes de dos piezas se denomina unión de borde. Esta unión se utiliza cuando los bordes de dos chapas son adyacentes y son planos aproximadamente paralelos en el punto de soldadura. En esta unión la soldadura no penetra completamente en el espesor de la junta, por lo que no se puede utilizar en la aplicación de esfuerzos y presiones. (Tiznado, 2015)

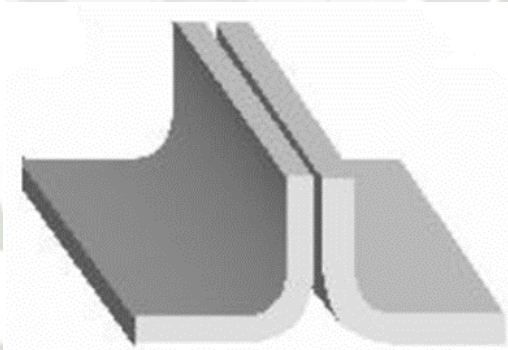


Figura 6 - *Tipo de soldadura en borde*

*Fuente: Tiznado (2015)*

#### **2.2.2.5. Tipo T**

Las soldaduras en T se crean cuando dos piezas se cruzan en un ángulo de 90°. Esto hace que los bordes converjan en el centro de un panel o componente en forma de T. Las uniones en T se consideran un tipo de soldadura en ángulo y también pueden formarse cuando un tubo o una tubería se sueldan a una placa

base. Las uniones en T no suelen estar ranuradas, a no ser que el metal base sea grueso y la soldadura de ambos lados no pueda soportar la carga que debe soportar la unión. Un defecto común que se produce en las uniones en T es la rotura de las láminas, que se produce debido a una limitación de la unión. Para evitar que esto ocurra, los soldadores suelen utilizar un tapón para evitar la deformación de la junta. La unión que se realiza mediante la intersección de dos partes en ángulo recto (es decir, a 90 grados) y una parte se encuentra en el centro de la otra. (Rodríguez P. , 2001)

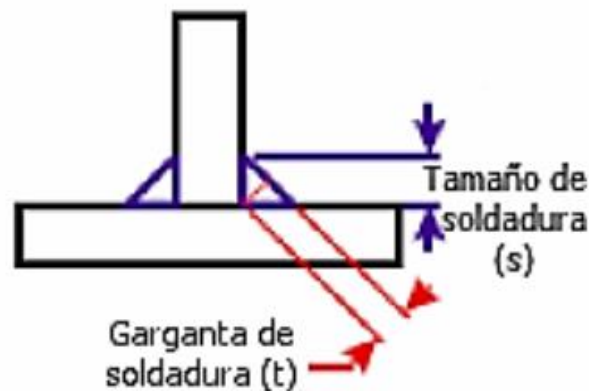


Figura 7 - Representación del tipo de soldadura en T

Fuente: Rodríguez P. (2001)

### 2.2.3. Tipos de posiciones de unión de soldadura

Conocer las cuatro posiciones básicas de soldadura puede ayudarle a elegir el metal de aportación y el proceso de soldadura adecuados para cualquier proyecto o trabajo que esté abordando. Cada posición de soldadura puede requerir diferentes técnicas, parámetros y preparación para lograr los mejores resultados. (Tiznado, 2015)

### 2.2.3.1.Filete

En la soldadura de tipo filete, las dos piezas metálicas se unen entre sí teniendo sus superficies en ángulo recto (ángulo de  $90^\circ$  entre la superficie que forma el filete). Este modo de soldadura es la más utilizada, se forma en las esquinas de las chapas superpuestas, etc. Sirve ya sea para minimizar el grado de distorsión, normalmente se usan soldaduras que sean de espacios amplios de forma intermitente, en una secuencia apta para reducir esta distorsión; es decir estas soldaduras se usan por puntos para una sujeción provisional preliminarmente a la realización de la soldadura en término. (Tiznado, 2015)

#### **Tipos de uniones soldadas en filetes:**

- Soldadura tipo filete completa: Se trata de un tipo de soldadura en donde su volumen es igual que su grosor.
- Soldadura tipo filete intermitente de forma escalonada: Se trata de un dúo de líneas respecto a una soldadura de forma intermitente en una junta, por ejemplo, como una junta en forma de T donde existe una línea de forma escalonada respecto a la otra.
- Soldadura tipo filete intermitente en cadena: Se trata de un dueto de líneas dentro de la junta en forma de T donde la soldadura es opuesta a la otra.
- Boxeo: que se refiere a la secuencia de la soldadura filete en la esquina de este, en otras palabras, se trata de una extensión que tiene la soldadura.

- Convexidad: Se refiere a la magnitud que es perpendicular máxima que va de la soldadura convexa hasta la línea que une esta soldadura.

Para ayudar a los operarios a entender el tipo de unión soldada (filete o ranura) y la posición de la soldadura, cada soldadura recibe un número y una letra desde 1G al 4G para indicar la posición y el tipo de soldadura requerido. Las soldaduras con un 1 son de posición plana, el 2 es horizontal, el 3 es vertical y el 4 es superior. La F significa soldadura de filete, mientras que la G es una soldadura de ranura. Una soldadura de filete une dos piezas de metal que están perpendiculares o en ángulo. Una soldadura de ranura se realiza en una ranura entre piezas o entre bordes de piezas. Según este sistema, una soldadura 2G es una soldadura de ranura en posición horizontal. Es probable que los soldadores vean estas designaciones en una WPS o en las hojas de datos del metal de aportación, que las utilizan para indicar las capacidades posicionales de metales de aportación específicos. (Molera, 2010)

La posición de soldadura se refiere básicamente a la posición o ubicación que tiene el soldador en relación con el punto de soldadura. Evidentemente, la gravedad tendrá un papel importante porque influirá en la dirección en la que fluirá el consumible de soldadura o el material de relleno. Giachino & Weeks (2017) las cuatro posiciones primarias básicas de soldadura son:

- Posición plana. Esta es la más simple y fácil de las posiciones de soldadura. Es posible que oiga hablar de ella como la posición "hacia abajo". Probablemente también sea la primera posición que aprenda si es nuevo en la soldadura. Los metales que hay que unir se colocan en posición plana. Un soldador utilizará el arco eléctrico para pasar por encima de las piezas, moviéndose de un lado a otro en dirección horizontal. La parte superior o de arriba se soldará de forma que el metal fundido pueda rellenar cualquier ranura.

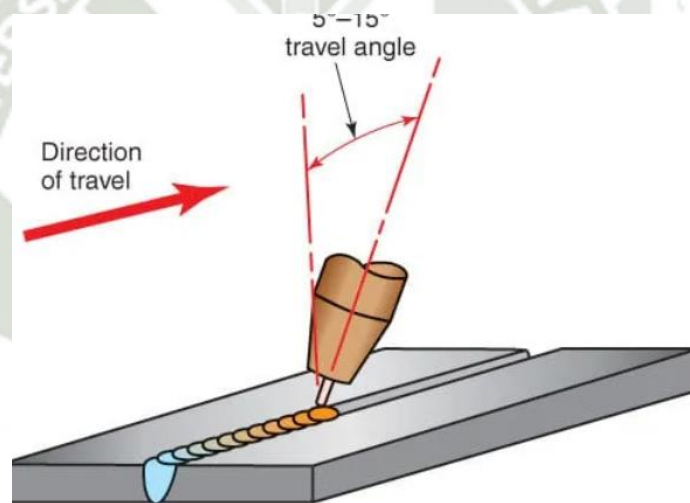


Figura 8 - Representación de la soldadura tipo filete por posición plana

Fuente: Giachino & Weeks (2017)

- Posición horizontal. Es lo que se llama la soldadura "fuera de posición" y requiere un nivel de habilidad superior para ejecutarla. El eje de la soldadura es horizontal, de ahí su nombre. La ejecución real de este tipo de posición dependerá del tipo de soldadura que se necesite. Por ejemplo, al realizar una soldadura en ángulo, el

soldador colocará el cordón de soldadura en el punto en el que una pieza metálica horizontal y una pieza metálica vertical forman un ángulo de  $90^\circ$ . Otro ejemplo es una soldadura de ranura. En este caso, la soldadura se ejecutará a lo largo del plano vertical.

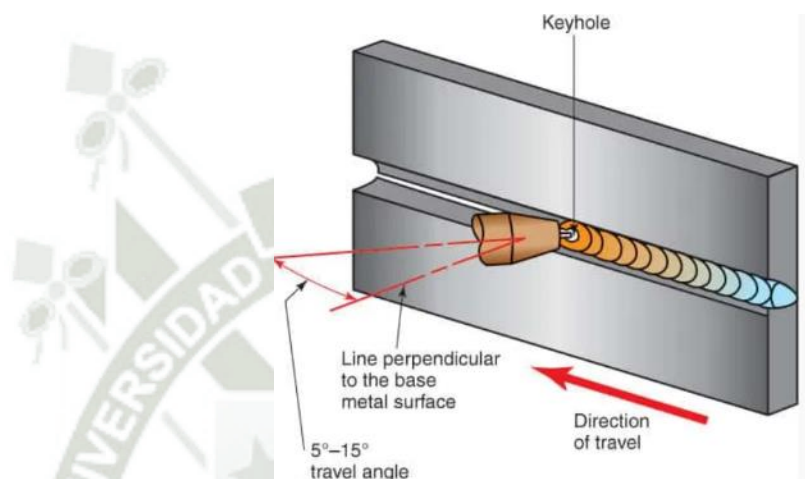


Figura 9 - Representación de la soldadura tipo filete por posición horizontal.

Fuente: Giachino & Weeks (2017)

- Posición vertical. Cuando se realiza una soldadura en posición vertical, la chapa y la soldadura se colocarán en posición vertical. Esta es una posición difícil de ejecutar para los principiantes porque, durante la ejecución de la soldadura, el metal fundido fluirá hacia abajo y tenderá a acumularse o amontonarse.

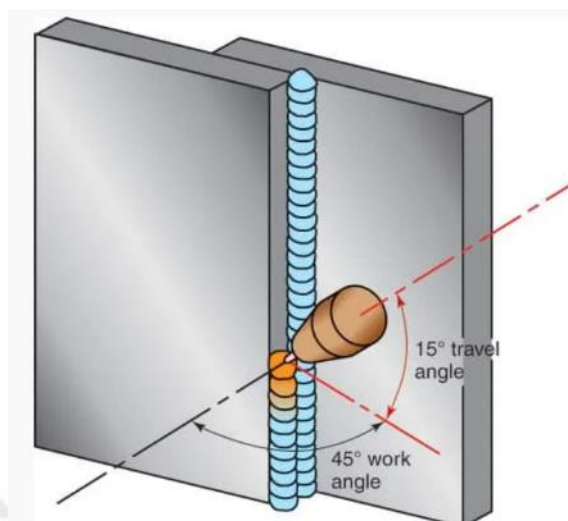


Figura 10 - Representación de la soldadura tipo filete por posición vertical.

Fuente: Giachino & Weeks (2017)

- Posición de cabeza. Se trata de la posición más complicada de la soldadura. Se realiza con las dos piezas de metal colocadas por encima del soldador. En esta situación, el soldador tendrá que posicionarse o angularse para realizar la soldadura, colocando el equipo para alcanzar las juntas a soldar. Una de las principales dificultades de esta posición puede ser el hundimiento del metal que creará una corona. Para gestionar esta situación, el charco de metal fundido debe mantenerse lo más pequeño posible.

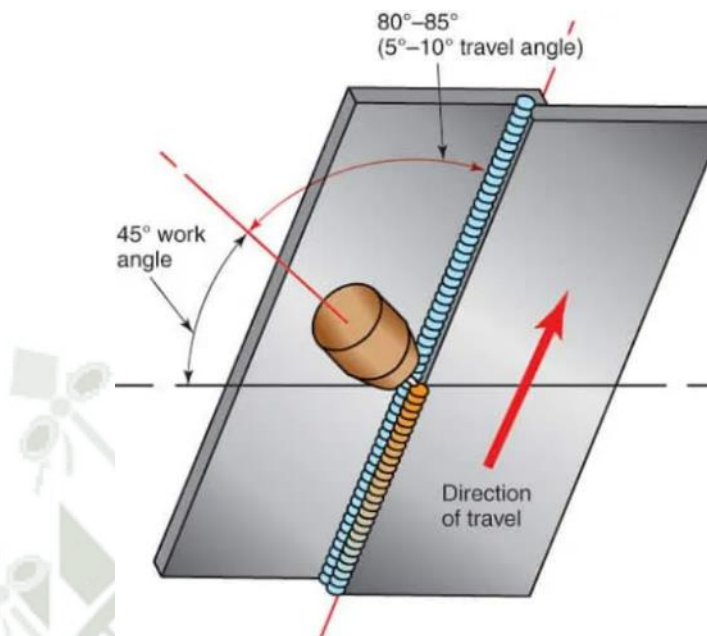


Figura 11 - Representación de la soldadura tipo filete por posición de cabeza.

Fuente: Giachino & Weeks (2017)

### 2.2.3.2. Bisel

El biselado es la operación para crear una superficie plana en ángulo en el extremo del tubo. La abertura creada por la operación de biselado permite al soldador acceder al espesor total de la pared del tubo y le permite realizar una soldadura uniforme que garantice la continuidad mecánica del conjunto. En la base de los chaflanes se realiza una pasada de raíz, que constituye la base para rellenar el ángulo de la ranura formado por los dos chaflanes mediante pases de soldadura sucesivos. La soldadura en bisel es el proceso de recortar los puntos de dos metales donde se supone que se van a soldar. Esto significa simplemente crear un espacio reduciendo partes de los extremos a tope de dos piezas de metal, de modo que haya un lugar para que el electrodo de soldadura se asiente y penetre en el hueco. (Molera, 2010)

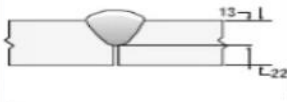
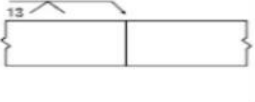


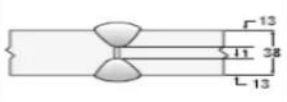
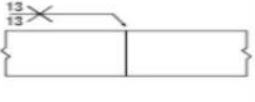
Soldadura	Simbología
<b>Ejemplo de soldadura de tope con bisel</b>	
	
	
	

Figura 12 - Simbología de las aplicaciones por soldadura con bisel

Fuente: Molera (2010)

### 2.2.3.3. Relleno

Se trata de una soldadura realizada en un orificio alargado en una parte de la junta en T que se une a otro que está expuesto a través del orificio. Este orificio puede estar abierto en un extremo y queda parcialmente lleno. (Rodríguez P. , 2001).



Figura 13 - Soldadura de tipo relleno

Fuente: Rodríguez P.(2001)

#### 2.2.3.4. Tapón

La soldadura de tapón es un tipo de soldadura en el que dos metales se unen entre sí mediante una soldadura colocada en pequeños agujeros circulares. La soldadura de tapón es aplicable para la unión de metales superpuestos en los que el metal superior contiene un agujero para la deposición de la soldadura. Las soldaduras de tapón son tipos de soldadura que son de forma circular elaboradas mediante una junta en forma de T que se junta a otro, esta soldadura se realiza mediante un orificio del primer componente, en caso que se usa un orificio las paredes de los componentes pueden estar llenos de meta, por ello este tipo de soldadura se usan generalmente en remaches. (Rodríguez O., 2013)

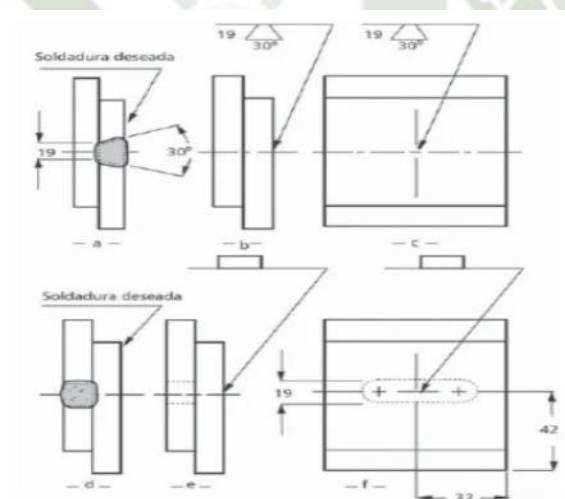


Figura 14 - Soldadura de tapón

Fuente: Rodríguez O. (2013)

#### 2.2.4. Tipos de soldadura

##### 2.2.4.1. Heterogénea

Este tipo de soldadura se realiza por fusión con una junta que ya se encuentra soldada donde el metal con el material que estaba en la base tienen

diferentes propiedades mecánicas y/o composición química. Ejemplo: Una soldadura de reparación de un elemento de hierro fundido realizada con un electrodo a base de níquel. Así mismo, esta soldadura es la manera de poder soldar mediante fusión añadiendo un elemento que sirva como relleno que está compuesto metalúrgicamente y es diferente a el material de la base donde se realiza la soldadura. Por lo tanto, si se aplica material de relleno durante la unión y la composición metalúrgica del relleno es diferente a la del metal base, se denomina soldadura heterogénea. En algunos casos, puede producirse una soldadura heterogénea. Esto ocurre cuando un consumible, o un relleno, tiene una composición única, que da lugar a diferentes propiedades mecánicas entre la unión soldada y los materiales principales. (Giachino & Weeks, 2017)

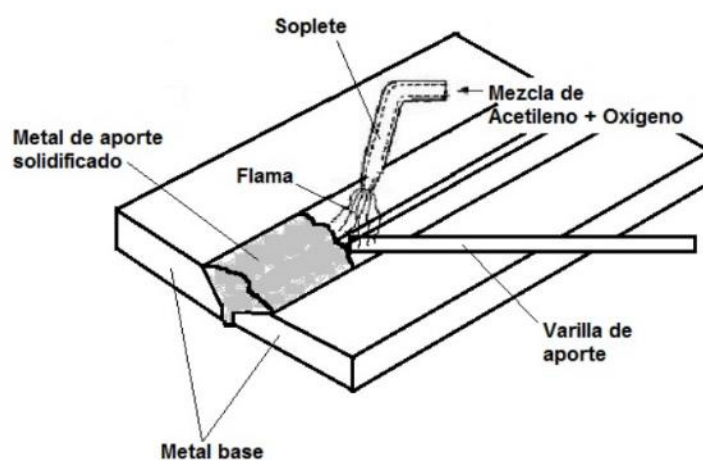


Figura 15 - *Proceso de la soldadura fuerte y blanda.*

Fuente: Rodríguez P. (2001)

#### 2.2.4.2. Soldadura Blanda

Se considera soldadura blanda porque el material metálico añadido debe fundirse por menos de  $450^{\circ}\text{C}$ , este tipo de soldadura tiene menor fuerza a comparación de la soldadura fuerte, a pesar de tener el mismo método para empezar a calentar estos materiales, y también usa un soldador eléctrico como el de estaño; este material metálico es usado por este tipo de soldadura ya que tiene una variación de acuerdo al funcionamiento del material metálico, como por ejemplo los más comunes con el estaño con plomo, zinc y con plata. Actualmente la norma para poder realizar la soldadura blanda es la UNE-EN ISO 9453 que trata de las aleaciones a menor de  $450^{\circ}\text{C}$ . Este tipo de proceso es común para unir materiales electrónicos, se usan solo para aleaciones que no necesitan esfuerzo ni temperatura alta, por eso se usa en la instalación del agua potable ya sea caliente o fría, en la calefacción a gas o solar; es decir para aquellas instalaciones donde no se supera una soldadura a punto de fusión mayor a  $220^{\circ}\text{C}$ . (Giachino & Weeks, 2017)

#### 2.2.4.3. Soldadura Fuerte

Este tipo de procedimiento el material metálico añadido debe fundirse a más de  $450^{\circ}\text{C}$ , es un tipo de metodología óptima, tiene una resistencia a ser unidas, entonces si se usa un material metálico óptimo, se puede tener una junta con parámetro resistente. La idoneidad del diseño para la soldadura fuerte se refiere a con las características de diseño que influyen el proceso de soldadura, como la forma y la estructura de la unión y las fuerzas que actúan sobre ella. Para ello hay que tener en cuenta las tensiones operativas, el tipo de material tipo de material base que se va a unir y la técnica de soldadura fuerte que se

utilizará. Se distingue se distingue entre las técnicas de soldadura fuerte de unión de materiales y las que se utilizan para trabajos de revestimiento de superficies (también conocidos como revestimiento). Las técnicas de unión por soldadura fuerte se clasifican en soldadura normal (es decir, de espacio estrecho) y soldadura fuerte. (Giachino & Weeks, 2017)

#### **2.2.4.4.Homogénea**

La soldadura homogénea es una forma de realizar la soldadura por fusión con la aplicación de material de relleno externo cuya composición metalúrgica es casi igual a la de los metales base. Por lo tanto, en la soldadura homogénea, se aplica un material de relleno que tiene la misma composición que el metal base. La soldadura homogénea es una forma de realizar la soldadura por fusión con la aplicación de material de relleno externo cuya composición metalúrgica es casi igual a la de los metales base. Por lo tanto, en la soldadura homogénea, se aplica un material de relleno que tiene la misma composición que el metal base. Cabe considerar que este tipo de soldadura no es particular respecto a la soldadura, como es el caso de MMAW, TIG, GMAW, etc. (Tizado, 2015)

También es posible la soldadura homogénea mediante el proceso de soldadura con gas intermedio de tungsteno (TIG). Sin embargo, los procesos de oxicorte (también conocidos como soldadura con gas) no pueden realizarse en modo homogéneo, ya que no utilizan material de relleno en los casos habituales (son principalmente soldaduras autógenas). Varios procesos de soldadura avanzados, como la soldadura por arco de plasma (PAC), haz de láser (LBW), electrones (EBW), etc. también son mayoritariamente autógenos. Según Molera (2010) las virtudes que tiene este tipo de soldadura son:

- Las chapas gruesas se sueldan eficazmente con una preparación adecuada de los bordes.
- La resistencia de la unión es excelente, mejor que la soldadura autógena.
- Debido al suministro suficiente de metal fundido, se reduce la tendencia a la formación de grietas durante la solidificación.
- Es posible soldar varias juntas, como la junta a tope, la junta de solapa, la junta en T, la junta de esquina, etc.
- Las uniones son más fiables, hay menos posibilidades de que fallen si se sueldan correctamente.
- Desventajas de la soldadura homogénea
- No es posible para la unión de chapas muy finas (provoca distorsión).
- El exceso del material añadido provoca refuerzos en el cordón, que es necesario eliminar después de la soldadura mediante esmerilado (tratamiento posterior obligatorio).
- El aspecto del cordón de soldadura no es bueno.
- La presencia de material de relleno a veces provoca salpicaduras.
- Coste adicional del material de relleno y también de su mantenimiento.

#### **2.2.4.5. Por presión**

La soldadura por puntos de resistencia es el método típico utilizado para la soldadura automática y la soldadura robotizada. En los últimos años, este método se ha adoptado para la unión de terminales en pequeños componentes electrónicos gracias a la escasa deformación por aporte de calor. Además de la soldadura por puntos de resistencia, esta página también presenta la soldadura por agitación de fricción (FSW), que destaca por la belleza de las secciones

unidas y que se utiliza habitualmente para soldar vehículos ferroviarios y paneles exteriores de aviones. En estos procesos el calor puede producirse internamente, pero no se requiere la aplicación directa de calor para la unión. Giachino & Weeks (2017) menciona que se pueden realizar de dos formas:

- Por presión en frío y caliente: Se limpia la superficie que se quiere juntar, cuando están en contacto se le aplica una leve presión hasta que se logren unir.
- Por fricción: Se gira el extremo de cualquiera de las piezas y luego se puede poner en contacto una con otra, este calor que se produce por la fricción sometida hace que se unan ambas piezas por una deformación tipo plástica.

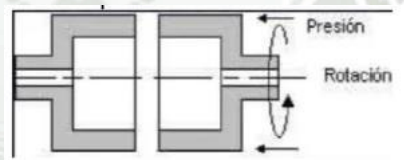


Figura 16 - Representación de una soldadura por presión

Fuente: Giachino & Weeks (2017)

#### 2.2.4.6. Por fusión

La soldadura por fusión comprende a los procedimientos de la soldadura donde el calor se administra directamente desde una fuente externa con el fin de fusionar o fundir las superficies de los metales base para formar un cordón de soldadura. Este calor puede aplicarse de diversas maneras, como por ejemplo mediante arco eléctrico, quemando gas oxi-combustible, etc. La soldadura por fusión puede utilizarse para unir materiales distintos con facilidad. Se puede añadir fácilmente material de relleno externo. No se necesita presión externa.

Utilizando este proceso, se pueden soldar más de dos componentes a la vez  
Giachino & Weeks (2017) existen varias clases:

- Soldadura tipo arco. -El tipo más popular de soldadura y hace honor a su nombre al basarse en un arco eléctrico para unir dos o más objetos. Con arcos eléctricos de hasta 6.000 grados Fahrenheit, este proceso de soldadura por fusión es muy capaz de fundir incluso los metales más duros. Además, la soldadura por arco puede realizarse bajo el agua por ello se considera ideal para proyectos en el mar.
- Soldadura por láser. -Otro tipo de soldadura por fusión es la soldadura por láser. También conocida como soldadura láser, implica el uso de radiación de luz para producir calor. El equipo de soldadura por láser esencialmente hace estallar las superficies con luz radiada. Con cada ráfaga, las superficies se calientan un poco más. A medida que los objetos se funden, se fusionan.
- Soldadura por inducción. -Además de la soldadura por arco y láser, existe el proceso de soldadura por fusión conocido como soldadura por inducción. La soldadura por inducción se distingue de todos los demás tipos de soldadura por fusión porque es la única en la que no hay contacto directo entre la superficie de un objeto y la fuente de calor. En la soldadura por inducción, se utiliza una bobina envuelta para crear un campo magnético que calienta el metal. El campo magnético calienta rápidamente el metal, haciendo que se funda y se fusione.
- Soldadura por oxicorte. -Un tipo de soldadura por fusión basada en productos químicos, la soldadura por oxicorte implica el uso de una llama para calentar y unir superficies, con oxígeno como fuente de combustible. El fuego, por supuesto, necesita oxígeno, que es la base sobre la que

funciona el oxicorte. El oxígeno alimenta el fuego para crear una llama caliente de más de 4.500 grados Fahrenheit. El oxicorte suele utilizar una combinación de oxígeno y un gas inflamable para crear una llama caliente para unir objetos.

- Soldadura con reactivos sólidos. -Por último, la soldadura con reactivos sólidos es un tipo de soldadura por fusión que se basa en reacciones químicas con determinados materiales para unirlos. Hay compuestos, por ejemplo, que crean calor cuando se mezclan. La soldadura de reactivos sólidos utiliza este principio para unir dos o más objetos.

## **2.2.5. Clasificación de los procesos de soldadura**

### **2.2.5.1. Soldadura por arco metal y gas (GMAW, MIG)**

También conocido como soldadura con gas inerte o MIG, este proceso utiliza un alambre fino como electrodo. El hilo se calienta a medida que se introduce en el instrumento de soldadura y hacia el lugar de soldadura. Hay que utilizar gas protector para proteger la soldadura de los contaminantes del aire. (Loayza, 2016)

Normalmente, este gas se presenta en forma de dióxido de carbono, oxígeno, argón o helio. Este método suele utilizarse para trabajar con metales como el acero inoxidable, el cobre, el níquel, el acero al carbono y el aluminio, entre otros. De todos los procesos de soldadura, éste es el más popular en los sectores de la construcción y la automoción. Algunos de los inconvenientes asociados a este tipo de proceso de soldadura giran en torno a los costes de obtención del gas de protección junto con la imposibilidad de soldar metales más gruesos o realizar soldaduras verticales o por encima de la cabeza. (Llano, 2009)

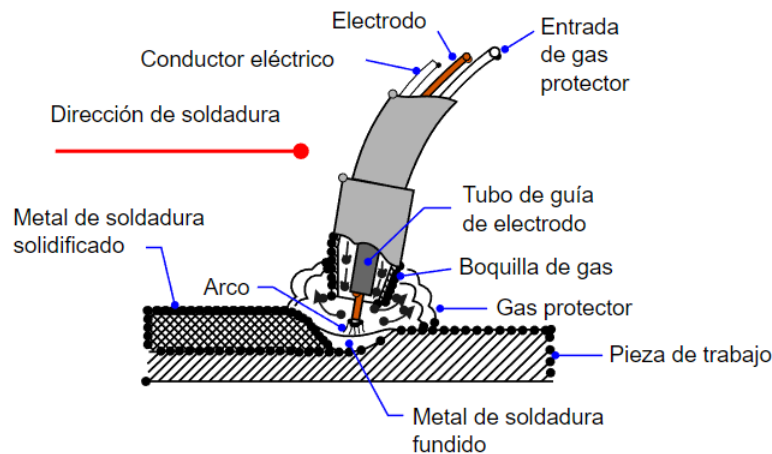


Figura 17 - Representación de la soldadura Arco de metal y gas.

Fuente: Llano (2009)

#### 2.2.5.2. Soldadura por arco de tungsteno con gas o gas inerte de tungsteno (GTAW/TIG)

Este tipo de proceso de soldadura, también conocido como soldadura con gas inerte de tungsteno o TIG, se suele utilizar para soldar materiales finos y no ferrosos como el aluminio, el cobre, el plomo o el níquel. Se suele aplicar en la fabricación de bicicletas o aviones. (Kumar, Kolhe, & Morey, 2016)

A diferencia de otros tipos de procesos de soldadura, la soldadura TIG utiliza un electrodo de tungsteno no consumible para producir la soldadura. Sigue necesitando un suministro de gas externo, normalmente argón o una mezcla de argón y helio. Como sólo hay una pequeña zona entre el arco y la zona que se suelda, se necesita una enorme precisión y habilidad para completarla. Las soldaduras realizadas con este método son extremadamente fuertes. (Jeffus, 2008)

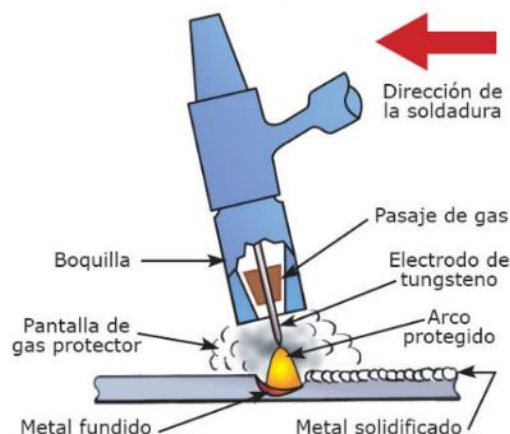


Figura 18 - Representación de la soldadura por GTAW/TIG

Fuente: Kumar, Kolhe, & Morey (2016)

### 2.2.5.3. Soldadura por arco metálico protegido (SMAW)

Este tipo de proceso de soldadura se basa en una técnica manual que utiliza un electrodo consumible recubierto de fundente. Este método suele ser el más popular entre los soldadores de talleres caseros. Este proceso también se conoce de manera más informal como soldadura de varilla. (Eliseo, 2008)

El apodo hace referencia al electrodo utilizado para soldar el metal, que tiene forma de "bastón". Dado que la soldadura por arco metálico protegido requiere un equipo mínimo, es uno de los procesos más económicos que existen. Son propensas a la porosidad, las grietas y la penetración superficial. En general, las soldaduras de varilla son menos duraderas que las que producen otros tipos de soldadura. (Cabrera & Cabrera, 2018)



Figura 19 - Representación de soldadura SMAW

Fuente: Cabrera & Cabrera (2018)

#### 2.2.5.4. Soldadura por arco tubular (FCAW)

Al igual que la soldadura MIG, la soldadura por arco con núcleo de fundente gira en torno a un proceso de alimentación de hilo continuo. Hay dos procesos distintos asociados a la soldadura por arco con núcleo de fundente. (Revista Pulso, 2015)

Uno implica el uso de gas de protección, mientras que el otro se basa en agentes de autoprotección producidos cuando los agentes fundentes se descomponen dentro del hilo. también permite a los soldadores realizar su trabajo al aire libre (las condiciones de viento no afectarán a la soldadura). El arco semiautomático proporciona una gran velocidad de soldadura y portabilidad, lo que lo convierte en un proceso popular para emplear en proyectos de construcción. (Cabrero, 2017)

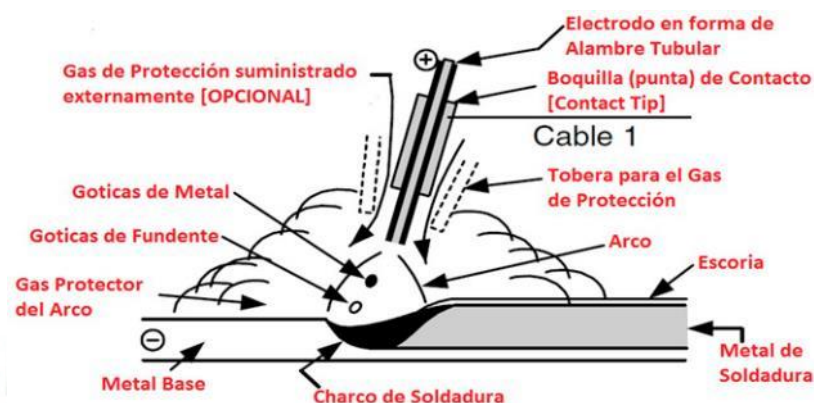


Figura 20 - Representación de la soldadura FCAW

Fuente: Cabrero (2017)

### 2.2.6. Método de aplicación de la soldadura

La soldadura es un proceso de fabricación en el que dos o más piezas se fusionan mediante el uso de calor, presión o ambos, formando una unión cuando las piezas se enfrían. La soldadura suele utilizarse en metales y termoplásticos, pero también puede emplearse en madera. (Ingegeek, 2022)

### 2.2.7. Simbología de la soldadura

Los símbolos de soldadura son parte integral y requisitos básicos para la fabricación, ya que proporcionan información vital para la ubicación de la junta de soldadura, el tamaño de la soldadura (longitud de la garganta o del tramo, profundidad de la penetración) y la longitud, el tipo de soldadura y los requisitos de calidad para el dibujo de fabricación o construcción. Así que, básicamente, un símbolo de soldadura es una parte de la simbología de soldadura. Un símbolo de soldadura completo se compone de una línea de flecha, una línea de referencia y un símbolo de soldadura. La cola es una parte opcional del símbolo de soldadura que

se utiliza para proporcionar información adicional que pueda considerarse necesaria para la producción de la unión de soldadura. Según Lagos (2017) en la terminología de los símbolos de soldadura, es muy importante comprender claramente los tres términos siguientes: (Lagos, 2017)

### 2.2.7.1. Símbolos de soldadura primarios

CHAFLAN							
PLANO	INCLINADO	V	BISEL	U	J	V ENSANCHADA	BISEL ENSANCHADO

ANGULO	TAPON U OJAL	ESPARRA- GO	PUNTO O PROYECCION	COSTURA	REVERSO O RESPALDO	RECARGUE	BORDE	
							CANTO	ESQUINA

Figura 21 - Representación de la soldadura FCAW

Fuente: Lagos (2017)

### 2.2.7.2. Símbolos complementarios

WELD- ALL- AROUND	FIELD WELD	MELT- THROUGH	CONSUMABLE INSERT (SQUARE)	BACKING (RECTANGLE)	SPACER (RECTANGLE)	CONTOUR		
						FLUSH OR FLAT	CONVEX	CONCAVE

Figura 22 - Símbolos complementarios en planos de soldadura

Fuente: Lagos (2017)

### 2.2.7.3. Colocación de los símbolos de soldadura

Generalmente observamos los símbolos de soldadura en los dibujos de fabricación e ingeniería, en los que se utilizan líneas y formas geométricas especiales, como triángulos, círculos, etc., para dar detalles sobre el tipo de soldadura, el tamaño de la soldadura y otra información de apoyo, como el proceso de soldadura, los requisitos de acabado de la superficie, etc. El elemento principal de los símbolos de soldadura es la línea horizontal. Es el corazón de un símbolo de soldadura, ya que todos los demás tipos de símbolos de soldadura se conectan a la línea de referencia colocándolos (por ejemplo, símbolo de soldadura, símbolos de contorno) sobre ella o conectándose (por ejemplo, cola, símbolo de soldadura de campo, línea de flecha) más allá de ella. Los detalles sobre el tamaño de la soldadura, la longitud, etc. se colocan en esta línea de referencia. (Ramírez, 2011)
















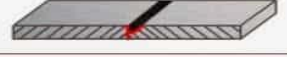
No.	Símbolo	Ilustración	Descripción
1			Soldadura a tope de pestañas
2			Soldadura a tope de bordes rectos
3			Soldadura a tope en V
4			Soldadura a tope en media V
5			Soldadura a tope en Y
6			Soldadura a tope en media Y
7			Soldadura a tope en U
8			Soldadura a tope en J

Figura 23 - Simbología de los tipos de soldadura.

Fuente: Tizado (2015)

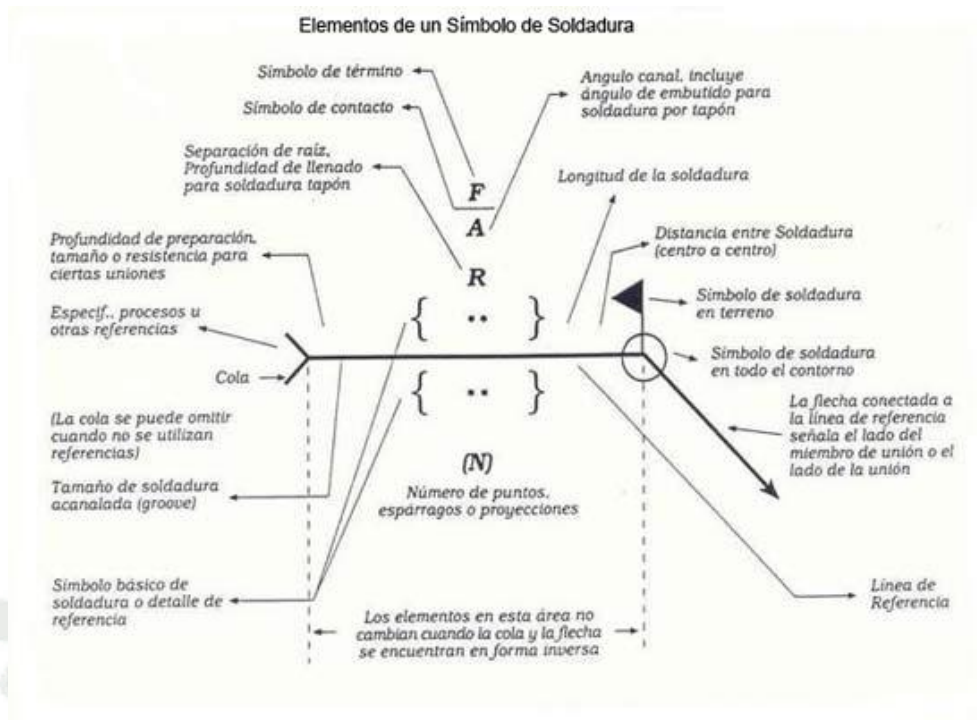


Figura 24 - Elementos de un símbolo de soldadura.

Fuente: Ramírez (2011)

### 2.3. Calidad en Soldadura

Durante los años se ha clasificado las normas de calidad, a pesar de ello se considera que no hay norma de calidad: no hay nada documentado y no hay una forma definida de aceptar o rechazar una soldadura. Sin embargo, como ya se ha dicho, todo el mundo tiene una norma de calidad, aunque no esté escrita o no se diga. Al fin y al cabo, si faltan soldaduras se vuelve a soldar esas juntas. Así que siempre hay un nivel mínimo de garantía de calidad. La norma mínima de soldadura sería poder soldar donde se necesita una soldadura y asegurarse de que las piezas se adhieren. (Tiznado, 2015)

#### 2.3.1. Calidad basada en el aspecto de la soldadura

Es la norma de calidad de la soldadura más común. Aceptamos o rechazamos una soldadura basándonos en su aspecto. El mayor problema de este método es

que es subjetivo. Podemos saber algunas cosas sobre una soldadura por su aspecto exterior, pero sin un WPS debidamente cualificado detrás no tenemos ninguna garantía real de que la soldadura sea buena.

### **2.3.2. Calidad basada en la inspección visual**

La inspección visual que se realiza por un inspector de soldadura es un medio de control de calidad. Esto va más lejos de solo considerar la apariencia de la soldadura, que es mayormente subjetiva. Este método sigue siendo limitado, ya que el inspector sólo observa el exterior de la soldadura. Puede medir el tamaño de la soldadura y buscar discontinuidades como grietas, socavones y solapamientos. Pero el inspector no puede detectar la falta de fusión, la falta de penetración, las inclusiones y otras discontinuidades del subsuelo. Esto nos remite al comentario realizado anteriormente, si no sabemos si se está utilizando un procedimiento de soldadura sólido, no podemos estar seguros de que la soldadura está alcanzando el nivel de calidad deseado.

### **2.3.3. Calidad basada en otros métodos de pruebas no destructivas (NDT/END)**

Cuando podemos añadir la inspección volumétrica a la inspección visual, podemos detectar muchos, si no todos, los posibles defectos de soldadura. No existe un único método de END (visual, radiográfico, ultrasónico, de fugas, de líquidos penetrantes, etc.) que pueda detectar todas las discontinuidades. Hay que emplear una combinación de ellos para tener un 100% de seguridad de que la soldadura no tiene discontinuidades. Esto está muy bien, pero, como se puede imaginar, puede resultar muy caro. El objetivo sería instituir medidas que disminuyeran la cantidad de NDT/END necesarios para garantizar el cumplimiento del 100% de las normas de calidad especificadas.

#### **2.3.4. Calidad basada en los códigos de soldadura estructural**

Seguir los códigos de soldadura estructural como AWS D1.1, D1.2, D1.6 y otros, proporciona un método rentable para producir soldaduras de calidad. La premisa aquí es que usted calificará un procedimiento de soldadura mediante pruebas para demostrar que es capaz de producir soldaduras sólidas. También puede utilizar un procedimiento de soldadura precalificado si lo permite el código vigente. El procedimiento de soldadura cualificado debe ser utilizado por soldadores que deben tener un nivel mínimo de conocimientos. Este nivel mínimo de destreza se verifica mediante una prueba de cualificación del rendimiento del soldador. Una vez que estos dos elementos (procedimientos de soldadura cualificados y soldadores cualificados) se han establecido, deben complementarse con un buen programa de inspección de soldaduras. Los tres componentes que se indican a continuación son la base de cualquier norma de calidad de las soldaduras establecida por los códigos de soldadura estructural:

- Especificaciones de procedimientos de soldadura cualificados (o precalificados)
- Desempeño calificado del soldador
- Métodos de inspección de soldaduras claramente definidos

#### **2.3.5. Normas de calidad internas**

Esta es la que posiblemente requerirá más trabajo, pero también la que mejor optimiza la calidad. Esto significa que asegurará el nivel de calidad especificado, pero no necesariamente nada más allá. Puede utilizar los códigos de soldadura estructural como base para desarrollar las normas de calidad, pero incluye requisitos más estrictos cuando es necesario. Del mismo modo, flexibilizará los

requisitos de dichos códigos si son innecesariamente restrictivos para los productos que se fabrican.

#### 2.4. Terminología y clasificación

Amperaje: Medida de la cantidad de electricidad que pasa por un punto determinado de un conductor por segundo. La corriente es otro nombre para el amperaje.

- Alimentador de hilo de velocidad constante: El alimentador funciona con 24 o 115 VAC suministrados por la fuente de potencia de soldadura.
- Arco: Espacio físico entre el extremo del electrodo y el metal base. El hueco físico provoca calor debido a la resistencia del flujo de corriente y los rayos del arco.
- Automatización fija: Sistema de soldadura automatizado y controlado electrónicamente para soldaduras simples, rectas o circulares.
- Automatización flexible: Sistema de soldadura automatizado, controlado robóticamente, para formas y aplicaciones complejas en las que las trayectorias de soldadura requieren la manipulación del ángulo de la antorcha.
- Autógeno: Soldadura completa sin el uso de materiales de relleno.
- AWS: Sociedad Americana de Soldadura.
- AWS D1.1: Código de soldadura de acero estructural proporcionado por AWS.
- Corriente continua (DC): Fluye en una dirección y no invierte su dirección de flujo como lo hace la corriente alterna.
- Corriente: Otro nombre para el amperaje. La cantidad de electricidad que pasa por un punto de un conductor cada segundo.

- Corte por arco de carbono con aire (CAC-A): Proceso de corte mediante el cual los metales se funden por el calor de un arco con un electrodo de carbono. El metal fundido se aleja del corte mediante una ráfaga de aire forzado.
- Corriente alterna (CA): Corriente eléctrica que invierte su sentido a intervalos regulares, como la corriente alterna (CA) de 60 ciclos, o 60 hertzios.
- Conexión a tierra: Una conexión de seguridad desde el bastidor de una máquina de soldar a la tierra. Véase Conexión de la pieza de trabajo para conocer la diferencia entre conexión de trabajo y conexión a tierra.
- Conexión a tierra: Cuando se refiere a la conexión de la máquina de soldar a la pieza, véase el término preferido "Conexión de la pieza".
- CWI: Instructor de soldadura certificado por la AWS.
- Defecto: Una o varias discontinuidades que provocan un fallo de comprobación en una soldadura.
- Dig: También llamado Control de Arco. Da a la fuente de potencia un amperaje adicional variable durante condiciones de baja tensión (longitud de arco corta) mientras se suelda. Ayuda a evitar que se "peguen" los electrodos Stick cuando se utiliza una longitud de arco corta.
- Electrodo de corriente continua negativo (DCEN): La dirección del flujo de corriente a través de un circuito de soldadura cuando el cable del electrodo está conectado al terminal negativo y el cable de trabajo está conectado al terminal positivo de una máquina de soldadura de CC. También se denomina corriente directa, polaridad recta (DCSP).
- Electrodo de corriente continua positivo (DCEP): La dirección del flujo de corriente a través de un circuito de soldadura cuando el cable del electrodo está conectado a un terminal positivo y el cable de trabajo está conectado a un terminal

negativo de una máquina de soldadura de CC. También se denomina corriente continua, polaridad inversa (DCRP).

- Defecto: Una interrupción en la configuración o condición normal de un material o artículo bajo examen que excede el código o estándar aplicable bajo el cual se está realizando el examen. Este término designa la rechazabilidad.
- Discontinuidad: Interrupción de la estructura típica de un material, como una falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. Una discontinuidad no es necesariamente un defecto.
- Evaluar: Determinar el valor; la práctica de determinar si una condición observada excede los criterios aplicables para la inspección dada.
- Falsa indicación: Indicación causada por un procesamiento incorrecto, como huellas dactilares, manchas, contaminación excesiva. Las indicaciones falsas son aquellas que se eliminan corrigiendo los errores de procesamiento.
- Hertz: El hercio se suele denominar "ciclos por segundo". En Estados Unidos, la frecuencia o el cambio de dirección de la corriente alterna suele ser de 60 hercios.
- Mecanizado CNC: CNC es un acrónimo o una designación para una máquina que utiliza un ordenador dedicado para controlar las acciones de la máquina y aumentar su precisión. Las máquinas CNC más comunes son las impresoras, los tornos y los centros de fresado.
- Máquina de soldar de corriente constante (CC): Estas máquinas de soldar tienen una corriente de cortocircuito máxima limitada. Tienen una curva negativa de voltios y amperios y suelen denominarse "droopers".
- Máquina de soldar de tensión constante (CV), potencial constante (CP): Este tipo de salida de la máquina de soldar mantiene un voltaje relativamente estable y

constante, independientemente de la salida de amperaje. El resultado es una curva voltio-amperio relativamente plana.

- Soldadura por arco tubular (FCAW): Proceso de soldadura por arco que funde y une metales calentándolos con un arco entre un hilo de electrodo continuo y consumible y la pieza. El blindaje se obtiene de un fundente contenido en el núcleo del electrodo. El blindaje adicional puede provenir o no de un gas o una mezcla de gases suministrados externamente.
- Soldadura por arco metálico con gas (GMAW): Véase soldadura MIG.
- Soldadura por arco de gas tungsteno (GTAW): Véase soldadura TIG.
- Soldadura automática: Utiliza un equipo que suelda sin el ajuste constante de los controles por parte del soldador u operador. El equipo controla la alineación de la unión mediante un dispositivo de detección automática.

#### 2.4.1. Diseño

Cuando se diseñan productos que requieren soldadura, el diseñador debe tener en cuenta desde el principio del proyecto las implicaciones de la elección del proceso de soldadura y cómo se fabricará el componente. La soldadura puede describirse en gran medida como un proceso especial y la elección del proceso de soldadura para un trabajo concreto puede ser difícil si no se tiene un conocimiento experto. Hay muchas técnicas de soldadura que se han desarrollado a lo largo de los años, algunas de las cuales siguen evolucionando, y los proveedores de equipos tienden naturalmente a defender su propia tecnología. (Giachino & Weeks, 2017)

El ingeniero de diseño puede encontrarse con un número desconcertante de opciones para la fabricación de piezas y a menudo tomará decisiones basadas en su propia experiencia previa. La elección de un proceso de fabricación dependerá

de una serie de factores que incluyen costes de desarrollo, capital y funcionamiento Giachino & Weeks (2017) considera los siguientes parámetros para un buen diseño:

- Acceso y secuencia de montaje
- Tolerancia dimensional
- Productividad
- Idoneidad técnica de la pieza acabada, tanto en términos de calidad de fabricación como de idoneidad para el servicio
- Requisitos de inspección
- Rendimiento histórico
- Seguridad y salud
- Requisitos normativos, contractuales y legislativos.

Los conocimientos necesarios, incluyendo la metalurgia y la tecnología, son muy amplios. Los diseñadores pueden estar expuestos sólo ocasionalmente a la soldadura como una de las muchas otras tecnologías de fabricación. Por lo tanto, es muy posible que los profesionales descuiden inadvertidamente detalles fundamentales demasiado especializados para ser de conocimiento común. Esto, a su vez, puede causar operaciones de soldadura más costosas o dificultades para obtener construcciones soldadas sin defectos.

#### **2.4.2. Tecnología de soldeo**

La soldadura es un proceso para unir metales de forma permanente utilizando un arco eléctrico para fundir un metal de relleno en el metal original. En pocas palabras, el proceso convierte dos piezas de metal en una. Un soldador también puede cortar, contornear y biselar placas de metal y formas estructurales en las

dimensiones especificadas por planos, órdenes de trabajo y plantillas utilizando sopletes, sierras, cizallas u otras máquinas herramienta. La soldadura requiere la habilidad y el talento de un artista adquiridos mediante la formación y la disciplina. (Giachino & Weeks, 2017)

### **2.4.3. Control de soldeo, tratamiento térmico**

El tratamiento térmico es una operación que requiere mucho tiempo y es costosa. Puede afectar a la resistencia y la tenacidad de una unión soldada, a su resistencia a la corrosión y al nivel de tensión residual, pero también es una operación obligatoria especificada en muchos códigos y normas de aplicación. Además, es una variable esencial en las especificaciones de cualificación del procedimiento de soldadura. El tratamiento es realizado a una temperatura elevada y destinado a tomar en solución elementos y compuestos que luego son retenidos en solución al enfriarse rápidamente desde la temperatura de tratamiento de la solución. Esto puede hacerse para reducir la resistencia de la unión o para mejorar su resistencia a la corrosión. En el caso de ciertas aleaciones, puede ir seguido de un tratamiento térmico a menor temperatura para reformar los precipitados de forma controlada (endurecimiento por envejecimiento o precipitación). (Molera, 2010)

### **2.4.4. Inspección y Ensayos**

#### **2.4.4.1. Inspección y prueba de las soldaduras en ángulo (uniones en T)**

Se trata de una inspección visual de la soldadura terminada, seguida de dos macrograbados y una prueba de rotura de la soldadura en ángulo. En primer lugar, se inspecciona la muestra soldada para detectar cualquier discontinuidad visual y, a continuación, se secciona y se extraen dos pequeñas muestras en

lugares predeterminados. Estas pequeñas muestras se pulen en su sección transversal y luego se graban utilizando algún tipo de mezcla de ácido suave, dependiendo del material base utilizado. La muestra soldada restante se utiliza como prueba de rotura de la soldadura en ángulo y se rompe contra la soldadura para revelar la estructura interna de la misma para su inspección. (Molera, 2010)

#### **2.4.4.2. Inspección y pruebas de las soldaduras de ranura (juntas a tope)**

Se trata de una inspección visual, seguida de dos pruebas de tracción transversal, dos pruebas de doblado de la raíz y dos pruebas de doblado de la cara. (Estas pruebas son típicas, pero pueden variar en función del grosor del material, el tipo y los requisitos de la norma. Es posible que se requieran pruebas diferentes y/o adicionales, como curvas laterales, pruebas de tracción de todas las soldaduras, pruebas de impacto u otras pruebas). El cupón de soldadura terminado, tras la inspección visual, se divide en pequeñas secciones predeterminadas. Cada sección se prepara, normalmente mediante mecanizado, con las dimensiones específicas prescritas por la norma. A continuación, cada pequeña muestra se ensaya mecánicamente para determinar sus características. A continuación, estas muestras se inspeccionan para determinar su aceptabilidad, en función de los criterios de aceptación especificados, tal y como establece el código o la norma aplicable. Normalmente, la norma indicará el tamaño máximo y la ubicación de las distintas discontinuidades de la soldadura y/o, en su caso, valores como la resistencia mínima a la tracción o las propiedades de impacto mínimas deseadas. (Rodríguez P. , 2001)

#### 2.4.4.3. Métodos de ensayo de soldaduras

Según Molera (2010) los ensayos de soldadura pueden dividirse en dos tipos diferentes: ensayos no destructivos (NDT) y ensayos destructivos.

- **Pruebas destructivas**

Los ensayos destructivos miden las propiedades físicas de los metales base y los componentes para comprender mejor el rendimiento de un material en determinadas condiciones. En comparación con los ensayos no destructivos, los métodos de ensayo destructivos suelen ser más fáciles de realizar, a la vez que proporcionan más información y facilitan la interpretación de los resultados.

- **Ensayos no destructivos**

Los ensayos de soldadura no destructivos consisten en evaluar la calidad estructural de los componentes sin dañarlos. Este tipo de ensayo tiene la ventaja de ahorrar tiempo y dinero en la evaluación e investigación de productos. Varios tipos de ingeniería hacen uso de los métodos NDT, como la ingeniería forense, la ingeniería mecánica, la ingeniería petrolera y la ingeniería eléctrica.

#### 2.4.5. Criterios de inspección en fallas de soldaduras

A continuación, se exponen algunos puntos importantes de la Sección IX de la ASME que deben ser tenidos en cuenta por cualquier empresa de inspección de soldaduras que lleve a cabo la inspección de soldaduras en equipos fijos, tuberías de proceso y de potencia y tanques de almacenamiento sobre tierra. (Giachino & Weeks, 2017)

- Un WPS es un documento escrito que proporciona instrucciones al soldador u operador de soldadura para realizar la soldadura de producción de acuerdo

con los requisitos del código. Debe ser comprobado por la empresa de inspección de soldadura.

- El PQR documenta lo ocurrido durante la soldadura del cupón de prueba y el resultado de la prueba del cupón. Debe ser comprobado por la empresa de inspección de soldadura.
- Las calificaciones del procedimiento indican la idoneidad de la soldadura para las propiedades mecánicas requeridas (es decir, resistencia, ductilidad), mientras que las calificaciones del rendimiento muestran la capacidad del soldador para depositar una soldadura sólida. Esto debe ser comprobado por la empresa de inspección de soldaduras. Cada fabricante o contratista deberá mantener un registro de los resultados obtenidos en el procedimiento de soldadura y las calificaciones de rendimiento del soldador/operador. Los registros deberán ser certificados por el fabricante o contratista y accesibles al inspector autorizado
- El ensayo de tracción proporciona un valor de tracción, mientras que el ensayo de flexión muestra la ductilidad y la solidez. La radiografía también indica la solidez.
- Por lo tanto, la calificación del procedimiento: Ensayo de tracción + ensayo de flexión
- Calificación del rendimiento: Prueba de flexión o radiografía
- El ensayo de tracción para la cualificación del procedimiento se aprueba si el fallo se produce en a) El metal de soldadura en la resistencia  $\geq$  SMTS del metal base o b) El metal base en la resistencia  $\geq$  95% del SMTS del metal base. Esto debe ser comprobado por la empresa de inspección de soldadura.

- Cuando el soldador u operador de soldadura esté cualificado por radiografía, la longitud mínima del cupón a examinar será de 6 pulgadas y deberá incluir toda la circunferencia de la soldadura para la tubería
- Se acepta la prueba de producción con alguna condición

#### **2.4.5.1.Sensibilidad**

Si la sensibilidad se desvía más de  $\pm 3$  dB de los valores originales, se reajustarán los ajustes de sensibilidad se reajustarán y las posibles indicaciones se recalcularán a sus valores correctos. Si los ajustes de sensibilidad se desvían más de  $\pm 6$  dB de los valores originales, entonces se investigación tratará de aclarar la razón del cambio de sensibilidad. El resultado se indicará en la hoja de datos para la comprobación de la calibración. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.2.Umbral de Detección**

En los ensayos no destructivos por radiografía, el conocimiento perfecto de la forma del defecto de la soldadura es un paso esencial para apreciar la calidad de la misma y tomar la decisión de su aceptación o rechazo. Debido a la naturaleza compleja de las imágenes consideradas, y con el fin de que la región del defecto detectado represente lo más exactamente posible el defecto real, la elección de los métodos de umbralización debe hacerse con criterio. En este trabajo se utilizan criterios de rendimiento para realizar un estudio comparativo de los métodos de umbralización basados en el histograma de niveles de gris, el histograma 2D y el enfoque localmente adaptativo para la detección de defectos de soldadura en imágenes radiográficas. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.3.Indicación**

La inspección de la soldadura se basa en la inspección visual y en otros métodos de pruebas no destructivas (NDT). Se utilizan para encontrar

indicaciones que deben interpretarse de acuerdo con el procedimiento de inspección para ese trabajo en particular. Los indicios son la jerga de la inspección para referirse a posibles defectos. Estas discontinuidades (un nombre más elegante para las indicaciones) tienen que ser evaluadas con referencia a los criterios de aceptación para ese trabajo en particular. Tras la comparación con los criterios, se consideran aceptables o rechazables. Estos métodos de inspección no destructiva (NDI) requieren una formación especial y la acumulación de experiencia. También es importante que tanto el inspector como el soldador entiendan la terminología de los defectos y los términos y definiciones de la soldadura. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.4. Discontinuidad**

No todas las discontinuidades de soldadura son defectos de soldadura, pero todos los defectos de soldadura son discontinuidades. Entender la diferencia le permitirá saber si necesita desechar una pieza, repararla o simplemente añadir más soldadura. Existen muchos códigos dependiendo del tipo de producto que se suelde. Los códigos son utilizados como directrices por los fabricantes para redactar sus propias especificaciones. Sólo porque un determinado código permite una cierta cantidad de porosidad, un fabricante puede no permitir que sus proveedores tengan ninguna. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.5. Defecto**

Los defectos de la soldadura, como el agrietamiento y la porosidad, tienen un gran efecto en el rendimiento del cordón de soldadura. Las muestras tomadas después del proceso LSM, con diferentes parámetros de fabricación, se comprobaron para verificar la aparición de porosidad y agrietamiento. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.6. Discontinuidad crítica**

Un punto crítico de discontinuidad (DCP) (o un punto crítico de primer orden). Obtenemos las relaciones universales de escalado de la densidad de defectos y de la energía residual después de un apagado temporal, mientras que también desentrañamos el escalado de la escala de longitud característica asociada a un apagado espacial de un campo de ruptura de simetría. (Tiznado, 2015)

#### **2.4.5.7. Interpretación**

Algunos símbolos de soldadura parecen complicados, pero cuando se desglosan, se ve que son bastante sencillos. Los símbolos de soldadura son ilustraciones de la junta pre soldada mirando de lado, como a través de una sección transversal. Cada símbolo de soldadura se explica individualmente, con su perfil de soldadura al lado. Hay dos sistemas que se utilizan para la interpretación, y cuatro secciones de símbolos diferentes que se explican en este artículo: la plataforma de base, los símbolos de soldadura a tope de base, otros símbolos de base y los símbolos suplementarios. Cada sección es independiente si necesita centrarse en un conjunto de símbolos de soldadura, pero la lectura de las cuatro le proporcionará una comprensión útil del sistema general. (Tiznado, 2015).

#### **2.4.5.8. Evaluación**

El laboratorio realiza exámenes metalúrgicos macroscópicos y microscópicos, así como pruebas de dureza de soldaduras de acero y de aleaciones no ferrosas y de soldaduras superpuestas, según procedimientos como BS EN 1321 e ISO 17639. Por su naturaleza, se trata de un método destructivo en el que se toman una o varias secciones transversales de la soldadura. La

sección se prepara metalográficamente (esmerilada, pulida y grabada) antes de ser examinada en busca de defectos. La evaluación de la soldadura se realiza normalmente para la evaluación del soldador cuando se comprueba su capacidad para realizar un procedimiento de soldadura específico. La evaluación de la soldadura también se realiza durante el examen de fallos cuando se sospecha que una soldadura es la causa o un factor que contribuye al fallo. (Tiznado, 2015)

## **2.5. Defectología de las soldaduras**

Los defectos externos o de rotura de la superficie de la soldadura pueden detectarse visualmente o con la ayuda de la inspección por líquidos penetrantes. Los defectos internos se detectan mejor mediante radiografía o examen macro de secciones transversales. Existen numerosos defectos de soldadura que pueden causar fallos, dependiendo de la gravedad del defecto. Algunos de ellos son la porosidad por gas, la porosidad por contracción, las inclusiones no metálicas, la socavación, la falta de fusión, la falta de penetración, el tamaño insuficiente de la soldadura, la precipitación de fases nocivas en la zona afectada por el calor HAZ, las grietas en la soldadura o en la zona afectada por el calor. (Giachino & Weeks, 2017)

### **2.5.1. Fallas en el proceso de soldadura**

Cada vez se adoptan más procesos de soldadura nuevos o relativamente nuevos, como la soldadura por fricción, la soldadura por puntos de resistencia y la soldadura por láser, para sustituir o mejorar las técnicas de soldadura tradicionales. Antes de emplear las técnicas de soldadura avanzadas, es preciso conocer bien sus posibles mecanismos de fallo y evaluar su idoneidad para soldar determinados metales y aleaciones en diferentes situaciones. (Loayza, 2016)

### **2.5.1.1. Fracturas en el cordón de la soldadura**

El cordón de soldadura formado por la soldadura láser del acero es duro y estrecho en comparación con el producido por los procesos de soldadura al arco, lo que hace que la aplicación de las pruebas de cualificación del procedimiento de soldadura estándar sea poco práctica y/o inapropiada. En particular, el ensayo Charpy de las soldaduras láser ha resultado a menudo poco práctico debido al fenómeno de la desviación de la trayectoria de fractura (FPD) en la muestra. (Giachino & Weeks, 2017)

#### **2.5.1.1.1. Fracturas longitudinales**

La tecnología de soldadura se utiliza ampliamente para el montaje de los dipolos 1248. En particular, esto se aplica a las dos soldaduras longitudinales de 15 m. Estas soldaduras se realizan juntando los bordes achaflanados bajo una gran prensa y se realizan mediante 4 pasadas: después de la primera STT (Surface Tension Transfer1) de raíz, tres pases de relleno MAG completan la soldadura. (Giachino & Weeks, 2017)

#### **2.5.1.1.2. Fracturas transversales**

La grieta transversal en la soldadura de chapas gruesas se discute con respecto al metal depositado. En los últimos años, muchos de los nuevos desarrollos de acero, como el proceso controlado termomecánico (TMCP), han tenido como objetivo mejorar la soldabilidad. Cuando se utiliza el acero TMCP para conseguir una alta resistencia con una composición magra, es más probable que el metal de soldadura sufra agrietamiento por hidrógeno que la zona afectada por el calor (HAZ) del acero base. El agrietamiento por hidrógeno del metal de soldadura es aún más probable si es necesario alear para igualar la resistencia y la tenacidad del metal base. Esto se debe

principalmente a la mayor susceptibilidad del metal de soldadura altamente aleado al agrietamiento por hidrógeno. Un tipo de grieta en frío, denominada grieta transversal, está causada por la compleja interacción del suministro de hidrógeno difusible, la tensión residual de tracción y la microestructura susceptible. Esta forma de fisuración no suele darse cuando se sueldan secciones de chapa de menos de 10 mm de espesor. Sin embargo, cuando se sueldan secciones más gruesas (50 mm o más), las soldaduras se someten a un enfriamiento más rápido acompañado de tensiones de enfriamiento más severas. (Loayza, 2016)

#### **2.5.1.1.3. Fracturas en la interfase de la soldadura**

La fractura frágil de la unión soldada a bajas tensiones está controlada por las características del acero de alta resistencia y los defectos de soldadura. Basándose en la mecánica de la fractura, se estudió el comportamiento de la fractura de la interfaz soldadura-metal base de una unión soldada de acero de alta resistencia para revelar los lugares críticos de esta última. (Loayza, 2016)

#### **2.5.1.1.4. Fractura en la raíz**

En las uniones soldadas, las grietas por fatiga pueden iniciarse tanto en la punta de la soldadura como en la raíz de la misma. Es decir, puede verse afectada por pequeñas irregularidades o incluso por caras de la raíz no fusionadas que forman una abertura estrecha que puede considerarse como una grieta inicial. La resistencia a la fatiga de las uniones que fallan desde la raíz depende de muchas variables como el tamaño de la garganta de la

soldadura, el espesor de la chapa y la profundidad de la penetración de la soldadura. Los dos últimos parámetros definen el tamaño del defecto preexistente en la raíz. (Piquer, 2010)

#### **2.5.1.2.Porosidades**

La porosidad se debe a la absorción de nitrógeno, oxígeno e hidrógeno en el baño de soldadura fundido, que se libera al solidificarse y queda atrapado en el metal de soldadura. La absorción de nitrógeno y oxígeno en el baño de soldadura suele deberse a una mala protección de gas. Tan sólo un 1% de aire en el gas de protección provocará una porosidad distribuida, y un porcentaje superior al 1,5% dará lugar a grandes poros de rotura superficial. Las fugas en la línea de gas, un flujo de gas demasiado elevado, las corrientes de aire y una turbulencia excesiva en el baño de soldadura son causas frecuentes de porosidad. El hidrógeno puede proceder de varias fuentes, como la humedad de los electrodos mal secados, de los fundentes o de la superficie de la pieza. La grasa y el aceite en la superficie de la pieza o del alambre de aportación también son fuentes comunes de hidrógeno. (Jeffus, 2008)

#### **2.5.1.3.Discontinuidades en el proceso de soldadura**

Las discontinuidades de soldadura son los defectos que se producen durante el proceso de soldadura. El material que se añade para ayudar a crear la unión se denomina relleno o consumible. La soldadura es un proceso de alto calor que funde el material base. Normalmente se añade material de relleno. (Rodríguez P. , 2001)

#### 2.5.1.4. Falta de Fusión y Penetración

Según lo establece el AWS a 3.0, la falta de penetración no es un término estándar, generalmente se refiere a la falta de penetración como la falta de fusión ocurrida en la raíz de la soldadura. Este defecto describe en mejor forma la naturaleza y localización de éste tipo de discontinuidad; otra situación es que la falta de penetración siempre se relaciona con el talón u hombro de la raíz de la junta. Esto describe la situación en la cual el metal de soldadura que se aplica sobre la junta no es capaz de fundir el hombro de la raíz.

Dado que el término penetración se relaciona con el tamaño de la soldadura, una junta que no esté adecuadamente penetrada no podrá tener los requerimientos de la garganta efectiva. (Tamaño de la soldadura de filete).

Por otra parte, es importante que el técnico en soldaduras entienda el significado del término falta de penetración, dado que generalmente es empleado para describir falta de fusión en la raíz de la soldadura. La falta de penetración puede causarse por las mismas condiciones por las cuales resulta la falta de fusión: técnica inadecuada, mala configuración de la junta o excesiva contaminación. (Anonimo, 2022)

#### 2.5.1.5. Inclusión de escoria

Las inclusiones de escoria, como su nombre lo indica son regiones dentro del metal de soldadura en las cuales el fundente utilizado para proteger el metal fundido es mecánicamente atrapado dentro del metal solidificado. Este fundente solidificado o escoria representa una porción del metal de soldadura en la cual éste no ha podido fundir, aunque normalmente se piensa que las inclusiones de escoria se presentan dentro del metal de soldadura en algunas ocasiones se

observan también en la superficie. Al igual que en la falta de fusión, las inclusiones de escoria pueden ocurrir entre el metal base y el metal depositado o entre pases; en efecto, las inclusiones de escoria son asociadas generalmente con la falta de fusión. Las inclusiones de escoria que resultan únicamente en los procesos donde se emplean fundentes como protección son causadas por una técnica inadecuada por parte del soldador o el operario. Tales causas pueden ser: una inapropiada manipulación del electrodo o una limpieza insuficiente entre pases.

Generalmente la incorrecta manipulación del electrodo o el empleo de parámetros inapropiados dan como resultado un perfil indeseado del metal depositado el cual esconde la escoria en sus bordes e impide una adecuada limpieza entre pases. Posteriormente el soldador o el operario cubren esta escoria con un pase de soldadura lo cual trae como consecuencia las inclusiones de escoria.

Debido a que la densidad de la escoria es mucho mayor que la del metal las inclusiones aparecen en la radiografía como indicaciones relativamente oscuras de formas irregulares. (Anónimo, 2022)

#### **2.5.1.6.Socavado**

El socavado es una discontinuidad superficial que ocurre en el metal base directamente adyacente al cordón de soldadura dependiendo de su tamaño puede ser una discontinuidad o un defecto. Es una condición en la que el metal base ha sido fundido durante el proceso de soldeo, pero ha sido llenado insuficientemente por el metal de aporte presentando como consecuencia una depresión. El resultado es un acanalado lineal en el metal base el cual tiene una

configuración relativamente aguda. Dado que es una condición superficial, es particularmente peligroso para aquellas estructuras que van a soportar cargas cíclicas.

La apariencia típica del socavado en un cordón de filete y en uno de ranura se evidencia en el borde del cordón como un rompimiento del material base. Es importante recalcar que para cordones de ranura el socavado puede presentarse en la cara o en la raíz del cordón.

La apariencia que presenta el socavado en un cordón de filete se puede detectar visualmente de manera más fácil, es decir, se observa una zona sombreada cuando se coloca una fuente luminosa en una posición apropiada. Los inspectores en soldadura deben conocer este fenómeno y emplear técnicas tales como iluminar con luz blanca la superficie del metal base para producir contrastes donde aparezca el socavado. (Anonimo, 2022)

#### **2.5.1.7. Concavidad**

Se produce cuando el metal de soldadura en la superficie de la cara externa, o en la superficie de la raíz interna, posee un nivel que está por debajo de la superficie adyacente del metal base. Cuando el soldador tiene acceso por ambos lados de la soldadura, o cuando se da en la cara externa, esta discontinuidad es fácilmente evitable mediante el relleno completo de la unión; por el contrario, cuando la concavidad es interna (en la raíz) donde el soldador no tiene acceso (por ejemplo, en soldadura de cañerías), si se tiene que eliminar debe removerse, descarnarse, por completo la soldadura en esa zona. (Ortiz, 2016)

### 2.5.2. Criterios de fallas en la soldadura

La mecánica de la fractura es una disciplina bastante nueva que caracteriza los procesos de fractura frágil y desarrolla métodos prácticos de evaluación y comprobación, con el fin de concluir sobre las imperfecciones de un material. La presencia de las imperfecciones marca la diferencia en la mecánica de la fractura en comparación con el campo de la resistencia de los materiales, que parte del prerrequisito de que el material no tiene defectos. Las principales características de la mecánica de la fractura son: aceptar la existencia de la grieta/defecto, estudiar la aparición y la velocidad de propagación de la grieta y la vida restante en estado de servicio seguro del elemento estructural. En el presente trabajo se propone una descripción de la evaluación del fallo de una junta soldada utilizando los principios de la mecánica de la fractura. Se describen y detallan los conceptos para facilitar la comprensión del algoritmo de evaluación. (Rodríguez O. , 2013)

### 2.5.3. Medidas de análisis de las fallas

El fallo de una soldadura puede tener graves consecuencias. El fallo de una soldadura en el patio trasero de una casa puede no tener muchas consecuencias. Sin embargo, cuando la soldadura se encuentra en un equipo de retención de presión de gran tamaño, el fallo de la soldadura puede tener un alto coste en vidas y equipos. Estos fallos deben ser analizados por un experto o un equipo de expertos, que investigan las causas del fallo. (Tiznado, 2015)

## 2.6 Ensayos Destructivos y No Destructivos

### 2.6.1 Pruebas destructivas

Los ensayos destructivos miden las propiedades físicas de los metales base y los componentes para comprender mejor el rendimiento de un material en determinadas condiciones. En comparación con los ensayos no destructivos, los métodos de ensayo destructivos suelen ser más fáciles de realizar, a la vez que proporcionan más información y facilitan la interpretación de los resultados. (Rodríguez O. , 2013)

Por otro lado, de acuerdo con lo planteado por Kalpakjian & Schmid (2008), la parte de la pieza o maquinaria sometida a esta clase de ensayos, pierde algunas de sus propiedades físicas o químicas originales, ya que estas pruebas sirven para determinar cómo varían las propiedades mecánicas cuando se aplica fuerzas de deformaciones o variaciones de temperatura. De esta manera, se puede simular los escenarios reales a los que estarán sometidas las piezas.

Finalmente, los ensayos destructivos deterioran las piezas; sin embargo, el grado de utilidad o afectación después de realizado el ensayo depende del tipo de prueba aplicada. La pieza puede terminar con una marca leve, una deformación en la zona plástica o hasta la falla o rotura total. (Federación de Enseñanza de CC.OO., 2011)

### 2.6.2 Tipos de ensayos destructivos

#### 2.6.2.1 Ensayos de dureza

##### 2.6.2.1.1 Ensayo de dureza Brinell

Este ensayo consiste en presionar un indentador hecho de carburo de tungsteno o acero sobre la superficie lisa de la probeta que se desea ensayar.

La diferencia del metal radica en el tiempo de vida útil, ya que mientras más mediciones se realizan el penetrador de acero pierde forma y registra medidas exactas. Por otro lado, la fuerza aplicada es de 500 a 3000 kg-f y el diámetro de la bola de acero es de aproximadamente 0.4 pulgadas, es decir, 10 mm. Finalmente, las mediciones se registran con una escala HB (Kalpakjian & Schmid, 2008).

#### **2.6.2.1.2 Ensayo de dureza Rockwell**

A diferencia de los ensayos Brinell, esta prueba se encarga de medir la profundidad que alcanza el penetrador en vez del diámetro de la huella que se alcanza. Para realizar esta prueba primero se debe ejecutar una carga de prueba de 15 kg-f, después se realiza la carga real aproximada a los 150 kg-f (Kalpakjian & Schmid, 2008).

#### **2.6.2.1.3 Ensayo de dureza Vickers**

Al igual que los anteriores ensayos mencionados, el método Vickers sirve para determinar la dureza de materiales; sin embargo, esta prueba tiene tres principales diferencias. En primer lugar, el indentador tiene forma piramidal. Segundo, su rango de carga es más preciso, ya que se puede utilizar cargas desde 1 kg-f hasta 120 kg-f. Tercero, su aplicación es más generalizada, debido a que sus huellas de impresión solo llegan a los 0.5 mm lo que le permite estudiar incluso aceros con tratamientos térmicos Kalpakjian & Schmid (2008). Finalmente, su escala de medición se debe registrar con las unidades HV.

### 2.6.2.1.4 Ensayo de dureza Knoop

Fue diseñada en 1939, al igual que en el ensayo Vickers, se utiliza un penetrador en forma piramidal, pero con la diferencia que en el Método Knoop la forma es un poco más alargada. La principal cualidad que diferencia a la prueba Knoop de las demás es que su rango de cargas varía solo entre 25 g-f a 5 kg-f. Por lo tanto, está diseñado para medir microdurezas, por ejemplo, para láminas de metales muy delgadas, carburos y cerámicas.

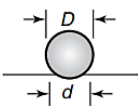

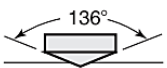

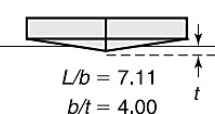
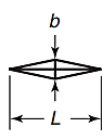
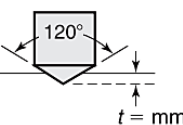

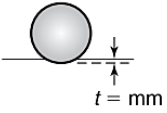

Ensayo	Indentador	Forma de la indentación		Carga, P	Número de dureza
		Vista lateral	Vista superior		
Brinell	Bola de acero o de carburo de tungsteno de 10 mm			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Pirámide de diamante			25 g-5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg 150 kg 100 kg	HRA } HRC } HRD } = 100 - 500t
B } F } G }	Bola de acero de 1/16" de diámetro			100 kg 60 kg 150 kg	HRB } HRF } HRG } = 130 - 500t
E	Bola de acero de 1/8" de diámetro.			100 kg	HRE

Figura 25 - Características de los métodos de ensayo de dureza

*Nota.* Recuperado de: Kalpakjian & Schmid (2008).

### 2.6.2.2 Ensayos de tracción

#### 2.6.2.2.1 Ensayo de tensión

Es uno de los ensayos más empleados para determinar propiedades mecánicas de los metales, por ejemplo, resistencia a la tracción, módulo

elástico, ductilidad, etc. Para realizar estos ensayos, las probetas deben tener las dimensiones especificadas por la ASTM. Generalmente se prepara una probeta de 50 mm de largo con 12.5 mm de diámetro.

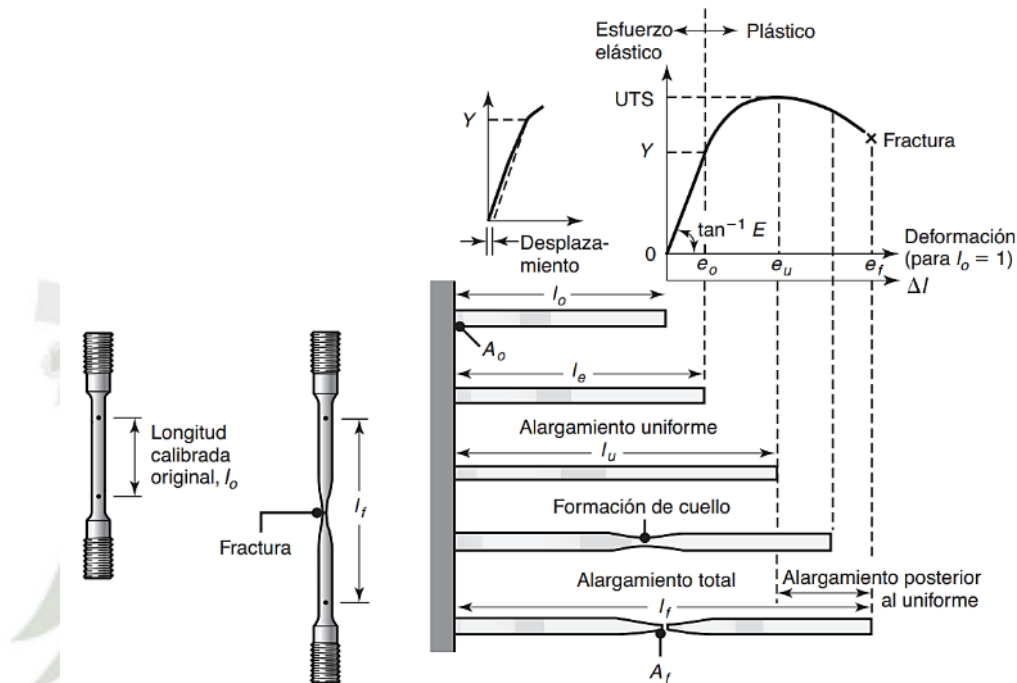


Figura 26 - Comportamiento de la probeta durante el ensayo de tracción

*Nota.* Recuperado de: Kalpakjian & Schmid (2008).

#### 2.6.2.2.2 Ensayo de impacto (Charpy)

Es un ensayo realizado para determinar la temperatura de cambio de propiedades de dúctil a frágil. Además, mediante el ensayo Charpy también se puede determinar si el material ensayado tiene una fractura frágil o dúctil. Finalmente, la probeta ensayada debería tener las dimensiones que se muestra en la siguiente imagen.

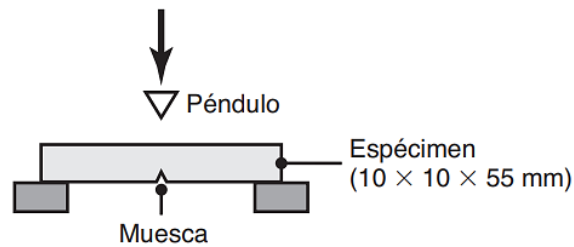


Figura 27 - Especificaciones de la probeta para ensayo Charpy

*Nota.* Recuperado de: Kalpakjian & Schmid (2008).

### 2.6.3 Pruebas no destructivas (NDT/END)

Son los ensayos que permiten evaluar la condición de la pieza sin alterar la integridad ni las condiciones superficiales de la muestra.

Según Sandoval & Idrovo (2009), los Ensayos No Destructivos son mecanismos de control de calidad que facilitan el diagnóstico preventivo de la situación actual de equipos, piezas o herramientas con la finalidad de tomar acciones correctivas.

En el contexto de la soldadura, los ensayos no destructivos consisten en evaluar la calidad estructural de los componentes sin dañarlos. Este tipo de ensayo tiene la ventaja de ahorrar tiempo y dinero en la evaluación e investigación de productos. Varios tipos de ingeniería hacen uso de los métodos NDT, como la ingeniería forense, la ingeniería mecánica, la ingeniería petrolera y la ingeniería eléctrica. (Rodríguez P. , 2001).

En resumen, se puede definir a los NDT como aquellos exámenes realizados para detectar defectos en las piezas, por ejemplo, discontinuidades superficiales o internas o el estado de uniones como soldaduras o juntas; sin embargo, estos estudios no cambian las propiedades físicas o químicas de las muestras.

### 2.6.3.1 Ensayos no destructivos

#### 2.6.3.1.1 Inspección por Ultrasonidos

Las técnicas tradicionales de ensayo por ultrasonidos (UT) se han utilizado ampliamente para detectar defectos superficiales y defectos superficiales y sub-superficiales de las soldaduras. La inspección por UT es un método de contacto que supone una carga para el fabricante almacenando muestras calientes para su inspección cuando el material está frío. Además, la UT sólo es válida para muestras de 5 mm o más y requiere un operador altamente cualificado para realizar las inspecciones e interpretar las señales. La termografía infrarroja (IRT) tiene el potencial de ser implementada para inspecciones de soldadura debido a su naturaleza de no contacto. En este estudio, se investiga la viabilidad de utilizar la IRT para superar las de la inspección por ultrasonidos para detectar inclusiones, porosidad, grietas y falta de fusión en 38 muestras de soldadura con espesores de 3, 8 y 13 mm. También se realizó una inspección por UT para localizar regiones con defectos en las muestras de 8 y 13 mm. Los resultados mostraron que las regiones diagnosticadas. Los resultados mostraron que las regiones diagnosticadas con defectos por la inspección UT perdían calor más rápidamente que la soldadura sana. El método IRT se aplicó a seis probetas de 3 mm para detectar sus defectos y se detectó con éxito la falta de fusión en una de ellas. Todas las muestras se cortaron en los lugares indicados por los métodos UT e IRT, lo que demostró la presencia de un defecto en el 86% de las muestras. A pesar de la concordancia con la inspección por UT, el método IRT propuesto tuvo un éxito limitado en la localización de los defectos en las muestras de 8 mm. Para aplicar plenamente las inspecciones

de soldaduras en línea, es necesario realizar más investigaciones.  
(Rodríguez P. , 2001)

### 2.6.3.1.2 Rayos X

Los rayos X son una radiación electromagnética penetrante con una longitud de onda más corta que la de la luz visible, entre 0,001 y 100 nanómetros (nm).

Los rayos X son generados por un tubo de vacío como se muestra en la siguiente figura. Este tipo de tubo se utiliza habitualmente para inspeccionar aviones porque genera una radiación con una longitud de onda de entre 0,01 y 0,05 nm. El tubo consiste en una cámara de vacío que contiene un electrodo positivo (ánodo) y un electrodo negativo (cátodo). El cátodo contiene un filamento que, al calentarse, emite electrones, acelerando los electrones entre el cátodo y el ánodo y haciéndolos colisionar con un blanco o placa, generando así calor y radiación de rayos X impulsada por Kv (Rosa, Miles, & Pérez, 2009).

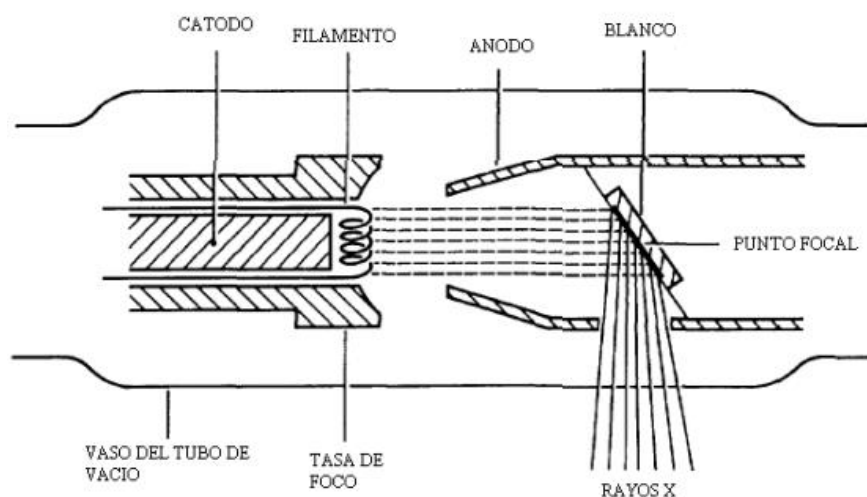


Figura 28 - *Tubo de vacío empleado para elaborar rayos x*

Nota. Rescatado de Rosa, Miles, & Pérez (2009)

Según Rosa, Miles, & Pérez (2009), los rayos X tienen las siguientes propiedades.

- No se ven afectados por un campo magnético.
- Se desplazan en línea recta.
- Atraviesan materiales que sean sólidos.
- Parte de su energía es absorbida por los materiales sólidos.
- No se pueden desviar.
- Pueden dañar los tejidos humanos.

#### **2.6.3.1.3 *Análisis vibracional***

Todas las máquinas utilizadas tienen un cierto grado de vibración causado por las holguras, los pequeños desajustes, la fricción, etc. Las vibraciones aumentan por fallos como la desalineación, el desajuste mecánico, el juego de los rodamientos y los rodamientos dañados. Por lo tanto, los niveles de vibración pueden utilizarse como parámetros de control funcional para el mantenimiento predictivo de la maquinaria, definiendo un nivel de advertencia normal y un nivel inaceptable por encima del cual la fatiga causada por las cargas de vibración conduce al inevitable fallo de las piezas defectuosas (Rosa, Miles, & Pérez, 2009).

#### **2.6.3.1.4 *Ferrografía***

La ferrografía ayuda a realizar un estudio a la concentración, la forma, el tamaño y el origen de las partículas metálicas en el aceite. También puede analizar metales básicos como la plata, el aluminio, el magnesio, las aleaciones de cobre, entre otros. Es el método más exitoso y ampliamente utilizado en la industria para identificar, cuantificar y predecir los problemas mecánicos

causados por la liberación de cantidades y tamaños anormales de partículas de desgaste.

La ferrografía capta partículas metálicas de 0,1 a 500 micrómetros, lo que no sólo cubre la gama de desgastes traumáticos y anormales, que van de 10 a 100 micrómetros, sino que también opera en la gama espectrográfica, lo que significa que se pueden obtener mediciones cuantitativas y completas en todas las gamas (Rosa, Miles, & Pérez, 2009).

#### **2.6.3.1.5 Partículas magnéticas**

Los ensayos con partículas magnéticas constan de tres etapas:

**Etapas 1:** Magnetización de la zona vigilada

**Etapas 2:** Distribución de partículas magnéticas

**Etapas 3:** Observación de las lecturas.

Durante este procedimiento, el cuerpo de prueba se magnetiza de forma adecuada y se espolvorea con finas partículas de material ferromagnético. De este modo, se pueden detectar las irregularidades superficiales y subsuperficiales de los materiales ferromagnéticos. Si se magnetiza el material ferromagnético colocando los polos del imán a ambos lados, se crea un segundo imán cuyos polos son opuestos al imán original (Federación de Enseñanza de CC.OO., 2011).

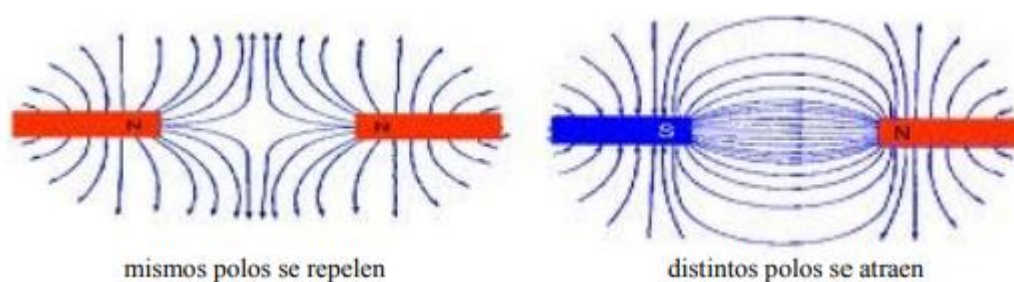


Figura 29 - *Calentamiento excesivo en clip de conexión*

Nota. Recuperado de Federación de Enseñanza de CC.OO (2011)

Una vez creado el imán en la muestra, se forman líneas de fuerza en la muestra desde el polo del imán inductivo hasta el otro polo a través de la zona neutral, llamada línea neutra. Si el material es homogéneo, estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme. Sin embargo, si el material se altera, las líneas de fuerza pueden distorsionarse o pueden formarse polos secundarios. Estos polos o distorsiones atraen partículas magnéticas que, en forma de suspensión o polvo, se depositan en la superficie a ensayar y su acumulación da lugar a la aparición de rasgos que pueden observarse directamente o bajo una luz ultravioleta (Federación de Enseñanza de CC.OO., 2011).

Las piezas sometidas a prueba pueden magnetizarse de dos maneras diferentes: mediante imanes (electroimanes o imanes fuertes) o mediante corrientes eléctricas (corrientes circulares o longitudinales). Las partículas magnéticas pueden utilizarse en forma seca (polvo) o húmeda (agua o disolventes sintéticos).

A continuación, se presentan algunas ventajas, desventajas y aplicaciones (Federación de Enseñanza de CC.OO., 2011).

#### **2.6.3.1.6 Corrientes inducidas**

La prueba de corrientes se basa en la medición del cambio de resistencia inducido en un material conductor. Consiste en el flujo de corriente alterna a través de un solenoide que genera un campo magnético. Al colocar el objeto de prueba perpendicularmente al campo magnético generado por el solenoide, se inducen en él corrientes bipolares cíclicas. Las corrientes eléctricas inducidas producen un campo magnético (secundario) que es el inverso del campo magnético del solenoide (principal) y modifica la resistencia de la bobina. El parámetro medido y registrado es el cambio de la corriente eléctrica que circula por la bobina. Los fallos en el componente interrumpen las corrientes inducidas, dando lugar a un campo magnético menor que las corrientes inducidas.

Se trata de una prueba de superficie que detecta los defectos subacuáticos cerca de la superficie y evalúa las grietas en las zonas afectadas por la soldadura. La forma del flujo de corriente e, inevitablemente, los campos magnéticos asociados se ven afectados por las diferentes propiedades del material que se va a probar.

#### **2.6.3.1.7 Inspección visual**

La inspección visual es una serie de pasos o tareas realizadas durante el proceso de fabricación para garantizar la calidad de cada unión soldada. Comienza cuando el material llega al almacén, continúa a lo largo del proceso de soldadura y termina cuando el inspector inspecciona y, si es necesario, identifica las áreas que deben ser reparadas y completa un informe de inspección. Se caracteriza por Federación de Enseñanza de CC.OO. (2011)

- a. Identificar los materiales fuera de especificación.

- b. Cuenta con reducción de la necesidad de realizar pruebas no destructivas posteriores.
- c. Facilita para la corrección de los defectos que surjan durante el proceso de fabricación, así evita el rechazo posterior.

Para simplificar la inspección visual, se deben utilizar determinadas herramientas, como: reglas, cintas métricas, pseudoángulos, medidores de espesor, manómetros, medidores de presión/temperatura, equipos de iluminación y ayudas ópticas auxiliares (Federación de Enseñanza de CC.OO., 2011).

Este tipo de inspección es una secuencia de pasos durante el proceso de fabricación cuyo objetivo se presentan a continuación:

- a. Verificar las especificaciones de cada proceso y/o procedimientos.
- b. Supervisar las superficies en busca de posibles errores que afecten al funcionamiento de la soldadura.
- c. Comprobar que el sustrato y los materiales de relleno se ajustan a los planos y a las especificaciones de fabricación.
- d. Realizar una medición de los materiales y comprobar que su longitud, anchura, diámetro y grosor, cumplen los requisitos.
- e. Comprobar que las secciones transversales de los pernos soldados cumplen con las especificaciones de preparación de las dimensiones, bordes y acabado de la superficie.

Después de soldar, las soldaduras deberán cumplir los siguientes requisitos visuales Federación de Enseñanza de CC.OO. (2011):

- a. La soldadura no tendrá que contar con ninguna grieta.
- b. Las grietas se rellenarán en toda la zona de soldadura.

- c. La superficie de soldadura debe estar al ras con la superficie del metal base y la soldadura debe estar en contacto suave con el metal base. La muesca no deberá superar 1 mm. La fijación de la soldadura no deberá superar los 3 mm.
- d. Se inspeccionará la raíz de la soldadura y no habrá evidencia de grietas, fusión insuficiente o penetración insuficiente de la junta. Dentro de los límites de la norma, se permite el avellanado de la raíz para que el espesor total de la soldadura sea igual o mayor que el del metal base.

#### **2.6.3.1.8 Líquidos penetrantes**

Es un ensayo empleado principalmente para detectar discontinuidades, grietas y fisuras en el área superficial de muestras. El principio físico se basa en la capilaridad del líquido penetrante para fluir a través de fisuras de hasta 0.1 um de anchura Kalpakjian & Schmid (2008). Por otra parte, este ensayo presenta las siguientes limitaciones:

- El rango de temperatura de aplicación se encuentra entre 15 a 50 °C
- La condición superficial afecta la ejecución del ensayo
- Se debe tener acceso directo a la superficie que se desea examinar
- No se puede aplicar a materiales porosos o absorbentes



Figura 30 - *Aplicación de LP a un cordón de soldadura*

*Nota.* En la imagen se puede observar que el líquido penetrante se introduce en los defectos del cordón de soldadura. Elaboración propia.

## 2.7. TERMOGRAFÍA

### 2.7.1. Certificaciones y Normativa

**ISO 10878** Ensayos no destructivos – Termografía infrarroja – Vocabulario

**ISO 18434-1:2008** – Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas – Termografía – Parte 1: Procedimientos generales

**ISO 18436-7:2014** Condiciones de vigilancia y diagnóstico de máquinas – Requisitos para la calificación y evaluación de personal – Parte 7: Termografía.

**EN 13187:1999** Rendimiento térmico de edificios. Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes de edificios. Método infrarrojo (ISO 6781:1983 modified)

**ISO 6781:1983** Aislamiento térmico – Detección cualitativa de irregularidades térmicas en envolventes del edificio – Método infrarrojo.

**ISO 6781-3:2015** Rendimiento de edificios. Detección de irregularidades de calor, aire y humedad en edificios por métodos infrarrojos.

### **Parte 3: Calificaciones de operadores de equipos, analistas de datos y redactores de informes.**

**MIL-SDT-2194** MILITARY STANDARD. Procedimiento de inspección de imagen térmica infrarroja para equipos eléctricos

**ASTM C1046-95** Reapproved (2007). Método de prueba estándar para la medición “in situ” del flujo de calor y la temperatura en componentes de la envolvente del edificio.

**ASTM C1060-90** Reapproved (2003). Método de prueba estándar para la inspección termográfica de instalaciones de aislamientos en cavidades de la estructura de la envolvente de edificios.

**ASTM C1153-97** Reapproved (2003). Método de prueba estándar para la localización de aislamiento húmedo en sistemas de cubiertas utilizando imagen infrarroja.

**ASTM-E1213-97** Reapproved (2009) Método estándar para determinar la diferencia de resolución mínima para sistemas de imágenes térmicas.

**ASTM-E1311-89** Reapproved (2010) Método estándar para determinar diferencia de temperatura mínima detectable en sistemas de imágenes térmicas.

**ASTM-E1543-00** Reapproved (2011) Método estándar para determinar la diferencia de temperatura equivalente de ruido en sistemas de imágenes térmicas.

**ASTM-E1862-97** Reapproved (2010) Método estándar para la medición y compensación de la temperatura reflejada mediante radiómetros de imágenes infrarrojas.

**ASTM-E1933-99a** Método Estándar para la medición y compensación de la emisividad mediante radiómetros de imágenes infrarrojas.

**ASTM C1934-99a** Reapproved (2010). Método de prueba estándar para examinar equipos eléctricos y mecánicos mediante termografía infrarroja.

**ASTM-E 2582-07** Práctica Estándar para Flash de termografía infrarroja de paneles compuestos y parches de reparación utilizados en aplicaciones aeroespaciales

**ASTM D4788-03** Reapproved (2007). Método de prueba estándar para la detección de delaminaciones en cubiertas de puentes utilizando imagen infrarroja (COMPANY, Impic, 2018)

### **2.7.2. Definición**

La termografía es una técnica que utiliza la fotografía infrarroja para detectar puntos calientes en dispositivos electromecánicos. La termografía crea imágenes térmicas que pueden ayudar a detectar fuentes de calor inusuales. Se utiliza para supervisar el cableado eléctrico, los paneles de control, los motores, la maquinaria y los equipos de proceso en busca de puntos calientes anormales debidos a defectos en el propio material, a un mal aislamiento o a la acumulación de calor. Para ello es necesario un control en el que la imagen térmica real se compare regularmente con una imagen de referencia normal (Rosa, Miles, & Pérez, 2009).

La termografía es una tecnología que permite visualizar las características térmicas de los objetos mediante ondas en el rango infrarrojo. Por ello, también se denomina termografía infrarroja. Esta radiación se percibe como calor (Yañes & Martínez, 2009).

### **2.7.3. Conceptos aplicados en la termografía**

#### **2.7.3.1. Emisión**

Para medir correctamente la temperatura, hay que tener en cuenta un factor importante: la "emisividad". La emisividad se define como la capacidad de un

cuerpo de emitir luz infrarroja. Depende en gran porcentaje a las propiedades del material del cuerpo involucrado (FLIR Systems AB, 2011).

La emisividad es una propiedad de los materiales que determina la eficacia con la que un objeto irradia o emite calor. Cuanto más caliente está un objeto, más energía infrarroja emite.

La emisividad se representa con un valor entre 0 y 1:

- Para metales que tiene la característica de ser brillantes, poseen poca emisividad
- Para materiales que no son metálicos o los metales que se encuentran pintados o demasiado oxidados poseen gran porcentaje de emisividad.

La gran parte de las superficies orgánicas, oxidadas o pintadas poseen una emisividad de aproximadamente 0,95. Si se va a medir valores reales de temperatura, la emisividad debe ajustarse según el material a medir. Si se requiere precisión, se debe comprobar la emisividad del material antes de la medición.

### **2.7.3.2. Reflexión**

Algunos materiales pueden reflejar la radiación térmica, así como lo realiza un espejo al reflejar la luz visible. Esto también es cierto para los metales que no se encuentran oxidados, con mayor razón si están pulidos. Los reflejos pueden llevar a una interpretación errónea de la termografía. Por ejemplo, la reflexión para la radiación térmica de un operador puede mostrar falsos puntos. calientes. Es así que, el operador debe seleccionar con cautelo el ángulo con el que la cámara termográfica apunta al objeto para evitar estos reflejos (FLIR Systems AB, 2011).

### 2.7.3.3. Trasmisión

Medida de la capacidad de un material para transmitir la radiación infrarroja a través de él, en función del grosor y del tipo de material. Muchos materiales son opacos a la radiación infrarroja de onda larga (Yañes & Martínez, 2009).

LABOMAT, describe la capacidad de un material para transmitir la radiación IR. Por ejemplo, una fina película de plástico tiene una transmitancia muy alta. Así, si se quiere medir la temperatura de una fina película de plástico colgada frente a una pared con una cámara térmica, no se mide la temperatura de la película, sino la de la pared. La mayoría de los materiales no transmiten la radiación infrarroja, por lo que la transmitancia del material suele ser cercana a cero y, por tanto, puede despreciarse. (LABOMAT, s.f.)

### 2.7.3.4. Ley de Kirchhoff de radiación térmica

La ley de Kirchhoff de la radiación térmica se refiere a la emisión y absorción de radiación de un cuerpo material en equilibrio termodinámico, incluido el equilibrio de intercambio de radiación. Un cuerpo con temperatura  $T$  irradia energía electromagnética. Un cuerpo negro perfecto en equilibrio termodinámico absorbe toda la luz incidente e irradia energía de acuerdo con la ley de potencia radiactiva para la temperatura  $T$ , que es universal para todos los cuerpos negros perfectos.

La ley de Kirchhoff establece que:

Para un cuerpo de cualquier material que emite y absorbe radiación electromagnética térmica de cualquier longitud de onda en equilibrio termodinámico, la relación de su coeficiente de emisividad y absorción adimensional es igual a la función universal de la longitud de onda y la temperatura de la propia radiación. Esta función universal describe la emisividad de un cuerpo negro ideal (Kirchhoff, 1860).

#### 2.7.4. Relación que se da entre Emisión y reflexión

- a. Para objetos de medición de emisividad alta ( $\epsilon \geq 0.8$ ):

Usualmente se presenta con una baja reflectividad ( $p$ ):  $p=1 - \epsilon$ , también se puede medir su temperatura de manera muy simple con una cámara termográfica

- b. Para objetos de medición de emisividad Media ( $0.6 < \epsilon < 0.8$ ):

Se presenta con una Reflectividad media ( $p$ ):  $p=1 - \epsilon$  y así como la anterior también se puede medir la temperatura de manera muy simple con una cámara termográfica

- c. Para objetos de medición de emisividad baja ( $0.6 < \epsilon < 0.8$ ):

La reflectividad se presenta de forma elevada ( $p$ ):  $p=1 - \epsilon$  y de igual manera su temperatura se puede medir con una cámara termográfica, sin embargo sus resultados se tendrán que valorar con mucho cuidado (ACIEM, 2020).

#### 2.7.5. Transmisión de calor y temperatura

Es la ciencia que trata de predecir la transferencia de energía que puede producirse entre diferentes cuerpos debido a las diferencias de temperatura, es decir, se ocupa de la tasa de intercambio de calor entre cuerpos con diferentes temperaturas, llamados fuente y receptor. Esta ciencia busca no sólo explicar la cantidad de energía térmica que se puede transferir, sino también predecir la rapidez con la que se producirá este intercambio en determinadas condiciones (Yañes & Martínez, 2009). La transferencia de calor es el traspaso de energía térmica de un cuerpo que tiene una temperatura mayor a otro con temperatura menor para que ambos cuerpos alcancen un equilibrio térmico. La definición de la transferencia de calor se basa en las siguientes leyes de la termodinámica (Rodríguez M. , 2011):

- a. **Ley cero de la termodinámica:** Se establece que dos cuerpos A y B de diferente temperatura que se tocan alcanzarán la misma temperatura al cabo de un determinado tiempo  $t$ .
- b. **Primera ley de la termodinámica:** Esta ley se considera de conservación de energía. Dice que si se añade una determinada cantidad de energía térmica a un determinado sistema, la cantidad de energía es igual a la diferencia entre la ganancia de energía interna del sistema y el trabajo realizado por éste.
- c. **Segunda ley de la termodinámica:** Un proceso cuyo único efecto es la transferencia de calor de un cuerpo más frío a otro más caliente es imposible. Cuando un sistema pasa del estado estacionario A al estado estacionario B, la entropía en el estado estacionario B es tan grande y mayor que la del estado estacionario A.
- d. **Tercera ley de la termodinámica:** El cero absoluto no puede alcanzarse en un número finito de pasos.

## 2.7.6. Tipos de transmisión de calor

A continuación, se describirán cada uno de los tipos de transmisión de calor:

### 2.7.6.1. Conducción

La conductividad térmica es el resultado de la interacción de las moléculas. Las moléculas de un cuerpo a mayor temperatura vibran más rápido y chocan con las moléculas de menor energía de una parte del cuerpo a menor temperatura. Como resultado de la colisión, las moléculas más rápidas transfieren parte de su energía a las moléculas más lentas. Por lo tanto, se argumenta que la transferencia de calor por conducción siempre tiene lugar desde la región de mayor temperatura a la de

menor temperatura. Es una transferencia causada por la diferencia de temperatura (Jiménez, 2015).

### **2.7.6.2. Convección**

La transferencia de calor por convección consiste en dos mecanismos que operan simultáneamente. El primer mecanismo implica el movimiento de las moléculas, como en la transferencia de calor por conducción. El segundo mecanismo es la transferencia de energía resultante del movimiento macroscópico de los "paquetes" de fluidos. El movimiento de los fluidos es el resultado de paquetes de fluidos, cada uno de ellos formado por un gran número de moléculas, que se mueven bajo la influencia de una fuerza externa. Esta fuerza externa puede deberse a un gradiente de densidad, como en la convección natural, o a un diferencial de presión creado por una bomba o un ventilador, o a una combinación de ambos. La transferencia de calor por convección depende de la densidad, la viscosidad y la velocidad del fluido y de sus propiedades térmicas (calor específico y conductividad térmica) (Jiménez, 2015).

### **2.7.6.3. Radiación**

Se llama radiación a la transferencia de calor por medio de ondas electromagnéticas como la luz visible, los rayos infrarrojos y los rayos ultravioleta. La energía radiada por una superficie es proporcional a la superficie (A) e incrementa rápidamente con la temperatura (T). Para el flujo de calor a través de los cuerpos calientes a la temperatura se define por medio de la siguiente fórmula.

$$H = eA\sigma T^4$$

En la fórmula anterior "e" es igual a la emisividad del material, la cual puede resultar un número adimensional que van de 0 a 1, y expresa la relación entre la

tasa de radiación de una superficie determinada y la tasa de radiación de una superficie equivalente perfectamente radiante a la misma temperatura. La emisividad, generalmente es mayor para las superficies de tonos oscuros que para las claras. Si un radiador es ideal, la emisividad será 1. Por otro lado,  $\sigma$  es una constante física, denominada la constante de Stefan-Boltzmann y su valor es  $5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .

Los cuerpos que genera radiación con temperatura (T), igualmente puede absorber radiación de su exterior con una temperatura ( $T_s$ ). Un cuerpo emisor y absorbente tiene un flujo de calor neto definido como:

$$H_{neto} = eA\sigma(T^4 - T_s^4).$$

Para la ecuación anterior, si resultara un valor positivo como representación de H indica una transferencia neta de calor del cuerpo.

### 2.7.7. Condiciones estacionarias y transitorias

La transferencia de calor tiene dos problemas que suelen dividirse en dos categorías: estacionarios (estables) y variables (no estacionarios o inestables). El concepto de estacionario significa que el tiempo no cambia en ningún instante, mientras que el término variable indica un cambio o dependencia del tiempo. En la transferencia de calor transitoria, la temperatura suele variar en el espacio y en el tiempo. En el caso especial de los cambios dependientes del tiempo, pero independientes de la posición, la temperatura del medio cambia uniformemente con el tiempo. Sin embargo la gran parte de los problemas de transferencia de calor que se encuentran en la práctica son transitorios, pero suelen analizarse en condiciones estacionarias. (Domingo, 2011).

La transferencia de calor depende siempre de estas dos condiciones camartípicas, que son poco frecuentes, aunque se puede suponer que las condiciones de estado estacionario existen durante un cierto período de tiempo. El estado estacionario existe cuando las condiciones son estables, sin fluctuaciones de temperatura y con un flujo de calor constante, es decir, cuando la producción de calor y la producción de frío son idénticas (lo que entra es igual a lo que sale). En cambio, un proceso transitorio es aquel en el que la temperatura y el flujo de calor varían, lo que se acerca más a nuestra vida cotidiana y a los objetos que estudiamos, es decir, los edificios (Asociación Española de Termografía Infrarroja, 2011).

#### **2.7.7.1. Temperatura ambiente**

Se debe tener en cuanto como ajustaremos la temperatura reflejada, así como el de la emisividad para que la cámara calcule correctamente la temperatura del objeto o componente que se quiera medir. En muchas aplicaciones, la temperatura reflejada corresponde a la temperatura ambiente. Siempre que haya una gran diferencia de temperatura entre el objeto a medir y la ambiente, es de vital importancia ajustar la emisividad de forma correcta. (Auer, Daniel, 2008)

#### **2.7.7.2. Radiación**

Todo objeto, componente, equipo u otros con temperaturas que sean superiores al cero absoluto ( $0 \text{ Kelvin} = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) va a emitir radiación infrarroja, aquellos con una gran diferencia de temperatura con el objeto a medir pueden alterar la medición por infrarrojos como resultado de su propia radiación. En casos como estos debemos tratar evitar estas fuentes de interferencia en la medida de lo

posible, esto lo logramos con apantallamiento de esas fuentes, para minimizar efectos que alteren la medición, en caso sea complicado debemos tener en cuenta que la temperatura reflejada no se corresponde con la temperatura ambiente. (Auer, Daniel, 2008)

### 2.7.7.3. Condiciones meteorológicas

Contamos con condiciones que van a mejorar que pueden ayudar o causar molestias al momento de tomar la medición y estas serán:

- Nubes

Es el mejor escenario posible para medición en exteriores, ya que la capa de nubes que se encuentra ayuda a que los objetos no se vean reflejados por la radiación solar

- Precipitaciones

Si ocurre precipitaciones fuertes (nieve o lluvias) esto va a causar distorsión en la medición que se realice, porque la nieve, hielo y agua tienen una emisividad muy alta, tener en cuenta que cualquier objeto que este mojado y se tome mediciones será errónea, ya que la superficie se enfriará a medida que el agua vaya evaporándose, lo cual nos dará medidas erróneas.

- El Sol

Es el peor escenario posible al momento de tomar mediciones, se debe evitar ya que los rayos solares serán reflejados por los objetos cercanos y tendremos mediciones con algún error.

#### 2.7.7.4. Ambiente

- Humedad del ambiente

La humedad ambiente relativa tiene que ser lo suficientemente baja para que no exista una condensación en el aire (neblina), o vaho en el objeto a medir, en el filtro de protección o incluso en el objetivo de la cámara. Si el filtro se ha empañado parte de la radiación infrarroja que llega a la cámara se va a perder porque no puede penetrar a través del agua presente en la lente.

Una niebla espesa también afecta a la medición porque el rocío presente en el canal de transmisión tiende a bloquear parte de la radiación infrarroja. (Auer, Daniel, 2008)

- Corrientes de Aire

Si existe un flujo o corriente de aire se va a afectar la medición de temperatura con la cámara termográfica. Como resultado del intercambio de calor, el aire cercano a la superficie tiene la misma temperatura que el objeto medido. Si hay corrientes de aire, esta capa desaparece sustituida por otra capa cuya temperatura todavía no se ha adaptado a la del objeto. Por medio de la convección, el objeto medido desprende o absorbe calor hasta que la temperatura de su superficie y la del aire se han igualado. El efecto del intercambio de calor se incrementa cuando mayor es la diferencia de temperatura entre la superficie del objeto a medir y la temperatura ambiente. (Auer, Daniel, 2008)

- Polución

Cuando hablamos de polución nos referimos a todas las partículas suspendidas en el aire como puede ser el polvo, humo, vapor, hollín y demás; estas contienen un grado alto de emisividad y apenas permiten transmitir. Todas las materias anteriores nos arrojaran mediciones incorrectas, ya que emiten su propia radiación y/o también tienden a absorber radiación del objeto a medir, por lo que no se detecta la totalidad en cuanto a las muestras por termografía que se pretender llevar a cabo.

#### **2.7.7.5.Luz**

En realidad, la luz o iluminación no afectan de gran manera la medición que realicemos con una cámara de termografía, podemos medir en oscuras ya que lo que se mide es la radiación infrarroja, pero debemos considerar aquellas fuentes de luz o iluminación que produzcan calor ya que van a emitir radiación y pueden afectar cuando se quiera tomar medidas a través de la cámara termográfica.

#### **2.7.8. Condiciones para medición de termografía**

Debemos de considerar diferentes Factores para tener condiciones favorables al momento de realizar estudios mediante termografía infrarroja.

- La Emisividad, debemos determinarla y ajustar según sea adecuado.
- Ajustar correctamente el RTC.
- Tener imágenes térmicas claras, si se obtiene borrosas realizar nuevamente la toma de estas, preferible usar un trípode que ayude a estabilizar.
- La distancia de medición debe ser adecuada, demasiado lejos o cerca afectaría

- Medición muy grande, debemos de considerar la distancia de enfoque adecuado.
- Considerar condiciones estacionarias y transitorias, como luz, polución, polvo, lluvia, nieve y demás que afectarán.
- Fuentes externas que puedan afectar la medición por radiación que pueden emitir

#### **2.7.8.1. Medición en metales**

Los metales, y sobre todo los que tienen una superficie brillante, son potentes reflectores de radiación infrarroja de onda larga. Su emisividad es muy baja y cambia con la temperatura.

Por tanto, la medición con cámara termográfica en estos materiales es problemática. Aparte

de ajustar la emisividad, también es muy importante un ajuste correcto de la temperatura reflejada, así como tener muy en cuenta la reflexión. Si están pintados la medición es más sencilla porque las pinturas generalmente tienen una emisividad alta. No obstante, se debe tener en cuenta la reflexión de la radiación ambiente. (Auer, Daniel, 2008)

#### **2.7.9. Dispositivos de análisis de resultados de termografías**

##### **2.7.9.1. Cámara termográfica**

Una cámara termográfica es una variedad de cámara la cual crea una procesa una imagen mediante luz o rayos infrarrojos. Esta cámara a diferencia de una cámara fotográfica las de video que tiene la capacidad de registrar las distintas longitudes de las ondas de luz que son visibles naturalmente como imágenes, las

cámaras termográficas pueden detectar la luz invisible o rayos infrarrojos, Los infrarrojos se le denomina a la radiación electromagnética que posee una longitud de onda mucho más amplia que la luz visible. Por lo cual, es invisible ante el ojo humano.

Una cámara térmica suele generar una imagen basada en la intensidad de las ondas infrarrojas que entran en el campo de visión de los sensores. La imagen muestra dónde se encuentra la fuente de calor y cuánto calor produce en relación con su entorno. Cada cámara termográfica suele estar equipada con un detector de infrarrojos, y los detectores de infrarrojos son de dos tipos: fríos y calientes (Caiza, 2016).

La energía infrarroja (A) emitida por el objeto es enfocada por un sistema óptico (B) hacia un localizador de cuerpos infrarrojos (C). El detector envía los datos a un sensor electrónico (D) que procesa la imagen. Una matriz procesa estos datos en una imagen (E) que puede verse a través de un visor y en una pantalla de vídeo o LCD estándar.

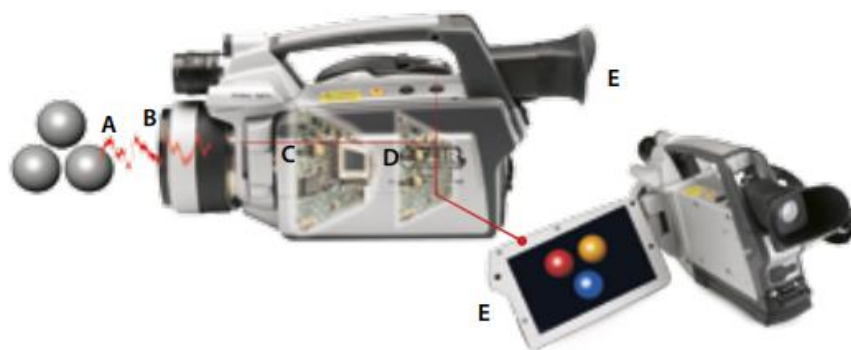


Figura 31 - *Cámara Termográfica*

Nota. Rescatado de FLIR Systems AB (2011)

La termografía infrarroja es el arte de transformar una imagen infrarroja en una figura radiométrica para la lectura de la temperatura. Así, cada píxel de la imagen radiométrica es, en realidad, una medida de temperatura. La cámara de infrarrojos dispone de sofisticados algoritmos para ello. Esto hace que la cámara termográfica sea una herramienta ideal para el mantenimiento preventivo (FLIR Systems AB, 2011).

### 2.7.9.2. Parámetros de Manejo en cámara termográfica

Tenemos algunos parámetros que necesitamos tener conocimiento claro para poder utilizar como se debe el equipo y realizar pruebas exitosas.

- **TFOV**

Se le denomina campo de visión total y representa el tamaño de imagen en función del ángulo de exploración.

- **IFOV**

Es el área de visión instantánea y representa la proyección angular del objeto detector en el plano del objetivo, es decir, la resolución de la imagen (se suele medir en milliradianes).

- **MFOV o IFOV meas**

Es la resolución espacial mínima requerida del punto objetivo a partir de la cual se puede medir una temperatura precisa.

- **Velocidad de repetición de fotogramas**

Representa la cantidad de veces que el punto objetivo puede ser escaneado por segundo.

- **MRT**

El MRT es la temperatura mínima de resolución o también conocida como la resolución térmica e indica grado de sensibilidad de temperatura. En otras palabras, es la variación de temperatura más pequeña en la superficie del objetivo que se puede detectar con el instrumento de medición.

A continuación, se muestra una aplicación de termografía infrarroja.



Figura 32 - *Calentamiento excesivo en clip de conexión*

*Nota.* En la imagen se puede observar la distribución heterogénea de temperatura, la parte amarilla está siendo sometida a una gran carga calorífica, por lo que estaría expuesta a una falla por corto circuito. Recuperado de: Kaplan (2007).

### 2.7.9.3. Escala de colores

La cámara termográfica recibe radiación por medio del sistema de lentes que esta sobre un detector infrarrojo este incide en un detector como onda electromagnética, la temperatura aumentara por la absorción de la energía que se irradia, la resistencia del detector cambia y este cambio crea una señal eléctrica.

Toda la información se transforma en imágenes de temperaturas, cada pixel se asocia a un color policromático o monocromático, el cual expresa una temperatura de acuerdo a una escala que se tenga como variación en el equipo para termografía infrarroja.

### 2.7.9.3.1. Barra de colores monocromáticas

Una escala de color policromática está formada por dos o más colores puros o compuestos que, o bien cambian de tono hasta el mismo grado de saturación en relación con los demás tonos implicados, o bien disminuyen gradualmente el grado de implicación de todos los colores que componen la escala de color policromática (Cabrera L. ).

Esta armonía, que es la más sencilla y menos compleja, consiste en un gradiente uniforme de colores en diferentes tonos, que se aclaran cuando se utiliza el blanco y se oscurecen cuando se utiliza el negro en la escala de valores claros, medios tonos y matices (Bravo, 2018).



Figura 33 - *Escala Monocromática*

Nota. Rescatado de Bravo (2018)

Este tipo de escala tiene varios subtipos, entre ellos:

- **Escala de saturación:** cuando un determinado color se añade al blanco hasta alcanzar una determinada saturación.

- **Sombra ligera o escala de negro:** cuando se añade sólo negro a un color saturado.
- **Escala de valores:** el resultado de mezclar colores saturados y tonos de gris en diferentes grados.



Figura 34 - *Variedad de Escala Monocromática*

Nota. Rescatado de Cabrera L.

#### 2.7.9.3.2. Barras de colores policromáticos

La palabra policromo o multicolor significa varios colores. Una composición policroma es, por tanto, una composición compuesta por varios colores.

Dependiendo del grado de saturación podemos obtener una gama muy amplia de tonos. Si el color blanco del papel corresponde a una saturación del 0% y el color puro a una saturación máxima del 100%, significa que hay diferentes grados de saturación entre estos dos extremos, y cuando los representamos entre sus variaciones, obtenemos lo que llamamos una escala (Bravo, 2018).

Un esquema multicolor puede ser frustrante y confundir nuestros sentidos.

Sin embargo, si la mayoría de los colores elegidos están cerca unos de otros

en el círculo cromático, podemos tranquilizarnos y armonizar este tipo de esquema. Los esquemas multicolor son definitivamente difíciles de trabajar, por lo que se recomienda no elegir más de tres colores.

Estos círculos cromáticos pueden utilizarse no sólo con fines artísticos, sino también en el ordenador, por ejemplo, en Photoshop o incluso en MS Paint. Al elegir los colores aquí, está utilizando colores policromáticos como se muestra en la imagen de abajo (Cabrera L. ).



Figura 35 - *Escala Policromática*

Nota. Rescatado de Bravo (2018)

#### 2.7.10. Parámetros a controlar en ensayo Termográfico

Para obtener buenas mediciones termográficas, es necesario controlar una serie de parámetros críticos:

- Análisis térmico: determinación de la mínima diferencia de temperatura medible.
- Resolución espacial o campo de visión instantáneo de la imagen.
- Medición de la resolución espacial a través de una rendija normalizada.

#### 2.7.11. Ventajas y Deficiencias de la técnica de termografía

##### 2.7.11.1. Ventajas

Se trata de un método de inspección rápido que permite evaluar áreas relativamente grandes y que se lleva a cabo a distancia, sin contacto físico

con la pieza que se inspecciona, por lo que no es necesario detener la instalación ni hay riesgo para el operario.

Así mismo, permite detectar con precisión los fallos del subsuelo casi en tiempo real, lo que permite cuantificar la gravedad y las consecuencias de los fallos y planificar las medidas de mantenimiento necesarias.

Por último, la interpretación de los termogramas es muy fácil y la radiación infrarroja no es perjudicial. También puede aplicarse a una amplia gama de materiales (Peña, 2012).

#### **2.7.11.2. Deficiencias**

- Mediciones inexactas, si las temperaturas son muy cercanas, pueden hacer que las imágenes infrarrojas interpreten mal la información obtenida por la cámara; los objetos pueden resultar indistinguibles. La tecnología termográfica moderna sólo permite registrar imágenes a temperatura superficial.
- No puede detectar la temperatura ambiente si el objeto a examinar está separado por un medio opaco a la radiación infrarroja, como el vidrio u otros revestimientos.
- Lo anterior sugiere que se trata de un método superficial que requiere experiencia y conocimientos para evaluar los resultados (Sicma 21, 2022).

#### **2.7.12. Preparación de los equipos termográficos**

Uno de los pasos básicos previos a los estudios termográficos es la calibración del equipo mediante una fuente de rayos o un simulador de cuerpo negro. También es importante incluir funciones de corrección para tener en cuenta los efectos ambientales, como la atenuación atmosférica (en

función de la distancia entre el equipo y el lugar que se va a analizar) y la corrección de la radiación. La calibración debe cubrir el rango de temperatura más amplio posible. Otra consideración es que el rango visible en el visor de la cámara no siempre coincide exactamente con el rango espectral analizado por el sensor térmico. Una forma de mejorar la precisión es añadir una referencia de emisividad conocida lo más cerca posible de la sección transversal que se va a medir (Peña, 2012).

### **2.7.13. Técnicas de ensayo para termografía**

La termografía infrarroja (IRT) es una técnica de evaluación no destructiva (NDE) rápida y precisa que se utiliza ampliamente para la inspección de grandes componentes aeroespaciales como las estructuras primarias y secundarias de aviones y helicópteros, los componentes de las naves espaciales y sus subsistemas. (Loayza, 2016)

Una cámara termográfica se encarga de medir ondas largas de radiación mediante la cual se puede determinar la temperatura de la pieza que se desea medir. Sin embargo, para la medición se debe tener en cuenta la emisividad del material, el color de recubrimiento de la pieza y la calidad superficial del objeto (Testo, 2008).

Por otro lado, según lo planteado por Castillo (s.f.) la termografía es un ensayo no destructivo realizado a distancia, sin la necesidad de estar en contacto directo con la pieza que se desea evaluar. Y permite transformar las lecturas de radiación infrarroja a temperatura mediante señales eléctricas.

### **2.7.13.1. Termografía pasiva**

En la termografía pasiva se puede llegar a inspeccionar muestras sin la necesidad de someterlas a calor o frío con la finalidad de generar flujos de calor en la muestra. No obstante, la pieza presenta un gradiente de temperaturas debido a su funcionamiento durante el proceso industrial y esto se detecta como defectos durante la termografía.

En la termografía pasiva, el sistema termográfico se integra directamente en el proceso de soldadura, lo que permite una evaluación en línea del proceso. Es posible examinar directamente los datos termográficos para obtener la imagen con el mayor contraste, pero esta forma de examinar los datos es bastante tediosa. Otra forma de analizar los datos es el método de la imagen diferencial que se ha utilizado en este trabajo. La imagen diferencial consiste en una matriz de píxeles diferenciales (Loayza, 2016).

### **2.7.13.2. Termografía activa**

La termografía infrarroja activa se refiere al grupo de métodos empleados para inspeccionar la integridad de materiales o sistemas mediante el uso de una fuente de energía externa y un detector de infrarrojos. El estímulo externo puede ser de muchas formas, como aire caliente o frío, pulsos de calor, ondas térmicas periódicas u oscilaciones mecánicas, por ejemplo, ultrasonidos. La forma de capturar y procesar los datos, así como las aplicaciones típicas, difieren según la fuente de excitación. Este capítulo presenta una revisión de tres de las técnicas activas más comunes en el campo de la termografía: la termografía lock-in, la termografía pulsada y la vibrotermografía. (Rodríguez P. , 2001).

A diferencia de la termografía pasiva, se requiere de un calentamiento o enfriamiento externo para lograr un gradiente de temperatura que permita detectar las zonas donde los defectos causen un sobrecalentamiento de la pieza.

La termografía activa puede dividirse en diferentes campos, según la forma de onda y la fuente de excitación. Cuando se utiliza una forma de onda periódica de excitación, el método se denomina termografía lock-in, mientras que el uso de una excitación pulsada se llamaría termografía de fase pulsada (Giachino & Weeks, 2017).

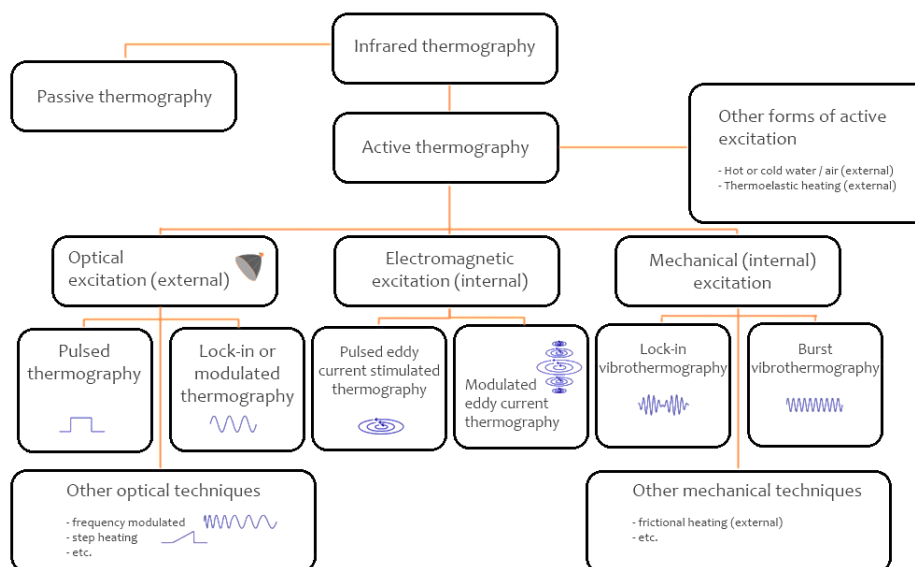


Figura 36 - *Diferentes fuentes de excitación para termografía Infrarroja*

*Activa*

*Fuente: Inspección digital no destructiva*

- **Termografía Activa Pulsada**

La termografía pulsada es el registro del periodo de enfriamiento de una muestra después de haberla sometido a un breve pulso térmico para generar un flujo de calor. Este frente térmico se propaga a través del material y cuando encuentra una heterogeneidad, se produce un contraste de temperatura que es más pronunciado cuanto más cerca esté la heterogeneidad de la superficie (Peña, 2012).

- **Termografía de pulso largo**

También denominada como termografía Step heating, consiste en calentar progresivamente la muestra que se desea analizar. EL objetivo es determinar el termal transit time, que se define como el tiempo que la temperatura tarda en generar un gradiente de temperatura debido a las profundidades de los defectos. Por otra parte, se puede aplicar en las capas de recubrimientos, espesores de láminas.

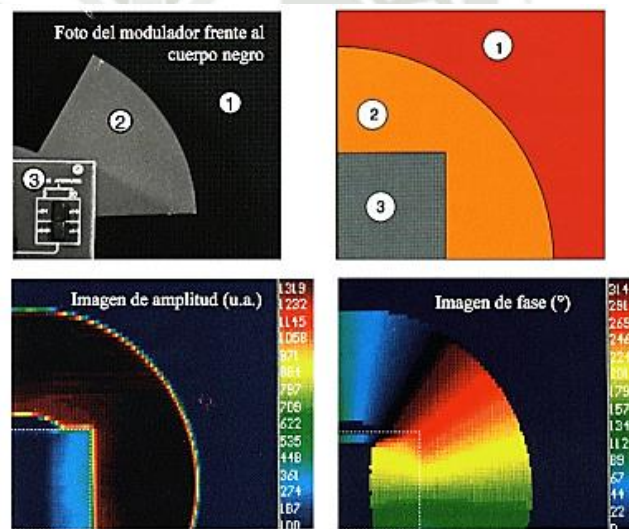
La soldadura escalonada (indirecta) se utiliza a menudo cuando las piezas están configuradas de tal manera que sólo se puede acceder a un lado de la pieza con un electrodo, o hay un gran desequilibrio térmico. La corriente de soldadura fluye desde el primer electrodo, a través de la pieza, por la zona de la soldadura, a través de la otra pieza y hacia el otro electrodo.

En este método, el objeto o la pieza a inspeccionar se calienta a baja potencia y se controla continuamente el aumento de la temperatura de la superficie. De nuevo, el frente de calor se propaga a través del material, pero en este caso la profundidad de la heterogeneidad viene determinada

por el tiempo necesario para separar la temperatura en un punto de los cambios de temperatura en la región intacta (Peña, 2012).

- **Termografía Lock – in**

La termografía lock – in consiste en multiplicar la señal del objetivo por funciones periódicas (seno o coseno) con la misma frecuencia que el fenómeno termográfico, luego se suma por integración las imágenes demoduladas en un intervalo de tiempo. A continuación, se muestra una imagen en la que se aplicó la tecnología Lock – in.

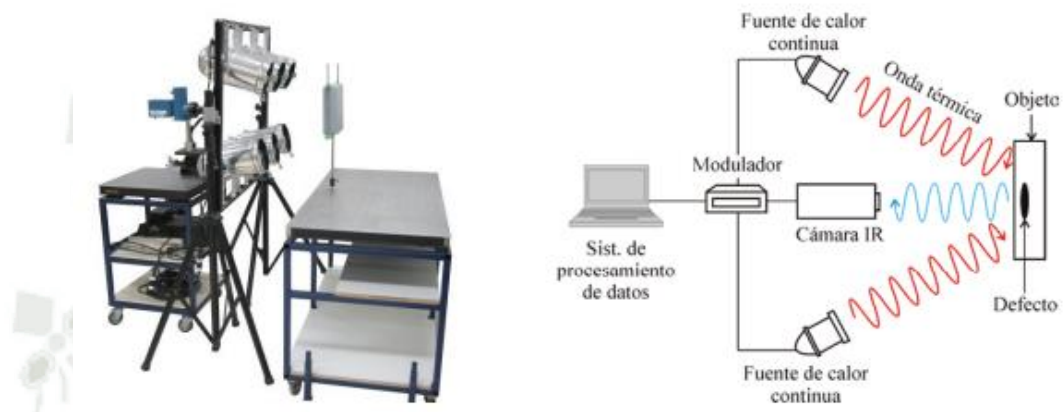


**Figura 37 - Partes de una imagen de Termografía Infrarroja por Lock - in**

**Nota.** En la imagen se puede observar las siguientes partes: En 1 se observa las partes visibles del cuerpo negro, en 2 se observa que el cuerpo negro está siendo ocultado periódicamente por la chopper. En 3 se observa la parte posterior de la chopper.

En la literatura, la termografía lock-in también se denomina termografía modulada, termografía de ángulo de fase, radiometría fototérmica y termografía fototérmica. El término lock-in se refiere a la monitorización de la temperatura de un objeto a la frecuencia de modulación de la señal térmica

Granados (2011). En la Figura 35 (a) se muestra una configuración típica de prueba para la termografía lock-in , mientras que en la Figura 2.2(b) se muestra el diagrama del circuito correspondiente. (Granados, 2011)



**Figura 38 - Sistema de Termografía Lock-In**

**Nota.** Los sistemas de termografía Lock- in usualmente constan de solo una cámara IR, las cuales son fuentes de calos continuos, también cuentan con un modulador de intensidad y con un sistema de procesamiento de datos.  
Fuente: Granados (2011).

- **Termografía de fase pulsada:**

Es una combinación de termografía pulsada y fija. La prueba se realiza de la misma manera que la termografía de impulsos, pero los datos se procesan mediante una transformada de Fourier. Los datos de amplitud y fase de la imagen a diferentes frecuencias se obtienen a partir de una serie de termogramas (Peña, 2012).

Por otro lado, se puede definir a la TIG pulsada como la técnica aplicada para producir un contraste de la temperatura en zonas con defectos, ya que se produce un ratio de difusión menor antes defectos superficiales e interiores



## CAPÍTULO III

### 3.MATERIALES Y PROCEDIMIENTO PARA ENSAYO

#### 3.1. Material de estudio

Se pueden utilizar múltiples materiales para poder realizar este proyecto, siempre y cuando sea la unión de dos piezas de un material, Y se logre a través de la fusión por soldadura, quiere decir que las piezas sean soldadas, donde se puede agregar un material de aporte para conseguir una unión fija.

En este caso se ha optado por trabajar probetas de Acero A – 36 y A53 Grado B, estos son aceros al Carbono estructural que son utilizados para construcción en general, se podría decir que es el material más utilizado dentro de la industrial para múltiples fines.

#### 3.2. Aplicaciones

El control de calidad mediante la Termografía infrarroja Activa se ha de realizar en un acero A36 y A53 Grado B, que es el material estructural que más se utiliza para construcción por su Ductilidad, homogeneidad, Soldabilidad, Relación que tiene entre precio y resistencia que puede brindar y porque llega a ser apto para ser cortado mediante llama, y principalmente sin endurecimientos entre sus virtudes.

Es reconocido por ser un acero con una soldabilidad alta, por lo que es usado en construcción de estructuras como se menciona anteriormente, como en la fabricación de puentes, edificios, estructuras atornilladas y/o soldadas y otras estructuras, componentes múltiples que son utilizadas en industria y minería.

Este ensayo no se limita solo a acero A36 o A53 Grado B, puede ser utilizado a muchos otros como aceros aleados, aceros de herramientas, aceros inoxidables, todos ellos en los que se emplee un proceso de soldadura y se requiera tener un control de calidad para detectar y valorar las posibles fallas que se tenga en las juntas de soldadura.

### 3.3. Composición Química

Tabla 2

Composición de Probetas, platinas.

<b>Composición Química Platinas</b>						
<i>Acero</i>	<b>% C</b>	<b>% Si</b>	<b>% Mn</b>	<b>% P</b>	<b>% S</b>	<b>% Cu</b>
<i>ASTM A36</i>	0.26	0.40	No requiere	0.04	0.05	0.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3

Composición de la Probeta 4 - Tubo

<b>Composición Química Tubo</b>								
<i>Acero</i>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
<i>ASTM A53 Grado B</i>	0.3	1.2	0.050	0.045	0.40	0.40	0.15	0.08

Nota: El A53 B tiene 0 de Si, esto mejora la resistencia al calor.

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Propiedades Mecánica

Tabla 4

Propiedades Mecánicas de Probetas, platinas

<b>Propiedades Mecánicas platinas</b>		
<b>Esfuerzo de Fluencia</b>	<b>Esfuerzo Tracción</b>	<b>Elongación</b>
<b>(min.) (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(min.) (kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(min.) %</b>
25.5	40.8	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Propiedades Mecánicas de Probeta P4, tubo.

<b>Propiedades Mecánicas Tubo</b>		
<b>Esfuerzo de Fluencia</b>	<b>Esfuerzo Tracción</b>	<b>Elongación (min.) %</b>
<b>KSI</b>	<b>KSI</b>	
35 000	60 000	Para ser Calculado

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Equipos, instrumentos de medición y materiales Consumibles

Para realizar los ensayos por termografía infrarroja en la soldadura aplicada a las probetas que se ha mencionado anteriormente, se necesita utilizar diferentes instrumentos y equipo de medición:

- Termómetro digital.
- Fuente de energía que proporcione temperatura a las probetas para poder realizar los ensayos por termografía infrarroja activa.
- Cámara termográfica Infrarroja.
- Dependiendo el ambiente donde se realice las pruebas de termografía infrarroja activa, se tiene que cuidar las condiciones ambientales que puedan llevar a tomar fotogramas incorrectos, se debe tener medidas correctivas a ello.

### 3.6. Preparación de Probetas

Para realizar este estudio con la técnica de termografía Infrarroja Activa para detectar defectos superficiales en uniones soldadas, se presenta 4 Probetas, 3 de ellas corresponden a platinas soldadas y 1 por soldadura de tubería.

A continuación, se presenta las características de Cada una de ellas

Tabla 6

Características de Probetas, platinas.

**Características de las Probetas.**

<b>PROBETA</b>	<b>MATERIAL METAL BASE</b>	<b>LONGITUD (MM.)</b>	<b>ANCHO (MM.)</b>	<b>ESPESOR (MM.)</b>	<b>JUNTA REALIZADA</b>
<b>1</b>	A 36	160	150	12.7	Ranura, BISEL V
<b>2</b>	A 36	159	152	12.7	Ranura, BISEL V
<b>3</b>	A 36	161	149	12.7	Ranura, BISEL V

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7

Características de Probeta P4, tubo.

<b>PROBETA</b>	<b>MATERIA L METAL BASE</b>	<b>ESCHEDUL E (MM.)</b>	<b>ESPESO R DE PARED (MM.)</b>	<b>PRESION HIDROSTATI CA KG/CM</b>	<b>JUNTA REALIZAD A</b>
<b>PROBETA A 4 TUBO 1</b>	A 53 Grado B	40	5.49	70	Ranura, BISEL V

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 8** Parámetros de Soldadura de probetas

<b>PROBETA</b>	<b>VOLTAJE</b>	<b>AMPERAJE</b>	<b>ELECTRODO</b>	<b>CORRIENTE</b>	<b>POLARIDAD UTILIZADA</b>
<b>1</b>	constante	120 – 130	E7018	Directa	Invertida
<b>2</b>	Constante	120 – 130	E7018	Directa	Invertida
<b>3</b>	Constante	120 – 130	E7018	Directa	Invertida

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9

Parámetro de soldadura Probeta P4, tubo.

PROBETA	VOLTAJE	AMPERAJE	ELECTRODO	CORRIENTE	POLARIDAD UTILIZADA
A 4 TUBO 1	Constante	100 – 120	E7018	Directa	Invertida

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.1. Platinas y tubería

A continuación, se procede a presentar fotografías de las platinas y tubería empleadas en el proyecto, la cual posteriormente fueron soldadas con las características antes mencionadas, se presenta el equipo con el que se realizó el cordón de soldadura de cada una de las probetas, los electrodos utilizados en la unión de estas, el lugar donde se realizó la soldadura, este ambiente son carpas de soldadura donde se controla parámetros como viento, polución, si se tuviera una llovizna o lluvia entre otros.

- Se tiene las figuras 39 (a) y(b) donde se aprecia las platinas que se han cortado de tamaños uniforme, como el tubo, limpios de grasas e imperfecciones para poder realizar la siguiente etapa.



(a)



(b)

Figura 39 - *Platinas y Tubo para para realizar las probetas para ensayo térmico*

*Autor: Elaboración Propia*

- En la figura 40 se presenta las carpas de soldadura donde se va a efectuar el soldeo según la defectología que se requiere en cada una de las probetas, para posteriormente realizar el ensayo termográfico.



Figura 40 - *Carpa para trabajo de soldadura*

*Autor: Elaboración Propia*

- Para realizar las uniones soldadas debemos utilizar equipos de soldadura confiables y que den la seguridad que ejecutaran soldaduras correctas, sin imperfecciones y de calidad.



(a)



(b)

Figura 41 - Equipo para soldar Miller XMT 425, con el que se realizó la soldadura de las probetas

*Autor: Elaboración Propia*

### 3.6.2. Probetas terminadas e identificadas

A continuación, se presentan fotografías de las probetas que fueron soldadas y terminadas con las diferentes defectologías que se han planteado en cada una de ellas, las cuales serán las muestras para desarrollar el presente proyecto.

En las figuras 42 (a), (b) y (c) se muestran las probetas que se les ha realizado el cordón de soldadura, con múltiples defectologías, superficiales y subsuperficiales las cuales serán detectadas con el ensayo propuesto, aún no cuentan con la limpieza que es fundamental, ya que si se ejecuta la termografía infrarroja Activa nos arrojará una

lectura de imágenes imprecisa y posiblemente distorsionadas muchas de ellas, por lo que no será de utilidad.

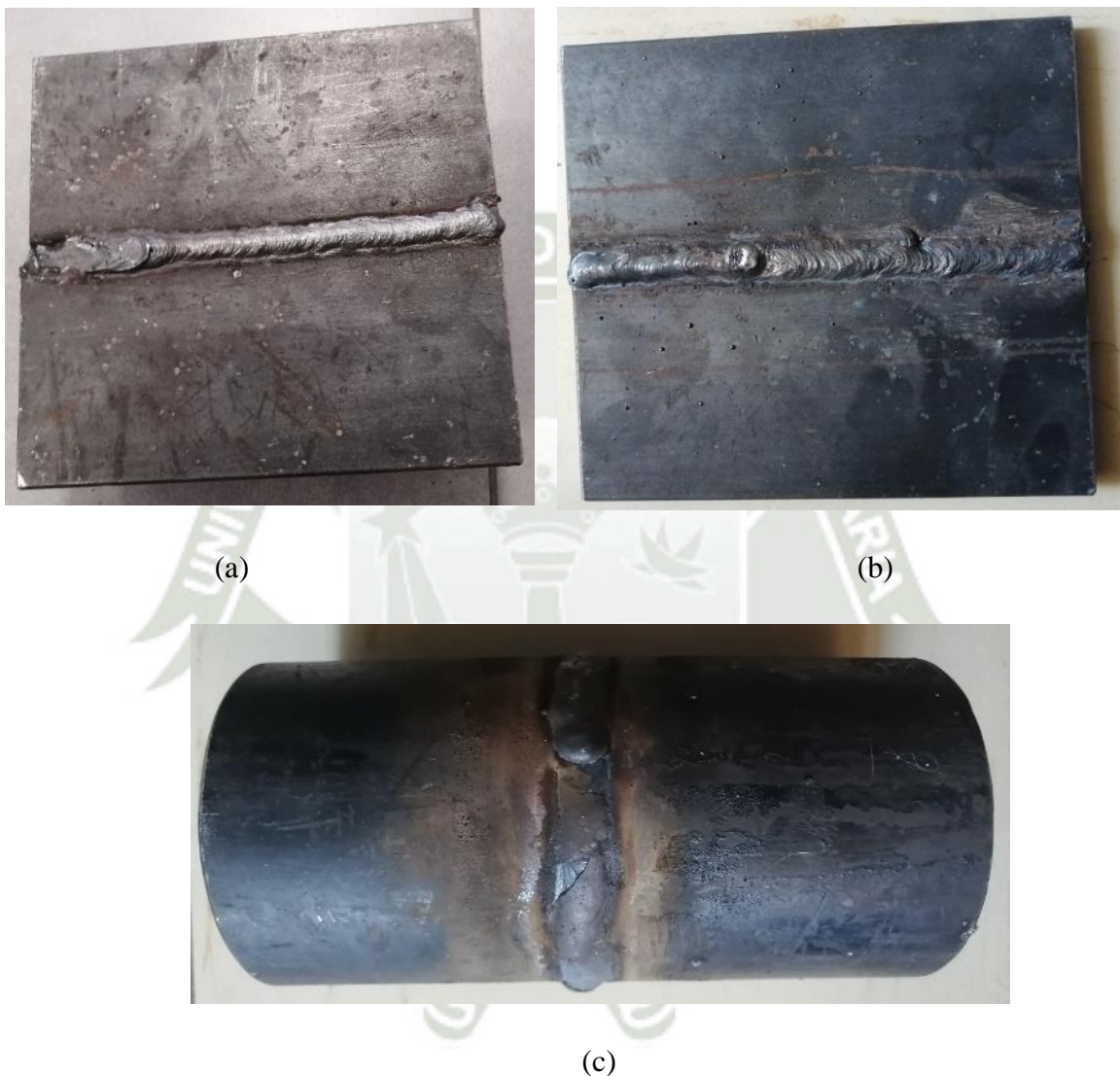


Figura 42 - Probetas soldadas que presentan defectología según lo planteado

*Autor: Elaboración Propia*

Luego cada probeta tiene que pasar por una limpieza donde se tiene que asegurar que quede libre de toda escoria, posible grasa y aceite, para proceder a marcar cada una, identificándolas para posteriormente se puede diferenciar, Cada Probeta ha sido hecha por

Platinas, se les ha denominado con “P” seguido del número de probeta que corresponde y la probeta de tubería se denomina con la letra “T”, y a todas se les denomino con letras “A” (lado izquierdo) y “B” (lado derecho), para tener una referencia de la orientación en las que se va a realizar la lectura termográfica.

En la figura 43 (a) y (b) se muestra dos formas de limpiar las probetas, la primera se ha limpiado por completo por lo que es un trabajo meticuloso con un mayor tiempo de trabajo, en la segunda la limpieza es únicamente en la zona de trabajo, que se realiza en menor tiempo y es el adecuado al momento de realizar las pruebas de termografía infrarroja, ya que lo que se busca es buscar la eficiencia en el menor tiempo posible, se refiere a que será lo adecuado por los tiempos que llevará y no va a afectar la toma de termogramas.



(a)



(b)

Figura 43 - Probetas que han pasado por limpieza

*Autor: Elaboración Propia*

Luego de tener las zonas limpias, se procede con la marcación de probetas que fueron realizadas a partir de platinas como se indicó anteriormente, se tiene de ejemplo la figura 44 (a), que es la probeta Numero 1, que tiene en la parte superior “P1”, en la parte inferior se ha marcado que se utiliza para un estudio de termografía Infrarroja, al lado izquierdo se tiene la letra “A” y hacia la derecha la letra “B” con las flechas respectiva debajo de cada una de ellas, para tener referencia del sentido al momento de realizar los ensayos correspondientes.

En el caso del tubo cuenta con letra a la izquierda “A” y a la derecha letra “B”, con flechas para determinar la dirección, se va a marcar que es un ensayo para termografía infrarroja y es la muestra Tubo.



(a)



(b)

Figura 44 - Probetas identificadas y marcadas

*Autor: Elaboración Propia*

### 3.7. Defectología de Probetas

Durante La elaboración de cada una de las probetas se ha realizado el esfuerzo por simular diferentes tipos de defectología las cuales son conocidas, en el ensayo que se propone de termografía infrarroja Activa, se evaluará cada una de las probetas y detectará la falla que se ha tratado de crear, algunas serán muy notorias y fácil de detectar porque son fallas superficiales y se tiene otro grupo que serán fallas subsuperficiales que no es posible detectar como las anteriores por lo cual se requiere de una técnica que proporcionen los datos suficientes para corroborar estos, aquí entra la técnica de termografía Infrarroja.

3.7.2. Probeta 1: Socavación, porosidad, incrustación de escoria y falta de penetración

3.7.3. Probeta 2: falta de penetración de raíz y porosidad

3.7.4. Probeta 3: Porosidad

3.7.5. Probeta Tubo: Porosidad superficial y Subsuperficial

Las probetas han de pasar por inspección visual, para detectar los defectos superficiales de cada una de ellas, las cuales van a ser cotejadas y serán fácil de identificar mediante la técnica de termografía infrarroja activa, Se utilizará una guía para la identificación que se le dio en el marcado de probetas mediante letras “A” y “B”, en todas las probetas. Y las demás defectologías serán cotejadas mediante la técnica y para certificar estas.

### 3.8. Condiciones para Aplicación

Se han realizado diferentes pruebas para encontrar el mejor arreglo para el calentamiento de las probetas en el horno eléctrico como son: la velocidad, temperatura máxima y tiempo que se mantendrá para obtener la temperatura deseada en la zona de estudio del cordón de soldadura, en cuanto a la cámara termográfica también se ha

realizado diferentes arreglos para encontrar la mejor calidad de imagen posible, esto consiste en condiciones ambientales estables, área de toma adecuada, ángulo, distancia, enfocar correctamente la imagen, emisividad correcta, paleta de colores apropiada y escala de temperatura que se debe de usar.

A continuación se procede que presentar las condiciones en donde se han obtenido los mejores resultados luego de múltiples pruebas.

### 3.8.1. Calentamiento

Para esta etapa se tiene que utilizar un horno eléctrico donde los parámetros que fueron óptimos son los siguientes.

Temperatura Máxima: 310 °C – 590 °F

Tiempo de Velocidad: 25°C / min.

Tiempo conservación : 5 minutos y/o hasta que la probeta que se vaya a analizar alcance una temperatura óptima.



Figura 45 - Horno para calentamiento de Probetas a Temperatura óptima

*Autor: Elaboración Propia*

Las probetas van a pasar por diferentes tomas de temperatura y muestras fotográficas, van a salir e ingresar múltiples veces al horno según se requiera, luego de que lleguen a la temperatura máxima que se estableció entraran en un tiempo de sostenimiento, para posteriormente apagar el equipo, se retiraran las piezas de ensayo para posteriormente dejar enfriar a temperatura ambiente y proceder con más tomas de temperatura y muestra según se requiera, para proseguir con la toma de fotografía mediante la cámara termográfica y posterior análisis e interpretación.

### 3.8.2. Condiciones y configuración de Equipo

En el ensayo de termografía Infrarroja con método activo, se va a realizar con la Cámara termográfica inteligente portátil de mano HIKMICRO modelo HM –TP51 – 3AXF / W – B1L, que llega a ser relativamente fácil, si se configura y se tiene claro los parámetros que se debe utilizar para cada tipo de muestra que se tiene, este equipo se encuentra calibrado de acuerdo al procedimiento de calibración de la misma empresa HIKMICRO. Dentro de los parámetros que establecimos para la calibración y tener la mejor calidad de fotografía para poder interpretar son los siguientes:

- **Condiciones ambientales:** Adecuadas, en un ambiente cerrado sin luz solar directa antes y durante la medición, Sin precipitaciones, superficie seca y libre de influencias térmicas externas, sin viento o corriente de aire, sin interferencia de entorno.
- **Temperatura Ambiente:** 20 °C a 24 °C
- **Resolución de Equipo:** 160 x 120
- **Distancia:** 0.3 a 0.5 m
- **Sensibilidad:** 40mk
- **Emisividad:** 0.95 – 0.98
- **Rango de Temperatura:** -20 °C a 550 °C ( -4 °F a 1022 °F)

- **Margen Precisión de temperatura:**  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3.6\text{ }^{\circ}\text{F}$ )

Ahora se debe que configurar los parámetros del campo de visión.

- **Detector:** 160 x 120 (19 200pixels)
- **Grado de toma de muestra:** 25 grafos forma horizontal
- **Tamaño de punto a medir:** 18 cm.
- Calibración que se tiene es del rango más amplio posible
- **Rango de temperatura Equipo:**  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-4\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $1022\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- **Rango de temperatura de Probeta:**  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $310\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $68\text{ }^{\circ}\text{F}$  a  $590\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- **Paleta de colores a usar:** Escala monocromática y policromático.

### 3.9. Ensayo Termográfico

Para realizar el ensayo propuesto, se necesita de un equipo el cual permita calentar las probetas, cada una de ellas de forma uniforme, segura, con tiempo y temperaturas controladas, para este fin utilizaremos un horno eléctrico figuras 46 (a) y (b) Thermolyne Thermo Scientific F6010 en el cual se va a introducir cada una de las probetas, ubicarlas al medio y tomar tiempos, para posteriormente sacarlas, medir temperaturas, si es necesario volver a introducirlas hasta llegar a lo que se requiere para poder tener las probetas a lo requerido.



(a)

(b)

Figura 46 - Horno eléctrico Thermolyne Scientific F6010

*Autor: Elaboración Propia*

Para tomar las muestras se empieza con la ayuda de un termómetro infrarrojo figura 47 (a) (b) durante la etapa de calentamiento para saber la situación en la que se encuentra las probetas, si se llegó a la temperatura deseada y de igual manera durante el enfriamiento de la probeta que se está realizando el estudio. Durante la etapa de enfriamiento que se realiza a temperatura ambiente sin dispositivo de ayuda de igual manera se toma mediciones con este dispositivo para ver en qué condiciones se encuentra, luego de que la temperatura en la fase de calentamiento o enfriamiento sea la adecuada y corroborada con el termómetro, se procede a utilizar el equipo de medición por termografía Infrarroja.



(a)



(b)

Figura 47 - Termómetro digital industrial

*Autor: Elaboración Propia*

El Ensayo de termografía Infrarroja, se tiene que realizar con una técnica Activa, para lo que se utiliza el equipo que consta de una Cámara termográfica inteligente portátil de mano figuras 48 HIKMICRO modelo HM –TP51 – 3AXF / W – B1L, marca líder en su clase y dedicada a termografía infrarroja que tiene múltiples usos.

En la figura 48 (a) se ve la parte frontal la cual está compuesta de la lente, su protección y luz blanca en caso se requiera. En la figura 48 (b) se cuenta con la configuración del equipo en el que se debe seleccionar diferentes parámetros como emisividad, paleta de colores, distancia, activar luz blanca y demás. En la figura 48 (c) se observa la pantalla donde muestra fotograma en paleta de colores blanco – azul para posteriormente capturar y proceder a interpretar y analizar.



(a)



(b)



(c)

Figura 48 - Equipo Termográfico HIKMICRO

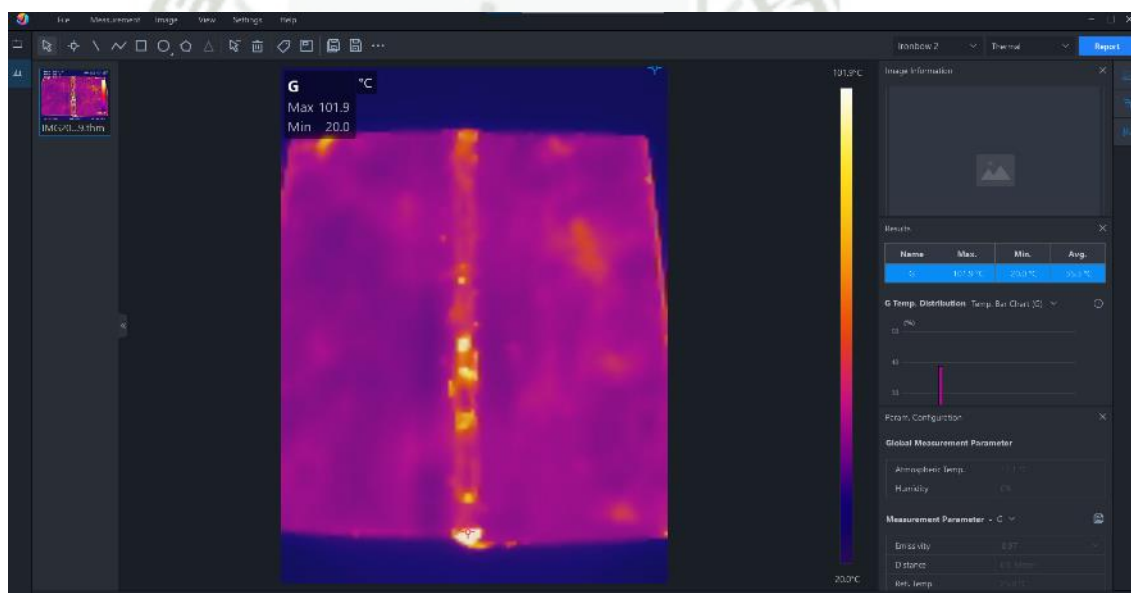
*Autor: Elaboración Propia*

Luego de tomar múltiples imágenes de termografía Infrarroja con el método activo con la cámara portátil, se tiene la posibilidad de utilizar el software HIKMICRO Analyzer figura 49 para tener datos en el análisis de esto, en la cual proporciona herramientas diferentes para

poder tener realizar interpretación en otras condiciones, como la variación de la paleta de colores, saber distancia, emisividad, capturar temperaturas en que se encuentran ciertos puntos y demás.

Se va a utilizar especialmente para realizar informes completos, o si las condiciones son complicadas y las imágenes termográficas no son suficientemente claras, tienen mucha lluvia, interferencia y otras, optar por el programa es una opción de gran ayuda.

En el caso se presenta utilizaremos las imágenes directas de la cámara termográfica para interpretar ya que son de buena calidad, lo suficientemente claras para tener conclusiones de lo que pasa en cada una de las probetas.



**Figura 49** - Software HIKMICRO Analyzer

*Autor: Elaboración Propia*



#### 4. Análisis y Resultados

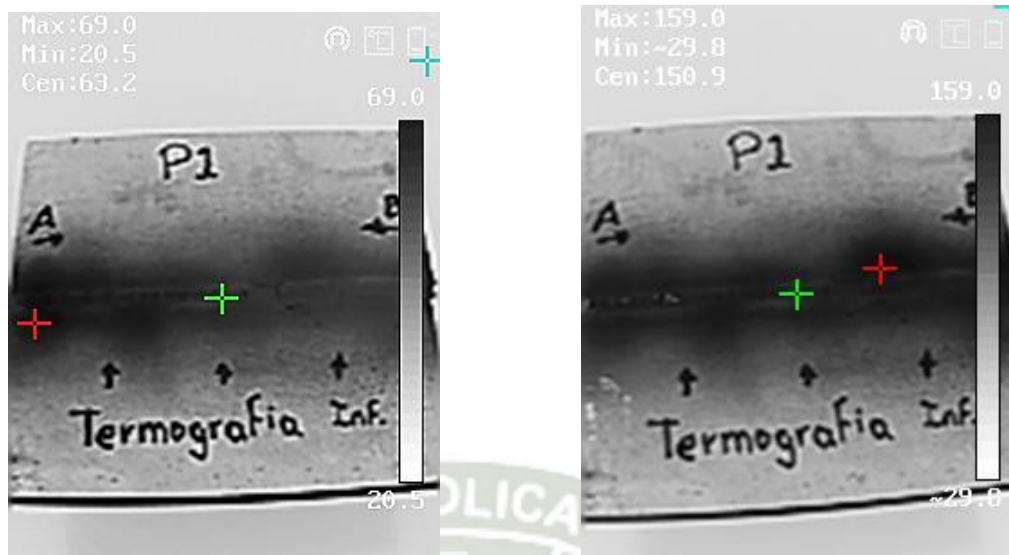
Luego de configurar y realizar el procedimiento de ensayo no destructivo (END/NDT) para termografía infrarroja con método Activo de cada una de las probetas se procede a presentar el análisis de cada una de ellas y descubrimiento de defectología.

##### 4.6. PROBETA P1

En la fotografía se presenta un termograma con la paleta de colores Negro – blanco, en esta paleta el color negro corresponde a la temperatura más alta y esta irá disminuyendo pasando por un color plomo hasta llegar a un color blanco el cual será la temperatura más fría, la cual se puede observar en la barra del costado derecho de la imagen la cual también indica la temperatura más alta y baja que se presenta en grados Centígrados.

En el termograma figura 50 (a) se va comenzar a apreciar ligeros puntos de color negro al rededor del centro del cordón de soldadura, indica ligeros puntos calientes, lo que puede llevar a sospechar de socavado que ha sido identificado en el examen visual, pero no es claro ya que la temperatura aún es baja, se necesita llevarla a una mayor para tener resultados claros y relevancia de las fallas.

En la figura 50 (b) se tiene una muestra a una mayor temperatura, en ella se presentan dos zonas de color blanco alargadas lo que indica que se encuentran a temperaturas más bajas que el resto del cordón y se vuelve a visualizar puntos calientes que también se visualizaron en el fotograma previo lo que corrobora la socavación, se prosigue con la fase de calentamiento para obtener nuevas fotos con la cámara termográfica.



(a)

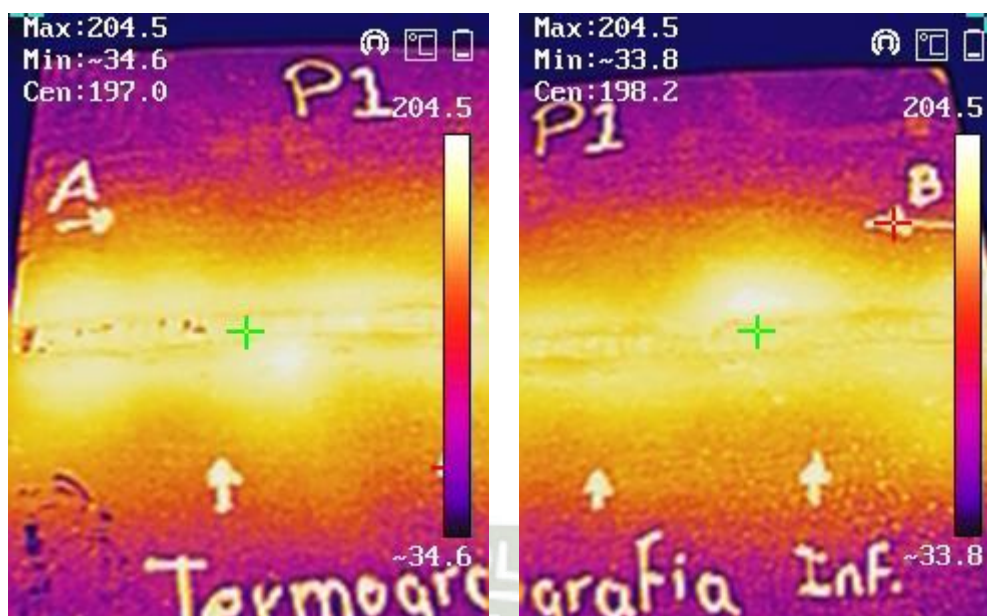
(b)

**Figura 50** - Termograma Probeta P1, etapa calentamiento Negro – Blanco

*Autor: Elaboración Propia*

En las siguientes imágenes se tiene una escala Blanca – Azul, en la cual el color blanco será la temperatura más alta, pasará por color amarillo, naranja, rojo, morado, hasta llegar a un color azul oscuro el cual será el punto más frío, se tiene una barra al lado derecho de guía para las temperaturas que se tiene en grados Centígrados.

Estas imágenes se encuentran a una mayor temperatura y se han sido segmentando en dos partes para tener una visión más específica que a la vez proporcionara muestras más claras de las defectologías que se tiene. En la figura 51 (a) se ha encontrado múltiples defectologías en el cordón de soldadura, se va a comenzar en el extremo “A” hacia el medio. Se inicia con un punto caliente que muestra una porosidad seguido de una zona fría concentrada lo que nos indica falta de fusión, luego una zona que nos indica incrustación de escoria, seguidamente de puntos que indican una porosidad subsuperficial. En la imagen 51 (b) se encuentra puntos ligeramente calientes, que corrobora la inspección visual.



(a)

(b)

**Figura 51** - Termograma Probeta P1, etapa calentamiento Blanco – Azul

*Autor: Elaboración Propia*

#### 4.7. PROBETA P2

Las figuras 52 (a) y (b) del termograma de la Probeta “P2” que se va a utilizar tendrán una escala de colores Negro – Blanco, el color negro corresponde a la temperatura más alta e irá disminuyendo pasando por un color plomo hasta llegar a un color blanco el que será la temperatura más fría, la cual se puede observar en la barra vertical del costado derecho que servirá de una guía para contrastar los colores y temperaturas, todo esto presentado en grados Celsius.

Entre el extremo “A”, primera flecha de ayuda de la figura 52 (a), se encuentra una zona de color blanco y plomo lo que indica temperaturas más bajas que el resto del cordón de soldadura. Esto indica que existe una disipación de calor en toda la zona demarcada, ocurrió una interrupción de conductividad durante el proceso de soldadura lo que ha originado una

falta de penetración en la raíz, que se ha podido identificar a través de este ensayo END/NDT, ya que visualmente sería imposible poder detectar de esta falla.

En la imagen 52 (b) se puede apreciar múltiples puntos de color negro, que se refieren a los puntos de mayor temperatura, lo que nos indica que se encuentra porosidad, de manera superficial y subsuperficial, en el examen visual de la probeta “P2” contamos con dos puntos, en los que es claro distinguir la defectología, pero muchos otros que de no ser por el examen de termografía no se podrían encontrar. De igual manera se encuentra una sección de socavado, que visualmente no se llegar a apreciar, pero a través del ensayo propuesto nos indica la dimensión real de la falla.

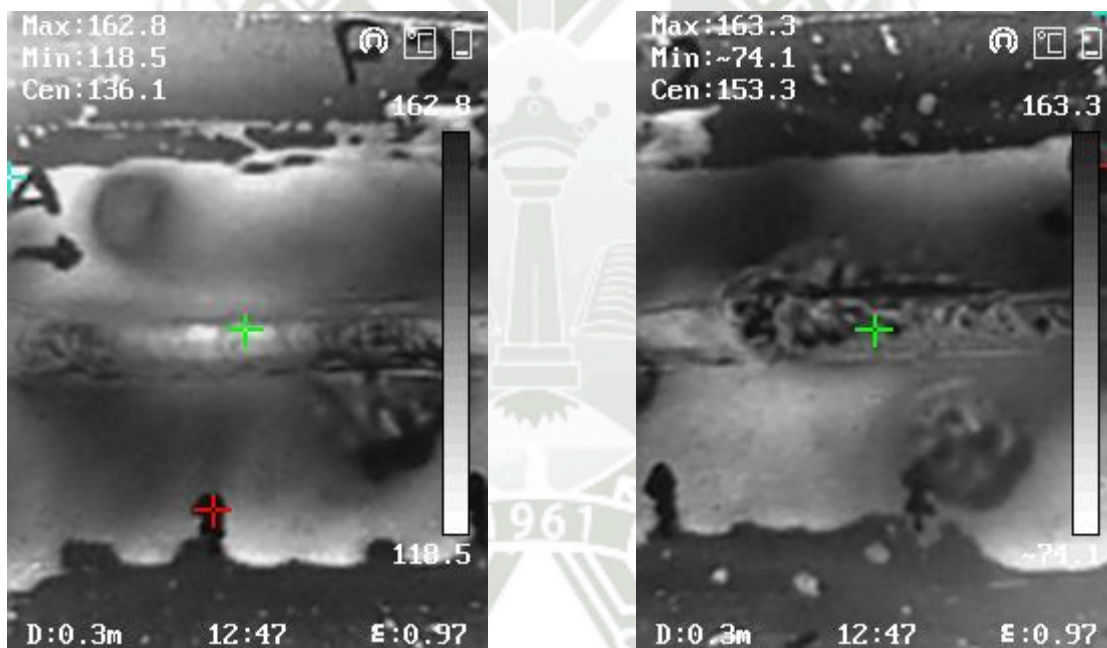


Figura 52 - Termograma Probeta P2, etapa calentamiento Negro – Blanco

*Autor: Elaboración Propia*

Se cuenta con un nuevo termograma figura 53 (a) y (b), con otra paleta de colores Blanco – Negro, que indica las mismas fallas, corroborando la interpretación anterior, pero se tiene algunas observaciones, el poder distinguir las tonalidades cuestan un poco de trabajo, por las

temperaturas en la que se ha tomado las fotografías y la paleta que se han sido elegidas, por eso es importante llevar un control constante en la fase de calentamiento o enfriamiento, como la paleta que da el mejor contraste para poder seguir con la interpretación.

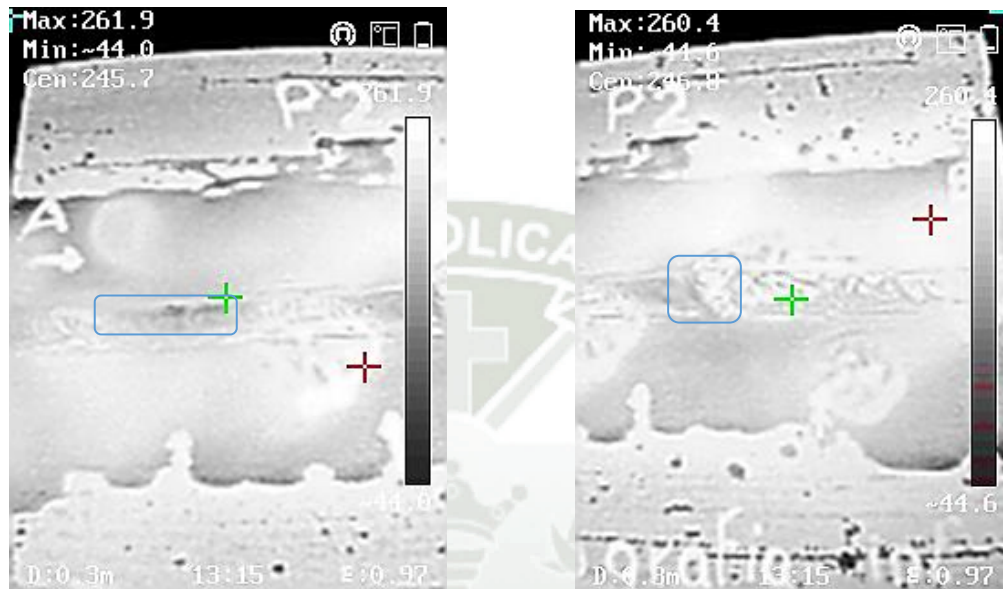


Figura 53 - Termograma Probeta P2, etapa calentamiento Blanco – Negro

*Autor: Elaboración Propia*

#### 4.8. PROBETA P3

El fotograma que se usará será la paleta de color Blanco – Negro, el color Blanco corresponde a la temperatura más alta y esta irá disminuyendo transitando por un color plomo hasta llegar a un color negro el que será la temperatura más fría, esto se observará en la barra vertical del costado derecho que sirve de guía para contrastar los colores y temperaturas, todo esto se muestra en grados Celsius.

En la figura 54 la probeta “P3” se encuentra en fase de calentamiento, indica un punto intermedio. Entre el extremo “A” hacia el medio, pasando la primera flecha de ayuda, encontramos un punto de color plomo lo que se interpreta como una porosidad subsuperficial que se puede distinguir de forma visual cuando se hace el examen respectivo.

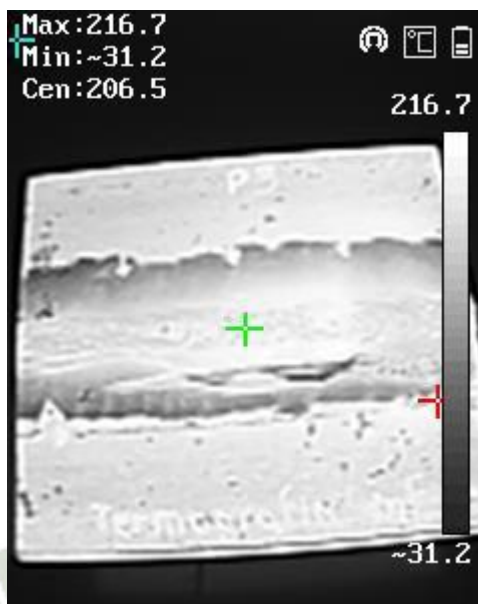


Figura 54 - Termograma Probeta P3, etapa calentamiento Blanco – Negro

*Autor: Elaboración Propia*

La probeta “P3” se deja enfriar en forma natural sin ayuda externa o de algún medio, se observa la misma defectología figura 55 que se ha encontrado en la figura anterior, porosidad subsuperficial, siendo la única en todo el cordón de soldadura.

Es necesario tener diferentes fotogramas, tanto en la etapa de calentamiento, como en la de enfriamiento, ya que puede arrojar diferentes fallas, y se necesita tener una certeza alta al momento de valorar las juntas soldadas.

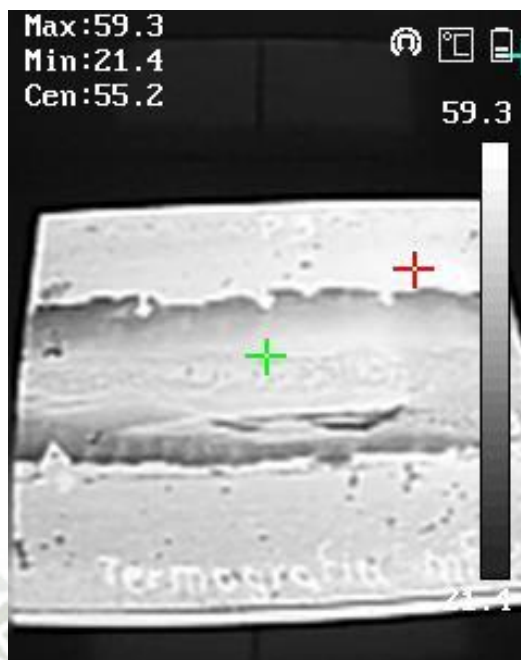


Figura 55 - Termograma Probeta P3, etapa enfriamiento Blanco – Negro

*Autor: Elaboración Propia*

#### 4.9. PROBETA P4 – TUBO

La cuarta probeta llamada “Tubo 1”, para el primer fotograma se utilizará una paleta de color Arco iris, del equipo de termografía con el que contamos, es una variable más con la que se cuenta, en los cuales el color blanco y rojo van a corresponder a los puntos o zonas con una mayor temperatura, estos van a ir tornando de color naranja, amarillo, verde, celeste a medida que la temperatura vaya descendiendo hasta llegar al color azul oscuro que será la temperatura más baja con la que se cuenta. Esto se puede observar en la barra derecha de forma vertical donde se muestran los colores y Temperaturas tanto la más alta como la más baja con las que estarán trabajando en grados centígrados.

Se encuentra un punto en tonalidad blanca que comparando con la imagen, constata que existe porosidad superficial que se puede identificar visualmente en la probeta, se muestra

una segunda defectología, una zona de color amarillo, lo que indicaría que existe una zona fría, lo que indica que existe una falta de fusión en el último pase que se le ha dado al momento de soldar, pero se debe considerar la forma geométrica de la pieza, por lo que se procede a efectuar otro termograma girando la pieza.

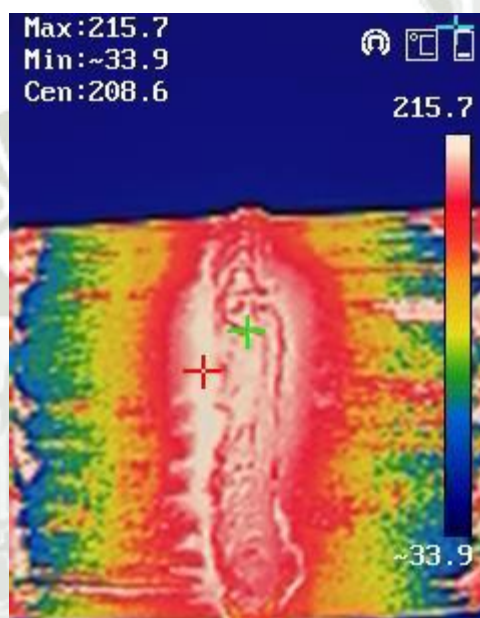


Figura 56 - Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta arco iris

*Autor: Elaboración Propia*

Al obtener otro fotograma con una paleta diferente de color, en este caso Blanco – Azul, la cual el color blanco será el de mayor temperatura y el color azul oscuro el punto más frío, pasando por amarillo, rojo, morado dependiendo la temperatura, como se ve en la barra vertical del lado derecho, también se indica las temperaturas en la que se encuentra en Celsius.

En esta figura 57, la probeta se ha girado ligeramente para tener una muestra que permita tener una mejor perspectiva del posible fallo detectado en la figura 56, esto se realiza para que la cámara confirme lo que se detectó anteriormente, podemos asegurar que no existe puntos fríos en la parte inferior, lo cual ayuda a rechazar la posible falta de fusión que pudo existir. Un ligero giro ha permitido descartar la posible falla.

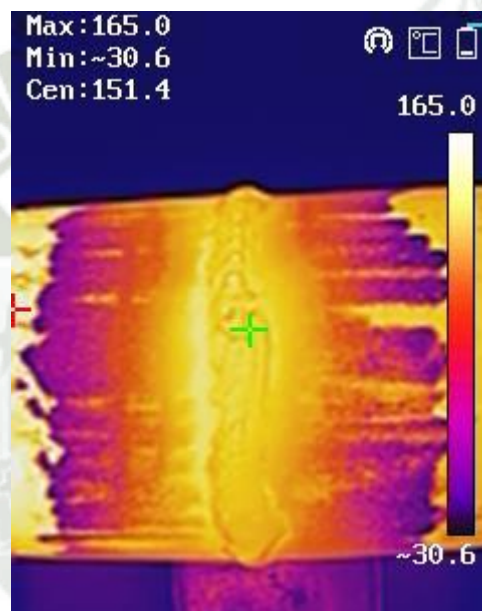


Figura 57 - Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta Blanco – Azul

*Autor: Elaboración Propia*

El tercer termograma, en escala monocromática negro – blanco, donde la posible defectología hallada en la figura 56, figura al medio de esta figura 58, para obtener resultados certeros y con una mayor claridad, se visualiza puntos calientes que es porosidad superficial y otros puntos color gris, de porosidad subsuperficial, quedando descartada una posible zona fría.

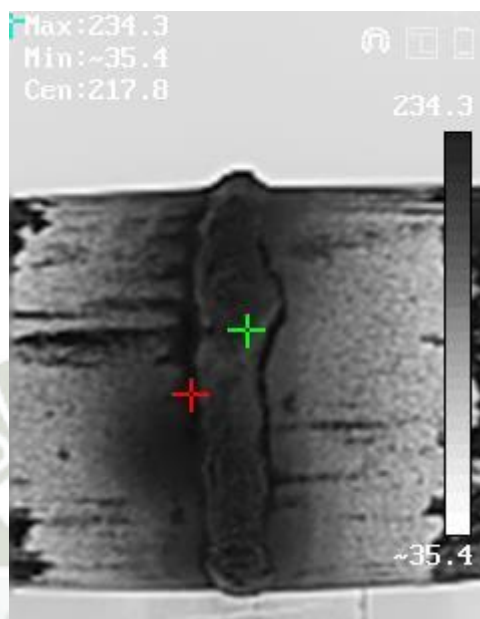


Figura 58 - Termograma cuarta Probeta Tubo 1, etapa calentamiento paleta Negro –  
Blanco

*Autor: Elaboración Propia*

## CONCLUSIONES

- Se ha empleado la técnica NDT/END de termografía Infrarroja Activa para evaluar e inspeccionar las juntas soldadas de diferentes probetas, identificando las fallas creadas durante el proceso de soldadura y las detectadas de forma visual, la técnica empleada ha dado muestra de que es efectiva y confiable para poder encontrar fallas de forma superficial y en relación a las subsuperficiales tiene un grado alto para poder detectar.
- Detectar porosidad superficial en la junta de soldadura es sencillo a través de termografía infrarrojo con método activo, ya que en la fase de calentamiento o enfriamiento se va a presentar puntos calientes en el termograma.
- Corroboramos la porosidad subsuperficial en la soldadura de componentes a través de la técnica NDT/END presentada, lo cual ratifica y permite conocer que tan invasiva ha resultado para la junta, esto se muestra a través de puntos calientes a menor temperatura.
- A través del ensayo de termografía Infrarroja Activa, se puede detectar la inclusión de escoria que estará presente en un cordón de soldadura, esta se va a identificar como puntos y/o zona fría de forma puntual.
- El detectar e identificar la falta de penetración que puede ocurrir en la unión de juntas soldadas resulta fácil detectar con la técnica de termografía infrarroja Activa, se va a identificar estas como zonas frías amplias o alargadas que se tiene que observar en los termogramas.
- Al momento de realizar el ensayo de termografía Infrarroja con método activo se debe considerar ciertos criterios como son: el ambiente y condiciones ambientales, equipos empleados, preparación de componente en el que se procede a realizar los ensayos, configuración para comenzar a tomar fotogramas, una mala decisión, configuración

errónea o mala manipulación daría imágenes erróneas que no permitiría conocer la defectología que se encuentra presente.

- Es importante determinar dentro de todas las configuraciones de paletas que cuenta el equipo termográfico, cual usaremos. Dentro de la experiencia que se ha obtenido con las múltiples tomas de imágenes de las diferentes probetas hemos determinado que una paleta monocromática en sus diferentes variaciones; Negro – Blanco, Blanco – Negro, Blanco – Azul, estas brindan una mejor perspectiva para poder obtener resultados como porosidad superficial y subsuperficial, inclusión de escoria y falta de penetración. Esta última con una paleta Arco Iris tiene una gran apreciación que puede ser útil.
- Para poder detectar de forma clara las diferentes defectologías que se puede obtener, es necesario llevar el componente a temperaturas por encima de los 160 °C en la etapa de calentamiento para poder evidenciar y dar una interpretación correcta, temperaturas menores pueden dar un indicio, pero no se tendrá una lectura clara de los defectos en la junta de soldadura.

## RECOMENDACIONES

- Luego de realizar la unión de juntas soldadas, realizar el ensayo de termografía infrarroja con un método pasivo, ya que es una alternativa utilizar la temperatura obtenida durante el proceso de soldeo, en esta etapa de enfriamiento realizar la toma de muestras y establecer patrones si puede ser de utilidad o es necesario aplicar un proceso Activo.
- Seguir realizando múltiples pruebas de termografía infrarroja Activa en juntas de soldadura para obtener una guía de patrones amplia, que sirva de referencia para posteriores lecturas de imágenes termográficas.
- Se recomienda comparar esta técnica Activa con algún otro ensayo no destructivo, para mejorar patrones y seguir corroborando la efectividad
- Quien sea el operador el equipo y realice la interpretación debe de capacitarse, informarse de todo el procedimiento para no incurrir en errores.
- Se puede obtener un salto de calidad, si se tiene un equipo con una mayor resolución como en características que pueda brindar.
- Al realizar el método activo se puede utilizar un equipo por inducción para realizar las pruebas, tiene ciertas ventajas, pero también de algunos requisitos que se debe de cumplir en el componente que se realice el estudio.

## REFERENCIAS

- Anonimo. (2022). *Doctor Welding*. ( Wisconsin, Estados Unidos) <https://doctorwelding.com/>
- Asociación Española de Termografía Infrarroja. (2011). *Guía de la Termografía Infrarroja*. Madrid: La Suma de Todos.
- Auer, Daniel. (2008). *Termografía, Guia Practica* . Testo AG.
- Baldomir, L., Isis, E., Plaza, R., & Vicente, I. (2005). Evaluación de procedimientos de soldadura para revestimientos duros aplicados por el Proceso FCAW con transferencia metálica pulsada. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*.
- Balegas, D. L. (2007). *Termografía Infrarroja: Una técnica multifacetica para evaluación no destructiva* .
- Bravo, D. (2018). *La cromatica como herramienta para persuadir a los a los turistas en Pimentel*. Universidad Señor de Sipán.
- Cabrera, J., & Cabrera, R. (2018). Determinación de la velocidad óptima para la soldadura MIG de la aleación 5086-H116, mediante ensayo de dureza, prueba de tracción y examen metalográfico para la fabricación de tanqueros de aluminio. *Repositorio de la Universidad Tecnológica Equinoccial*, pp. 42 - 49.
- Cabrera, L. (s.f.). La enseñanza del color en el Bachillerato. *Revista de Educación*.
- Cabrero, J. (2017). *Soldadura con alambre tubular. FMEC0210*. España: IC Editorial.
- Caiza. (2016). *Termografía Industrial en Motores Electricos de la Planta Soguar S.A para Determinar Parámetros de Mantenimiento Predictivo*. Ambato- Ecuador: Universidad Tecnica de Ambato.
- Castillo, J. (s.f.). *Diagnóstico Básico de Fallas en Equipos Industriales Mediante Técnicas de Termografía*. ITECPRO.
- COMPANY, B. E. (2018). *Impic*. de <https://impic.es/>
- COMPANY, B. E. (2022). *IMPIC*. Obtenido de BAC Engineering Consultancy Group a
- SOCOTEC COMPANY: <https://impic.es/certificaciones-y-normativa/>
- Dirección de Metrología. (2014). PERÚ – INACAL. *De acuerdo La ciencia a tu medida*.

- Domingo, A. (2011). *Transmisión del calor*. Caribe: Universidad del Caribe.
- Eliseo, C. (2008). *SOLDADURA AL ARCO ELÉCTRICO SMAW*. Guatemala : Repositorio de la Universidad Rafael Landívar.
- Federación de Enseñanza de CC.OO. (2011). Ensayos destructivos metalúrgicos. *Temas para la Educación*, 1(14). <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8427.pdf>
- FFLIR Systems AB. (2011). *Guía de Termografía para Mantenimiento Predictivo*.
- Giachino, J., & Weeks, W. (2017). *Tenica y practica de la soldadura*. Barcelona,España.
- Gobierno del Peru. (2020). Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción*.
- Granados, C. (2011). Detección y Reconstrucción de Defectos Subsuperficiales en 3-D mediante el Análisis de Datos de Termografía Pulsada . *Centro de Investigaciones en Optica, A.C*.
- Ingegeek. (2022). *Soldadura, Definicion, Procesos y Tipos*. O <https://www.ingegeek.site/2022/03/18/soldadura-definicion-procesos-y-tipos>.
- Inspección digital no destructiva*. (s.f.). Obtenido de LORTEK S.COOP. : [https://workswell-thermal-camera.com/wp-content/uploads/2020/01/ati\\_scheme](https://workswell-thermal-camera.com/wp-content/uploads/2020/01/ati_scheme)
- Jeffus, L. (2008). *Manual de soldadura GTAW (TIG)*. España: Editorial Paraninfo.
- Jiménez, C. (2015). *Transferencia de Calor*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Kaplan, H. (2007). *Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment*. SPIE.
- Kirchhoff, G. (1860). Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. *Annalen der Physik*, 275-301. doi:<https://doi.org/10.1002/andp.18601850205>
- Kumar, P., Kolhe, K., & Morey, S. &. (2016). Process parameters optimization of an aluminium alloy with pulsed gas tungsten arc welding (GTAW) using gas mixtures. *Revista virtual Pro*, pp 17.

LABOMAT. (s.f.). *Termografía / medición de temperatura infrarroja: teoría y práctica.*

[https://labomat.eu/es/preguntas-frecuentes-](https://labomat.eu/es/preguntas-frecuentes-temperatura-higrometria/806-termografia-medicion-de-temperatura-infrarroja-teoria-y-practica.html)

[temperatura-higrometria/806-termografia-medicion-de-temperatura-infrarroja-teoria-y-practica.html](https://labomat.eu/es/preguntas-frecuentes-temperatura-higrometria/806-termografia-medicion-de-temperatura-infrarroja-teoria-y-practica.html)

Lagos, L. (2017). *Simbología en la soldadura*. Colombia: CIMI.

Llano, C. (2009). Soldadura G.M.A.W - MIG/MAG. *Revista Metal Actual*, pp 18-24.

Loayza, J. (2016). Metodos de soldadura . *Revista Virtual Pro*, pp 25.

M. Vollmer, K.-P. M. (2013). *Termografía Infrarroja. Fundamentos, investigación y aplicaciones.*

Maldaque. (2002). *Introducción a la termografía infrarroja Activa a los NDT.*

Molera, P. (2010). *Soldadura Industrial :clases y aplicaciones*. Barcelona,España: Editorial Marcombo.

Peña, D. (2012). *Evaluación de la Técnica de Termografía para la Deteccion de Defectos en Soldadura*. Universidad Libre de Colombia.

Piquer, J. (2010). *Soldadura:Principios y aplicaciones*. Madrid,España.

Ortiz, G. (2016). *Defectos y discontinuidades de la soldadura*. Lara, Venezuela.

Piquer, J. (2010). *Soldadura:Principios y aplicaciones*. Madrid,España.

Póvoas, J. H.-Y. (2017). *La termografía infrarroja como un ensayo no destructivo para la inspección de puentes de concreto armado.*

Quality Weld Service. (8 de Noviembre de 2021). *Quality Weld Service*. Obtenido de Quality Weld Service: <https://qws.es/que-es-un-wps-en-soldadura/>

Ramírez, J. (2011). *SIMBOLOGÍA DE SOLDADURA*. Mexico: Repositorio de la Universidad de Pamplona.

Revista Pulso. (2015). Soldadura con alambre tubular. *Revista Pulso* .

Rodríguez, M. (2011). *Análisis Numérico de la Transferencia de Calor de la Cabina de Fuego de un Avión Ultraligero*. San Luis Potosí: Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.

- Rodríguez, M. (2015). *Termografía Activa y Fotogrametría de Objeto Cercano para la Detección, Medición y Evaluación de Defectos e Imperfecciones en Uniones soldadas*. Universidad de Salamanca.
- Rodriguez, O. (2013). *Metalurgica de la Soldadura*. Habana,Cuba.: Editorial Universitaria EdUniv.
- Rodriguez, P. (2001). *Manual de soldadura*. Buenos Aires,Argentina: Editorial Alsina.
- Rosa, M., Miles, H., & Pérez, J. (2009). *Manual de aplicaciones de herramientas y técnicas del mantenimiento Predictivo*. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Sandoval, J., & Idrovo, C. (2009). *Ensayos no destructivos Líquidos penetrantes*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Testo. (2008). *Termografía, guía de bolsillo*. Daniel Auer.
- Tiznado, K. (2015). Manual de mantenimiento de torno convencional y aplicación algunos tipos de soldadura. *Accelerating the world's research Academia*, pp:107-126.
- Yañes, I., & Martínez, M. (2009). *Termografía Infrarroja como Técnica de Diagnostico a Equipos de Menos de 34.5KV*. Instituto Politecnico Nacional.

## ANEXOS

### Anexo 1 Registro Fotográfico



**Figura 59** Fuente de materiales en Bohler para probetas  
Nota: Bohler empresa especialista en producción de acero.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 60** Platinas de Acero A36 preparadas  
Nota: Material utilizado para realizar las probetas "P1", "P2" y "P3"

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 61** Tubo de Acero A53 Grado B Cedula 40 preparados  
Nota: Material utilizado para realizar las probetas "P4"

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 62** Lugar, Equipo y Consumible para ensayos  
Nota: Tenemos el equipo de Soldar utilizado, electrodos y Ambiente controlado.

*Autor: Elaboración Propia*

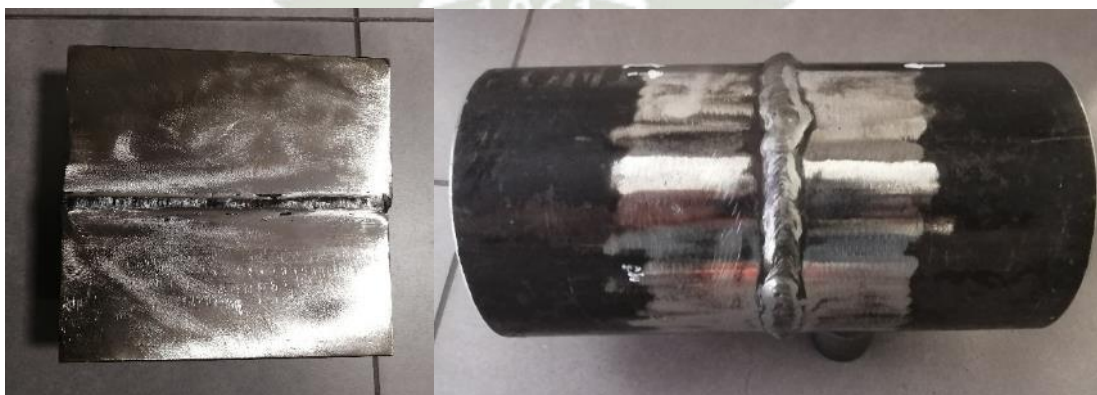


**Figura 63**

Probetas con defectologías luego de soldadura

Nota: Se tiene probetas recién soldadas con múltiples defectologías superficiales fáciles de detectar, como defectologías subsuperficiales que se detectarán por ensayo NDT/END

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 64**

Probetas limpias y preparadas para ser marcadas

Nota: Se tiene una probeta que se limpió por completo y la segunda solo la zona de estudio, la más adecuada será la segunda opción.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 65** Modelo de marca de Probetas

Nota: Modelo de cómo se marcará las probetas, llevaran "P" seguido del número de probeta que es, Letra "A" y "B" para saber la dirección.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 66** Probeta P1 de estudio

Nota: Probeta "P1" hecha de Platinas, zona de trabajo se pintó de color Negro mate, adicional se agregó tres fechas en la parte inferior cada 4 cm, para ayuda visual y referencial.

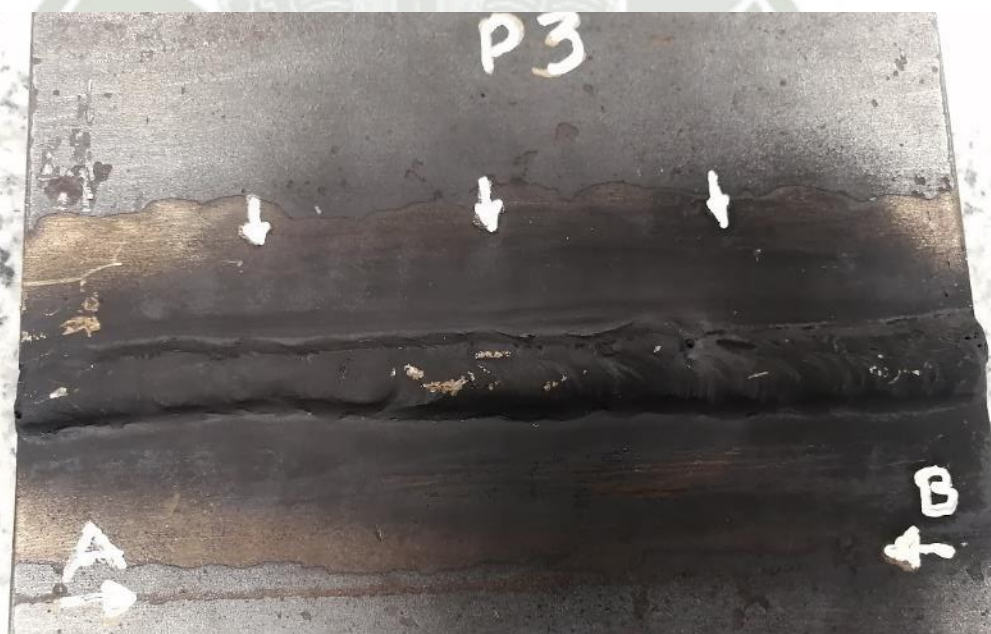
*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 67** Probeta P2 de estudio

Nota: Probeta "P2" hecha de Platinas, zona de trabajo se pintó de color Negro mate, adicional se agregó tres fechas en la parte inferior cada 4 cm, para ayuda visual y referencial.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 68** Probeta P3 de estudio

Nota: Probeta "P3" hecha de Platinas, zona de trabajo se pintó de color Negro mate, adicional se agregó tres fechas en la parte superior cada 4 cm, para ayuda visual y referencial.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 69** Probeta P4, Tubo de estudio, 1 vista

Nota: Probeta "P4", zona estudio limpia, primera vista.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 70** Probeta P4, Tubo de estudio, 2 vista

Nota: Probeta "P4", zona estudio limpia, segunda vista.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 71** Probeta P4, Tubo de estudio, 3 vista  
Nota: Probeta "P4", zona estudio limpia y pintada con negro mate, tercera vista.

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 72** Horno para Realizar los ensayos  
Nota: Horno Thermolyne para llevar las probetas a la temperatura adecuada

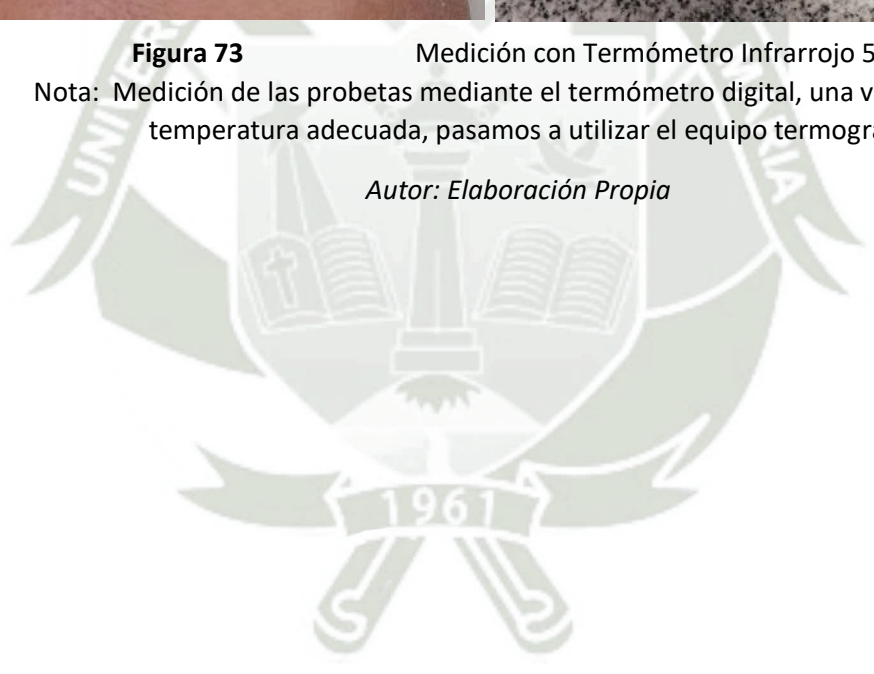
*Autor: Elaboración Propia*

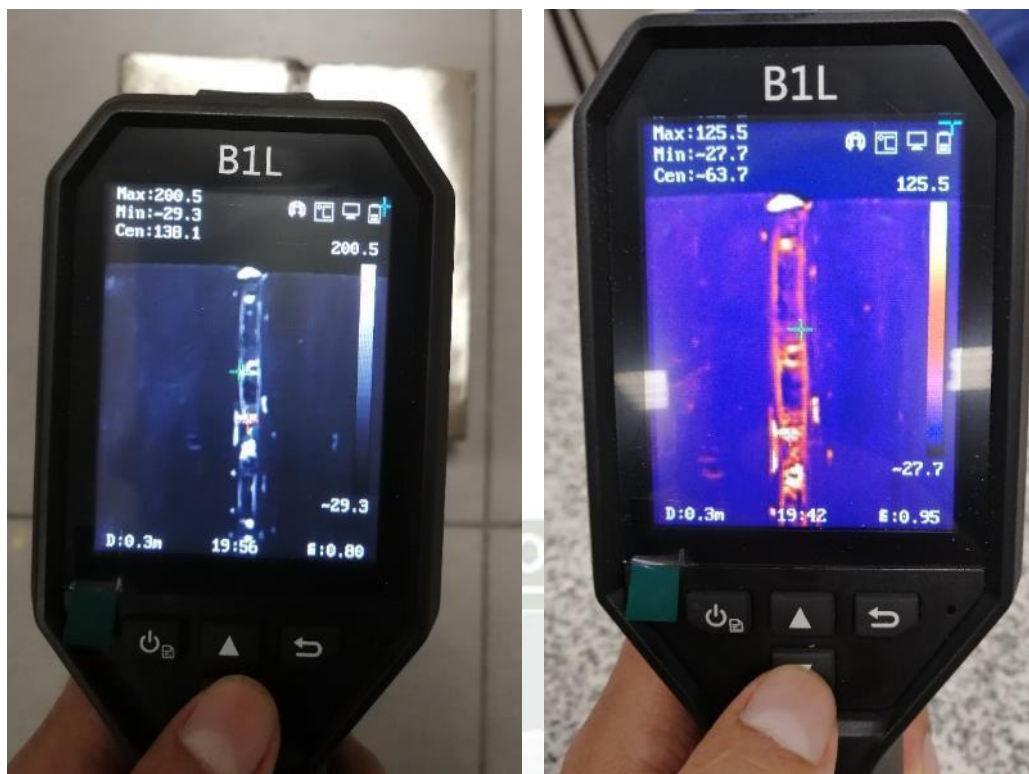


**Figura 73** Medición con Termómetro Infrarrojo 52224A

Nota: Medición de las probetas mediante el termómetro digital, una vez alcanzada la temperatura adecuada, pasamos a utilizar el equipo termográfico.

*Autor: Elaboración Propia*

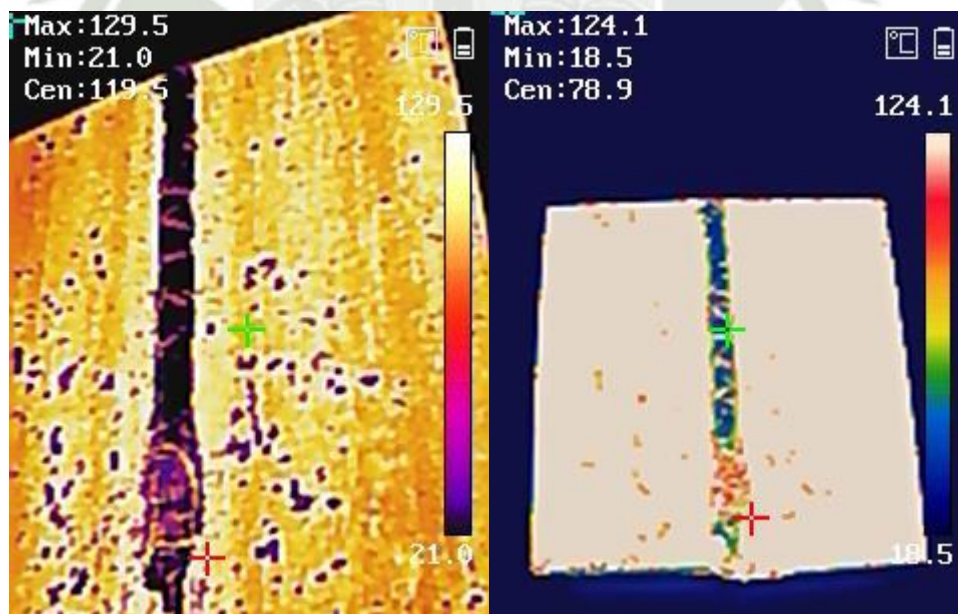




**Figura 74** Equipo Termográfico en uso y toma de muestra

Nota: Utilización y toma de muestra con el equipo termográfico, en paleta monocromática y policromático

*Autor: Elaboración Propia*



**Figura 75** Errores en Toma de Termogramas

Nota: Importante limpieza de la zona, ángulos, emisividad, paleta de colores, condiciones ambientales, temperatura entre otros

*Autor: Elaboración Propia*

Anexo 2 TABLA DE EMISIVIDAD

32 – Tablas de emisividad

1	2	3	4	5	6
Hierro y acero	forjado, bien pulido	40–250	T	0,28	1
Hierro y acero	fuertemente oxidado	50	T	0,88	1
Hierro y acero	fuertemente oxidado	500	T	0,98	1
Hierro y acero	hoja con capa de óxido brillante	20	T	0,82	1
Hierro y acero	hoja con herrumbre roja	20	T	0,69	2
Hierro y acero	hoja con herrumbre roja	22	T	0,69	4
Hierro y acero	hoja enrollada	50	T	0,56	1
Hierro y acero	hoja para conexión a masa	950–1100	T	0,55–0,61	1
Hierro y acero	hoja pulida	750–1050	T	0,52–0,56	1
Hierro y acero	oxidado	100	T	0,74	1
Hierro y acero	oxidado	100	T	0,74	4
Hierro y acero	oxidado	125–525	T	0,78–0,82	1
Hierro y acero	oxidado	200	T	0,79	2
Hierro y acero	oxidado	200–600	T	0,80	1
Hierro y acero	oxidado	1227	T	0,89	4
Hierro y acero	pulido	100	T	0,07	2
Hierro y acero	pulido	400–1000	T	0,14–0,38	1
Hierro y acero	rugoso, superficie plana	50	T	0,95–0,98	1
Hierro y acero	tratado recientemente con esmeril	20	T	0,24	1
Hojalata	hoja	24	T	0,064	4
Krylon Ultra-flat black 1602	Negro mate	Temperatura ambiente hasta 175	MW	Aprox. 0,97	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Negro mate	Temperatura ambiente hasta 175	OL	Aprox. 0,96	12

## Anexo 3 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS EQUIPO DE SOLDADURA XMT 425 VS

[C] Hay una lista completa de piezas disponible en [www.MillerWelds.com](http://www.MillerWelds.com)

### SECCIÓN 3 – ESPECIFICACIONES

#### 3-1. Ubicación de la etiqueta con el número de serie y los valores nominales de la máquina

El número de serie y los valores nominales de este producto están ubicados en el panel posterior. Use esta etiqueta para determinar los requisitos de la alimentación eléctrica y la potencia de salida nominal de la máquina. Anote el número de serie de la máquina en el lugar indicado en la contraportada de este manual para consultas futuras.

#### 3-2. Acuerdo de licencia de software

El Acuerdo de licencia para el usuario final y los avisos y términos y condiciones de terceros en relación con el software de terceros se encuentran en <https://www.millerwelds.com/usa> y se incorporan como referencia en el presente.

#### 3-3. Información sobre la configuración y los parámetros predeterminados de soldadura

**AVISO-** Cada aplicación de soldadura es única. Aunque determinados productos de Miller Electric están diseñados para establecer y pasar de manera predeterminada a determinados parámetros y configuraciones de soldadura típicos con base en variables específicas y relativamente limitadas de la aplicación ingresadas por el usuario final, dichas configuraciones predeterminadas son solo para referencia. Los resultados finales de la soldadura pueden verse afectados por otras variables y por circunstancias específicas de la aplicación. El usuario final debe evaluar y modificar la adecuación de todos los parámetros y configuraciones según resulte necesario en función de los requisitos específicos de la aplicación. El usuario final es el único responsable por la selección y la coordinación de los equipos, la adopción o los ajustes adecuados de los parámetros y configuraciones de soldadura predeterminados, y, en última instancia, de la calidad y durabilidad de todas las soldaduras resultantes. Miller Electric renuncia explícitamente a todas las garantías implícitas, incluida cualquier garantía implícita de adecuación para un propósito específico.

#### 3-4. Especificaciones de la unidad

[C] No use la información en la tabla de especificaciones de la unidad para determinar los requisitos del servicio eléctrico. Vea las secciones 4-7 y 4-8 para obtener información sobre la conexión de la alimentación eléctrica.

[C] Este equipo proporcionará una salida nominal a una temperatura de aire ambiente de hasta 104 F (40 °C).

Potencia de entrada	Salida nominal	Rango de voltaje en modo CV	Gamas de amperaje en el modo CC	Voltaje máximo acircuito abierto	Amperios de entrada (valor RMS) con salida de carga nominal, 60 Hz, sistema trifásico con voltajes de carga y clasificación Clase I según NEMA				KVA	KW
					230 V	380 V	400 V	460 V		
Trifásica	350 A a 34 VCD, 60% ciclo de trabajo	10-38 V	5-425 A	75 VCD	36.1	22.3	20.6	17.8	14.2	13.6

\*Vea la Sección 3-7 para la capacidad de ciclo de trabajo.

#### 3-5. Dimensiones y peso

Dimensiones entre agujeros	
A	11-3/4 pulg. (298 mm)
B	1-11/16 pulg. (42 mm)
C	15-3/4 pulg. (400 mm)
D	19-3/32 pulg. (485 mm)
E	8-11/16 pulg. (221 mm)
F	1-17/32 pulg. (39 mm)
G	Rosca 1/4-20 UNC -2B
Peso	
80 lb (36.3 kg)	

CM-234196 Página 9

Hay una lista completa de piezas disponible en [www.MillerWelds.com](http://www.MillerWelds.com)

### 3-6. Especificaciones ambientales

#### A. Clase de protección (IP)

Clase de protección (IP)
IP23 Este equipo está diseñado para su utilización en el exterior.

#### B. Especificaciones de temperatura

Rango de temperatura de funcionamiento*	Rango de temperatura de transporte/almacenamiento
14 a 104 °F (-10 a 40 °C)	-4 a 131 °F (-20 a 55 °C)
*La salida se reduce a temperaturas por encima de 104 °F (40 °C).	

### 3-7. Ciclo de trabajo y sobre calentamiento

El ciclo de trabajo es un porcentaje de un periodo de 10 minutos en el que la unidad puede soldar a la carga nominal sin sobrecalentarse.

Si la unidad se recalienta, la salida se detiene, aparece un mensaje de ayuda y el ventilador de enfriamiento comienza a funcionar. Espere unos quince minutos a que la unidad se enfríe. Reduzca la corriente o el ciclo de trabajo antes de soldar.

AMSO- Superar el ciclo de trabajo puede dañar la unidad e invalidar la garantía

% Ciclo de Trabajo	Amperios de Soldadura
10	425
15	425
20	425
25	425
30	425
40	410
50	390
60	360
70	330
80	300
90	280
100	275

FUNCIONAMIENTO CON ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA

**60% de ciclo de trabajo**

6 Minutos soldando → 4 Minutos enfriándose

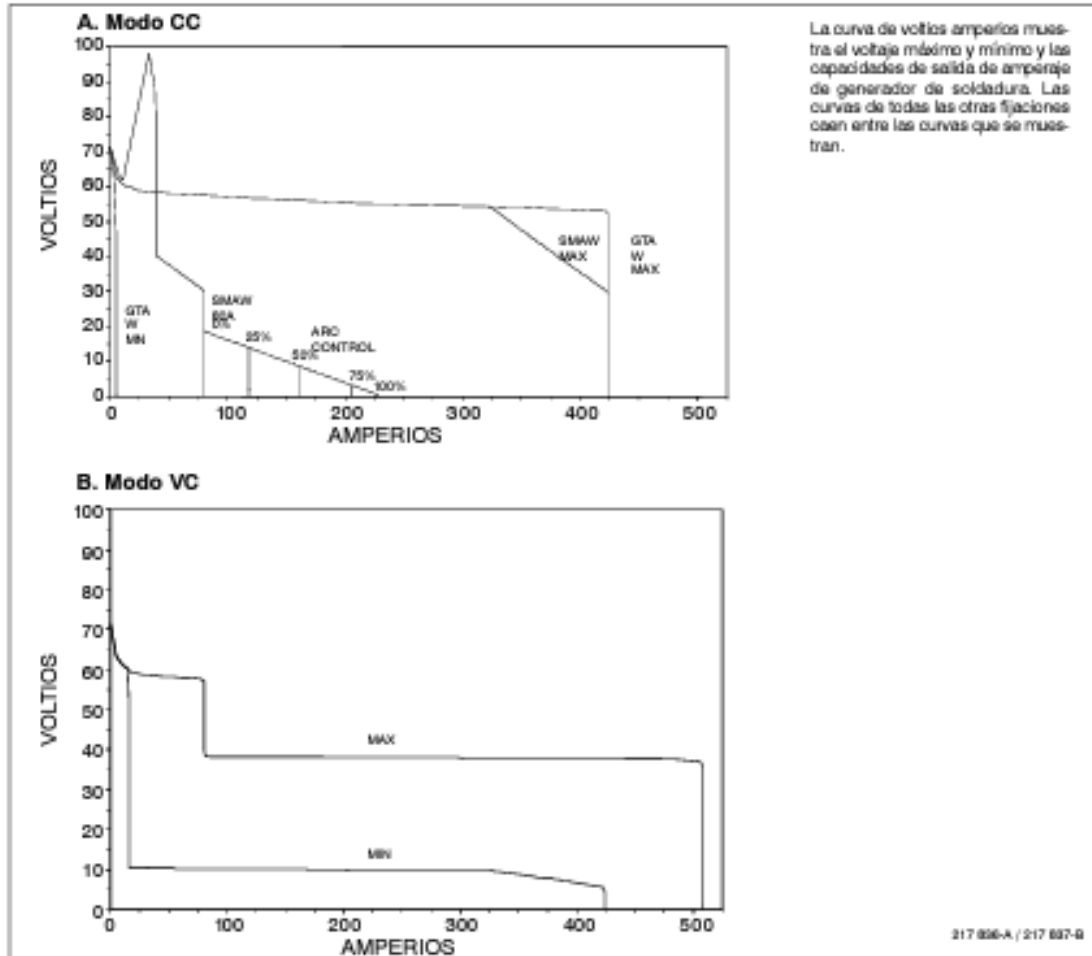
**Sobrecalentamiento**

reduzca el ciclo de trabajo

Ref. 219 523-A

[?] Hay una lista completa de plazas disponible en [www.MillerWelds.com](http://www.MillerWelds.com)

### 3-8. Curva de voltios amperios



## Anexo 4 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS – TERMOMETRO INFRARROJO MASTERCOOL 52224 A

*Instructions*  
**INFRARED THERMOMETER**

**NAME AND FUNCTION:**

- 1 Infrared Sensor
- 2 Laser
- 3 Battery Compartment (2 AAA)
- 4 Measuring and/or Laser Trigger
- 5 Battery Cover
- 6 LCD Display
- 7 °C / °F Button

**LCD DISPLAY**

Hold Indicator      Temperature Unit Indicator  
Battery Indicator      Digital Value Indicator      MAX Temp Indicator

**SAFETY INFORMATION:**

- Read the following safety information carefully before attempting to operate or service the meter.
- Only qualified personnel should perform repairs or servicing not covered in this manual.
- Periodically wipe the case with a dry cloth. Do not use abrasives or solvents on this instrument.
- Safety Symbols:
  - Dangerous, refer to this manual before using the meter
  - Apply with European CE

This instrument conforms to the following standards:  
**EN50081-1:** 1992 Electromagnetic Emissions  
**EN50082-1:** 1997 Electromagnetic Susceptibility  
 Tests were conducted using a frequency range of 80-1000 MHz with the instrument in three orientations. The average error for the three orientations is  $\pm 2.0^\circ\text{C}$  ( $\pm 4.0^\circ\text{F}$ ) at 30m throughout the spectrum. However, between 300 MHz and 500 MHz at 30m, the instrument may not meet it's stated accuracy.

**WARNING OF LASER!**  
**DO NOT point laser directly at human eye or indirectly from reflective surfaces!**

**CAUTIONS:**

- Keep away from electrical welders, induction heaters and EMF sources.
- When the thermometer is exposed to large or abrupt ambient temperature changes, allow 15 minutes for unit to stabilize before use.
- Do not store the thermometer in a high temperature environment.
- Store in carry case after operation to avoid contamination of optical lenses.

**GENERAL SPECIFICATIONS:**

Display: 4 digit LCD  
 Display Illumination: Back-lit LCD color display  
 Field of view: 12 : 1  
 Target Indicator: Circular laser spot  
 Emissivity: 0.95  
 Power Off: Automatic power-off after 15 seconds  
 Temperature Range: -58 to 1022°F (-50 to 550°C)  
 Accuracy:  $\pm 4^\circ\text{F}$  ( $2^\circ\text{C}$ ) or  $\pm 2\%$  of reading  
 Resolution: 0.1°F / 0.1°C  
 Repeatability: Within  $\pm 1\%$  of reading or  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $2^\circ\text{F}$ )  
 Storage Condition: -10-60°C, 14-140°F, 75%RH  
 Operating Condition: 0-40°C, 32-104°F, 10-90%RH  
 Response time: 0.5 second  
 Battery: 2 AAA  
 Battery Life: Approximately 14 hrs (Alkaline)  
 Weight: Approximately 180g

**OPERATING INSTRUCTIONS:**

- Measuring Trigger:**  
 To measure a temperature, point the unit at an object and pull the trigger. The temperature reading will appear on the LCD. When the trigger is released, the reading will automatically be held on the LCD for an additional 15 seconds. After 15 seconds, the thermometer will automatically shut-off to save the battery.  
**Be sure to consider the distance-to-spot size ratio and field of view. The laser is used for an aiming reference only.**
- Distance to Spot Ratio (D/S):**  
 You have to make sure that the detection area you want to measure is larger than the required spot size to get a correct reading. The temperature you get is an average temperature of the detected region. The smaller the target, the shorter distance is required for the measuring. (Please refer to the diagram on the side of the unit).

Distance : Spot = 12 : 1

- Emissivity:**  
 Emissivity is a term used to describe the energy emitting characteristics of materials. Most organic materials and painted or oxidized surfaces have an emissivity of 0.95. Metal surfaces or shiny materials have a lower emissivity and give inaccurate readings. Please note this during applications.
- Maintenance:**  
 Blow off loose particles. Gently brush remaining debris away with a lens brush. Carefully wipe the surface with a cotton swab. The swab may be moistened with water.  
**NOTE: Don't use solvents to clean the glass lens!**
- Replace Battery:**  
 When the battery voltage drops below that required for reliable operation, the low battery symbol will appear indicating it is time to replace the batteries. To change the batteries, detach the battery compartment cover by pushing the engraved pattern on the handle and pull down.

S2224AINSTUNIV

**TERMOMETRO INFRAROJO**

**NOMBRE Y FUNCION:**

- 1 Lente
- 2 Laser
- 3 Compartimiento de batería (2 AAA)
- 4 Botón MEAS.
- 5 Tapa compartimiento de batería
- 6 LCD
- 7 °C / °F de los botones

**VISUALIZADOR LCD**

Indicador de retención de datos      Indicador unidad de temperatura  
Indicador carga de batería      Indicador de máxima temperatura  
Indicador digital de valor

**INFORMACION DE SEGURIDAD:**

- Lea la siguiente información de seguridad cuidadosamente antes de intentar operar ó revisar el contador.
- Solamente personal calificado debe desempeñar reparaciones ó dar servicio de mantenimiento, no cubierto en este manual.
- Limpie periódicamente el estuche con un trapo seco. No use materiales abrasivos ó solventes en este instrumento.
- Simbolos de Seguridad:
  - Peligroso, refíerese a este manual antes de utilizar el contador
  - Aplicar con CE. Europeo

Este instrumento se ajusta a las siguientes normas:  
**EN50081-1:** 1992 Emisiones Electromagnéticas  
**EN50082-1:** 1997 Susceptibilidad-Electromagnética  
 Pruebe donde conduce usando una frecuencia de Alcance de 80-1000 MHz con el instrumento en tres direcciones. El promedio de error para estas tres direcciones es  $\pm 2.0^\circ\text{C}$  ( $\pm 4.0^\circ\text{F}$ ) en 30m el instrumento puede no encontrar su exactitud señalada.  
**ADVERTENCIA DE LASER! No apunte el laser directamente al ojo humano o directamente desde superficies reflectivas!**

**PRECAUCIONES:**

- Mantenga alejado de soldadores electricos, productores de calefacción y fuentes de EMF.
- Cuando el termometro es expuesto a largos ó abruptos cambios de temperatura-ambiente, permita por 15 minutos que la unidad se estabilize antes de su uso.
- No almacene el termometro a altas temperaturas ambiente.
- Almacene en el estuche despues de usar para evitar la contaminación de los lentes opticos.

**ESPECIFICACIONES GENERALES:**

Visualizador: 4 digitos LCD  
 Iluminación Expuesta: Pantalla LCD retróiluminada en color  
 Campo de Vista: 12 : 1  
 Indicador de Objetivo: Punto láser circular  
 Emisión: 0.95  
 Apagado: Apagado automatico despues de 15 segundos  
 Alcance de Temperatura: -58 a 1022°F (-50 a 550°C)  
 Precisión:  $\pm 2^\circ\text{C}$  ( $4^\circ\text{F}$ ) ó  $\pm 2\%$  de indicación  
 Resolución: 0.1°F / 0.1°C  
 Repetibilidad: dentro de  $\pm 1\%$  de lectura ó  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $2^\circ\text{F}$ )  
 Condición de Almacenamiento: -10-60°C, 14-140°F, 75%RH  
 Condición de Operación: 0-40°C, 32-104°F, 10-90%RH  
 Tiempo de Respuesta: 0.5 segundos  
 Batería: Batería de 2AAA  
 Duración de la Batería: Aproximadamente 14 horas (Alkalina)  
 Peso: Aproximadamente 180g

**INSTRUCCIONES DE OPERACION:**

- Galillo Medidor:**  
 Para medir la temperatura, apunte la unidad a un objeto y hale el disparador. La temperatura leída aparecerá en el LCD. Cuando el gatillo es liberado la lectura se sostendrá automáticamente en el LCD durante 15 segundos adicionales. Despues de 15 segundos el termometro se apagará automaticamente para ahorrar la carga de la batería.  
**Este seguro de considerar la distancia del punto de proporción, tamaño y campo de vista.**
- Distancia a Punto de Proporción:**  
 Usted tiene que asegurarse que el área de detección que usted quiere medir es mas grande que el tamaño del punto requerido para conseguir una lectura correcta. La temperatura que usted consigue es una temperatura media de la region detectada. Para un objetivo pequeño es mas corta la distancia requerida para la medición. (Por favor refíerese al diagrama sobre un lado de la unidad). El laser es usado solo como punto de referencia.

Distancia : Punto = 12 : 1

- Emisión:**  
 Emisión es un termino usado para describir la energía que producen las características de los materiales. La mayoría de los materiales orgánicos y superficies pintadas y oxidadas tienen una emisión de 0.95. Superficies de metal ó materiales brillantes tienen una baja emisión y proveen de lecturas incorrectas. Por favor note esto durante el uso.
- Mantenimiento:**  
 Sopla las partículas flojas. Suavemente retire las partículas restantes con un cepillo para lentes. Limpie cuidadosamente la superficie con un cepillo de algodón. El cepillo puede ser humedecido con agua.  
**NOTA: (NO USE SOLVENTES PARA LIMPIAR EL LENTE DE CRISTAL).**
- Reemplace la batería:**  
 Cuando el Voltaje de la bateríacaes por debajo del nivel requerido para una operación confiable, el simbolo de la batería descargada aparecerá indicando que es tiempo de reemplazar la batería, separe la cubierta del compartimiento de la batería empujando el modelo grabado sobre la manija y retirandolo.

## Anexo 5 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS – MUFLA THERMO SCIENTIFIC THERMOLYNE

Box furnaces

### Thermo Scientific Thermolyne benchtop muffle furnaces

Reduce energy consumption and increase heatup time

- Reaches a 1200 °C maximum temperature
- Available in two capacities for added flexibility
- Built-in vent port removes contaminants and moisture to extend the life of the heating element and furnace ; also ideal for ashing applications
- For added protection, the door safety switch stops power to heating elements when door opens
- Thermocouple break protection cuts power to heating elements, preventing a thermocouple failure runaway condition
- Two open coil heating elements on chamber sides assure fast heat-up with minimum temperature gradient
- Thermal-efficient ceramic insulation surrounds chamber for maximum energy efficiency
- 0.312 in. dia. port for monitoring chamber temperatures with independent measuring device at rear of chamber

#### F47900, F48000 models

- F47900 models have 2 L (0.07 cu.ft.) chamber capacity, F48000 models have 5 L (0.2 cu.ft.) chamber capacity

#### Temperature controller options

- Controls A1, B1, C1, D1
- See page 6 for control details

#### Applications

General laboratory use including:

- Gravimetric analysis
- Ashing of organic and inorganic samples
- Sintering
- Quantitative analysis
- Heat treating



#### Accessories

Cat. No.	Description	For Use With
PH479X1	Hearth tray, 15.2 x 14.3 x 0.95 cm	F47900 muffle furnace
SH480X1	Ceramic shelf, 17.4 x 17.3 x 1.2 cm	F48000 muffle furnace
PH480X1	Hearth tray, 25.4 x 19.3 x 0.95 cm	F48000 muffle furnace
AY408X1A	Stainless steel exhaust tubing kit, 2.5 in. ID x 60 in. L	Atmosphere controlled ashing and muffle furnaces

**Includes:** Power cord and one hearth tray, F48000 models also include a ceramic shelf (SH480X1)

**Warranty:** 1 year (parts and labor)

**Certifications:** CSA approved, CE marked as indicated

Cat. No.	Capacity	Temp. Range	Interior D x W, x H	Exterior L x W, x H	Control	Electrical	Shipping Weight	Plug Type
F47910'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47910-33'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47910-33CN'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47910-33-CH'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47910-33-UK'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47914	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	100 V, 50/60 Hz 750 W, 7.5 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47915'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	A1	120 V, 50/60 Hz 1000 W, 8.3 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33CN'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-CH'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-UK'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47924	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	100 V, 50/60 Hz 750 W, 7.5 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47925	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	B1	120 V, 50/60 Hz 1000 W, 8.3 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-80	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-80'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-80CN	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-80-CH	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47920-33-80-UK	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47924-80	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	100 V, 50/60 Hz 750 W, 7.5 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47925-80	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	C1	120 V, 50/60 Hz 1000 W, 8.3 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47950'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47950-33'	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47950-33CN	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47950-33-CH	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47950-33-UK	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	240 V, 50/60 Hz 1000 W, 4.2 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47954	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	100 V, 50/60 Hz 750 W, 7.5 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F47955	2 L (0.07 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	15 x 13.7 x 10 cm (6 x 5 x 4 in)	39 x 28.5 x 47 cm (15.5 x 11.3 x 18.5 in)	D1	120 V, 50/60 Hz 1000 W, 8.3 A	18.5 kg (41 Lb.)	
F48010'	5.8 L (0.2 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	25 x 18 x 13 cm (10 x 7 x 5 in)	50 x 34 x 19 cm (19.5 x 13.3 x 19 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1800 W, 7.5 A	27.2 kg (60 Lb.)	
F48010-33'	5.8 L (0.2 cu. ft.)	100° to 1200 °C (212° to 2192 °F)	25 x 18 x 13 cm (10 x 7 x 5 in)	50 x 34 x 19 cm (19.5 x 13.3 x 19 in)	A1	240 V, 50/60 Hz 1560 W, 6.5 A	27.2 kg (60 Lb.)	

Box furnaces

## Anexo 6 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS – CONTROLADOR DE TEMPERATURA EUROTHERM 2116 PARA MUFLA THERMOLYNE

### 2132 and 2116 PID Temperature Controllers

#### Installing and Operating Instructions



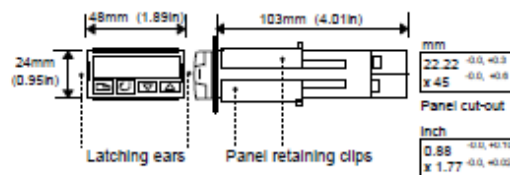
Thank you for choosing the 2132 or 2116 Temperature Controller. Supplied in 1/32 and 1/16 DIN panel sizes they are designed for accurate, stable control of ovens, chillers, sterilisers and other heating and cooling processes. Two outputs are configurable for heating, cooling and alarms.

The controller is supplied configured according to the order code given on page 11. Check this on the side labels to determine the configuration of your particular controller.

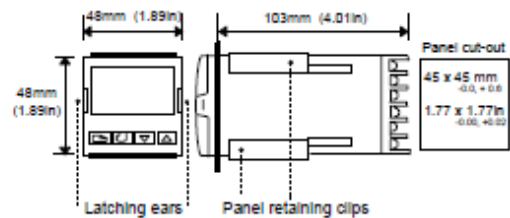
Ⓒ This controller meets the European Directives on safety and EMC.

#### DIMENSIONS AND INSTALLATION

##### Model 2132



##### Model 2116



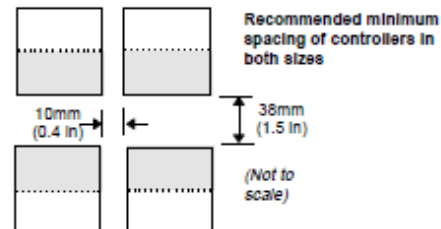
#### To Install the Controller

Please read the safety information on pages 11 & 12 before proceeding.

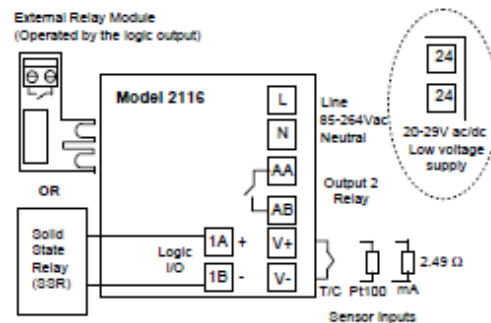
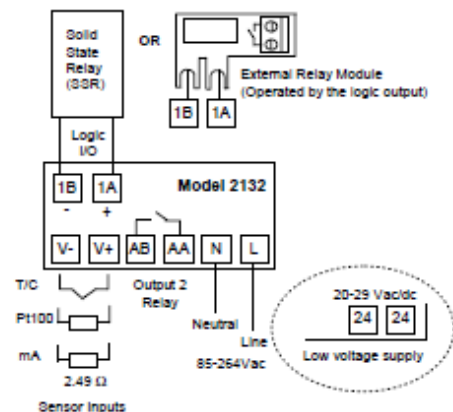
1. Prepare the panel cut-out to the size shown
2. Insert the controller through the cut-out.
3. Spring the panel retaining clips into place. Secure the controller in position by holding it level and pushing both retaining clips forward.
4. Peel off the protective cover from the display

#### Unplugging the Controller

The controller can be unplugged from its sleeve by easing the latching ears outwards and pulling it forward out of the sleeve. When plugging it back into its sleeve, ensure that the latching ears click back into place to maintain the IP65 sealing.



#### ELECTRICAL CONNECTIONS



#### Wire Sizes

The screw terminals accept wire sizes from 0.5 to 1.5 mm (16 to 22AWG). Hinged covers prevent hands or metal making accidental contact with live wires. The rear terminal screws should be tightened to 0.4Nm (3.5lb in).

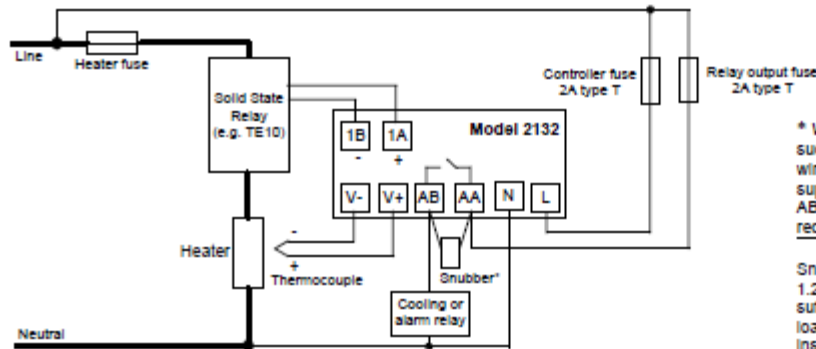
#### Output ratings

Logic Output: 9Vdc, 12mA (non-isolated from sensor input).  
Used for: Heating, Cooling or Alarm.

Relay Output: 2A, 264V ac resistive.  
Used for: Heating, Cooling or Alarm.

Contact Closure Input (replaces Logic Output).  
Used for: Alarm Acknowledge or Timer start/reset

**Typical Wiring Diagram**

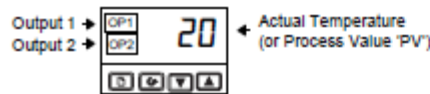


\* When switching inductive loads such as contactors or solenoid valves, wire the 22nF/100Ω 'snubber' supplied across relay terminals AA & AB. This will prolong contact life and reduce interference.

**WARNING**  
Snubbers pass 0.6mA at 110V and 1.2mA at 230Vac, which may be sufficient to hold on high impedance loads. Do not use in these installations.

**OPERATION**

Switch on the controller. Following a 3 second self-test sequence, you will see the display shown below. It is called the HOME display.



**OP1** illuminates when the logic output is ON (normally heating).  
**OP2** illuminates when the relay output is ON (normally cooling or alarm).

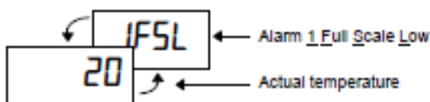
If **OP1** or **OP2** are configured as alarm outputs (instead of heating and cooling), they will flash when a new 'unacknowledged' alarm occurs and go steady when the alarm is acknowledged but still true.

**TO ACKNOWLEDGE A NEW ALARM**

Press **OP1** and **OP2** together. This will also reset any latched alarms that are no longer true.

**ALARM MESSAGES**

If an alarm occurs a message will be flashed in the display. This alternates with the measured temperature as shown below:



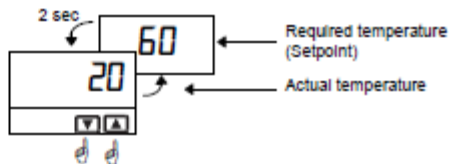
All of the possible messages are shown in this table.

Possible messages	
-FSH	Alarm - Full Scale High
-FSL	Alarm - Full Scale Low
-dEU	Alarm - Deviation
-dH	Alarm - Deviation High
-dL	Alarm - Deviation Low
Sbr	Sensor Break
Lbr	Loop Break
LdF	Load Fall
End	End of Timing

In place of the dash the alarm number is shown - Alarm 1 or 2 or 3.

**TO ADJUST THE REQUIRED TEMPERATURE (SETPOINT)**

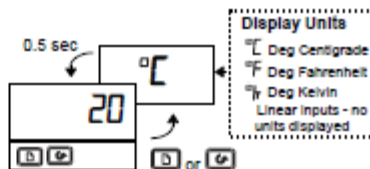
Press and release quickly the **DOWN** or **UP** button. The setpoint will be displayed for 2 seconds.



Press and hold **UP** to raise the setpoint  
Press and hold **DOWN** to lower the setpoint

**TO VIEW THE DISPLAY UNITS**

Press and release quickly the **OP1** or **OP2** button. The display units will be flashed for 0.5 sec.

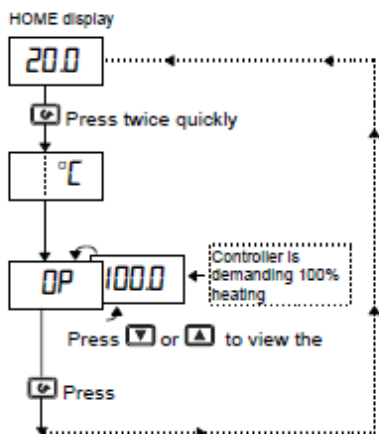


If you get lost, pressing **OP1** and **OP2** together will always return you to the HOME display.

If, at any time, no key is pressed within 45 seconds, the display will always return to the HOME display.

### TO VIEW THE OUTPUT POWER

Do this if you want to see how much heating or cooling energy is being demanded by the controller. Note: This is not a measure of actual power.



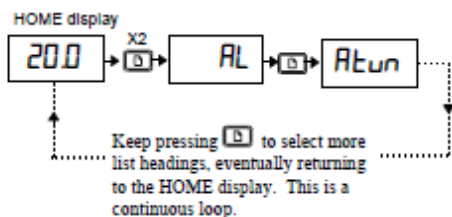
#### Warning!

In manual standby mode (see 'To Use The Timer') the output power can be adjusted by the operator, causing heating or cooling to be permanently applied. To prevent this make the OP parameter read only (see 'To Hide, Reveal And Promote Parameters')

### TO SELECT OR CHANGE OTHER PARAMETERS

Parameters are settings in the controller which you can change to suit the process. They are found under list headings.

Press the **B** button to step through the list headings as shown below.



Turn to page 4 to see all of the list headings.

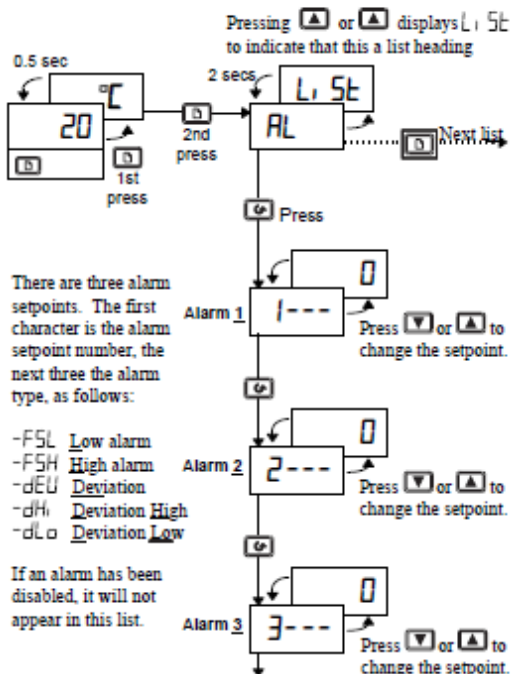
These lists are used to:

- Change alarm setpoints
- Tune the controller to the process
- Manually select PID values
- Change setpoint limits and access the in-built timer
- Change input and output limits

### TO ADJUST THE ALARM SETPOINTS (TRIP LEVELS)

Alarm setpoints are found under the **AL** list.

Press **B** twice to choose the **AL** list.



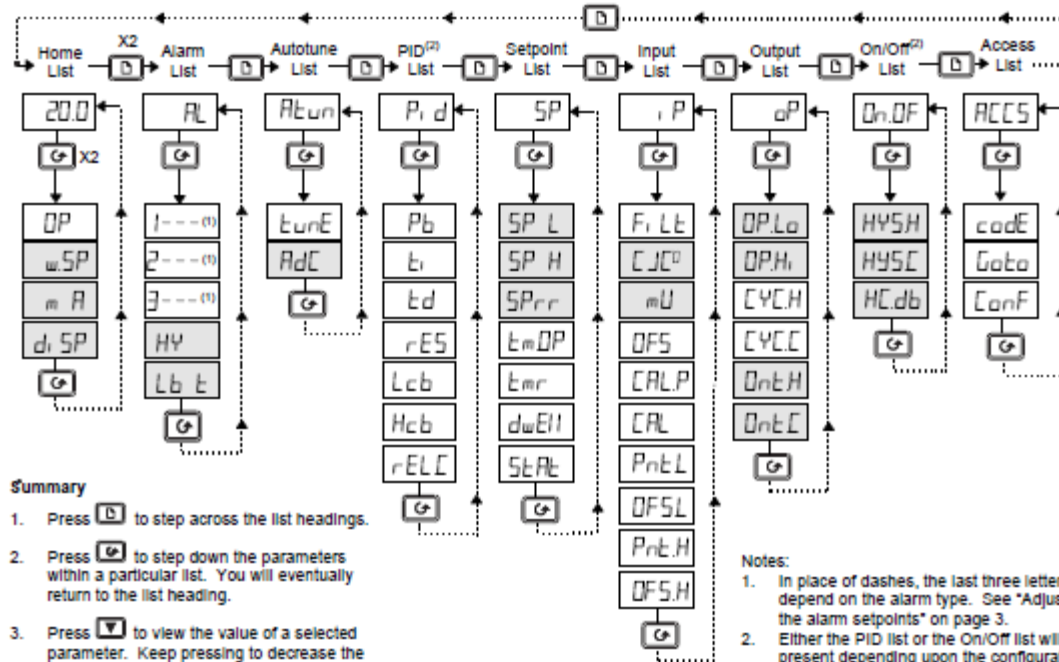
There are three alarm setpoints. The first character is the alarm setpoint number, the next three the alarm type, as follows:

- FSL Low alarm
- FSH High alarm
- dEU Deviation
- dHi Deviation High
- dLo Deviation Low

If an alarm has been disabled, it will not appear in this list.

Note: The other parameters listed on pages 4 and 5 are accessed and adjusted in exactly the same way as this example.

PARAMETER LISTS



Summary

1. Press **[D]** to step across the list headings.
2. Press **[G]** to step down the parameters within a particular list. You will eventually return to the list heading.
3. Press **[V]** to view the value of a selected parameter. Keep pressing to decrease the value.
4. Press **[A]** to view the value of a selected parameter. Keep pressing to increase the value.

- Notes:
1. In place of dashes, the last three letters depend on the alarm type. See "Adjusting the alarm setpoints" on page 3.
  2. Either the PID list or the On/Off list will be present depending upon the configuration of the controller.

Shaded boxes are hidden when shipped from the factory. To reveal see "To Hide, Reveal and Promote Parameters" on page 6.

Parameter Tables

	Home List	Adjustable Range	Default setting	Customer setting
DP	Output Power demand in %	-100 = max cooling, 100.0 = max heating.		
wSP	Working Setpoint	Only appears when setpoint rate limit enabled	Read only	Read only
mR	Manual/Auto Select	RLto Automatic control selected mRn Manual standby selected	RLto	
diSP	Home Display Options	Std Standard - Shows the process value with the setpoint accessed by pressing the <b>[V]</b> and <b>[A]</b> buttons. DP Displays the output power - for use as a manual station. (Only applies to software version 1.4) PonE Blank Display (only alarm messages flashed) PU Displays the Process Value only RLSP Displays the Alarm 2 Setpoint only PUAL Displays the Process Value with Alarm 2 Setpoint accessed by the <b>[V]</b> and <b>[A]</b> buttons	Std	

RL	Alarm List (See page 3)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
1---	Alarm 1 Setpoint	In place of dashes, the last three letters indicate the alarm type: -FSL Full Scale Low -FSH Full Scale High -dEv Deviation -dH Deviation High -dLo Deviation Low		
2---	Alarm 2 Setpoint			
3---	Alarm 3 Setpoint			
HY	Alarm Hysteresis	1 to 9999 in display units (This value is common to all alarms) Hysteresis is used to prevent the alarm output "chattering" by setting a difference between the alarm switch ON and switch OFF points	1	
Lbt	Loop Break Time	OFF to 9999 minutes	OFF	

<u>Aut</u>	<b>Automatic Tuning List</b> (See page 10)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>AutE</u>	Automatic <u>Tune</u> Enable	OFF or on	OFF	
<u>AutC</u>	Automatic Manual reset calculation (when P+D control)	OFF or on	OFF	

<u>PID</u>	<b>PID List</b> (See page 10)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>Pb</u>	<u>Proportional Band</u>	1 to 9999 display units	20	
<u>ti</u>	<u>Integral Time</u>	OFF to 9999 seconds	360	
<u>td</u>	<u>Derivative Time</u>	OFF to 9999 seconds	60	
<u>rES</u>	Manual <u>Reset Value</u> (only present if <u>ti</u> = OFF)	- 100 to 1000 %	00	
<u>Lcb</u>	<u>Low Cutback</u>	<u>RLt</u> to 999.9 display units	<u>RLt</u> 0	
<u>Hcb</u>	<u>High Cutback</u>	<u>RLt</u> to 999.9 display units	<u>RLt</u> 0	
<u>rELC</u>	<u>Relative Cool Gain</u>	00 1 to 9.99	1.00	

<u>SP</u>	<b>Setpoint List</b> (See "To Use the Timer" on page 6)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>SP L</u>	<u>Setpoint Low Limit</u>	- 1999 to 9999	As per order	
<u>SP H</u>	<u>Setpoint High Limit</u>	- 1999 to 9999	As per order	
<u>SPrr</u>	<u>Setpoint Rate Limit</u>	OFF to 9999 display units per minute	OFF	
<u>OP</u>	<u>Timer Operating Mode</u>	OPt. 1 to OPt. 5	OPt. 1	
<u>Tr</u>	<u>Time Remaining</u>	0 to 9999 minutes	0	
<u>dwell</u>	<u>Dwell Time</u>	OFF to 9999 minutes	OFF	
<u>Stat</u>	<u>Timer Status</u>	OFF or on	OFF	

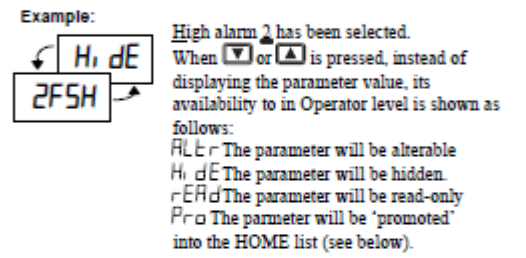
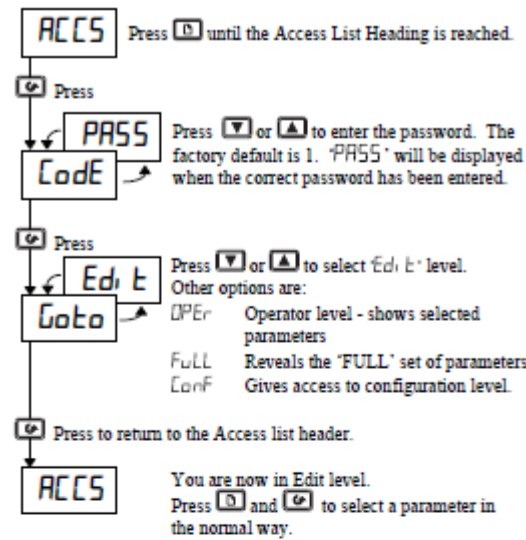
<u>IP</u>	<b>Input List</b> (See "User Calibration" on page 9)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>FLt</u>	<u>Input Filter Time Constant</u>	OFF to 9999 seconds	16	
<u>CTC</u>	<u>Cold Junction Temperature</u> measured at rear terminals		Read only	
<u>mU</u>	<u>Millivolt Input</u> measured at the rear terminals		Read only	
<u>DFS</u>	<u>Process value Offset</u>	- 1999 to 9999 display units	0	
<u>CR.P</u>	<u>Calibration Password</u>	0 to 9999	3	
<u>CR</u>	<u>User Calibration Enable</u>	<u>FACt</u> Re-instates factory calibration <u>USEr</u> Re-instates user calibration	<u>FACt</u>	
<u>PrL</u>	<u>Low Calibration Point</u>	- 1999 to 9999 display units	0	
<u>DFS.L</u>	<u>Low Point Calibration Offset</u>	- 1999 to 9999 display units	0	
<u>PrH</u>	<u>High Calibration Point</u>	- 1999 to 9999 display units	100	
<u>DFS.H</u>	<u>High Point Calibration Offset</u>	- 1999 to 9999 display units	0	

<u>OP</u>	<b>Output List</b>	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>DPL</u>	<u>Low Output Power Limit</u>	- 100 to 1000 %	0	
<u>DPH</u>	<u>High Output Power Limit</u>	- 100 to 1000 %	1000	
<u>CH</u>	<u>Heating Output Cycle Time</u>	02 to 999.9 seconds	10 Lgc 20 Rly	
<u>CC</u>	<u>Cooling Output Cycle Time</u>	02 to 999.9 seconds	50 Lgc 20 Rly	
<u>onH</u>	<u>Heating Output Minimum On Time</u>	<u>RLt</u> to 999.9 seconds (Auto = 50ms)	<u>RLt</u> 0	
<u>onC</u>	<u>Cooling Output Minimum On Time</u>	<u>RLt</u> to 999.9 seconds (Auto = 50ms)	<u>RLt</u> 0	

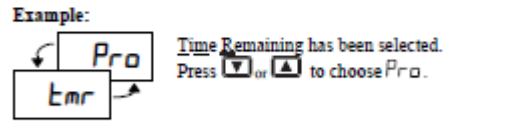
<u>onOF</u>	<b>On Off Output List</b>	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>hYS.H</u>	<u>Heating Hysteresis</u>	1 to 9999 display units	1	
<u>hYS.C</u>	<u>Cooling Hysteresis</u>	1 to 9999 display units	1	
<u>HCdb</u>	<u>Heat/Cool Deadband</u>	0 to 9999 display units	0	

<u>RCCS</u>	<b>Access List</b> (See "To Hide, Reveal and Promote" parameters on page 6)	Adjustable Range	Default Setting	Customer setting
<u>cadE</u>	<u>Access Pass Number</u>	0 to 9999	1	
<u>GoTo</u>	<u>Go To Required Access Level</u>		OPER	
<u>Conf</u>	<u>Configuration Pass Number</u>	0 to 9999	2	

**TO HIDE, REVEAL AND PROMOTE PARAMETERS**

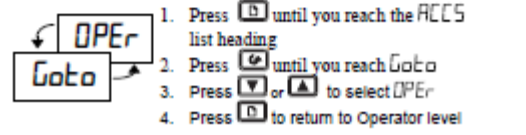


**The Pr (Promote) option**  
 Up to twelve commonly used parameters can be 'promoted' into the HOME list. This will give the operator quick access to them by simply pressing the **[G]** button. This feature, used in combination with 'hide' and 'read only', allows you to organise the way in which you want your controller formatted.



The parameter **tmr** will now appear in the HOME list. Repeat the procedure for any other parameters you wish to promote. To remove a parameter go to **Edit** level, select the parameter from the relevant list and change the choice from **Pr** back to **ALt**, **rEd** or **Hi dE**.

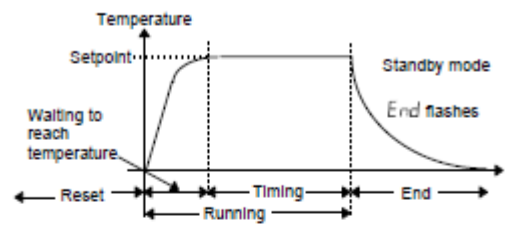
**Returning to Operator level**  
 Repeat the above procedure for all the parameters you wish to hide, promote, or make read-only then return to operator level:



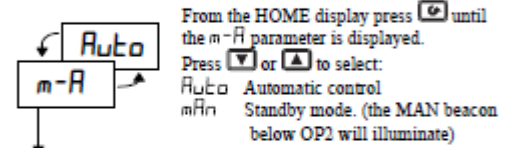
**TO USE THE TIMER**

- Press **[D]** until you reach the **SP** list
- Press **[G]** until you reach the **t mDP** parameter
- Press **[V]** or **[A]** to select the timer operating mode, **OPt. 1** to **OPt. 5** as follows:

**OPt. 1 - Mode 1, Dwell and Switch Off**



**In reset**  
 In reset, you can switch between automatic control and standby mode, using the parameter **m-A** in the HOME list. The controller is supplied with the **m-A** parameter hidden. You must first reveal it. See 'To Hide, Reveal and Promote Parameters'.



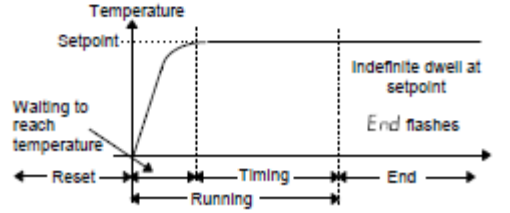
Press **[D]** and **[G]** together to return to the HOME display  
 'Automatic control' means control at setpoint, with heating (and cooling) being applied.  
 'Standby mode' means: the controller is in manual with zero output power. See 'Warning!' on Page 3.

**During Running**  
 The controller will always switch to automatic control. Heating (or cooling) will be applied and the temperature will rise (or cool) to the setpoint. When the temperature is within 1°C of setpoint, the timer will start counting down.

**During End**  
 When the timer times out, the controller will switch to standby mode. The MAN beacon will light and **End** will be flashed in the main display. The process will cool down. The timer will remain indefinitely in this state until reset.

**When Reset**  
**End** will stop flashing. The controller will return to reset in standby mode. It can be returned to automatic control by setting the parameter **m-A** in the HOME list to **Auto**.

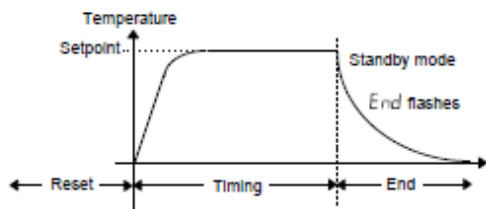
**OPt. 2 - Mode 2, Dwell No Switch Off**



This is the same as mode 1 except that at the end of the timing period the controller will continue indefinitely in automatic control.

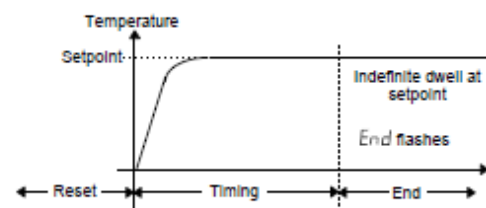
.....Timer Operating Modes continued

**OPER3 - Mode 3, Time from Cold and Switch Off**



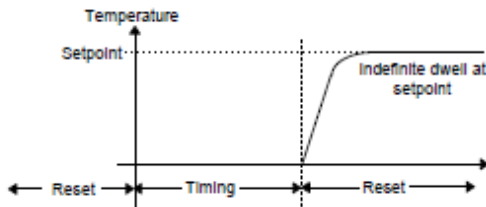
This is the same as mode 1 except that the timer will start counting down immediately without waiting for the temperature to reach setpoint.

**OPER4 Mode 4, Time from Cold No Switch Off**



This is the same as mode 2 except that the timer will start counting down without waiting for the controller to reach setpoint.

**OPER5 Mode 5, Delayed Switch On**



This mode applies a time delay before turning on the heating (or cooling). When the timer is started, the controller will always switch to standby mode and start counting down. When the timer has timed out, the controller will switch into automatic control, apply heating (or cooling) and control indefinitely at the setpoint.

**To Program a Ramp-Dwell profile**

A simple ramp-dwell profile can be programmed using  $SP_{rr}$  (setpoint rate limit) in combination with the timer. To use this feature, first reveal  $SP_{rr}$  and  $wSP$  (the working setpoint) using the method described in "To Hide, Reveal and Promote" parameters.  $wSP$  will then appear in the HOME list.

Set  $SP_{rr}$  to the required ramp rate. It is adjustable in  $1/10^{th}$  of the least significant display units per minute. That is if the display is configured 0 to 1000°C, setpoint rate limit can be adjusted between 0.1 and 999.9 °C per minute.

When setpoint rate limit has been enabled and the timer is started, the working setpoint,  $wSP$ , will first step to the measured temperature and then ramp at the setpoint rate limit,  $SP_{rr}$ , to the target setpoint.

In modes 1 and 2 timing will start when the measured temperature is within 1°C of the target setpoint. In modes 3 and 4 it will start when  $wSP$  is within 1°C of the target setpoint.

Issue 2, Nov-98. Applies to software versions 1.3 & 1.4

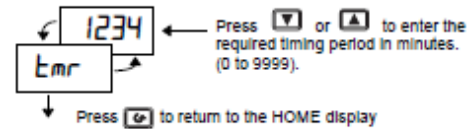
**TO START AND RESET THE TIMER**

There are two methods:

**Method 1.**

This is the simplest method to control the timer.

- Press **[D]** until you reach the  $SP$  list
- Press **[G]** until you reach the  $t_{mr}$  parameter (time remaining).



TIP: Promote  $t_{mr}$  to the HOME list for quick access, as described in "To Hide, Revealing and Promote Parameters."

As soon as a value is entered into  $t_{mr}$  timing will commence.  $t_{mr}$  will count down towards zero. During the timing period  $t_{mr}$  can be increased or decreased according to the demands of the process. Setting the value to zero will end the timing period.

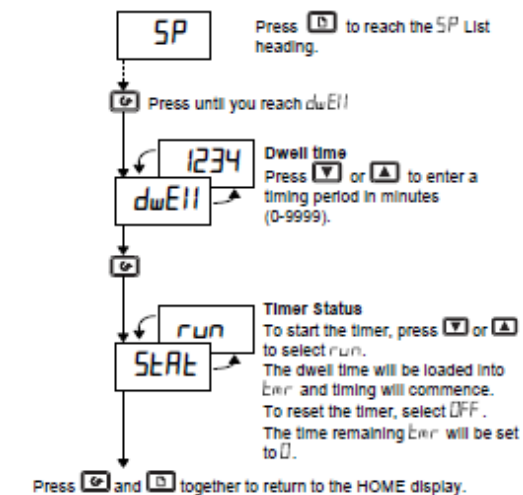
When  $t_{mr}$  reaches zero, 'End' will flash in the main display. The timer will remain indefinitely in this state until a new value is entered, when the timer will restart.

To reset the timer, press **[G]** and **[D]** together. 'End' will stop flashing.

To restart the timer, enter a new value into  $t_{mr}$ .

**Method 2.**

Use this method if you want to set a fixed time and use the  $StAtE$  parameter to start and stop the timer.



The  $StAtE$  parameter can also be switched between  $OFF$  and  $run$  by configuring the logic I/O as an Off/run contact closure input.

Open the external contact to select  $run$ . This is an edge triggered action. Close the contact to select  $OFF$ .  $OFF$  is forced whenever the contact is closed.

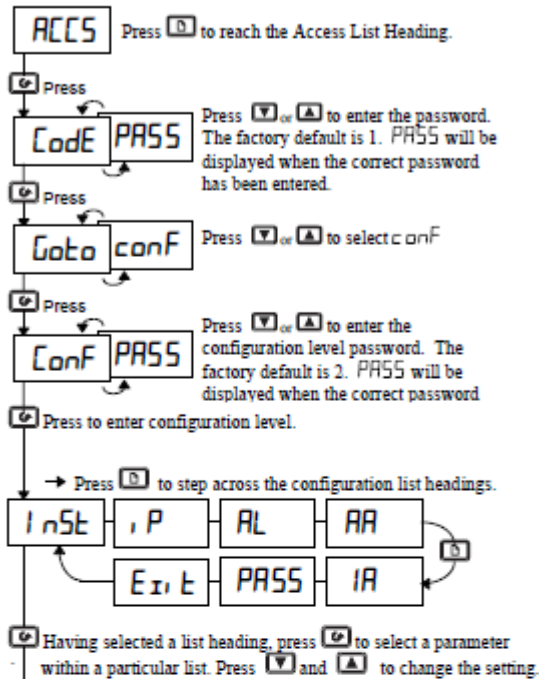
-7-

HA026270

### CONFIGURING THE CONTROLLER

Select configuration level to change: •The type of control •The display units •The input sensor type• The scaling of linear inputs •The alarm configuration • The passwords.

To select configuration level



### Instrument Configuration

Inst	Instrument Configuration	Options	Description
unit	Display units	°C °F °K none	Centigrade Fahrenheit Kelvin None
decP	Decimal places in display	none one two	None One Two
ctrl	Control type	PID On/Off AL	PID Control On/Off Control Converts the controller to an alarm unit
act	Control action	rev dir	Reverse (normal action for temperature control) Direct (output decreases as PV falls below SP)
pdtr	Manual reset tracking (PD control)	hold trac	In Auto holds manual reset value In Auto tracks output for bumpless A/M transfer

### Input Configuration

IP	Sensor input	Options	Meaning
input	Input type	Jtc Ktc Ltc Rtc Btc Ntc Itc Stc PL2 rtd mV Ctc	J thermocouple K thermocouple L thermocouple R thermocouple B thermocouple N thermocouple I thermocouple S thermocouple Platinell II 100Ω Pt thermometer Linear mV Custom Input(C-default)
CJC	Cold junction compensation (only appears for TC inputs)	Auto 0°C 45°C 50°C	Automatic 0°C external reference 45°C external reference 50°C external reference
<b>Linear input scaling (Range -12 to +80mV)</b>			
input	mV input low		
input	mV input high		
URL.L	Displayed value low		
URL.H	Displayed value high		
imp	Sensor break input impedance	OFF Auto Hi Hi Hi	Off (Linear inputs only) 1.5KΩ 5KΩ 15KΩ

### Alarm Configuration

The **AL** list configures the three internal 'soft' alarms and causes the appropriate alarm message to be flashed in the HOME display. At this stage the alarm is indication only (known as a 'soft alarm'). To make the alarms operate the relay or logic outputs, follow the instructions under "Relay and Logic input/output Configuration".

AL	Alarm	Type	Meaning
AL 1	Alarm 1	OFF FSL FSH dEw dHi dLo	The alarm is disabled Full Scale Low alarm Full Scale High alarm Deviation band alarm Deviation high alarm Deviation low alarm
latch	Alarm latching	no YES man	Non-latching Latched with automatic* resetting. Latched with manual* resetting.
block	Alarm blocking	no YES	No blocking Blocked until first good
The above sequence is repeated for: AL 2 (Alarm 2) and AL 3 (Alarm 3)			
SPL	Alarm setpoint limits	dis con	Limited by display range Limited by setpoint limits

\*Automatic resetting means that, once the alarm has been acknowledged, it will automatically clear when it is no longer true.  
\*Manual resetting means that the alarm must first clear before it can be reset.

### Relay and Logic input/output Configuration

Note: The logic I/O can be configured as an output or a contact closure input for alarm acknowledge, keylock, or timer run/reset.

RR	Relay output	Options	Meaning
IR	Logic I/O		
id	Identity of output	rELY LOG	Relay Logic
Func	Function	dIG	Digital (alarm) output
		HEAT	Heating output
		COOL	Cooling output
	These functions are only appear for the logic I/O	SSr.1 AL AL Locb rrES	PDSIO mode 1 Alarm Acknowledge Keylock digital Input Run/reset timer
dIG	Digital output functions	nOch CLr FSL 2F5H 3F5L nw Sbr Lbr LdF mAn End tmG1 tmG2 tmG3 tmG4	No change Clear all alarms Alarm 1 (See note 1) Alarm 2 (See note 1) Alarm 3 (See note 1) New alarm Sensor break alarm Loop break alarm Load fall alarm Man mode active End of timing Timer running Timer counting down Timer running Timer counting down
SErS	Sense of the output	nor Inu	Normal (heating or cooling outputs) Inverted (for alarms de-energises in alarm)

\* These alarms are always non-latching. Process alarms 1, 2 and 3 are configurable as alarm latching or non-latching, see the 'AL' List

Note 1: The last three letters will correspond to the alarm type configured in the 'AL' list. If the alarm is disabled, 'AL 1' or 'AL 2' or 'AL 3' will be shown.

Note 2: 'tmG3' and 'tmG4' are special functions. If selected, they illuminate the logic or relay output beacons, OP1 and OP2, without operating the actual output. They are used to indicate that timing is in progress while leaving the actual outputs to be operated by the other digital functions such as the END condition which can be used to operate an external klaxon.

#### To Operate the Relay or Logic output from an alarm or digital function.

1. Press **[D]** until you reach *Func*
2. Press **[V]** or **[A]** to select *Func = dIG*
3. Press **[D]** to reach *dIG*
4. Press **[V]** or **[A]** to select an alarm or digital function
5. Leave for 2 seconds. The display returns to *dIG* and connects the selected alarm or digital function to the relay or logic output.
6. Press **[V]** or **[A]** again. Two decimal points will appear in the function that has been added to the output.

#### Multiple Alarms on one Output

Any number of alarms or digital functions can be added to the relay or logic output by repeating steps 4, 5 and 6 above. Two decimal points will appear in those functions that has been added to the output.

.....Continued in the next column

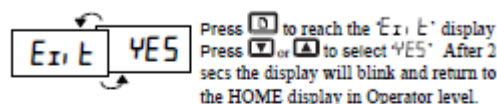
#### To Clear Alarms from an Output

1. Press **[D]** until to reach *dIG*
2. Press **[V]** or **[A]** to select *CLr*
3. Leave for 2 seconds. The display returns to *dIG* which disconnects all alarms from the relay.

#### Passwords

PASS	Passwords	Range	Default
ACC.P	Full and Edit level password	0-9999	1
CR.P	Configuration level password	0-9999	2
CAL.P	User calibration password	0-9999	3

#### To leave Configuration level



#### Diagnostic Alarms

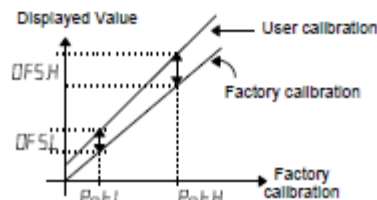
In addition to the normal process alarms, the following diagnostics alarm messages are provided.

Message	Meaning and (Action)
EEEr	Electrically Erasable Memory Error: A parameter value has been corrupted. Contact Eurotherm Controls.
HwEr	Hardware error. (Return for repair)
LLLL	Low display range exceeded: (Check input signal)
HHH	High display range exceeded: (Check input signal)
Err 1	Error 1: ROM self-test fail. (Return for repair)
Err 2	Error 2: RAM self-test fail. (Return for repair)
Err 3	Error 3: Watchdog fail. (Return for repair)
Err 4	Error 4: Keyboard failure. Stuck button, or a button was pressed during power up.
Err 5	Error 5: Input circuit failure. (Return for repair)
Pwr.F	Power failure. The line voltage is too low.
EUr	Tune Error. Appears if auto-tuning exceeds 2 hours.

#### USER CALIBRATION

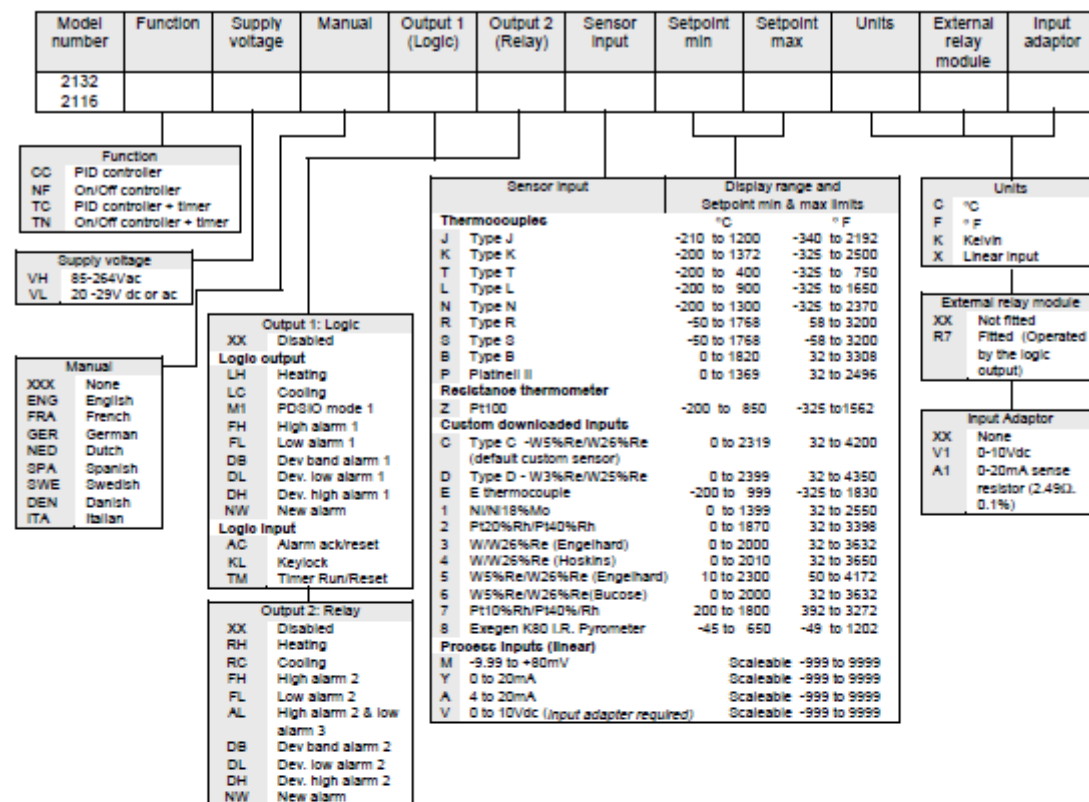
Your controller has been calibrated for life against known reference sources. User calibration allows you to apply offsets to compensate for sensor and other system errors. The parameter *DF5* in the *IP* list applies a fixed offset over the whole display range. You may also apply a 2-point calibration as follows:

- Press **[D]** until you reach the *IP* list
- Press **[D]** until you reach the *CAL.P* parameter
- Press **[V]** or **[A]** to enter the password. The factory default is 3. *PASS* will be displayed when the correct has been entered.
- Press **[D]** to reach the *CAL* parameter
- Press **[V]** or **[A]**, to select *USER (FACT)* will restore the factory calibration)
- Press **[D]** to select in turn the four parameters shown in the graph below. Use **[V]** or **[A]** to set the desired calibration points and the offsets to be applied at each point. The *IP* list on page 5 describes each of the parameters.



**ORDERING CODE**

The controller is supplied configured according to the ordering code shown below.



**TECHNICAL SPECIFICATION**

Panel sealing	IP65 (EN 60529), or 4X (NEMA 250)
Operating ambients	0 to 55°C. Ensure that the enclosure is adequately ventilated. 5 to 95%RH, non condensing
Storage temperature	-30°C to +75°C. (Protect from humidity and dust)
Atmosphere	Not suitable for use above 2000m or in explosive or corrosive atmospheres
Power supply	High voltage unit: 100 to 240Vac -15%, +10%, 48-62Hz, 5Watts maximum consumption Low voltage unit: 24Vdc/ac +/- 20%. DC to 62Hz, 5Watts maximum consumption
Relay rating (isolated)	Maximum: 264Vac, 2A resistive. Minimum: 12Vdc, 100mA Mechanical life > 10 <sup>7</sup> operations. Electrical life at 1A, 240vac resistive load > 5 x10 <sup>6</sup> operations
Wire sizes	Use a minimum of 0.5mm <sup>2</sup> or 16awg wire for plant connections.
Over current protection	Use independent 2A fuses for the Indicator supply and relay output. Suitable fuses are EN60127 (type T)
Logic output/input rating	9V at 12mA, non-isolated from sensor input
Electrical safety	Meets EN 61010 (Voltage transients on the power supply must not exceed 2.5kV). Pollution degree 2.
Isolation:	All isolated inputs and outputs have reinforced insulation to protect against electric shock. (See live sensor note)
Cold Junction Compensation	>30 to 1 rejection of ambient temperature changes in automatic mode. Uses INSTANT ACCURACY™ cold junction sensing technology to eliminate warm up drift and to respond quickly to ambient temperature changes.

**SAFETY AND EMC INFORMATION**

**Safety**

This controller complies with the European Low Voltage Directive 73/23/EEC, amended by 93/68/EEC, by the application of the safety standard EN 61010.

**Electromagnetic compatibility**

It conforms with the essential protection requirements of the EMC Directive 89/336/EEC, amended by 93/68/EEC, by the application of a Technical Construction File. It satisfies the general requirements of the industrial environment defined in EN 50081-2 and EN 50082-2.

**GENERAL**

The information contained in these instructions is subject to change without notice. While every effort has been made to ensure the accuracy of the information, Eurotherm Controls shall not be held liable for errors contained herein.

**Unpacking and storage**

The packaging should contain the controller with two panel retaining clips and this instruction leaflet.

If the packaging or the controller are damaged, do not install the product but contact your nearest Eurotherm Controls agent.

#### SERVICE AND REPAIR

This controller has no user serviceable parts. Contact your nearest Eurotherm Controls agent for repair.

#### Caution: Charged capacitors

Before removing the controller from its sleeve, switch off the supply and wait two minutes to allow capacitors to discharge. Failure to observe this precaution may damage the indicator or cause some discomfort to the user.

#### Electrostatic discharge precautions

When the controller is removed from its sleeve, it is vulnerable to damage by electrostatic discharge from someone handling the controller. To avoid this, before handling the unplugged controller discharge yourself to ground.

#### Cleaning

Do not use water or water based products to clean labels or they will become illegible. Isopropyl alcohol may be used to clean labels. A mild soap solution may be used to clean other exterior surfaces of the product.

#### Safety Symbols

The following safety symbols are used on the controller:



Caution. Refer to the accompanying documents

#### Personnel

Installation must be carried out by qualified personnel.

#### Enclosure of live parts

The controller must be installed in an enclosure to prevent hands or metal tools touching parts that may be electrically live.

#### Caution: Live sensors

The logic input/output is electrically connected to the sensor input (e.g. thermocouple). In some installations the temperature sensor may become live. The controller is designed to operate under these conditions, but you must ensure that this will not damage other equipment connected to the logic input/output and that service personnel do not touch this connection while it is live. With a live sensor, all cables, connectors and switches for connecting the sensor and non-isolated inputs and outputs must be mains rated.

#### Wiring

Wire the controller in accordance with the wiring data given in these instructions. Take particular care not to connect AC supplies to the low voltage sensor input or logic outputs. Only use copper conductors for connections. (except thermocouple). Ensure that the installation complies with local wiring regulations. In the USA use NEC Class 1 wiring methods.

#### Power Isolation

Include a power isolating switch or circuit breaker which disconnects all current carrying conductors. The device should be mounted in close proximity to the controller, within easy reach of the operator and marked as the disconnecting device for the controller.

#### Voltage rating

The maximum continuous voltage applied between any connection and ground must not exceed 264Vac. For the above reason the controller should not be wired to a three phase supply with a non-grounded star connection. Under fault conditions such a supply could rise above 264Vac with respect to ground and the product would not be safe.

#### Over-temperature protection

When designing any control system it is essential to consider what will happen if any part of the system should fail. In temperature control applications the primary danger is that the heating will remain constantly on. This could damage the product, the machinery being controlled, or even cause a fire.

Reasons why the heating might remain constantly on include:

- the temperature sensor becoming detached from the process
- thermocouple wiring becoming short circuit;
- the controller failing with its heating output constantly on
- an external valve or contactor sticking in the heating condition

Where damage or injury is possible, we recommend fitting a separate over-temperature protection unit, with an independent temperature sensor, which will isolate the heating circuit.

Please note that the alarm relays within the controller will not give protection under all failure conditions.

#### Conductive pollution

Electrically conductive pollution must be excluded from the cabinet in which the indicator is mounted. For example, carbon dust is a form of electrically conductive pollution. Where condensation is likely, for example at low temperatures, include a thermostatically controlled heater in the cabinet.

#### Installation requirements for EMC

- For general guidance refer to Eurotherm Controls EMC Installation Guide, HA025464.
- It may be necessary to fit a filter across the relay output to suppress conducted emissions. The filter requirements will depend on the type of load. For typical applications we recommend Schaffner FN321 or FN612.

#### Routing of wires

To minimise the pick-up of electrical noise, the sensor input wiring should be routed away from high-current power cables. Where it is impractical to do this, use shielded cables with the shield grounded at both ends.

### INTERNATIONAL SALES AND SERVICE

#### EUROTHERM CONTROLS LTD

Faraday Close, Durrington,  
Worthing, West Sussex BN13 3PL  
Telephone Sales: (01903) 695888  
Technical: (01903) 695777  
Service: (01903) 695444  
Fax (01903) 695666

Countries not listed enquiries/orders

Eurotherm Controls Ltd  
Export Dept., Faraday Close,  
Durrington,  
Worthing, West Sussex, BN13 3PL  
Telephone (01903) 268500  
Fax (01903) 265982

#### AUSTRALIA Eurotherm Pty. Ltd.

Telephone Sydney (+61 2) 9477  
7022  
Fax (+61 2) 477 7756

#### AUSTRIA Eurotherm GmbH

Telephone Vienna (+43 1) 798 7601  
Fax (+43 1) 798 7605  
Telex 047 1132000 EIAUT A

#### BELGIUM Eurotherm B.V.

Telephone Antwerp (+32 3) 322  
3870  
Fax (+32 3) 321 7363

#### DENMARK Eurotherm A/S

Telephone Copenhagen (+45 31)  
871622  
Fax (+45 31) 872124

#### FRANCE

Eurotherm Automation SA  
Telephone Lyon (+33 478) 664500  
Fax (+33 478) 352490

#### GERMANY

Eurotherm Regler GmbH  
Telephone Limburg (+49 6431) 2980  
Fax (+49 6431) 298119  
Also regional offices

#### HONG KONG Eurotherm Limited

Tel. Hong Kong (+852) 2873 3826  
Fax (+852) 2870 0148  
Telex 0802 69257 EIFEL DX

#### INDIA Eurotherm India Limited

Telephone Chennai (+9144)  
4961129  
Fax (+9144) 4961831

#### IRELAND

Eurotherm Ireland Limited  
Telephone Naas (+353 45) 879937  
Fax (+353 45) 875123

#### ITALY Eurotherm SpA

Telephone Como (+39 31) 975111  
Fax (+39 31) 977512  
Telex 380893 EUROTH I

#### JAPAN Eurotherm Japan Limited

Telephone Tokyo (+81 3) 33702951  
Fax (+81 3) 33702960

#### KOREA Eurotherm Korea Limited

Telephone Seoul (+82 2) 5438507  
Fax (+82 2) 545 9758  
Telex EIKOR K23105

#### NETHERLANDS Eurotherm B.V.

Telephone Alphen a/d Ryn (+31)  
172) 411752  
Fax (+31 172) 417260

#### NEW ZEALAND

Eurotherm Limited  
Telephone Auckland (+64 9)  
2635900  
Fax: (+64 9) 2635901

#### NORWAY Eurotherm A/S

Telephone Oslo (+47 66) 803330  
Fax (+47 66) 803331

#### SPAIN Eurotherm España SA

Telephone (+34 91) 6616001  
Fax (+34 91) 6619093

#### SWEDEN Eurotherm AB

Telephone Malmö (+46 40) 384500  
Fax (+46 40) 384545

#### SWITZERLAND

Eurotherm Produkte (Schweiz) AG  
Telephone Zurich (+41 55) 4154400  
Fax (+41 55) 4154415

#### UNITED KINGDOM

Eurotherm Controls Limited  
Telephone Worthing (+44 1903)  
269888  
Fax (+44 1903) 269666

#### U.S.A Eurotherm Controls Inc.

Telephone Reston (+1 703) 787  
3405  
Fax (+1 703) 787 3436

Anexo 7 EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS – CAMARA  
TERMOGRAFICA HIKMICRO HM-TP51-3AXFW-B1L



## Calibration certificate

Device	<i>Handheld Thermography Camera</i>
Model/Serial-No.	<i>HM-TP51-3AXFW-B1L G18560752</i>
Calibration date	<i>2022/06/19</i>
Manufacturer	<i>Hangzhou Microimage Software Co., Ltd.</i>
Address	<i>Room 313, Unit B, Building 2, 399 Danfeng Road, Xixing Subdistrict, Binjiang District, Hangzhou, Zhejiang, China</i>

Calibrated by:



We hereby confirm that the thermal products have been calibrated during the  
production process.

102028563



**HM-TP51-3AXF/W-B1L**  
**Handheld Thermography Camera**



HIKMICRO HM-TP51-3AXF/W-B1L is designed for temperature measurement to find invisible faults. It's equipped with a 160 × 120 resolution HIKMICRO thermal detector. The thermography ranges from -20°C to 550°C (-4°F to 1022°F). Which meets most situation. It helps the staff to quickly find the fault according to accurate temperature measurement of high temperature targets in the environment. Meanwhile it provides assistant decision and ensure safety. The device is mainly applied to various industries, such as building, HVAC, and auto industry.

**Key Features**

- Thermal resolution: 160 × 120 (19,200 pixels)
- NETD: < 40 mK (@ 25°C, F# = 1.0)
- Temperature measurement range : -20°C to 550°C (-4°F to 1022°F)
- Accuracy: Max. ( $\pm 2^{\circ}\text{C}/3.6^{\circ}\text{F}$ ,  $\pm 2\%$ ), for ambient temperature 15°C to 35°C (59°F to 95°F) and object temperature above 0°C (32°F)
- Measurement Presets: Center spot, Hot spot, Cold spot, User Preset Point
- 25 Hz image frequency
- 3.2" LCD screen display
- Up to 8 hours continuous running

[www.hikmicrotech.com](http://www.hikmicrotech.com)

## Specification

Thermal Module	
Image Sensor	Vanadium Oxide Uncooled Focal Plane Arrays
IR Resolution	160 × 120 (19,200 pixels)
Pixel Pitch	17 μm
Spectral Range	8 to 14 μm
NETD	< 40 mK (@25°C), F# = 1.0
Focal Length	3.5 mm
FOV (Field of View)	32.9° × 44.4°
Image Frequency	25 Hz
Focus	Fixed
IFOV (Spatial Resolution)	4.85 mrad
Aperture	F1.1
Minimum Focus Distance	0.3 m (0.98 ft)
Image Display	
Display	320 × 240 Resolution, 3.2" LCD Screen
Color Palettes	White Hot, Black Hot, Rainbow, Ironbow
Measurement and Analysis	
Object Temperature Range	-20°C to 550°C (-4°F to 1022°F)
Accuracy	Max. (± 2°C/3.6°F, ± 2%), for ambient temperature 15°C to 35°C (59°F to 95°F) and object temperature above 0°C (32°F)
Measurement Presets	Center Spot, Hot Spot, Cold Spot, Point Presets, Off
High Temperature Alarm	Audible Warning
Storage	
Storage Media	EMMC (4 GB)
Image Storage Capacity	30,000 Images
Image File Format	JPEG with Measurement Data Included
Functions	
Wi-Fi	802.11 b/g/n (2.4GHz)
UVC Cast Screen	Yes
Level/Span	Auto/Manual
Power System	
Power Supply	3.7 VDC/0.4 A
Power Consumption	1.5 W
Battery Type	Rechargeable Li-ion Battery
Battery Operating Time	8 Hours Continuous Running



General	
	21 Languages
Menu Language	English, German, French, Spanish (Spain), Portuguese (Portugal), Italian, Czech, Slovak, Polish, Hungarian, Romanian, Dutch, Danish, Norwegian, Finnish, Swedish, Russian, Turkish, Japanese, Korean, Chinese (Traditional)
Working Temperature Range	-10°C to 50°C (14°F to 122°F)
Storage Temperature Range	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)
Protection Level	IP54
Drop Test Height	2 m (6.56 ft)
Interface	USB Type-C
Weight	Approx. 360 g (0.79 lb)
Dimension	221.7 mm × 73.5 mm × 80.6 mm (8.73" × 2.89" × 3.17")
Tripod Mounting	UNC ¼"-20





### Package List



Quick Start Guide  
(× 1)



Adapters (× 5)



USB Cable (× 1)



Power Adapter (× 1)

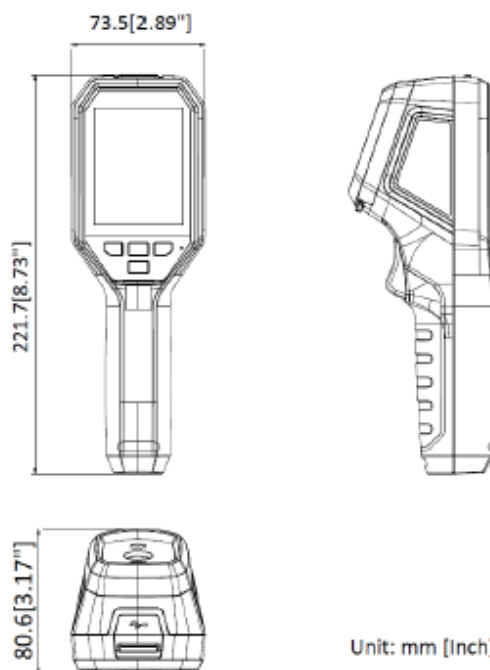


Wrist Strap (× 1)

### Available Model

HM-TP51-3AXF-B1L

### Dimension



**COMPLIANCE NOTICE:** The thermal series products might be subject to export controls in various countries or regions, including without limitation, the United States, European Union, United Kingdom and/or other member countries of the Wassenaar Arrangement. Please consult your professional legal or compliance expert or local government authorities for any necessary export license requirements if you intend to transfer, export, re-export the thermal series products between different countries.