

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA MENCIÓN MANUFACTURA
(COHORTE 2019)

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PROCESOS DE SOLDADURA A
TRAVÈS DE REALIDAD AUMENTADA”**

Trabajo de titulación

Previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención
Manufactura

Autor: Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar

Tutor: Ing. Oscar Bladimir Arteaga López. Mg.

Ambato- Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación presentado, previo a la obtención del título Magíster en Mecánica, Mención Manufactura. Con el tema: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PROCESOS DE SOLDADURA A TRAVÉS DE REALIDAD AUMENTADA”, elaborado por el Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar con cédula de identidad C.I. 0503066797 Maestrante de la MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA COHORTE 2019 de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo de Titulación es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

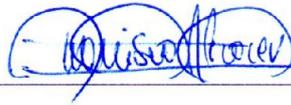


Ing. Oscar Bladimir Arteaga López
C. I.: 1802379261

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PROCESOS DE SOLDADURA A TRAVÉS DE REALIDAD AUMENTADA”, le corresponde exclusivamente al: Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar, Autor bajo la Dirección del Ing. Oscar Bladimir Arteaga López Mg, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar

C.I.: 0503066797

AUTOR



Ing. Oscar Bladimir Arteaga López Mg

C.I.:1802566854

TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

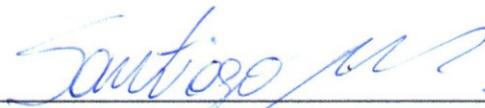


Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar

C.I.:0503066797

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ingeniero Wilson Santiago Medina Robalino, Mg, e integrado por los señores: Ing. Segundo Manuel Espín Lagos Mg, Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE PROCESOS DE SOLDADURA A TRAVÉS DE REALIDAD AUMENTADA”, elaborado y presentado por Ing. Francisco Saúl Alcocer Salazar, para optar por el Grado Académico de Magister en Mecánica, Mención Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



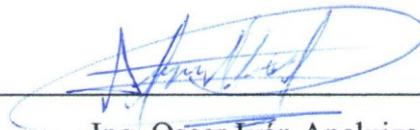
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal



Ing. Segundo Manuel Espín Lagos Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Titulación está dedicado a Dios, por la fortaleza espiritual, sabiduría y amor infinito que da a sus hijos en estos momentos difíciles que vive el mundo.

Por la salud y la vida

A mi Madre Laurita y a mi Padre Rigoberto por su ayuda incondicional en momentos difíciles.

A mi Esposa Fernanda por su valioso tiempo de apoyo durante el transcurso de mis estudios, a mis Hijos hermosos Selena y Sebastián los cuales son el motor de mis sueños en la vida.

A mis hermanas Paty y Miriam, por sus consejos, sabiduría y apoyo total.

A mis Docentes y amigos que estuvieron cuando más necesitaba de un consejo y apoyo personal.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus Autoridades, cuerpo Docente y de Servicio por ser los promotores de esta Maestría.

Al Ing. Mgs. Oscar Arteaga, tutor de esta Investigación, por su apoyo y ayuda constante en el desarrollo de la presente tesis.

INDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	.ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	.iii
DERECHOS DE AUTOR.....	.iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	.vi
AGRADECIMIENTO.....	.vii
ÍNDICE GENERAL.....	.viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	.xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	.xvi
NOMENCLATURA.....	.xx
RESUMEN EJECUTIVO.....	.xxi
ABSTRACT.....	.xxii

Capítulo I.....	1
Marco Teórico.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Estado del arte.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.2.1 Objeto. Control de calidad en soldadura.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3.3 Campo.....	4
1.4 Hipótesis.....	4
1.4.1 Variable dependiente.....	4
1.4.2 Variable independiente.....	4
1.5 Fundamentación Teórica.....	5
1.5.1 La realidad aumentada revolucionada a la soldadura.....	5
1.5.2 Base de datos para almacenar variantes de soldadura.....	6
1.5.3 Formación de soldadores con realidad aumentada.....	6
1.5.4 Ventajas de la utilización de la realidad aumentada en soldadura.....	7
1.5.5 Realidad aumentada y aplicaciones.....	8
1.5.6 Origen de la realidad aumentada.....	8
1.6 Realidad virtual.....	8
1.6.1 Niveles de realidad aumentada.....	9
1.6.2 Software para realidad aumentada.....	10
1.7 Métodos convencionales de Soldadura y control de calidad.....	10

1.7.1 Descripción del sistema MIG tubular	10
1.7.2 Características principales del proceso MIG tubular	11
1.7.3 Sistema de clasificación de alambre para proceso MIG tubular	12
1.7.4 Descripción uso y aplicaciones del alambre tubular	12
1.7.5 Condiciones de almacenamiento del alambre tubular.....	13
1.7.6 Requerimientos generales de WPS (Procesos de soldadura calificados).....	14
1.8 Tipos de uniones soldadas más usadas en la industria metalmecánica.....	18
1.8.1 Uniones a tope o empalmadas.....	18
1.8.2 Uniones a tope o empalma	18
1.9 Control de calidad usando aplicaciones móviles de realidad aumentada	20
1.9.1 MagicPlan	21
1.9.2 ROAR(Realidad Aumentada con Objetos reales).....	22
1.10 Técnicas inspección y control de calidad en soldadura	23
1.10.1 Diferencia entre Discontinuidad y Defecto.....	24
1.10.2 Tipos de Discontinuidad.	24
1.10.3 Clasificación de la comisión V del IIW (Institute Internacional of Welding)....	24
1.10.4 Discontinuidades externas.....	25
1.10.5 Discontinuidades internas.	25
1.10.6 Criterios de aceptación y rechazo	32
1.10.7 Breve descripción del contenido del código estructural AWS (American Welding Society) D1.1/D1.1M2015	33
1.10.8 Limitaciones de Diseño con soldadura a Tope.....	36
1.10.9 Dimensionado de la longitud del cordón de soldadura.....	37
1.10.10 Obtención de la longitud del cordón de soldadura necesaria para transmitir un esfuerzo	37
1.11 Técnicas y métodos de ensayos no destructivos.....	37

1.11.1	Inspección visual (VT), Técnica directa.....	37
1.11.2	Inspección visual (VT), Técnica indirecta o remota.....	38
1.11.3	Análisis de Vibraciones.....	38
1.11.4	Ultrasonido (UT)	39
1.11.5	Termografía infrarroja	40
1.11.6	Radiografía	40
1.11.7	Partículas Magnéticas.....	41
1.11.8	Líquidos penetrantes (PT)	42
	Capítulo II.....	43
	Metodología	43
2.1	Materiales y Equipos.....	43
2.1.1	Costos del Proyecto.....	44
2.2	Metodología.....	44
2.2.1	Modalidad básica de la investigación.....	44
2.2.2	Investigación Bibliográfica.....	44
2.2.3	Experimental.....	44
2.2.4	Nivel o tipo de investigación.....	44
2.2.5	Matriz metodológica.....	45
2.3	Población y Muestra.....	46
2.3.1	Población.....	46
2.3.2	Muestra.....	46
2.2.3	Descripción del proceso para toma de datos	47
2.2.4	Mediciones con realidad aumentada.....	58
2.5	Operacionalización de variables.....	64
2.5.1	Variable independiente Evaluación de la calidad de procesos de soldadura. ...	64

2.5.2 Variable dependiente.....	65
Capítulo III.....	66
Resultados y Discusión.....	66
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	66
3.1.1 Evaluación de parámetros físicos con mediciones.....	67
3.1.2 Presentación gráfica de los datos.	70
3.2 Verificación de la Hipótesis.....	74
3.2.1 Hipótesis nula H_0	74
3.2.2 Hipótesis Alternativa H_1	74
3.2.3 Planteamiento de la hipótesis.....	74
3.2.4 Decisiones.....	74
3.2.5 Prueba de Hipótesis.....	75
3.2.6 Decisión estadística.....	76
Capítulo IV.....	77
Desarrollo de la Propuesta	77
4.1 Descripción.....	77
4.2 Objetivos.....	77
4.2.1 Objetivo General.....	77
4.2.2 Objetivos Específicos.....	77
4.2.3 Flujograma de programación para el desarrollo de la aplicación.....	77
4.3 Desarrollo de la aplicación móvil con realidad aumentada.....	79
4.3.1 Adquisición de licencias para desarrolladores.....	79
4.3.2 Creación de marcador para identificar parámetros de calidad en el cordón de soldadura.	79
4.3.3 Activación de un SDK(Kit de desarrollo de software) de Vuforia	80
4.4 Implementación de imágenes de medición	81

4.4.1 Ancho de soldadura.....	81
4.4.2 Longitud de soldadura.....	82
4.4.3 Socavadura en soldadura.....	82
4.4.3.1 Scripts de programación para socavaciones en soldadura.	83
4.4.4 Porosidad en Soldadura.....	84
4.4.4.1 Scripts de programación para porosidad en soldadura.....	84
4.4.5 Falta de fusión.....	85
4.4.6 Almacenamiento y salida de datos.....	85
4.4.7 Datos para el usuario.....	86
4.4.7.1 Grabar datos.....	86
4.4.8 Menú de Usuario.....	88
4.4.8.1 Menú Información.....	88
4.4.8.2 Menú Escanear.....	88
4.4.8.3 Resultados de escaneo.....	89
4.4.8.4 Menú Salir y Volver.....	89
4.4.9 Diseño de un logo.....	90
4.4.9.1 Enlace Unity+Vuforia al sistema Android 9.0 de una Tablet Samsung Galaxy S4 utilizando Buid Setings.....	90
4.5 Funcionamiento de la aplicación móvil en Tablet Samsung.....	91
4.5.1 Aplicación móvil en el dispositivo Andorid Samsung Galaxy.....	91
4.5.2 Almacenamiento de actividades.....	92
4.6 Análisis económico.....	92
4.6.1 Costo de la aplicación.....	92
Capítulo V.....	93
Conclusiones y Recomendaciones.....	93
5.- Conclusiones.....	93

6. Recomendaciones.....	93
7. Materiales y Referencias Bibliográficas	94
Anexos	97
Anexo 1. Manual de uso de la aplicación móvil	97
Anexo 2. Tabla AWS 6.1.....	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.0. Sistemas operativos compatibles con Unity.....	10
Tabla 1.1. Dispositivos usados en la realidad aumentada.....	10
Tabla 1.2. Composición típica del metal depositado y amperajes recomendados.....	13
Tabla 1.3. Temperatura mínima de precalentamiento y de interface.....	14
Tabla 1.4 Tipos de discontinuidades.....	31
Tabla 1.4.1 Tipos de discontinuidades.....	31
Tabla 1.5 Procesos de Soldadura vs Discontinuidades.....	32
Tabla 1.6. Inspección visual según AWS D1.1 2015.....	34
Tabla 1.7. Perfiles de soldadura.....	35
Tabla 1.8. Criterios de aceptación para conexiones no tubulares con Ultrasonido...36	
Tabla 1.9 Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial.....	36
Tabla 2.0 Materiales y equipos utilizados en escritorio.....	43
Tabla 2.1. Alquiler de equipos de taller industrial.....	43
Tabla 3.0 Resumen de los resultados de evaluación	70
Tabla 3.1 Muestras coincidentes entre los dos métodos	71
Tabla 3.2 Medias para dos muestras emparejadas.....	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Enfoque visual de la realidad aumentada.....	3
Figura 1.2	Soldamatic técnicas de realidad aumentada en soldadura.....	5
Figura 1.3.	Diagrama de entrenamiento con realidad aumentada.....	6
Figura1.4.	Desarrollo en aula Soldamatic.....	7
Figura1.5.	(Realidad Virtual a través de gafas) OSVR.....	8
Figura 1.6.	Código QR.....	9
Figura 1.7.	Marcador de realidad aumentada.....	9
Figura 1.8.	Soldadura por arco con núcleo fundente.....	11
Figura 1.9.	Alambre tubular para suelda MIG FCAW.....	13
Figura 1.10.	Cordón de la soldadura donde el ancho y la profundidad exceden el ancho de la cara de la soldadura.....	17
Figura 1.11.	Posición 4G del soldador.....	17
Figura 1.12.	Tipos de uniones soldadas a tope.....	18
Figura 1.13.	Uniones a tope o empalmadas.....	19
Figura 1.14.	Formas de rellenar la junta soldada.....	19
Figura 1.15.	Formas de manufactura del cordón.....	20
Figura 1.16.	Visualización de la aplicación móvil ARuler.....	21
Figura 1.17.	Visualización de la aplicación móvil MagicPlan.....	21
Figura 1.18.	Visualización de la aplicación móvil ROAR (Realidad Aumentada con Objetos reales)	22
Figura 1.19.	Diagrama Sistema Realidad Aumentada.....	22
Figura 1.20.	Diagrama de procesos de control de calidad.....	23
Figura 1.21.	Junta soldada a tope y filete.....	24
Figura 1.22	Discontinuidades superficiales e internas.....	25
Figura 1.24.	Salpicaduras.....	26
Figura 1.25.	Apertura de arco.....	26
Figura 1.26	Concavidad interna y externa.....	27
Figura 1.27.	Desalineado.....	27
Figura 1.28.	(A)Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope(C) Juntas con ángulo interno.....	27

Figura 1.29. (A)Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope(C) Juntas con ángulo interno.....	28
Figura 1.30. (A)Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope(C) Juntas con ángulo interno.....	28
Figura 1.31. (a) Porosidad (c) Escoria.....	28
Figura 1.32. Socavaduras en metal de soldadura apoyado sobre metal base.....	29
Figura 1.33. Socavaduras y mordeduras en los bordes.....	29
Figura 1.34. Fisuras longitudinales.....	29
Figura 1.35. Fisuras transversales.....	29
Figura 1.36. Tipos de Grietas.....	30
Figura 1.37. Criterios de aceptación y rechazo.....	32
Figura 1.38. Código estructural.....	33
Figura 1.39. Técnica directa de inspección visual.....	37
Figura 1.40. Técnica indirecta o remota.....	38
Figura 1.41. Técnica de inspección por análisis de vibraciones.....	38
Figura 1.42. Equipos de inspección por análisis de vibraciones.....	39
Figura 1.43. Técnica de inspección por Ultrasonido (UT).....	39
Figura 1.44. Técnica de inspección por Ultrasonido con arreglo de fases (UT)....	40
Figura 1.45. Equipos de inspección por Termografía Infrarroja.....	40
Figura 1.46. Equipo de rayos x para uso industrial.....	40
Figura 1.47. Equipos de inspección por partículas magnéticas.....	41
Figura 1.48. Método de inspección por partículas magnéticas.....	41
Figura 1.49. Yugo magnético.....	42
Figura 1.50. Tintas penetrantes.....	42
Figura 2.1. Simbología de soldadura típica unión a tope simple en V.....	47
Figura 2.2. Planos estructurales de las probetas para el análisis.....	48
Figura 2.3. Placas preparadas de 190x100x8 mm y 150x100x8 mm.....	48
Figura 2.4. Elaboración de placas para análisis visual.....	49
Figura 2.5. Probeta w1, w2.....	49
Figura 2.6. Probeta w3, w4.....	50
Figura 2.7. Probeta w5, w6.....	50
Figura 2.8. Probeta w7, w8.....	50
Figura 2.9. Probeta w9, w10.....	50

Figura 2.10.	Probeta w11, w12.....	51
Figura 2.11.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w1.....	51
Figura 2.12.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w2.....	52
Figura 2.13.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w3.....	52
Figura 2.14.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w4.....	52
Figura 2.15.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w5.....	52
Figura 2.16.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w6.....	53
Figura 2.17.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w7.....	53
Figura 2.18.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w8.....	53
Figura 2.19.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w9.....	53
Figura 2.20.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w10.....	54
Figura 2.21.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w11.....	54
Figura 2.22.	Mediciones de ancho de cordón en probeta w12.....	54
Figura 2.23.	Mediciones de longitud de cordón desde w1-w6.....	55
Figura 2.24.	Mediciones de longitud de cordón desde w7-w12.....	56
Figura 2.25.	Mediciones de socavación en el cordón de soldadura.....	57
Figura 2.26.	Mediciones de porosidad en el cordón de soldadura.....	57
Figura 2.27.	Mediciones de falta de fusión en cordones de soldadura.....	58
Figura 2.28.	Mediciones de ancho y longitud W1-W8.....	59
Figura 2.29.	Mediciones de ancho y longitud en probetas desde w11-w12.....	60
Figura 2.30.	Mediciones de socavación en color morado en w6.....	60
Figura 2.31.	Mediciones de socavación en color morado en w10.....	61
Figura 2.32.	Mediciones de porosidad en w10.....	61
Figura 2.33.	Mediciones de falta de fusión en w1.....	62
Figura 2.34.	Mediciones de falta de fusión en w3.....	62
Figura 3.1.	Evaluación de ancho de soldadura.....	67
Figura 3.2.	Evaluación de Longitud de soldadura.....	67
Figura 3.3.	Socavación en soldadura.....	68
Figura 3.4.	Porosidad en soldadura.....	68
Figura 3.5.	Falta de fusión en soldadura.....	69
Figura 3.6.	Tiempo de Inspección en soldadura.....	69
Figura 4.1.	Página de registro de adquisición de licencias.....	74
Figura 4.2.	Marcadores usados para evaluar cordones soldados.....	74

Figura 4.3	Ubicación de marcador en Unity.....	75
Figura 4.4.	Activación de SDK de Vuforia.....	75
Figura 4.5.	Display de 1280x720 pixeles.....	76
Figura 4.6.	Regleta vertical para medición de ancho de soldadura.....	77
Figura 4.7.	Regleta vertical para medición de ancho de soldadura.....	77
Figura 4.8.	Regleta vertical para medición de socavación de soldadura.....	78
Figura 4.9.	Scripts de programación para opciones de inspección.....	78
Figura 4.10.	Franja Horizontal para evaluar Porosidad.....	79
Figura 4.11.	Scripts de programación para opciones almacenamiento de información en porosidad de soldadura.....	79
Figura 4.12.	Franja Horizontal para evaluar Falta de fusión.....	80
Figura 4.13.	Almacenamiento en marcador de Realidad Aumentada.....	80
Figura 4.14.	Salida de Datos con programación en Unity + Vuforia.....	81
Figura 4.15.	Botón Captura y Grabar datos.....	82
Figura 4.16.	Carpetas de almacenamiento.....	82
Figura 4.17.	Menú de Usuario.....	83
Figura 4.18.	Información de la aplicación.....	83
Figura4.19.	Pantalla de escaneo.....	84
Figura 4.20.	Resultados de escaneo.....	85
Figura 4.21.	Botones de Salida.....	84
Figura 4.22.	Logo de inicio de la aplicación móvil.....	85
Figura 4.23.	Enlace con el sistema Android.....	85
Figura 4.24.	Weld Control RA aplicación móvil.....	86
Figura 4.25.	Menú de opciones en Tablet Samsung Galaxy.....	86
Figura 4.26.	Escaneo de soldaduras.....	86
Figura 4.27.	Carpetas en el dispositivo Android.....	87

NOMENCLATURA

COMANDOS DEL UNITY

<i>CTRL/CMD+1</i>	<i>Escena</i>
<i>CTRL/CMD+2</i>	<i>Juego</i>
<i>CTRL/CMD+3</i>	<i>Inspector</i>
<i>CTRL/CMD+4</i>	<i>Jerarquía</i>
<i>CTRL/CMD+5</i>	<i>Proyecto</i>

NOTACIÓN

Scripts: Diagramas Lógicos de programación de objetos

Image target: Tarjeta de imagen utilizada en Unity.

Public Void: Variable Pública de programación en visual estudio 2019.

GameObject: Panel de objetos.

HUD: Pantalla de visualización frontal.

Build Settings: Configuración de compilación

Project Settings; Configuración de proyecto

QR (Quick Response): Código de barras

a: ancho de soldadura

L: Longitud de soldadura

Pmín: Porosidad mínima

Smín: Socavadura mínima

AWS: Sociedad americana de soldadura.

Unity Editor: permite crear interface gráfica en 2D y 3D.

UI: interfase de usuario.

RA, Realidad aumentada

VR: Realidad Virtual

SDK: kit de desarrollo de software

RESUMEN EJECUTIVO

La industria 4.0 en el país tiene un gran crecimiento por lo que uno de los principales problemas es el mejoramiento continuo de los procesos de control de calidad generalmente en soldadura, se usan métodos tradicionales de inspección visual, y actualmente el conocimiento de nuevas tecnologías para estos métodos está en auge.

Se desarrolló una aplicación móvil en Android 10 a través de un software libre como el Unity y Vuforia con Visual Studio 2019, en el que se determinó los parámetros físicos a parámetros digitales para la evaluación de la calidad de procesos de soldadura a través de realidad aumentada, es así que el uso de esta nueva aplicación se puede visualizar en todos los dispositivos Android del mundo.

El desarrollo de esta aplicación móvil utilizando realidad aumentada es una herramienta innovadora que ayuda a evaluar la calidad en cordones de soldadura hechos en juntas a tope en V simple, además mediante el uso del menú de usuario se puede escanear un marcador o código QR el mismo que debe ser colocado en cada junta a analizar, en este caso la pantalla despliega un menú de opciones que permite seleccionar de forma manual las opciones de escaneo del marcador, luego de seleccionar el escaneo automáticamente la cámara busca el cordón de soldadura, una vez enfocado aproximadamente a 300 mm de longitud perpendicular a la superficie se despliega en la pantalla las regletas verticales, longitudinales, regletas de colores en las que se identifican Ancho de soldadura, longitud de soldadura, socavaciones, porosidad, y falta de fusión.

Esta aplicación es de gran ayuda y mejora continua en procesos de control de calidad utilizados en soldadura, su forma de uso es muy sencilla y el tiempo de inspección es mucho menor comparado a métodos tradicionales de inspección visual, y en el futuro se puede enlazar estos datos en tiempo real para su interpretación.

ABSTRACT

Industry 4.0 in the country has a great growth so one of the main problems is the continuous improvement of quality control processes generally in welding, traditional methods of visual inspection are used, and currently the knowledge of new technologies for these methods is booming.

A mobile application was developed on Android 10 through a free software such as Unity and Vuforia with Visual Studio 2019, in which the physical parameters were determined to digital parameters for the evaluation of the quality of welding processes through to augmented reality, is so the use of this new application can be displayed on all Android devices in the world.

The development of this mobile application using augmented reality is an innovative tool that helps to evaluate the quality of weld seams made in single V butt joints, also by using the user menu you can scan a marker or QR code which must be placed in each joint to be analyzed, in this case the screen displays a menu of options that allows manual selection of the marker scanning options, After selecting the scan, the camera automatically searches for the weld bead, once focused approximately 300 mm long perpendicular to the surface, the screen displays vertical and longitudinal strips, colored strips in which weld width, weld length, undercuts, porosity, and lack of fusion are identified.

This application is of great help and continuous improvement in quality control processes used in welding, its use is very simple and the inspection time is much less compared to traditional methods of visual inspection, and in the future you can link these data in real time for interpretation.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Estado del arte

La soldadura es un método para unir dos o más piezas metálicas mediante procedimientos basados en códigos y estándares de calidad[1]. En todo el mundo estos procesos son comunes en la industria metalmeccánica, (Bose,2016), menciona algunos elementos básicos para iniciar un proceso de soldadura, los más utilizados en la industria son: procedimiento SMAW por sus siglas en Inglés (Shielded Metal Arc Welding), MIG/MAG,(Metal Active Gas), TIG (Tungsten Inert Gas), GTAW (el inglés Gas Tungsten Arc Welding), y suelda de Punto.

En estos procedimientos se analiza la importancia del control de calidad en soldadura, denominados ensayos no destructivos (O. Lopez, H. Trujillo, 2011)[2],su uso es de gran importancia para el control de calidad,(J. M. Guiverna)[3], porque garantizan la seguridad en montaje y fabricación de sistemas complejos aplicados en el campo de la tecnología de fabricación es mandatorio y se clasifican en métodos superficiales y volumétricos (R. Serrano)[4].Dentro de los métodos superficiales están la inspección visual, originalmente establecida por normativas norteamericanas como: AWS(Por sus siglas en Inglés American Welding Society)y ASNT (The American Society For Nondestructive Testing)[5].

Consecuentemente el método superficial se desarrolló a través del método por líquidos penetrantes utilizados en uniones estructurales metálicas de distintos espesores (L. Cui, R. Luo, 2018)[6]. El desarrollo y la combinación en la fabricación de materiales ferro magnéticos asociados a los procesos de soldadura destacan el método por partículas magnéticas con varias alternativas de respuestas visuales de detección (S. Herz,2019)[7],así también en procesos de control de calidad se soldadura en fabricación de aeronaves, siendo los más utilizados las corrientes de Foucault (T. H. Kim)[8], entre otros como radiometría digital(L. Song, X. Li)[9].

En los métodos volumétricos se usan equipos de detección de fallas internas en uniones soldadas a través de ultrasonido y radiografía (O. J. Araque de los Rios)J. Issa),[10][11], los mismos que garantizan su gran efectividad al momento de evaluar las juntas soldadas, así mismo tienden a ser más costosos, según una observación en la norma AWS B1.1[12].

En Investigaciones realizadas por Darío Antonelli, Sergey Astaninla en el año 2019, se menciona a la realidad aumentada aplicada al control de calidad en la industria como un método nuevo y novedoso, fácil de utilizar, donde esta técnica consiste en sobreponer objetos e instrucciones en una cámara con transmisión real, siendo usado por el operador antes del proceso de soldadura, lo que ha permitido minimizar el costo por errores en la fabricación.

En España el método BIM (modelado de información de edificios) también usa la realidad aumentada y menciona que es una tecnología que combina elementos del mundo real con la información disponible en el mundo digital a través de un dispositivo de Microsoft Hololens que son unas gafas inteligentes con un ordenador inalámbrico el que permite crear hologramas virtuales y posicionarse sobre superficies reales. (J. Santamarta Martínez and J. Mas Domínguez, 2019)[13]. Para mejorar los procesos de montaje y fabricación en estructuras metálicas (M. L. L. R. Okimoto, P. C. Okimoto) [14], también es un soporte esencial en la automatización y la programación aplicadas a técnicas de control de calidad (F. Echtler, 2019) [15], en donde se controla la geometría del proceso de soldadura comparando cargas biomecánicas usadas en procesos tradicionales(N.B.Fethke, L. C. Gant, 2011)[16],.

En el país la NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción establecen procesos constructivos en estructuras metálicas apegados a la ingeniería civil, pero con pocas bases en el control de calidad en soldadura MIG, por lo que aún no existe una normativa propia para calificar y evaluar procesos de soldadura en todos los ámbitos industriales de la manufactura.

Actualmente como norma complementaria del Instituto Ecuatoriano de Normalización se utilizan las normas americanas AWS de la Sociedad Americana de soldadura la división D1.1 2019 de la sección 6 para control de calidad en diferentes

tipos de soldadura, no se ha realizado ningún avance tecnológico en control de calidad con realidad aumentada, por lo que se toman técnicas y enfoque de control de calidad y evaluaciones a soldaduras de varios estudios científicos. (J. van Essen, 2018)[17](M. Quandt, B. Knoke, 2019)[18].

1.2 Justificación

En el presente trabajo se realiza el desarrollo de una aplicación móvil de realidad aumentada asociada a la evaluación de la calidad en procesos de soldadura MIG, utilizando técnicas de programación virtual tomando requerimientos específicos de la norma AWS D1.1, en referencia a los métodos de inspección visual y aseguramiento de la calidad de esta norma.

A través de esta aplicación móvil el supervisor o inspector obtendrá hallazgos y observaciones a partir de un patrón de soldadura establecida antes, durante y después de la soldadura.

En esta investigación utilizaremos un enfoque de la visión artificial en el que se logra almacenar datos en varias imágenes y comparar con datos enlazados hacia la realidad aumentada, los que sirven como objeto de evaluación de la calidad en un cordón de soldadura.



Figura 1.1 Enfoque visual de la realidad aumentada
Fuente: Industria 4.0 Unir

1.2.1 Objeto. Control de calidad en soldadura.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una aplicación tecnológica de realidad aumentada para evaluar la calidad en los procesos de soldadura.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Revisión de estado actual de desarrollo de la aplicación de técnicas de realidad aumentada en uniones soldadas y particularmente para metales de acero al carbono.
2. Definir variables de control que intervienen en obtención de la calidad requerida de la unión soldada para estos materiales.
3. Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada a través de códigos QR para el enlace del dispositivo de captación de imágenes virtuales con el software CAD para el procesamiento de imágenes y entrega de resultados en la aplicación móvil.

1.3.3 Campo

Tecnología de realidad aumentada en soldadura

1.4 Hipótesis

El desarrollo de una aplicación tecnológica utilizando realidad aumentada ayudará a controlar la calidad en el proceso de soldadura.

1.4.1 Variable dependiente

Calidad en los procesos de soldadura.

1.4.2 Variable independiente

- Técnicas de realidad aumentada.
- Aplicaciones móviles.

- Visualización en 3D.

1.5 Fundamentación Teórica

1.5.1 La realidad aumentada revolucionada a la soldadura

El desarrollo y revolución de la realidad aumentada puede utilizar objetos tradicionales convencionales como la antorcha y la máscara, pero sin rastro de chispas ni de materiales físicos. Desde fuera solo observamos a una persona trabajando sobre un manto de códigos QR. Unos códigos que la máscara que cubre sus rostros transforma en realidad aumentada. En la visera sí aparece, por ejemplo, el tubo de aluminio y la llama. Junto con el software y hardware de Soldamatic, en el que decidimos qué tipo de soldadura queremos aprender y con qué elementos, el alumno o empleado comienza a familiarizarse con unas técnicas complejas (Jorge G García, 2021)[19].

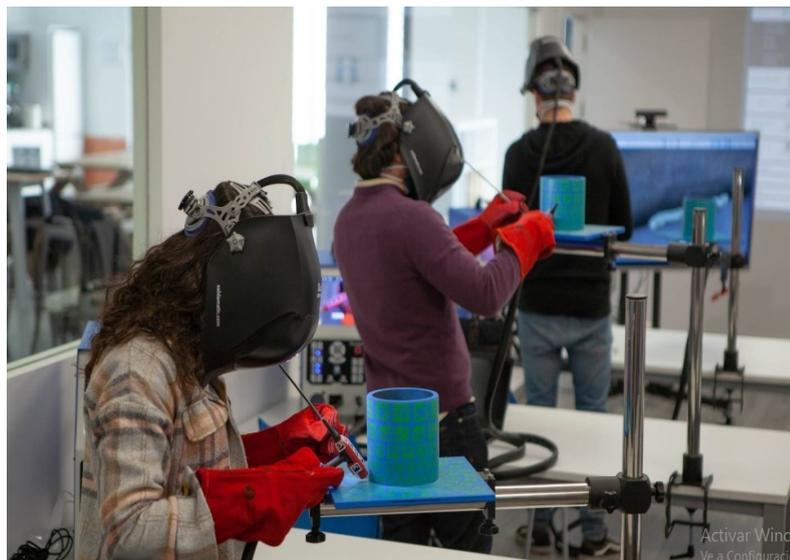


Figura 1.2. Soldamatic técnicas de realidad aumentada en soldadura

Fuente:Seabery España

Desde Seabery, que aseguran que son la mayor empresa de realidad aumentada de España, explican que su modelo es fácilmente exportable debido a que soldar siempre depende de los mismos seis parámetros, como la distancia a la que colocar la antorcha o el material. Aparte de Siemens, multinacionales del tamaño de Mercedes, Alstom o Liebherr, cuentan con su tecnología. Esta modalidad innovadora en la docencia a incrementado el uso de parámetros visuales mejorando la calidad de la educación tecnológica. (Jorge G García, 2021).

1.5.2 Base de datos para almacenar variantes de soldadura

Existe alrededor de 4000 simuladores creados por Seabery en los que se manejan con una idea futurista prometedora en el que a través de una herramienta de realidad aumentada el soldador puede formarse en lo que necesite.

Los datos de cada simulador están en un software llamado soldamatic creado para brindar un entorno natural en cada estudiante. (Jorge G García, 2021).

1.5.3 Formación de soldadores con realidad aumentada

En la actualidad las empresas como Soldamatic forman a profesionales en soldadura por realidad aumentada, también manifiestan su ahorro en tiempo y disminución de contaminación.

Mejora el proceso de aprendizaje de los estudiantes enseñándoles los cuatro procesos de soldadura: MMA, MIG-MAG, FCAW Y TIG. Por consiguiente, les da la oportunidad de adquirir las destrezas básicas en cada tipo de soldadura antes de ir al taller real, reduciendo los costos de energía, electrodos, y recursos.



Figura 1.3. Diagrama de entrenamiento con realidad aumentada

Fuente: Seabery España

1.5.4 Ventajas de la utilización de la realidad aumentada en soldadura

Mejora la calidad de la formación incrementando el nivel de habilidad de los alumnos y formando profesionales calificados localmente, sin duda donde realmente son necesarios.

Proporciona una tecnología muy atractiva para que jóvenes profesionales finalmente abran una puerta al sector industrial.

Por suerte trabaja con tecnología verde, esto contribuye a reducir las emisiones de CO2, los consumibles y sobre todo la energía de los programas de soldadura.

En resumen, logra minimizar riesgos laborales, evitando los riesgos físicos para los usuarios, por supuesto hasta que adquieran el nivel de habilidad suficiente para minimizar los riesgos de lesiones durante la práctica.



Figura 1.4. Desarrollo en aula Soldamatic

Fuente: Seabery España

1.5.5 Realidad aumentada y aplicaciones

La tecnología de realidad aumentada consiste en la integración de contenidos gráficos sobre una vista del mundo real. Para ello, se utilizan dispositivos como teléfonos móviles o gafas, que añaden la información virtual a la realidad que ve el usuario. (Iván Bohórquez, 2017)[20].

1.5.6 Origen de la realidad aumentada

La realidad aumentada (RA) adquiere presencia en el mundo científico a principios de los años 90 cuando la tecnología basada en ordenadores de procesamiento rápido, técnicas de renderizado de gráficos en tiempo real, y sistemas de seguimiento de precisión portables que permiten implementar la combinación de imágenes generadas por el ordenador sobre la visión del mundo real que tiene el usuario (Basogain, X., Olabe, 2015)[21].

1.6 Realidad virtual

La real virtual o VR se diferencia del resto por ser en la que te sumerges por completo en un mundo virtual. Esto quiere decir que te permite simular una experiencia sensorial completa dentro de un ambiente artificial sin que veas nada de lo que hay en el exterior. Para "meterte dentro" de este mundo virtual sueles necesitar tanto unas gafas especiales como unos auriculares.



Figura 1.5. Realidad Virtual a través de gafas OSVR

Fuente: Xataka basics

Estas gafas tienen que estar especialmente diseñadas para esta realidad, y tener una pantalla que se monte justo delante de los ojos. Hay dos tipos de gafas, las que tienen su propia pantalla incorporada como las “Oculus Rift” o las que necesitan que incorpores un smartphone para hacer de pantalla, como por ejemplo las “Gear VR” de Samsung como se muestra en la Figura 1.5.

1.6.1 Niveles de realidad aumentada

Nivel 0.- Son hiperenlaces en el mundo físico, en este nivel los códigos QR pueden enlazar sitios web. Un código QR (del inglés Quick Response code, código de respuesta rápida) es un módulo para almacenar información en una matriz de puntos o en un código de barras bidimensional ver Figura 1.6, creado por la compañía Denso Wave.



Figura 1.6. Código QR

Fuente: Realidad aumentada TIA

Nivel 1.-Realidad aumentada basada en marcadores de referencia, estos objetos son utilizados para la observación de sistemas de imágenes, los cuales aparecen en la imagen para ser usados como punto de referencia o de medida. En este nivel los activadores son marcadores (Figura 1.6), figuras que cuando son escaneadas normalmente devienen en un modelo 3D que se superpone en la imagen real. Los marcadores necesitan un patrón único, el cual le permitirá a la cámara reconocer y determinar el objeto u objetos que debe mostrar.

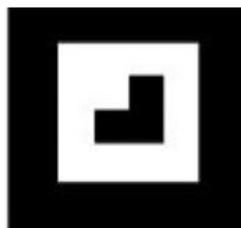


Figura 1.7. Marcador de realidad aumentada

Fuente: Realidad aumentada TIA

1.6.2 Software para realidad aumentada

El software a usar es el UNITY, es uno de los mejores motores para la creación de videojuegos de allí el por qué su uso en la aplicación, ya que su base de animación, creación y ejecución interactúan con el usuario apenas comienzan a dar forma a sus proyectos y adicional este software utiliza multiplataforma desarrollado para Microsoft Windows, OSX, Linux, así mismo las plataformas que puede usar este programa como se puede observar en la tabla 1

Tabla 1.0 Sistemas operativos compatibles con Unity

Web	PC	Móviles	TVs	Consolas
WebGL	Windows	iOS	tv OS	PlayStation Vita
	SteamOS	Android	Samsung	PlayStation
	OSX	WindowsPhone	AndroidTv	Xbox360
	GNU/Linux	Tizen		Xbox One

Fuente: Deustoformación 2017

Tabla 1.1. Dispositivos usados en la realidad aumentada

Dispositivos Realidad Aumentada	
Google Cardboard	Oculus Rift
PlayStation VR	HTC Vive
Microsoft Hololens	Samsung Gear VR
Hacer	Asus
Huawei	HMD Global (Nokia)
Motorola	LG
OnePlus	Red

Fuente: (Andro4all, 2019)

1.7 Métodos convencionales de Soldadura y control de calidad

1.7.1 Descripción del sistema MIG tubular

Esta soldadura es conocida como al arco con núcleo de fundente (flux cored arc welding, FCAW), también como mig tubular, es un proceso de soldadura que aprovecha el arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y el metal base. Este proceso emplea un fundente que va al interior del alambre conocido como tubular, sin embargo, puede ir con o sin ayuda de una protección externa gaseosa, además puede aportar un fundente en el interior del alambre tubular (Manual de Indura, 2015)[22].

El FCAW tiene dos formas de protección del arco y el charco de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, es el tubular auto protegido que resguarda al baño mediante la descomposición y vaporización del núcleo fundente en el calor del arco. El otro tipo, es el tubular con protección externa gaseosa (Manual de Indura, 2015).

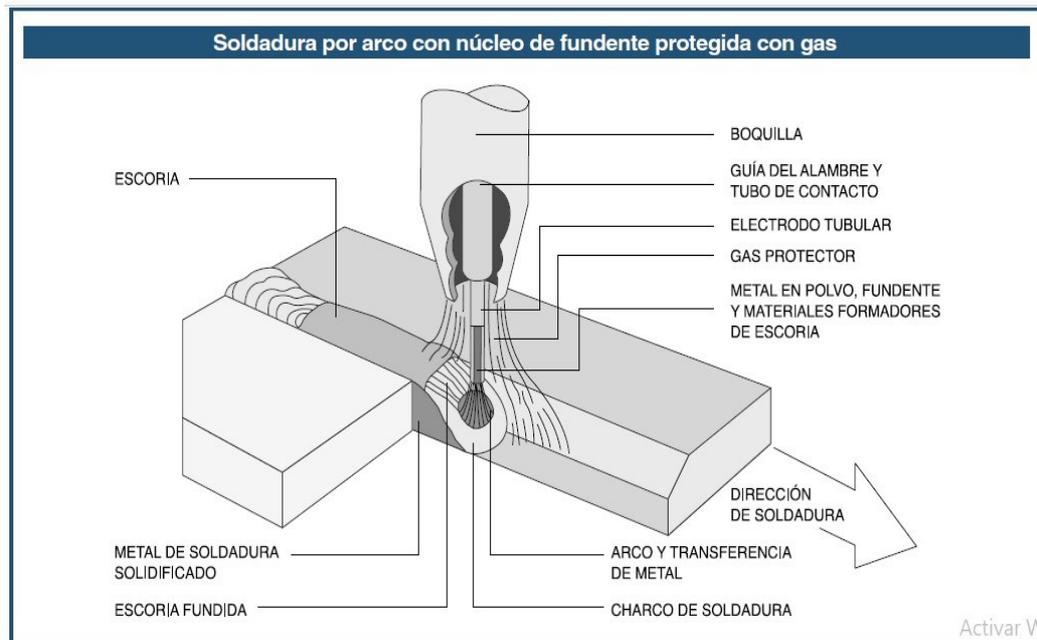


Figura 1.8. Soldadura por arco con núcleo fundente

Fuente: Manual de Soldadura de Indura 2015

1.7.2 Características principales del proceso MIG tubular

Estos beneficios se ven reflejados en:

- La productividad de la soldadura de alambre continuo.
- Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
- Una escoria que sustenta y moldea el cordón de soldadura.

El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco manual protegido (SMAW), soldadura mig (GMAW) y la soldadura por arco sumergido (SAW). En el método con protección gaseosa externa, generalmente se utiliza una mezcla de argón y dióxido de carbono, también se utiliza 100% dióxido de carbono (Manual de Indura, 2015).

1.7.3 Sistema de clasificación de alambre para proceso MIG tubular

La sociedad americana de soldadura AWS, clasifica a los alambres tubulares en números y letras, basándose en propiedades mecánicas del depósito de soldadura, para aceros al carbono su denominación es:

E71T-1C o E71T-1M (Sistema inglés).

E491T-1C o E491T- 1M (Sistema métrico).

La letra E significa el electrodo, los dos primeros dígitos significan la resistencia a la tracción del metal depositado dependiendo del sistema inglés o métrico, la letra T significa la posición de soldadura que puede ser 0 o 1, el 0 indica plana y horizontal y el 1 para toda posición, así también la letra T significa que el metal de aporte es tubular con núcleo fundente, en cuanto al dígito ubicado después del guion especifica la polaridad y las características generales de operación desde 1 a 14 letras como la “G” o “GS” , indican las características de operación, y la “S” después de la “G” indica que el electrodo es adecuado en una sola pasada, la letra al final significa el gas de protección requerido, la letra C indica el 100% de CO₂, “M” mezcla 75-85 % de Argón y balance de CO₂, si fuera el caso que no se encuentre estas letras significa que es un alambre tubular auto protegido el mismo que a través de la descomposición de su fundente protege al baño de la soldadura.

1.7.4 Descripción uso y aplicaciones del alambre tubular

Este alambre está diseñado para la utilización en aceros de alta resistencia, posee un amplio rango de parámetros de operación, bajos niveles de salpicaduras y la escoria se puede remover fácilmente, están diseñados para una pasada y múltiples pasadas, con alta calidad de deposición.

Se pueden usar en una gran variedad de aplicaciones como maquinaria pesada, reparaciones estructurales, fabricación de estructuras metálicas en acero ASTM A36, ASTM A588, A593, por su gran aporte y fácil deposición.

Tabla 1.2. Composición típica del metal depositado y amperajes recomendados

Composición química (típica) del metal depositado:				
C 0,04%; Mn 1,44%; Si 0,65%; P 0,016%; S 0,011%; Cr 0,03%; Ni 0,01%; Mo 0,01%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.20/A5.20M-05):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 573 MPa Límite de fluencia : 540 MPa Alargamiento en 50 mm : 27%	490-670 MPa 390 MPa 22%	48J a -20°C	27J a -20°C	
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Voltaje, volt	Amperaje		Stickout, mm
		mín.	máx.	
1,2	22-30	120	300	0,90-1,60
1,6	22-30	180	400	0,90-1,60

Fuente: Manual de Soldadura Indura 2015

Como se observa en la tabla 1 la composición química del material de aporte puede variar considerablemente en el diseño de la junta, también se considera el diámetro del alambre (1.2-1.6 mm), además este proceso usa voltajes bajos desde los 22 V hasta los 30V, se toma en cuenta amperajes según el espesor de placa que está entre los 120 A hasta los 400 A. Según la norma AWS A5.29/A5.29M:2010 se distinguen 2 tipos de electrodos de acero para el proceso FCAW.

1.7.5 Condiciones de almacenamiento del alambre tubular

Estos alambres con núcleo fundente vienen envasados en bolsas plásticas y deben almacenarse de 6 a 8°C sobre la temperatura ambiente, en algunos casos como alambres que se van a soldar en materiales de alto porcentaje en carbono requieren temperaturas superiores a los 30° C.



Figura 1.9. Alambre tubular para suelda MIG FCAW

Fuente: Hoja de datos técnicos de alambres tubulares Indura

1.7.6 Requerimientos generales de WPS

1.7.6.1 Soldadura vertical ascendente

En posición vertical ascendente tomar en cuenta los pases con las siguientes excepciones:

- La socavación puede repararse verticalmente de manera descendente cuando el precalentamiento esté en conformidad con la tabla 2, pero no menor de 70°F [20°C].
- Cuando los elementos son soldados con alambre tubular, la progresión de la soldadura vertical puede ser ascendente o descendente, pero solo en la dirección que el soldador esté calificado (AWS, 2015)[23].

Tabla 1.3. Temperatura mínima de precalentamiento y de interface

C a t e g o r í a	Especificación de Acero		Proceso de soldadura	Espesor de la Sección más Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Precalentamiento y de Interfase	
				pulg.	Mm	°F	°C
A	ASTM A 36		SMAW con electrodos diferentes a los bajo hidrógeno	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32°	0°
	ASTM A 53	Grado B					
	ASTM A 106	Grado B					
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A 139	Grado B					
	ASTM A 381	Grado Y35					
	ASTM A 500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A 501						
	ASTM A 516						
	ASTM A 524	Grados I & II		Más de 3/4 por 1-1/2 incl.	Más de 20 por 38 incl.	150	65
	ASTM A 573	Grado 65					
	ASTM A 709	Grado 36					
	ASTM A 1008 SS	Grado 30		Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	225	110
		Grado 33 Tipo 1					
		Grado 40 Tipo 1					
	ASTM A 1011 SS	Grado 30					
		Grado 33					
		Grado 36 Tipo 1		Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
		Grado 40					
		Grado 45					
		Grado 50					
		Grado 55					
	API 5L	Grado B					
		Grado X42					
	ABS	Grados A, B, D, CS, DS					
		Grado E					

Tabla 1.3. (Continuación)

ASTM A 36 ASTM A 53 ASTM A 106 ASTM A 131	Grado B Grado B Grados A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36		1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 ^a	0 ^a
			Más de 3/4	Más de 20	50	10
ASTM A 139 ASTM A 381 ASTM A 441 ASTM A 500	Grado B Grado Y35	SMAW con otros electrodos bajos en hidrogeno SAW, GMAW, FCAW	por 1-1/2 incl.	por 38 incl.		
ASTM A 501 ASTM A 516	Grado A Grado B Grado C		Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	150	65
ASTM A 524 ASTM A 529 ASTM A 537 ASTM A 572 ASTM A 573 ASTM A 588	Grados 55 & 60 65 & 70 Grados I & II Grados 50 & 55 Clases 1 & 2 Grados 42, 50, 55 Grado 65		Más de 2-1/2	Más de 65	225	110
ASTM A 595 ASTM A 606 ASTM A 618 ASTM A 633 ASTM A 709 ASTM A 710 ASTM A 808 ASTM A913 ^p ASTM A 992 ASTM A 1008 HSLAS	Grados A, B, C Grados Ib, II, III Grados A, B Grados C, D Grados 36, 50, 50S, 50W, <u>HPS 50W</u> Grado A, Clase 2 (>2 pulg. [50 mm]) Grado 50					
ASTM A 1008 HSLAS-F ASTM A 1011 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2 Grado 50	SMAW Con electrodos bajos en hidrogeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 ^a	0 ^a
ASTM A 1011 HSLAS-F ASTM A 1018 HSLAS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2 Grado 50		Más de 3/4 hasta 1-1/2 incl.	Más de 20 hasta 38 incl.	50	10
ASTM A 1018 HSLAS-F ASTM A 1018 SS	Grado 45 Clase 1 Grado 45 Clase 2 Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2 Grado 50 Grado 30 Grado 33 Grado 36 Grado 40 Grado B Grado X42 Grados 42, 50 Grado 50		Más de 1-1/2 hasta 2-1/2 incl.	Más de 38 hasta 65 incl.	150	65
API 5L API Spec. 2H API 2MT1 API 2W API 2Y ABS ABS	Grado 50 Clase 1 Grado 50 Clase 2 Grado 55 Clase 1 Grado 55 Clase 2 Grado 50 Grado 30 Grado 33 Grado 36 Grado 40 Grado B Grado X42 Grados 42, 50 Grado 50 Grados 42, 50, 50T Grados 42, 50, 50T Grados AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36 Grados A, B, D, CS, DS		Más de	Más de 65	225	110

Tabla 1.3 (Continuación)

C	ASTM A 572	Grados 60, 65	SMAW con electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	50	10
	ASTM A 633	Grado E					
	ASTM A 913 ^b	Grados 60, 65					
	ASTM A 710	Grado A, Clase 2 (<2 pulg. [50 mm])					
	ASTM A 710	Grado A, Clase 3 (>2 pulg. [50 mm])					
	ASTM A 709 ^c	Grado HPS70W					
	ASTM A 852 ^c						
	ASTM A 1018 HSLAS HSLAS-F API 2W	Grado 60 Clase 2 Grado 70 Clase 2 Grado 70 Clase 2 Grado 60					
D	ASTM A 710 ASTM A 913 ^b	Grado A (Todas las clases) Grados 50, 60, 65	SMAW, SAW, GMAW, y FCAW con electrodos o combinaciones de fundente y electrodo capaces de depositar material de soldadura con un contenido máximo de hidrógeno difusible de 8ml/100 g (H8)	Todos los espesores > 1/8 pulg. [3 mm]		32 ^a	0 ^a

Fuente: Código de Soldadura Estructural-Acero AWS D1.1/D1.1M:2015

- Cuando el material base requiere una temperatura menor a 32°F (0°C), debe precalentarse mínimo a 70°F (20°C), en la temperatura mínima de pase interno debe ser constante en el material.
- Según el código de soldadura para material ASTM A36, ASTM A588 no aplica condiciones de calentamiento en el material base.
- Para el ASTM A 709 Grado HPS70W y ASTM A 852, la temperatura máxima de precalentamiento y de interpase no deben sobrepasar los 400°F (200° C) para un espesor hasta 1-1/2 in (40 mm), inclusivo, 450 °F (230 C) para espesores mayores (AWS, 2015).

1.7.6.2 Limitaciones ancho y profundidad de pase

La profundidad y el ancho máximo en la sección transversal del metal de soldadura depositado en cada pase no deben exceder la anchura de la superficie del pase de soldadura (ver Figura 1.10).

1.7.6.3 Requerimientos de soldadura sobre cabeza

Este tipo de requerimiento depende de los parámetros de operación, se toma en cuenta el material base, el amperaje acorde al material a soldar, así también el contenido de gas y sus limitaciones, en donde el arco debe ser más corto dando tiempo a solidificarse.

En la Figura 1.10 se muestra las características típicas de un cordón de soldadura tomando como referencia la norma AWS D1.1 2015

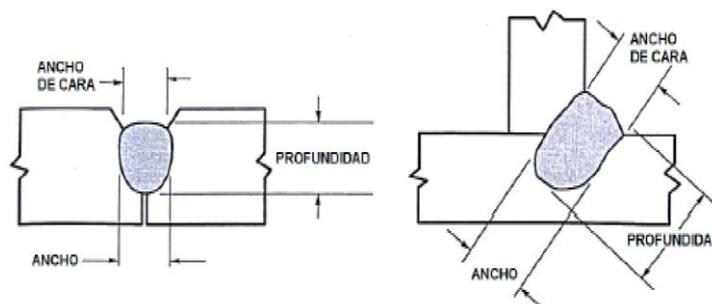


Figura 1.10 Cordón de la soldadura donde el ancho y la profundidad exceden el ancho de la cara de la soldadura.

Fuente: Código de Soldadura Estructural-Acero AWS D1.1/D1.1M:2015

En la Figura 1.11 se muestra la posición de soldadura sobre cabeza, la operación depende del soldador, siempre hay que tomar en cuenta los parámetros en los que fue calificado la junta y el procedimiento de soldadura.



Figura 1.11. Posición 4G del soldador

Fuente: Indura 2019

1.8 Tipos de uniones soldadas más usadas en la industria metalmeccánica

1.8.1 Uniones a tope o empalmadas

Es la más utilizada y consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano para chapas superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes. El objetivo de esta soldadura es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados, Figura 1.12.

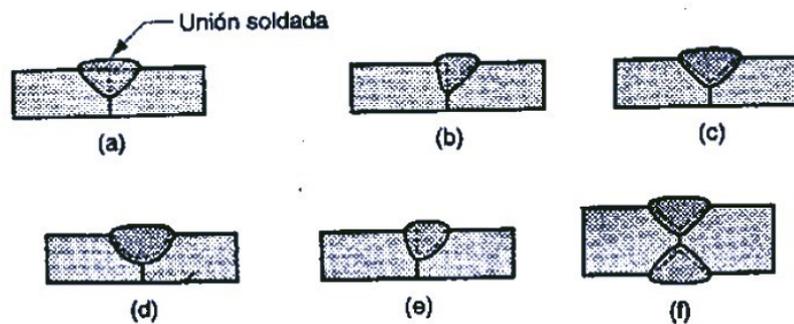


Figura 1.12 Tipos de uniones soldadas a tope
Fuente: Revista digital para profesionales

Algunas soldaduras a tope típicas: (a) soldadura a tope cuadrada, un lado; (b) soldadura de bisel único; (c) soldadura a tope en V único; (d) soldadura a tope en U único; (e) soldadura con a tope único; (f) soldadura a tope en V doble para secciones más gruesas.

1.8.2 Uniones a tope o empalma

Esta operación consiste en unir piezas por sus bordes, soldadas desde el lado superior en posición plana, siendo la más común y conveniente en todo trabajo del soldador. Es usada frecuentemente en las construcciones metálicas, por ejemplo: Cubiertas de barcos, fondos de estanques y carrocerías Figura 1.13.

Proceso de ejecución:

- 1.- Prepare las piezas.
- 2.- Ubique y fije las piezas en posición plana.

Observación: La separación de las piezas varía de acuerdo al espesor de las mismas y al diámetro del electrodo a utilizar.

- 3.- Encienda y regule la máquina.
- 4.- Ejecute puntos de soldadura.

Observación:

5.- El punteado debe ser alternado.

6.- Mantenga la separación de las piezas durante el punteado usando cuñas.

7.- Regule la intensidad.

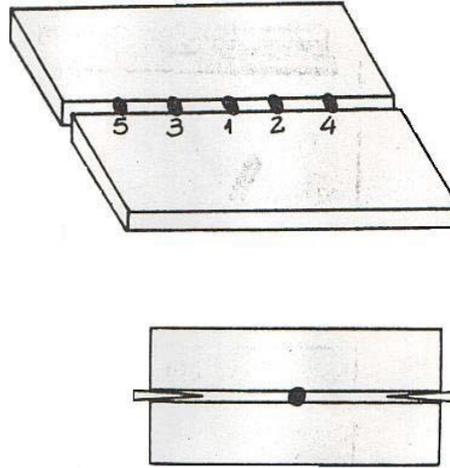


Figura 1.13 Uniones a tope o empalmadas

Fuente: Revista digital para profesionales

8.-Ejecute puntos de fijación.

9.- Limpie los puntos con pica escoria y escobilla de acero.

Precaución: Al realizar todo tipo de limpiado de escoria de la soldadura, el operador debe proteger sus ojos con gafas para evitar la proyección de partículas cristalizadas a los ojos.

10.-Inicie la ejecución del cordón de soldadura.

a) Incline el electrodo en dirección al avance (75° aproximadamente).

b) Oscile el electrodo cubriendo los bordes.

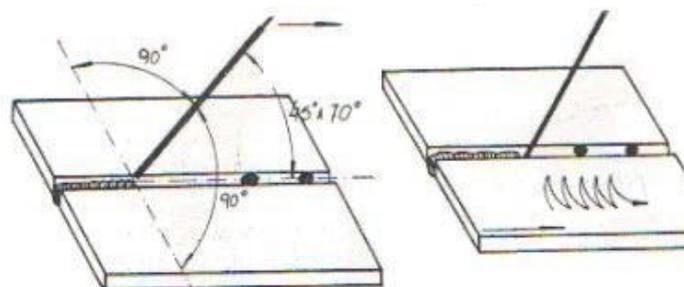


Figura 1.14 Formas de rellenar la junta soldada

Fuente: Revista digital para profesionales

Observación: Si la penetración es insuficiente, aumente la intensidad de la corriente.

c) Penetre a través de ambos bordes hasta la parte inferior manteniendo una velocidad de avance

constante.

11.- Interrumpa el cordón.

12.- Limpie el cráter.

13.- Reinicie el cordón.

Observación: Precaliente y rellene el cráter antes de continuar.

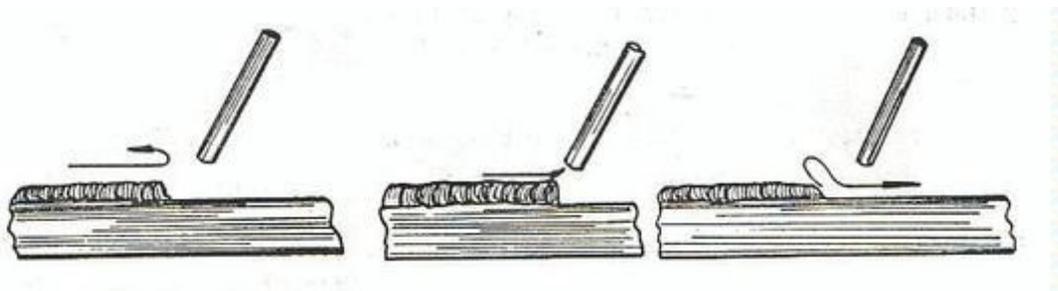


Figura 1.15 Formas de manufactura del cordón

Fuente: Revista digital para profesionales

15.- Finalice el cordón.

Observación: Al finalizar el cordón, llene el cráter depositando material.

1.9 Control de calidad usando aplicaciones móviles de realidad aumentada

Dentro de las limitaciones de la realidad aumentada, podemos ver que quizá donde menos empieza a haber es en el ámbito relacionado con los dispositivos móviles. Es cierto, que se necesitan avances tecnológicos y más investigación para aplicarlos consecuentemente a las ramas de la medicina o la ingeniería, sin embargo, en estos dispositivos ya se ha empezado a ver un avance con la mejora de la calibración y el aumento de su capacidad informática y capacidad de realizar un control de calidad en cualquier producto. Así mismo, los dispositivos móviles ya están completamente arraigados a nuestro día a día y han llegado a un gran público para que empresas cada vez se interesen más en aplicar la RA en sus aplicaciones. Haciendo un análisis de las aplicaciones a disposición de los usuarios en las tiendas virtuales de aplicaciones, podemos encontrar aplicaciones que ya usan la realidad aumentada.

ARuler Una aplicación que hace mediciones de distancias como ángulos, además de calcular volúmenes y áreas.

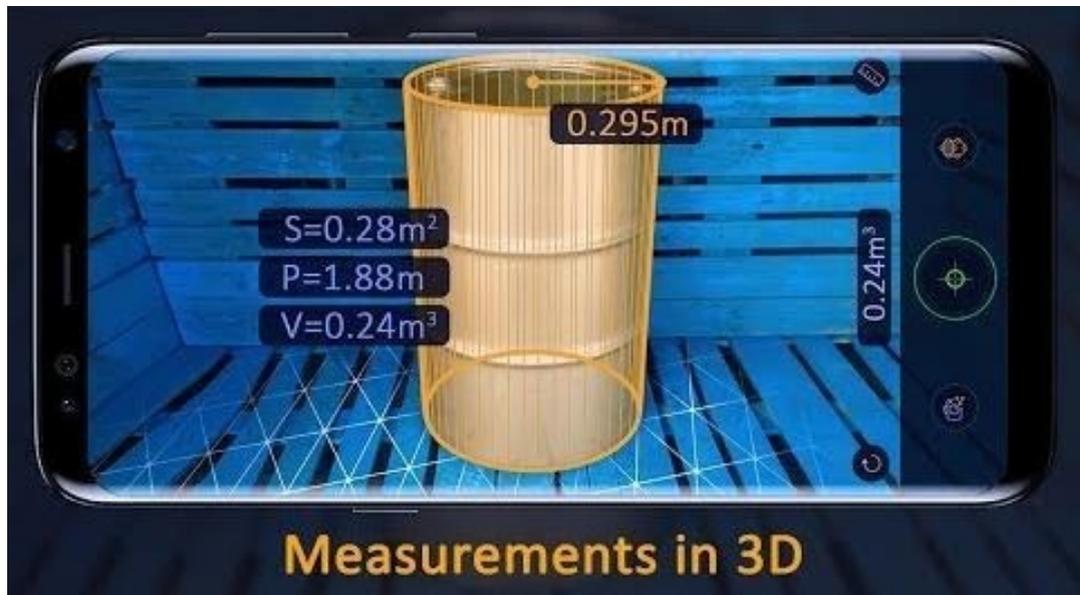


Figura 1.16 Visualización de la aplicación móvil ARuler

Fuente: ARuler

1.9.1 Magic Plan

Esta aplicación tiene varias opciones de clics en los diferentes puntos de la sala en la que el usuario se encuentre, visualizando el plano creado con las indicaciones y las posibles modificaciones a realizar, según el requerimiento del usuario, también posee una base de datos en la que se puede investigar y realizar la operación.



Figura 1.17. Visualización de la aplicación móvil MagicPlan

Fuente: MagicPlan

1.9.2 ROAR (Realidad Aumentada con Objetos reales)

Es una aplicación que te da la información, como el precio o los ingredientes, de los productos solo con apuntarles con la cámara



Figura 1.18. Visualización de la aplicación móvil ROAR

Fuente: ROAR

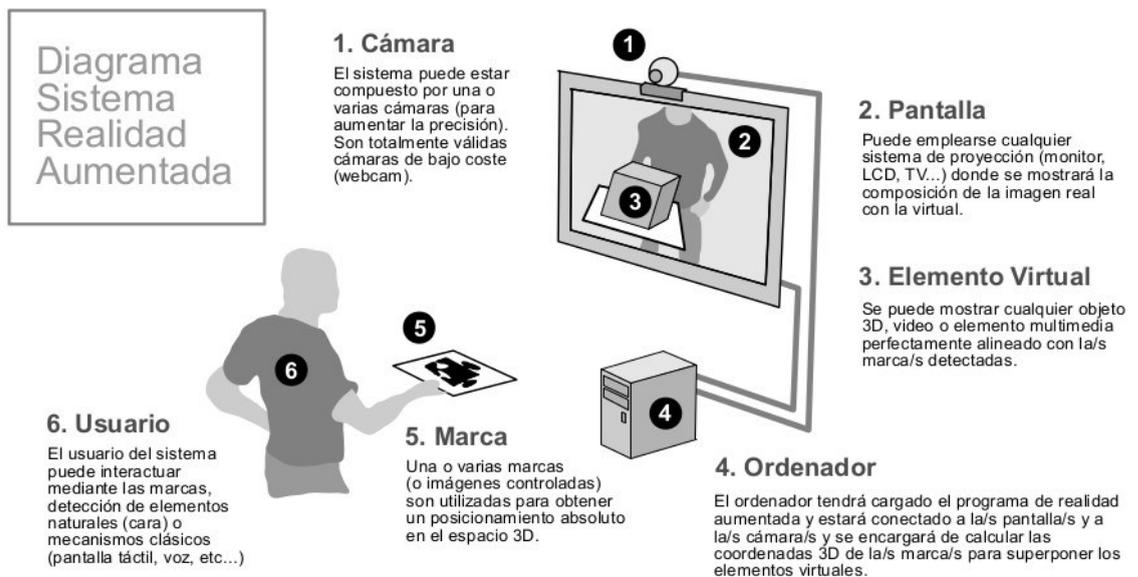


Figura 1.19. Diagrama Sistema Realidad Aumentada.

Fuente: air.esi

1.10 Técnicas inspección y control de calidad en soldadura

La inspección de soldaduras consiste de forma básica en comprobar que la calidad de los cordones de soldadura y que se ajustan a los detalles estructurales del proyecto. Por tanto, si está preparada o no para soportar las fuerzas que se le aplican. En la realización de las pruebas asociadas a la inspección de soldaduras se valoran tanto el tamaño como las ubicaciones de las mismas, así como la detección de defectos que por su tipología y tamaño sean susceptibles de reparación.

Los motivos por los cuales se lleva a cabo la inspección de soldaduras encontramos principalmente la necesidad de evaluar el correcto trabajo de la soldadura. Para realizar este análisis se deben tener en cuenta unos parámetros que sirvan de base para comprobar la calidad de la soldadura. Estos parámetros se obtienen gracias a los diseños que aprueban los requisitos necesarios de calidad de soldaduras que normalmente están recogidos en las normas y códigos de soldaduras. Estos parámetros, o también llamados niveles de aceptación, variarán en función del trabajo objetivo que tenga la soldadura.

Para llevar a cabo la inspección de soldaduras es fundamental que el profesional encargado del análisis tenga un conocimiento amplio y adecuado sobre el tema. Debe de conocer conceptos como los procedimientos de soldadura, formación y experiencia en el ensayo, tipología de defectos que puedan aparecer, interpretación de los planos, etc.



Figura 1.20. Diagrama de procesos de control de calidad

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

1.10.1 Diferencia entre Discontinuidad y Defecto

1.10.1.1 Discontinuidad.

Falta de continuidad, falta de cohesión, (unión), interrupción en la estructura física normal del material o producto.

1.10.1.2 Defecto.

Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma o especificación aplicable.

1.10.2 Tipos de Discontinuidad.

1.10.2.1 **Inherentes.** Introducidas durante la elaboración de la materia prima.

1.10.2.2 **De proceso.** Introducidas durante la elaboración y acabado del material en la transformación de la materia prima.

1.10.2.3 **De servicio.** Introducidas durante la utilización del material

1.10.2.4 **Junta soldada a tope y filete.** En la figura 1.16 se identifican las partes de una junta soldada a tope.



Figura 1.21. Junta soldada a tope y filete

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

1.10.3 Clasificación de la comisión V del IIW (Institute Internacional of Welding)

1.10.3.1 **Serie 100.** Fracturas incluyendo longitudinales, transversales, radiales, en cráter entre otras.

1.10.3.2 Serie 200. Cavidades. Incluyendo bolsas de gas, porosidad interna, porosidad superficial, encogimiento, entre otras cosas

1.10.3.3 Serie 300. Inclusiones sólidas. Incluyendo escoria, fundentes, óxidos metálicos, materiales extraños, entre otros.

1.10.3.4 Serie 400. Incluyendo a la fusión incompleta, entre otras.

1.10.3.5 Serie 500. Forma Incompleta o contorno inaceptable. Incluyendo Socavado, refuerzo excesivo, falta de llenado, forma de chaflán, traslape entre otras.

1.10.3.6 Serie 600. Defectos varios no incluidos anteriormente. Incluyendo golpes de arco, salpicadura excesiva, superficie áspera entre otros.

1.10.4 Discontinuidades externas.

- Sobre montas.
- Salpicaduras.
- Apertura de arco.
- Concavidad, desalineamiento.
- Socavación/y o mordedura.

1.10.5 Discontinuidades internas.

- Grietas de soldadura.
- Inclusión de escoria
- Sopladuras (porosidad).
- Otras discontinuidades.

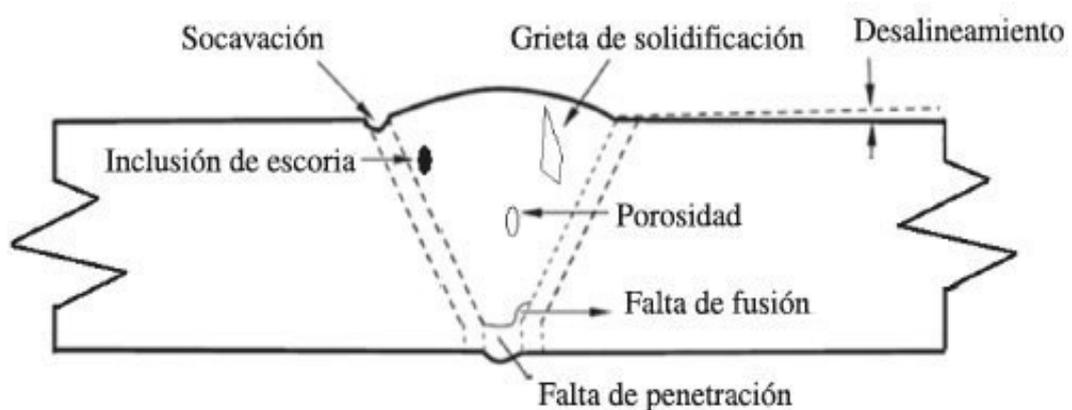


Figura 1.22. Discontinuidades superficiales e internas
Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

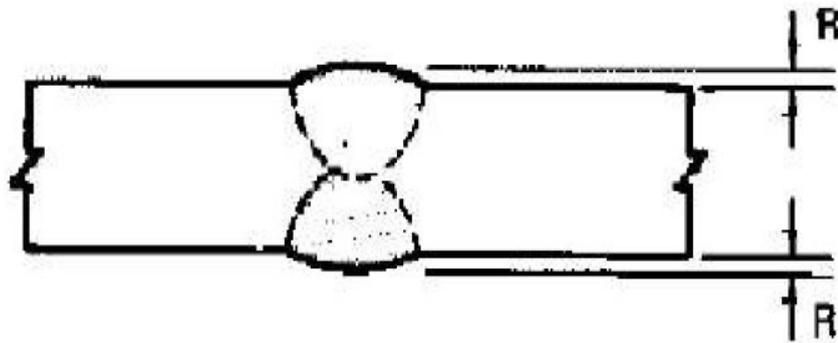


Figura 1.23. Sobremonta excesiva

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

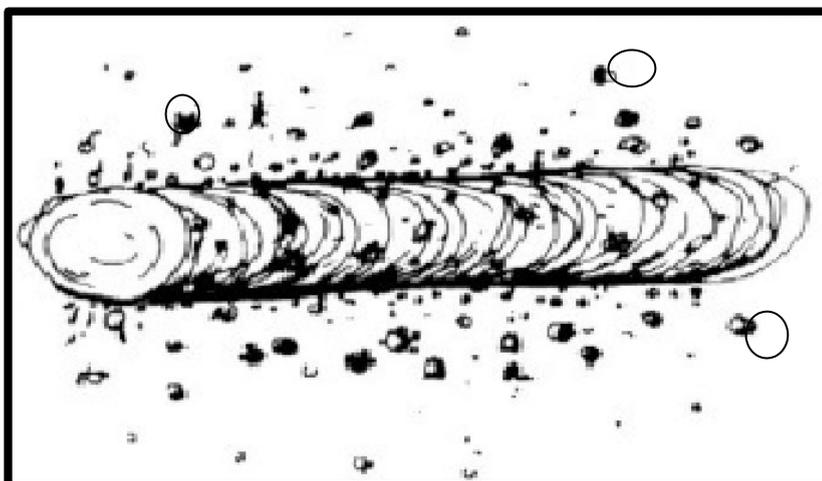


Figura 1.24. Salpicaduras

Fuente: Salpicaduras en soldadura

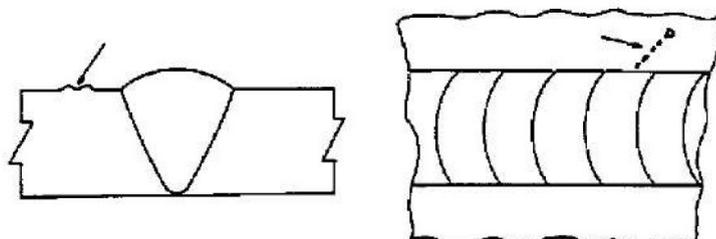


Figura 1.25. Apertura de arco

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

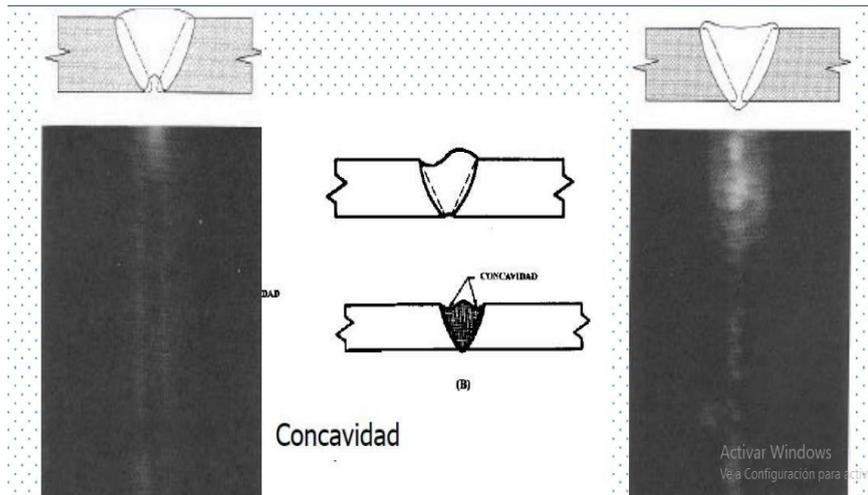


Figura 1.26. Concavidad interna y externa
Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

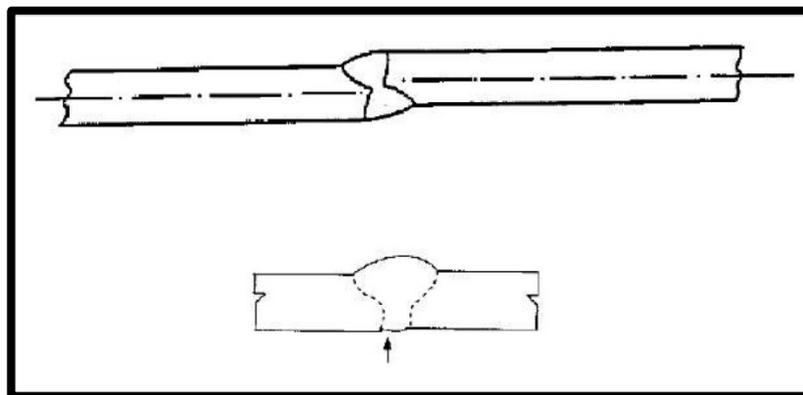


Figura 1.27. Desalineado
Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

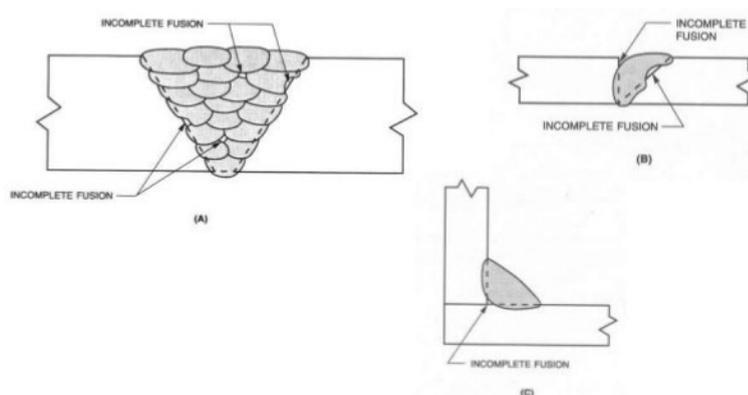


Figura 1.28. (A) Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope (C) Juntas con ángulo interno

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

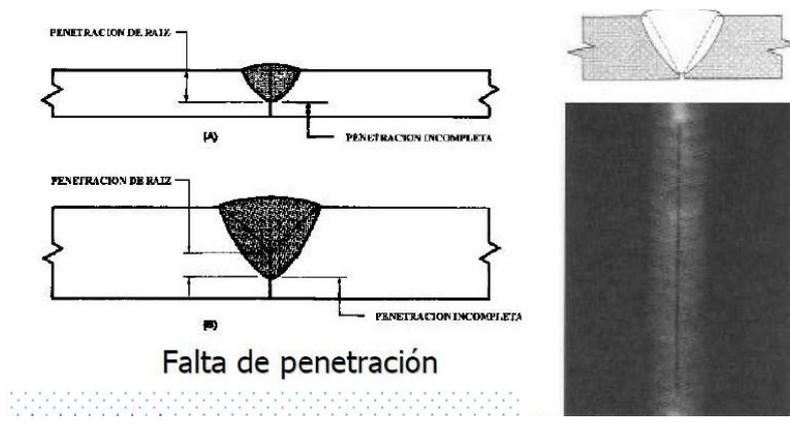


Figura 1.29. (A)Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope(C) Juntas con ángulo interno

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

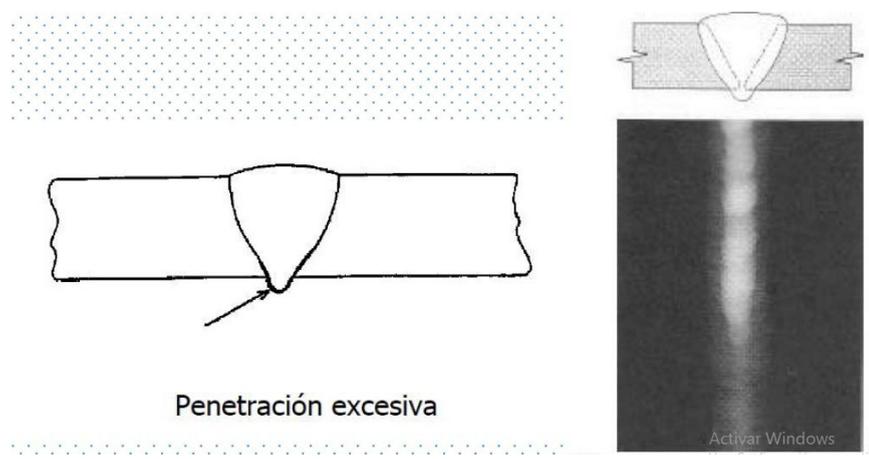


Figura 1.30. (A)Falta de fusión en varios pases (B) Juntas a tope(C) Juntas con ángulo interno

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

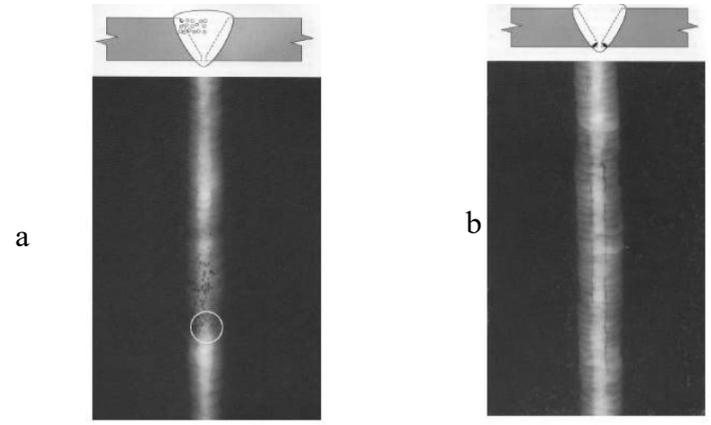


Figura 1.31. (a) Porosidad (c) Escoria

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

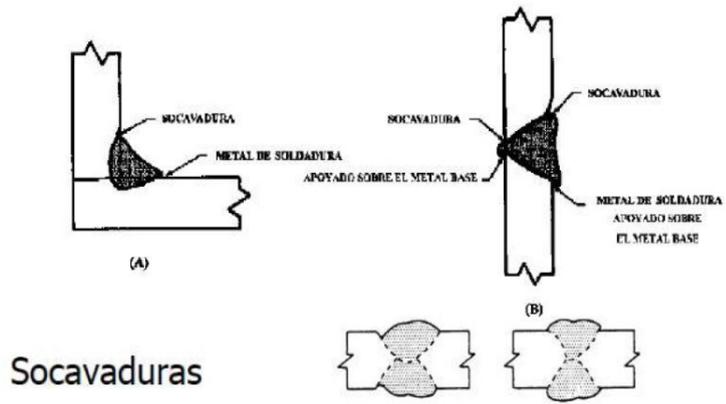


Figura 1.32. Socavaduras en metal de soldadura apoyado sobre metal base

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

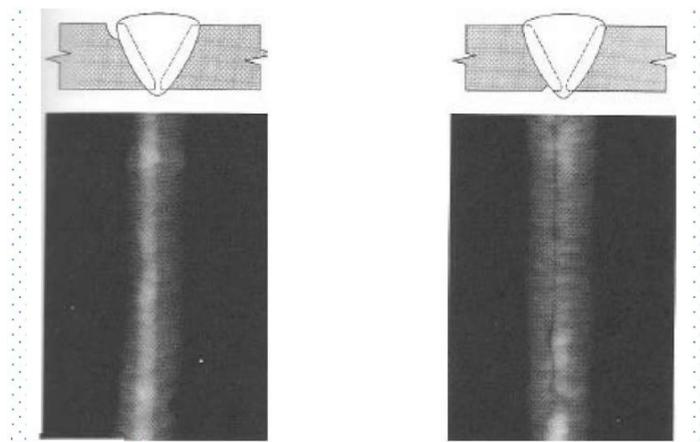


Figura 1.33. Socavaduras y mordeduras en los bordes
Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

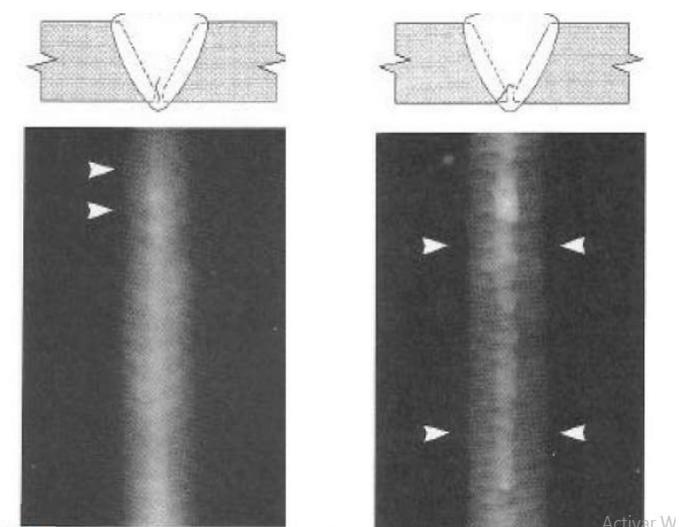


Figura 1.34. Fisuras longitudinales
Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA

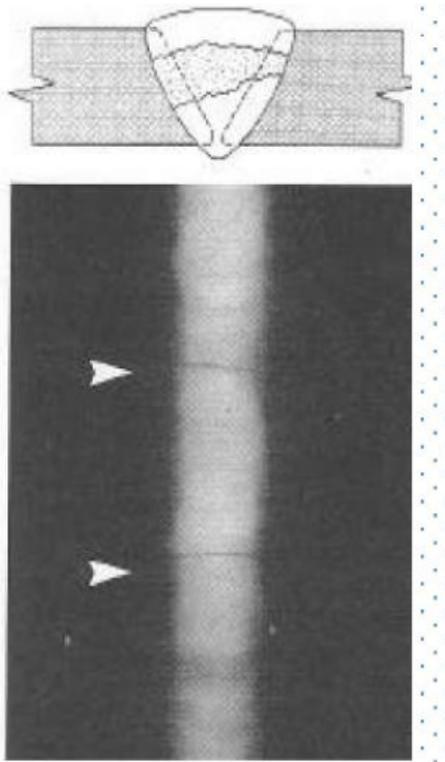
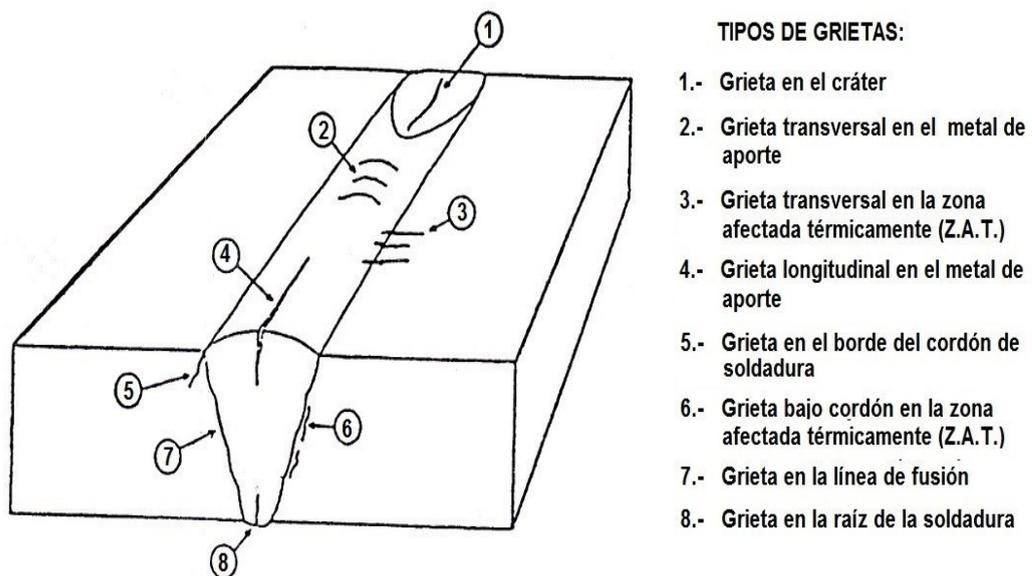


Figura 1.35. Fisuras transversales

Fuente: Módulo de defectología maestría en mecánica UTA



TIPOS DE GRIETAS:

- 1.- Grieta en el cráter
- 2.- Grieta transversal en el metal de aporte
- 3.- Grieta transversal en la zona afectada térmicamente (Z.A.T.)
- 4.- Grieta longitudinal en el metal de aporte
- 5.- Grieta en el borde del cordón de soldadura
- 6.- Grieta bajo cordón en la zona afectada térmicamente (Z.A.T.)
- 7.- Grieta en la línea de fusión
- 8.- Grieta en la raíz de la soldadura

Figura 1.36. Tipos de Grietas

Fuente: Defectos y discontinuidades en soldadura

En la siguiente tabla se determina los tipos de discontinuidad y la localización para cada tipo.

Tabla 1.4 Tipos de discontinuidades

TIPO DE DISCONTINUIDAD	LOCALIZACIÓN	COMENTARIO
(1) Porosidad <ul style="list-style-type: none"> ▪ Uniformemente distribuida ▪ Agrupada ▪ Tipo tubo ▪ Alineada ▪ Elongada 	Metal de Aporte (MA)	Porosity could also be found in the MA and ZAT if the base metal is a casting.
(2) Inclusión de escoria	MA, IS	
(3) Fusión Incompleta	MA/IS	MA between passes.
(4) Penetración Incompleta	MA, Material Base (MB)	Weld root.
(5) Socabaduras o Mordeduras	IS	Adjacent to weld toe or weld root in base metal.
(6) Falta de llenado	MA	Weld face or root surface of a groove weld.
(7) Traslapes	IS	Weld toe or root surface.
(8) Laminaciones	MB	Base metal, generally near midthickness of section.
(9) Delaminaciones	MB	Base metal, generally near midthickness of section.
(10) Vetas y raspados	MB	Base metal surface generally aligned with rolling direction.
(11) Desgarre Laminar	MB	Base metal, near ZAT

Fuente: Defectos y discontinuidades en soldadura

Tabla 1.4.1 Tipos de discontinuidades (Continuación)

TIPO DE DISCONTINUIDAD	LOCALIZACIÓN	COMENTARIO
(12) Fisuras <ul style="list-style-type: none"> ▪ Longitudinal ▪ Transversal ▪ Cráter ▪ Garganta ▪ Pie ▪ Raíz ▪ Bajo el cordón y en la ZAT 	MA, ZAT, MB MA, ZAT, MB MA MA IS, ZAT IS, ZAT ZAT	Weld metal or base metal adjacent to WI. Weld metal (may propágate into HAZ and base metal). Weld metal at point where are is terminated. Parallel to weld axis. Through the throat of a fillet weld. Root surface or weld root.
(13) Concavidad	MA	Weld face or fillet weld
(14) Convexidad	MA	Weld face of a fillet weld
(15) Refuerzo	MA	Weld face of a groove weld
Legend: MA—Zona del material aporte MB—Zona del Material Base ZAT—Zona afectada térmicamente IS— Interface de soldadura		

Fuente: Defectos y discontinuidades en soldadura

En la tabla 1.5 indica las discontinuidades generadas en cada proceso de soldadura, así mismo las celdas que no están marcadas significa que en esos procesos ventajosamente no se presenta ese tipo de discontinuidad.

Tabla 1.5 Procesos de Soldadura vs Discontinuidades

PROCESO DE SOLDADURA	POROSIDAD	ESCORIAS	FUSIÓN INCOMPLETA	PENETRACIÓN INCOMPLETA	MORDEDURAS	FISURAS	TRASLAPES
SW—Stud welding	X		X		X		X
SAW—Submerged arc welding	X	X	X	X	X	X	X
GTAW—Gas arc tungsten welding	X		X	X	X		X
GMAW—Gas metal arc welding	X		X	X	X	X	X
FCAW—Flux cored arc welding	X	X	X	X	X	X	X
SMAW—Shielded metal arc welding	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Defectos y discontinuidades en soldadura.

1.10.6 Criterios de aceptación y rechazo

1.10.6.1 Códigos, normas y especificaciones.

Los códigos, normas y especificaciones son los que regulan actividades industriales como es el caso del código AWS ANSI/ D1.3 de láminas de acero.

En la sección 8.1 de este código vamos a encontrar los criterios de aceptación y rechazo especialmente correspondiente a inspección visual.

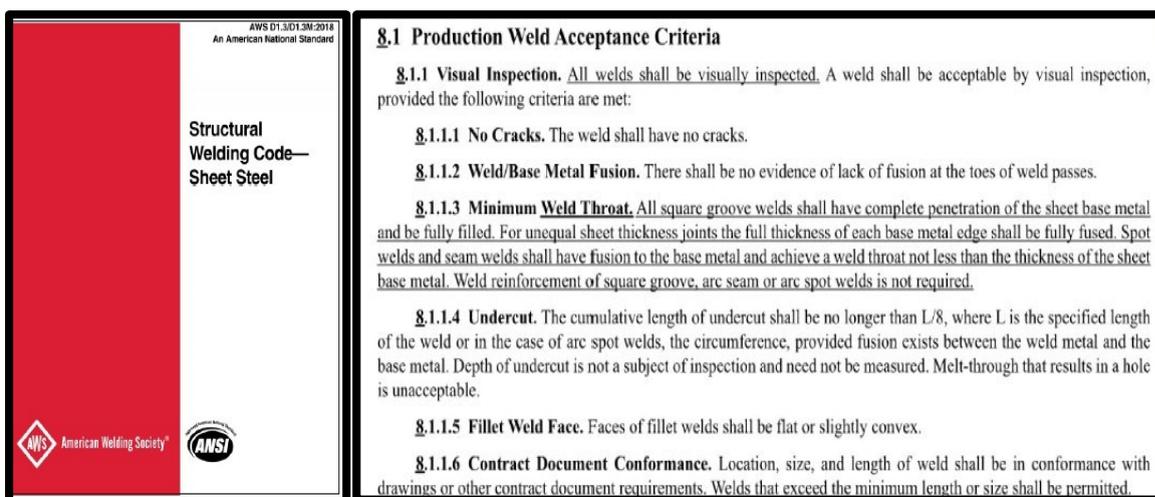


Figura 1.37. Criterios de aceptación y rechazo

Fuente: Código estructural AWS D1.3/2018

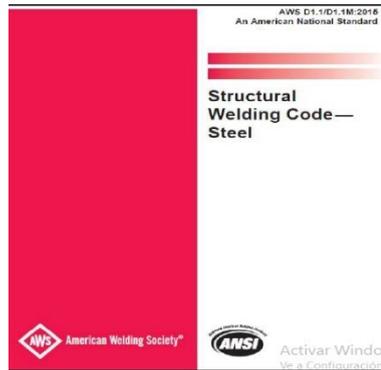


Figura 1.38. Código estructural

Fuente: Código estructural AWS D1.1/D1.1M2015

El alcance del código AWS D1.1 cubre los requisitos aplicables a estructuras de acero al carbono y de baja aleación. Está previsto para ser empleado conjuntamente con cualquier código o especificación que complemente el diseño y construcción de estructuras de acero.

Quedan fuera los recipientes y tuberías a presión, metales base de espesores menores a 1/8 de pulgada (3.2 mm), metales base diferentes a los aceros al carbono y de baja aleación y los aceros con un límite de cadencia mínimo mayor a 100000 lbs/plg²(690 Mpa).

1.10.7 Breve descripción del contenido del código estructural AWS

D1.1/D1.1M2015

- 1.10.7.1 Requisitos Generales.** Contiene la información básica sobre el alcance y las limitaciones del código.
- 1.10.7.2 Diseño de conexiones soldadas.** Contiene requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas por tubulares y no tubulares.
- 1.10.7.3 Precalificación.** Cubre los requisitos para poder excluir a las especificaciones de procedimiento de soldadura de las exigencias de calificación propias del código.
- 1.10.7.4 Calificación.** Contiene los requisitos de calificación para especificaciones de procedimientos y personal (Soldadores, operadores de equipos para soldar).
- 1.10.7.5 Fabricación.** Cubre los requisitos para la preparación, ensamble y mano de obra.

1.10.7.6 Inspección. Contiene los criterios para la calificación y las responsabilidades de los inspectores, los criterios de aceptación para soldaduras de producción y los procedimientos estándar para realizar la inspección visual y las pruebas no destructivas.

1.10.7.7 Soldadura de pernos. Contiene requisitos de soldadura en pernos de anclaje.

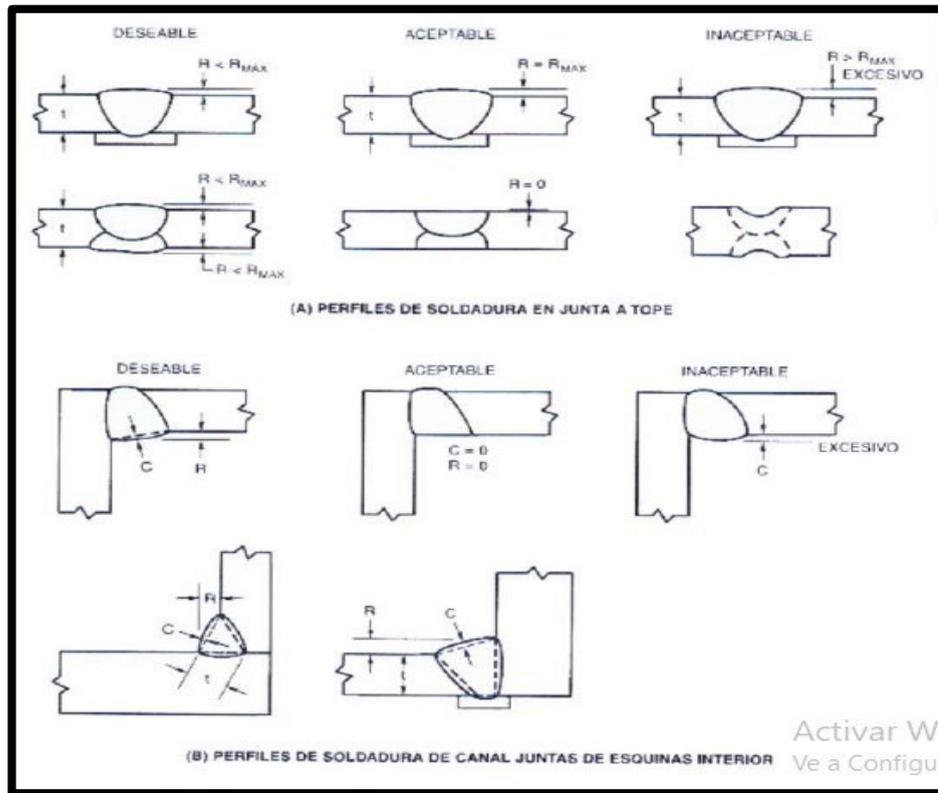
1.10.7.8 Reforzamiento y reparación en estructuras existentes. Cubre los requisitos para realizar mantenimiento correctivo.

Tabla 1.6. Inspección visual según AWS D1.1 2015

TABLA 6.1											
Criterios de aceptación para Inspección Visual ¹ (ver 6.9)											
Categoría de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente	Conexiones tubulares cargadas (todas las cargas)								
(1) Prohibición de grietas Cualquier grieta es inaceptable, independientemente del tamaño o ubicación.	X	X	X								
(2) Fusión soldadura / Metal base Completa fusión debe existir entre cordones y entre el metal base y la soldadura.	X	X	X								
(3) Cráter de soldadura Todos los cráteres deben ser rellenados, a fin de proveer el tamaño especificado de soldadura, excepto para los finales de soldaduras de filete intermitentes, fuera de su longitud efectiva.	X	X	X								
(4) Perfiles de soldaduras Los perfiles de soldadura deben estar en concordancia con figura 5.4.	X	X	X								
(5) Tiempo de inspección La inspección visual en todos los aceros puede iniciarse inmediatamente después de completada la soldadura y enfriada a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para la inspección visual de soldaduras en aceros ASTM A 514 y 517, y A709 grados 100 y 110 W, deben ser realizados no antes de las 48hrs después de completada la soldadura.	X	X	X								
(6) Soldaduras subdimensionadas El tamaño de un filete de soldadura en cualquier soldadura continua podría ser menor del nominal especificado (L), sin rectificación para las siguientes medidas (U):	X	X	X								
<table border="0"> <tr> <td>Tamaño nominal de sold. espec. pulg. (mm)</td> <td>reducción permitida de L, pulg. (mm)</td> </tr> <tr> <td>≤ 3/16 (5)</td> <td>≤ 1/16 (2)</td> </tr> <tr> <td>¼ (6)</td> <td>≤ 3/32 (2.5)</td> </tr> <tr> <td>≥ 5/16 (8)</td> <td>≤ 1/8 (3)</td> </tr> </table>	Tamaño nominal de sold. espec. pulg. (mm)	reducción permitida de L, pulg. (mm)	≤ 3/16 (5)	≤ 1/16 (2)	¼ (6)	≤ 3/32 (2.5)	≥ 5/16 (8)	≤ 1/8 (3)			
Tamaño nominal de sold. espec. pulg. (mm)	reducción permitida de L, pulg. (mm)										
≤ 3/16 (5)	≤ 1/16 (2)										
¼ (6)	≤ 3/32 (2.5)										
≥ 5/16 (8)	≤ 1/8 (3)										

TABLA 6.1			
Categoría de discontinuidad y criterios de inspección	Conexiones no tubulares cargadas estáticamente	Conexiones no tubulares cargadas cíclicamente	Conexiones tubulares cargadas (todas las cargas)
(7) Socavación (mordedura de borde) (A) Para materiales inferiores a 1" (25mm) de espesor, las socavaciones no deben exceder 1/32" (0.8mm), excepto que un máximo de 1/16" (1.6mm) sea permitido para una longitud acumulada de 2" (50mm) en cualquier long de 12" (300mm). Para materiales iguales o mayores a 1" de espesor, las socavaciones no deben exceder 1/16" (1.6mm) para cualquier longitud de soldadura. (B) En miembros primarios, las socavaciones no deben ser mayor que 0.01" (0.25mm) de profundidad cuando la soldadura es transversal a la tensión bajo cualquier condición de carga de diseño. Socavaciones no deben ser mayores de 1/32" (0.8mm) de profundidad para todos los otros casos.	X		
(8) Porosidad (A) En soldaduras de penetración total transversales a la dirección del esfuerzo no deben poseer porosidad visible. Para otras soldaduras de penetración y para filetes, la suma de porosidad visible de 1/32" (0.8mm) o mayores en diam. no excederá 3/8" (9.6mm) en cualquier pulg. lineal de sold. y no excederá ¼" (19mm) en cualquier longitud de sold de 12" (300mm). (B) La frecuencia de porosidad en filetes no excederá de una por cada 4 pulg. (100mm) de long de sold y un diam max de porosidad de 3/32" (2.5mm). <i>Excepción:</i> para soldaduras de filetes que conecten refuerzos a vigas, la suma de diam de poros no excederá de 3/8" (9.6mm) en cualquier pulg lineal de sold y no excederá ¼" (19mm) en cualquier longitud de soldadura de 12" (300mm). (C) En soldaduras de penetración total transversales a la dirección del esfuerzo no deben poseer porosidad. Para otras soldaduras de penetración, la frecuencia de porosidad no debe exceder de 1 en 4 pulg (100mm) de long y el diámetro max no de exceder de 3/32" (2.5mm).	X		
		X	X
		X	X

Fuente: Tabla 6.1. AWS D1.1/D1.1M2015



Fuente: Código estructural AWS D1.1/D1.1M2015

Tabla 1.7. Perfiles de soldadura

Table 5.9 Weld Profiles ^a (see 5.24)					
Joint Type					
Weld Type	Butt	Corner—Inside	Corner—Outside	T-Joint	Lap
Groove (CJP or PJP)	Figure 5.4A	Figure 5.4B ^b	Figure 5.4C	Figure 5.4D ^b	N/A
	Schedule A	Schedule B	Schedule A	Schedule B	N/A
Fillet	N/A	Figure 5.4E	Figure 5.4F	Figure 5.4E	Figure 5.4E
	N/A	Schedule C	Schedule C or D ^d	Schedule C	Schedule C

Table 5.10 Weld Profile Schedules (see 5.24)					
Schedule A	(t = thickness of thicker plate joined for CJP; t = throat size for PJP)				
	t	R min.	R max.		
	≤ 1 in [25 mm]	0	1/8 in [3 mm]		
	> 1 in [25 mm], ≤ 2 in [50 mm]	0	3/16 in [5 mm]		
> 2 in [50 mm]	0	1/4 in [6 mm] ^e			
Schedule B	(t = thickness of thicker plate joined for CJP; t = throat size for PJP; C = allowable convexity or concavity)				
	t	R min.	R max.	C min.	C max.
	< 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	1/8 in [3 mm]
	≥ 1 in [25 mm]	0	unlimited	0	3/16 in [5 mm]

Fuente: Código estructural tabla 5.9, AWS D1.1/D1.1M2015

Tabla 1.8. Criterios de aceptación para conexiones no tubulares con Ultrasonido

Fuente: Código estructural tabla 5.9, AWS D1.1/D1.1M2015

AWS D1.1/D1.1M:2015 Structural Welding Code—Steel		Table 6.2 UT Acceptance-Rejection Criteria (Statically Loaded Nontubular Connections and Cyclically Loaded Nontubular Connections in Compression) (see 6.13.1, 6.13.2(2), and C-6.25.6)										
		Weld Size ^a in inches [mm] and Search Unit Angle										
Discontinuity Severity Class	5/16 through 3/4 [8-20]	> 3/4 through 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 through 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 through 4 [65-100]			> 4 through 8 [100-200]			
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	
Class A (large discontinuities) Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).	+5 & lower	+2 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower	-5 & lower	-2 & lower	0 & lower	-7 & lower	-4 & lower	-1 & lower	
Class B (medium discontinuities) Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1	
Class C (small discontinuities) Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] shall be rejected.	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 to +2	+1 +2	+3 +4	-4 to +2	-1 to +2	+2 +3	
Class D (minor discontinuities) Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.	+8 & up	+5 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up	+3 & up	+3 & up	+5 & up	+3 & up	+3 & up	+4 & up	

Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

Fuente: Código estructural tabla 6.2, AWS D1.1/D1.1M2015

1.10.8 Limitaciones de Diseño con soldadura a Tope

Según AISC J2 1b, el mínimo espesor efectivo de la garganta de una soldadura de penetración parcial no debe ser menor que el tamaño requerido para transmitir las fuerzas calculadas ni a los tamaños indicados en la tabla AISC J2.3, además el tamaño mínimo de la soldadura es determinado por la más delgada de las dos partes conectadas como se muestra en la tabla 1.8, también se tomará en cuenta esta tabla para este proyecto.

Tabla 1.9 Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial.

Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial	
Espesor del material de la parte más delgada conectada, pulg (mm)	Espesor mínimo de la garganta efectiva [a] pulg (mm)
Hasta 1/4 (6) inclusive	1/8 (3)
Mayor de 1/4 (6) hasta 1/2 (13) inclusive	3/16 (5)
Mayor de 1/2 (13) hasta 3/4 (19) inclusive	1/4 (6)
Mayor de 3/4 (19) hasta 1 1/2 (38) inclusive	5/16 (8)
Mayor de 1 1/2 (38) hasta 2 1/4 (57) inclusive	3/8 (10)
Mayor de 2 1/4 (57) hasta 6 (150) inclusive	1/2 (13)
Mayor de 6 (150)	5/8 (16)

[a] Ver tabla AISC [1] J2.1 (tabla No.6)

Fuente: Tabla AISC J2.3

1.10.9 Dimensionado de la longitud del cordón de soldadura

1.10.9.1 Obtención de la longitud del cordón de soldadura necesaria para transmitir un esfuerzo F

Dado el esfuerzo que solicita a la unión, una vez obtenido el espesor de garganta, función del espesor de las chapas a unir, la longitud del cordón de soldadura a disponer deberá cumplir la condición de las siguientes ecuaciones.

$$F_{tension} \leq \sigma_{tension} * L_{w,d} \tag{Ecuación 1.1}$$

Es decir, la longitud dispuesta de cordón de soldadura, L_w deberá ser

$$L_{w,d} \geq \frac{F_{tension}}{\sigma_{tension}} \tag{Ecuación 1.2}$$

Además, se deberán cumplir las siguientes disposiciones mínimas:

$$L > 40 \text{ mm} \text{ ó } 6 \cdot a \tag{Ecuación 1.3}$$

En cordones laterales -paralelos al esfuerzo- que transmitan axiles entre las Piezas unidas, su longitud mínima será,

$$L > b \text{ ó } 15 \cdot a \tag{Ecuación 1.4}$$

Siendo b la anchura de la pieza unida.

1.11 Técnicas y métodos de ensayos no destructivos

1.11.1 Inspección visual (VT), Técnica directa.

La inspección visual directa constituye el primer método de inspección aplicado por cualquier persona a cualquier tipo de material, pieza o componente fabricado con el objetivo de evaluar si el bien, componente o servicio cumple con los requerimientos de construcción, montaje, servicio u operación para el cual está intencionado.



Figura 1.39. Técnica directa de inspección visual

Fuente: Técnicas de inspección

1.11.2 Inspección visual (VT), Técnica indirecta o remota.

La inspección visual indirecta o remota incluye equipamiento adicional, que asiste al ojo humano, para efectuar una inspección en sitios donde el Inspector no tiene acceso. Se utiliza equipos tales como: Espejos, Videoscopios, Fibroscopios, Boroscopios.



Figura 1.40. Técnica indirecta o remota

Fuente: Técnicas de inspección

1.11.3 Análisis de Vibraciones.

La vibración es un fenómeno mecánico por lo cual las oscilaciones ocurren a partir del punto de equilibrio.

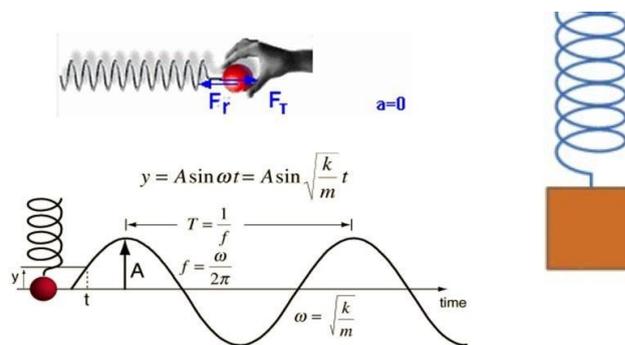


Figura 1.41. Técnica de inspección por análisis de vibraciones

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

Esa vibración mecánica es monitoreada en los equipos rotativos a través de sensores de un amplio rango de adquisición de frecuencias cuyas amplitudes son registradas en los colectores de datos, las amplitudes son interpretadas y posteriormente evaluadas.



Figura 1.42. Equipos de inspección por análisis de vibraciones

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos.

1.11.4 Ultrasonido (UT)

Es un método de inspección volumétrico para materiales, el principio se fundamenta en el paso de una señal eléctrica emitida desde el equipo, pasa al cristal que es un material piezoeléctrico y esa señal eléctrica es convertida en un impulso mecánico, ésta vibración mecánica viaja en el material, encuentra un fin o una pared posterior y la señal de regreso me indica la integridad volumétrica del material que está siendo inspeccionado.



Figura 1.43. Técnica de inspección por Ultrasonido (UT)

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

Algunas de las aplicaciones son: Medición de espesores, detección de fallas en soldadura, determinación de propiedades de materiales, caracterización de materiales entre los principales.

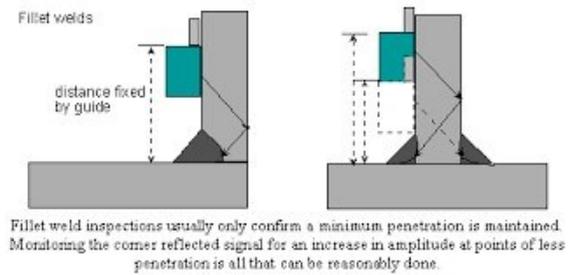


Figura 1.44. Técnica de inspección por Ultrasonido con arreglo de fases (UT)

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

1.11.5 Termografía infrarroja

Es la ciencia de medición y mapeo de temperaturas superficiales. Un sistema de escaneo de termografía infrarroja puede medir y observar las líneas de temperatura basadas en la diferencia térmica y puede hacerlo en el día o la noche bajo diferentes condiciones ambientales.



Figura 1.45. Técnica de inspección por Termografía

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

1.11.6 Radiografía

La radiografía es un método de inspección en el cual el objeto es expuesto a rayos x o rayos gamma y una imagen es procesada en un film o mostrada digitalmente. En éste método de inspección el personal configura, expone, proceso la película o imagen e interpreta en concordancia con los requerimientos de códigos o especificaciones escritas.



Figura 1.46. Equipo de rayos x para uso industrial

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

1.11.7 Partículas Magnéticas

El principio de funcionamiento del método se basa en la aplicación de un campo magnético y ante la presencia de una discontinuidad, la partícula crea un puente sobre estos materiales ferromagnéticos por lo que presentan estas indicaciones visibles para discontinuidades superficiales y subsuperficiales.

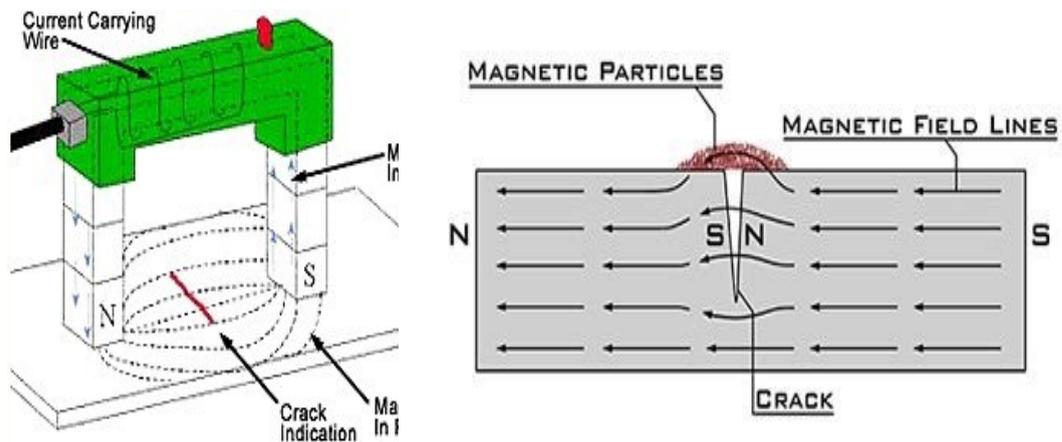


Figura 1.47. Método de inspección por partículas magnéticas

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

Se aplica bajo una intensidad de luz ambiente y en bajas intensidades con luz ultravioleta a un pico de 365 nm de longitud de onda donde los colores amarillo y verde son más sensibles.



Figura 1.48. Yugo magnético

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos.

1.11.8 Líquidos penetrantes (PT)

Es un método de inspección superficial que se fundamenta en el principio de capilaridad, básicamente se tiene 3 etapas: limpieza, aplicación del penetrante y aplicación del revelador. Permite identificar discontinuidades solamente abiertas a la superficie.



Figura 1.49. Método de inspección por tintas penetrantes.

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

Su aplicación se considera en un ambiente de luz visible y luz ultravioleta existiendo en ésta última niveles de sensibilidad de acuerdo al tamaño de la indicación a ser detectada.



Figura 1.50. Método de inspección por partículas magnéticas

Fuente: Técnicas de ensayos no destructivos

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos.

En este proyecto se requirió los siguientes materiales y equipos necesarios para el desarrollo de la aplicación de realidad aumentada aplicados al control de calidad en los procesos de soldadura.

Tabla 2. Materiales y equipos utilizados

Cantidad	Denominación	Dimensiones en mm	Costo unitario \$	Costo Total \$
12	Placas de Acero ASTM A36	200x200x8 mm	5.00	30
1	Rollo de alambre sólido	0.9 mm	25	25
1	Equipo de inspección visual	n/a	500	500
1	Tablet Samsung Galaxy S4	150mmx85mm	30	30
1	Computadora portátil	12”	1200	1200
100	Hojas de impresión	297x420 mm	5	5
Materiales y equipos utilizados			Total	1780

Fuente: Francisco Alcocer

Tabla 2.1. Alquiler de equipos de taller industrial

Cantidad	Denominación	Características	Costo Hora \$	Horas trabajadas	Costo Total \$
1	Soldadora MIG Inverter Lincoln	250 A-220V	10.00	10	100
1	Cortadora de Disco	10 A-220V	1.30	10	13
Alquiler de equipos de taller industrial Total					113

Fuente: Francisco Alcocer

2.1.1 Costos del Proyecto.

Este proyecto tiene un costo de 1893.00 dólares americanos y fue ejecutado aproximadamente en seis meses.

2.2 Metodología.

2.2.1 Modalidad básica de la investigación.

Este proyecto abarca en su totalidad una investigación de laboratorio, que comprende parámetros físicos de control de calidad en soldadura como tamaño, tipo de junta más utilizada en la industria metalmecánica, defectos superficiales como discontinuidades, mordeduras, salpicaduras, falta de fusión, mediante la experimentación a través de la realidad aumentada se puede obtener resultados que permiten tomar decisiones antes, durante y después del proceso los mismos que influyen en la calidad de la soldadura.

2.2.2 Investigación Bibliográfica.

La investigación que se va a realizar es bibliográfica por qué se va a recurrir a información de varios libros, revistas, artículos de impacto y el internet para obtener información referente al tema de investigación.

2.2.3 Experimental.

La investigación que se realizó es experimental ya que es necesario analizar y comparar los resultados obtenidos y poder redactar las conclusiones.

2.2.4 Nivel o tipo de investigación.

2.2.4.1 Exploratoria.

En este estudio se utilizó la investigación exploratoria ya que consiste en tener un conocimiento general o aproximativo de la realidad de cómo identificar parámetros de calidad en cordones de soldadura.

2.2.4.2 Descriptiva.

Mediante este tipo de investigación, que utiliza el método de análisis, se logró

mejorar los conocimientos académicos para una relación teórico práctico así obtener ciertos criterios sobre el tema a investigar.

2.2.4.3 Correlacional.

En esta parte la estructura del proyecto dependió de variables aleatorias y relacionar imagen de placa soldada, marcadores de Unity, parámetros de inspección como porosidad, falta de fusión, mordeduras, salpicaduras.

2.2.5 Matriz metodológica.

INICIO	QUE SE OBTIENE	QUE MÉTODO
Revisión bibliográfica referente al control de calidad en soldadura a través de realidad aumentada	<ul style="list-style-type: none"> - Informe bibliográfico 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis y síntesis - Análisis documental - Análisis histórico lógico
Análisis teórico de aplicaciones móviles y determinación de los parámetros influyentes en la calidad del proceso de soldadura	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de parámetros 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis y síntesis - Análisis del proceso
Experimentos de búsqueda, para buscar la relación óptima de las variables.	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa del proceso - Influencia de las variables 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis del proceso
Diseño experimental, basados en el tipo experimental 2k con sus respectivas replicas, con el	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa de variables - Toma de datos de los 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis Experimental - Observación Científica - Medición

fin de encontrar el nivel óptimo de sus factores y su incidencia.	resultados	
-------------------------------------------------------------------	------------	--

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

La recepción de parámetros de control de calidad en juntas soldadas como, discontinuidades, mordeduras, salpicaduras, falta de fusión, se realizó extrayendo de la población en los criterios de aceptación y rechazo establecidos en la tabla 6.1 de la AWS D1.1 2015 Para conexiones no tubulares cargadas estáticamente en donde encontramos un tamaño de 12 defectos

2.3.2 Muestra

Aplicando la fórmula de muestra poblacional de una población total se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 2.2. Población de defectos y discontinuidades aplicadas por la AWS D1.1

N°	Criterios de aceptación y rechazo (Tabla 6.1 AWS D1.1/2015)	Conexiones No tubulares cargadas estáticamente
1	Prohibición de grietas	1
2	Falta de fusión metal base	1
3	Crater de soldadura	1
4	Perfil de soldadura	1
5	Tiempo de inspección	1
6	Soldaduras subdimensionadas	1
7	Socavación mordedura de borde	1
8	Porosidad	1
9	Longitud	1
10	Ancho	1
11	Salpicaduras	1
12	Desvío de arco	1
Total		12

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{N - 1}$$

Dónde:

Z= Nivel de confianza = 1.96

p = Variabilidad positiva al 50%

(1-p) = Variabilidad negativa al 50%

N = es el tamaño de la población de estudio = 12

e = es la precisión o error = 5%

Cuando se desconoce el error se considera un 5% (0.05)

Valores usados:

Nivel de confianza	99,73%	99%	98%	96%	95,45%	95%	90%
Valores de Z	3,00	2,58	2,33	2,05	2,00	1,96	1,645

Aplicando la fórmula:

$$n = \frac{N \cdot p \cdot (1 - p)}{N - 1 + \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{e^2}}$$

$$n = \frac{12(1.96)^2(0.50)(0.5)}{12 - 1 + \frac{11.5248}{0.9672}}$$

$$n = 11.9156$$

$$n = 12 \text{ muestras}$$

2.3.3 Descripción del proceso para toma de datos

2.3.3.1 Dimensionamiento de placas soldadas

Se selecciona un tipo de unión a tope simple con biselado de 45° el mismo que permitirá mostrar la trayectoria del cordón como se muestra en la Figura 2.1

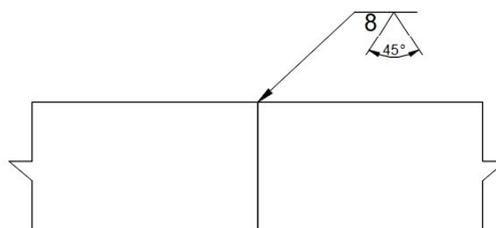


Figura 2.1: Simbología de soldadura típica unión a tope simple en V

Fuente: Autor

En el presente trabajo se realiza la fabricación de 12 probetas soldadas, las uniones son a tope simple con penetración parcial, el material utilizado es acero ASTM A36 de las cuales 5 uniones son de 190mm x 100mm de ancho y 7 uniones son de 150mm x 100 mm de ancho, todas las probetas tienen 8 mm de espesor y se fabrican de acuerdo a los parámetros del proceso FCAW, como se muestra en la Figura 2.2.

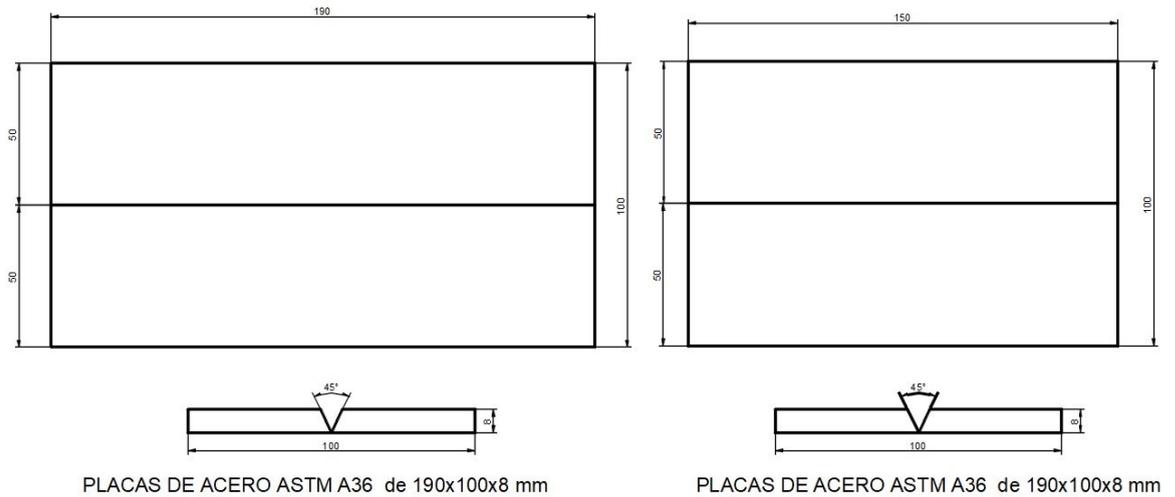


Figura 2.2. Planos estructurales de las probetas para el análisis

Fuente: Autor

2.3.3.2 Preparación del material base

Luego de trazar el material se cortó cada sección tomando como referencia la Figura 2.2, de donde se obtuvo placas listas para ser soldadas y así formar la unión correspondiente a la unión a tope en V simple, tal como se muestra en la Figura 2.3



Figura 2.3. Placas preparadas de 190x100x8 mm y 150x100x8 mm

Fuente: Autor

2.3.3.4 Soldadura en uniones a tope en V simple

Una vez que se preparó el material se procedió a soldar las placas, utilizando el proceso FCAW e identificando los parámetros de soldeo se fusionaron estas placas para obtener las muestras que permitirán ser evaluadas y medidas con criterios de aceptación mostrados en la norma AWS D1.1.



Figura 2.4. Elaboración de placas para análisis visual

Fuente: Autor

2.3.3.5 Identificación de las probetas soldadas

Soldadas las probetas se identifican con una letra “w” en la parte central, lo que permitirá su reconocimiento y posteriormente su evaluación.



Figura 2.5. Probeta w1, w2

Fuente: Autor



Figura 2.6. Probeta w3, w4
Fuente: Autor



Figura 2.7. Probeta w5, w6
Fuente: Autor



Figura 2.8. Probeta w7, w8
Fuente: Autor



Figura 2.9. Probeta w9, w10
Fuente: Autor



Figura 2.10. Probeta w11, w12

Fuente: Autor

2.2.3.5 Medición de ancho de soldadura

Para estas mediciones utilizamos un calibrador vernier de precisión de 0.02 mm, el mismo que se empieza a utilizar en cada uno de los extremos con una lectura inicial y una final como se muestra en la Figura 2.11, estas lecturas se reflejarán en el análisis del capítulo 3, las unidades que se utilizan están en milímetros.

Para evaluar los criterios de calidad del ancho de cordón se toma en cuenta la Tabla 1.8 de la AISC J2.3, en el que el espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de penetración parcial es desde $\frac{1}{4}$ " (6mm) hasta $\frac{1}{2}$ " (13mm), el ancho (a) mínimo a tomar en cuenta es de 5mm, por lo que se tomará en cuenta cordones mayores a 5mm como cordones soldados, caso contrario se determinará como falta de fusión.



Figura 2.11. Mediciones de ancho de cordón en probeta w1

Fuente: Autor

De la misma forma se procedió a medir todas las uniones soldadas en forma similar, para realizar estas mediciones se utiliza la luz del día, recomendado por los procedimientos de la norma, además el cordón debe estar completamente limpio.



Figura 2.12. Mediciones de ancho de cordón en probeta w2
Fuente: Autor



Figura 2.13. Mediciones de ancho de cordón en probeta w3
Fuente: Autor



Figura 2.14. Mediciones de ancho de cordón en probeta w4
Fuente: Autor



Figura 2.15. Mediciones de ancho de cordón en probeta w5
Fuente: Autor



Figura 2.16. Mediciones de ancho de cordón en probeta w6
Fuente: Autor



Figura 2.17. Mediciones de ancho de cordón en probeta w7
Fuente: Autor



Figura 2.18. Mediciones de ancho de cordón en probeta w8
Fuente: Autor



Figura 2.19. Mediciones de ancho de cordón en probeta w9
Fuente: Autor



Figura 2.20. Mediciones de ancho de cordón en probeta w10
Fuente: Autor



Figura 2.21. Mediciones de ancho de cordón en probeta w11
Fuente: Autor



Figura 2.22. Mediciones de ancho de cordón en probeta w12
Fuente: Autor

2.3.3.6 Medición de longitud de soldadura.

La medición de longitud de la soldadura se realiza con un calibrador de vernier de 0.02 mm de precisión, en el que se determina la dimensión de cordón en milímetros, los parámetros tomados en cuenta para este dimensionamiento son las descritas en las disposiciones mínimas de la Ecuación 1.3.

$L > 40 \text{ mm}$ ó $6 \cdot a$

Ecuación 1.3

En donde la longitud mínima a ser evaluada debe ser mayor a 40 mm, como es el caso de las placas de 190 mm (w1, w2, w3, w4, w5) y 150 mm (w6, w7, w8, w9, w10, w11, w12), la longitud soldada debe ser 6 veces el ancho de cordón, en este caso se toma en cuenta el ancho mínimo que se obtenido en la placa que es de 7.10 mm obtenido en la junta w3, en donde reemplazando en la ecuación 1.3 se obtiene:

$L > 40 \text{ mm}$ ó $6 \cdot a$

$L = 6 \times 7.10 = 42.6 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$, Cumple con los parámetros mínimos.

De esta forma se toma las mediciones a lo largo del cordón.



Figura 2.23. Mediciones de longitud de cordón desde w1-w6.

Fuente: Autor



Figura 2.23. Mediciones de longitud de cordón desde w1-w6.
Fuente: Autor



Figura 2.24. Mediciones de longitud de cordón desde w7-w12.
Fuente: Autor

2.3.3.7 Mediciones de Socavadura en las juntas soldadas.

En referencia a la tabla 1.6 de la AWS D1.1, para medir la socavación o también llamada mordedura de borde se emplea los siguientes criterios:

Para materiales de espesores inferiores a 1" (25 mm de espesor), las socavaciones no deben exceder de 1/32" (0.8 mm) en el metal base, será permitido 1/16" (1.6 mm) para una longitud acumulada de 2" (50 mm) en cualquier longitud de 12" (300mm). Se realiza la revisión de socavación a lo largo del cordón en cada una de las probetas, así mismo se toma en cuenta cada uno de los criterios de la norma y también el rechazo irá contemplado en los parámetros de los resultados del capítulo 3.

Se realiza la revisión en las probetas que se encuentran socavación en el mismo orden de identificación.



Figura 2.25. Mediciones de socavación en el cordón de soldadura.
Fuente: Autor

2.3.3.8 Mediciones de Porosidad en las juntas soldadas.

En estas mediciones se toma en cuenta la suma de la porosidad visible de $1/32''$ (0.8 mm) o mayores en diámetro, no excederá los $3/8$ (9.6 mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura, y no excederá los $3/4''$ (19mm) en cualquier longitud de soldadura de $12''$ (300 mm), procediendo a identificar el número de poros en cualquier longitud desarrollada.



Figura 2.26. Mediciones de porosidad en el cordón de soldadura.
Fuente: Autor

En el caso de la Figura 2.20 se realiza en las probetas que tienen porosidad como es el caso de la probeta w10.

2.3.3.9 Mediciones de falta de fusión.

Falta de fusión será considerada a todos los bordes que no están soldados como se identifica en la siguiente figura



Figura 2.27. Mediciones de falta de fusión en cordones de soldadura
Fuente: Autor

2.3.4 Mediciones con realidad aumentada.

2.3.4.1 Mediciones de ancho y longitud de soldadura con Realidad Aumentada.

A continuación, se procede a realizar las mediciones con la aplicación de realidad aumentada, configurando la cámara para una resolución de 1280 x 720 píxeles y a una distancia de 300 mm desde el filo de la cámara hacia la superficie de la probeta, en esta medición se programa en la pantalla una regleta vertical dada en milímetros, la misma que se registrará para medir ancho de soldadura, también la posibilidad de medir longitud de soldadura, cabe recalcar que estas regletas están configuradas para

medir todo el perímetro de la probeta, se estandarizan las dos regletas tanto en sentido vertical como también en el sentido horizontal, para un mejor enfoque y que la información no se distorsione se recomienda usar aproximadamente a 300 mm cada toma de fotografía, como se muestra en la Figura 2.23. La forma de identificación de ancho y longitud está determinada a través de las regletas, una vez capturada la pantalla quiere decir que esa es la medida en escala real del cordón de soldadura vista en una franja de color verde.



Figura 2.28. Mediciones de ancho y longitud W1-W8
Fuente: Autor



Figura 2.29. Mediciones de ancho y longitud en probetas desde w11-w12
Fuente: Autor

2.3.4.2 Mediciones de Socavación en las juntas soldadas con Realidad Aumentada.

Se toman en cuenta las probetas w6 y w10 donde se evalúan por realidad aumentada las socavaciones en el material base con base a las referencias de color morado.



Figura 2.30. Mediciones de socavación en color morado en w6
Fuente: Autor



Figura 2.31. Mediciones de socavación en color morado en w10
Fuente: Autor

2.3.4.3 Mediciones de Porosidad en las juntas soldadas con realidad aumentada.

De la misma forma que en que se determina la porosidad en forma visual en la cámara también se puede identificar en la probeta w10 en este caso la zona que se evalúan toman un color blanco.

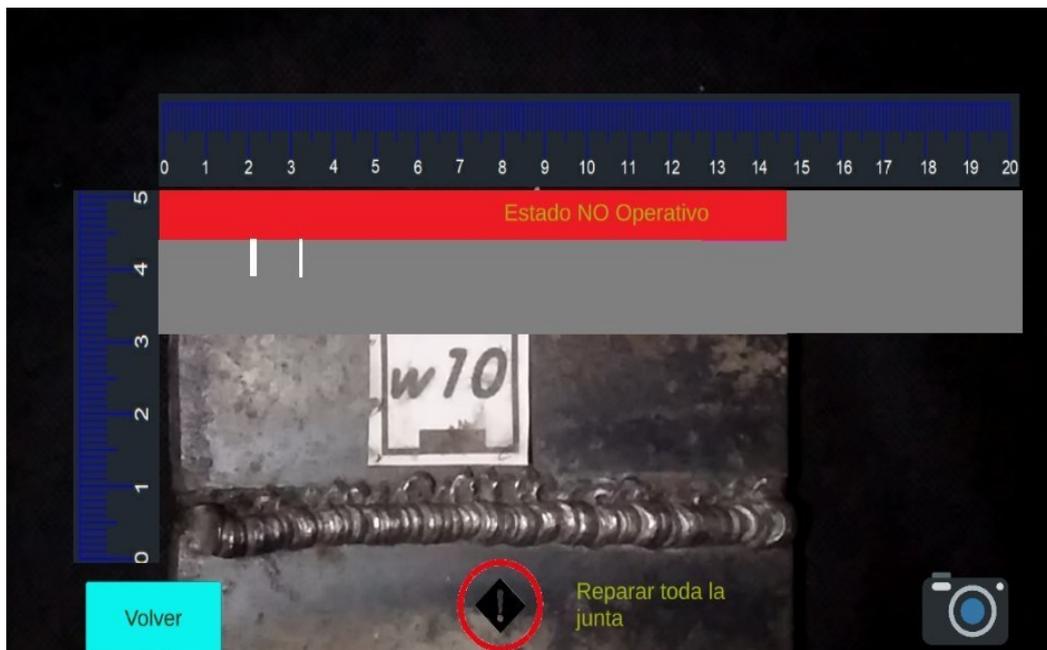


Figura 2.32. Mediciones de porosidad en w10
Fuente: Autor

2.3.4.4 Mediciones de la falta de fusión con Realidad Aumentada.

Para determinar la falta de fusión en los elementos utilizamos las probetas usadas en forma física como es el caso de la w1 y w3,



Figura 2.33. Mediciones de falta de fusión en w1
Fuente: Autor

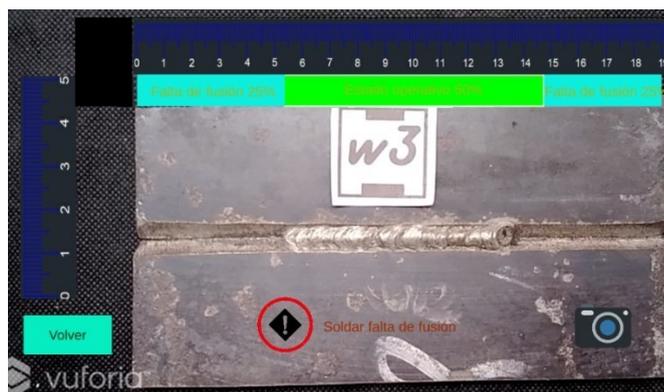


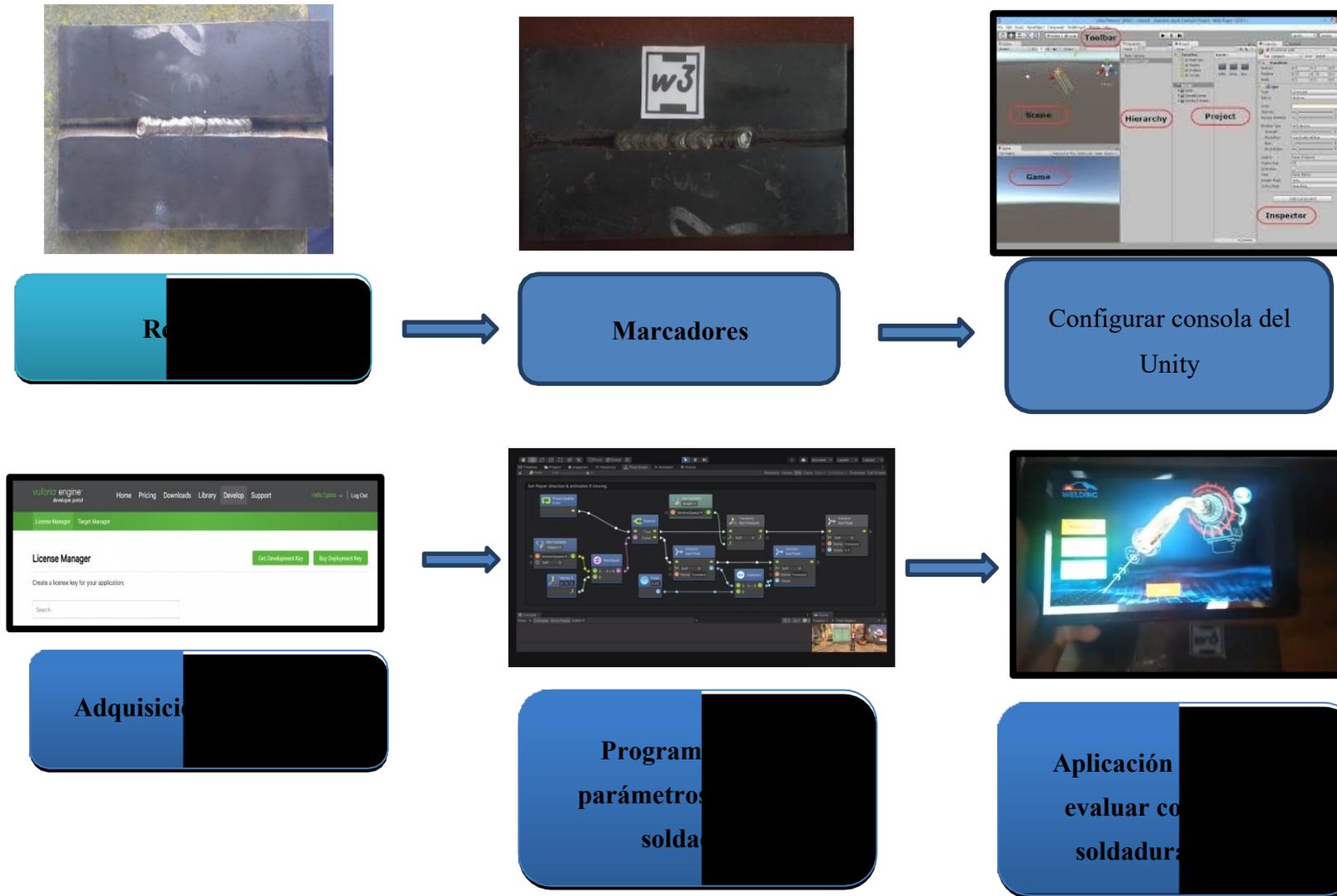
Figura 2.34. Mediciones de falta de fusión en w3
Fuente: Autor

La base fundamental de cada medición es la física de esta forma se mide cada uno de los parámetros en forma artificial, como se observa en la figura 2.27, las zonas medidas se representan en color turquesa corresponden a la falta de fusión, y también el color verde representa el cordón que está soldado.

A continuación, se representa el diagrama de proceso para la recolección de datos, el mismo que sirve para la programación en forma digital.

Los parámetros de programación se combinan con varios criterios vistos en este capítulo por lo que también se pueden observar en cada fotografía alertas mostradas en color rojo, como por ejemplo la palabra “Soldar falta de fusión”, entre otros.

2.2.4.5 Diagrama del proceso para evaluar calidad en soldadura a través de realidad aumentada.



2.5 Operacionalización de variables.

Tema: Evaluación de la calidad de procesos de soldadura a través de realidad aumentada

2.5.1 Variable independiente Evaluación de la calidad de procesos de soldadura.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	INDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Es la identificación de parámetros de revisión a través de normas de calidad para mejorar el proceso en la manufactura de la soldadura, con técnicas de inspección visual no convencionales digitalizadas en la realidad aumentada, en mejoras de la calidad del proceso y aporte a la industria 4.0	Proceso de soldadura MIG-FCAW	Metal base Transferencia spray	Argón + 2% O2	Aplicación del código estructural AWS D1.1
	Identificar el tipo de junta soldada más usada en la industria metalmecánica	Unión a tope empalmada	12 probetas en acero ASTM A36	Aplicación del código estructural AWS D1.1
	Visualizar las condiciones físicas del cordón soldado	Discontinuidades, salpicaduras, mordeduras, falta de fusión	Criterios de aceptación y rechazo	Visualización de parámetros

2.5.2 Variable dependiente.

Realidad aumentada

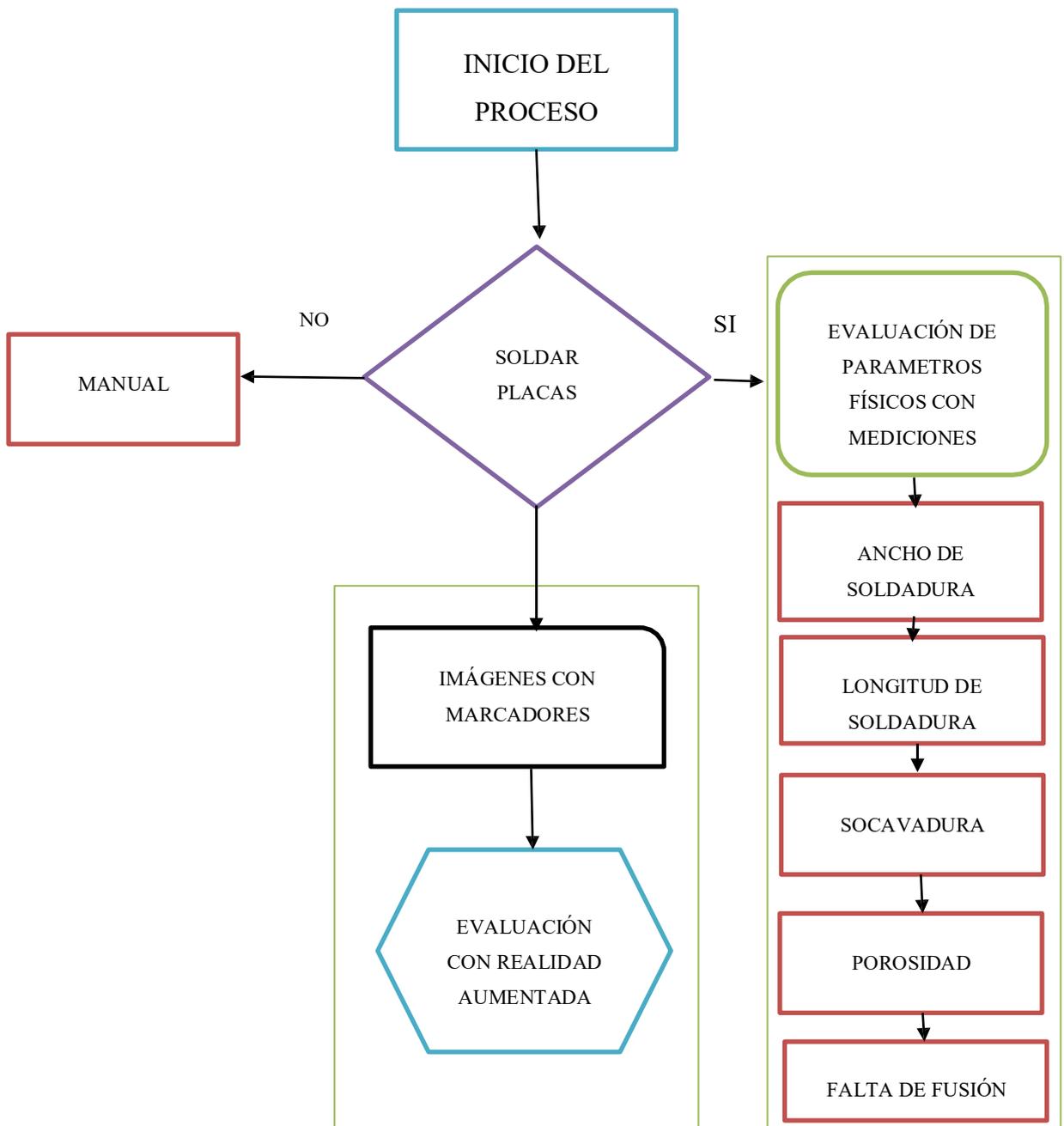
CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	INDICE	TECNICAS DE INSTRUMENTOS
Proceso en el que se conecta el mundo real con el digital a través de un código QR establecido con almacenamiento de imágenes visualizado con una cámara virtual con entorno de realidad aumentada	Técnicas de Realidad aumentada	Visualización del tipo de junta	Imagen en 3D	-Observación directa. - Bibliográfica.
		Memoria de discontinuidades superficiales	Imágenes con RA	- Método experimental - Ensayos preliminares. - Panel de control. - Ensayos preliminares
		Captura de pantalla	Grabar pantalla	- Panel de control - Observación directa.
	Aplicaciones móviles con Unity + Vuforia	Desarrollo en visual estudio	Información Escaneo Resultados	- Bibliográfica. - Método experimental - Ensayos preliminares

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

El presente trabajo identifica el proceso en un flujograma descifrando cada una de las variables.



3.1.1 Evaluación de parámetros físicos con mediciones.

3.3.1.1 Ancho de Soldadura.

Tabla 3.1 Mediciones de ancho de soldadura

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA						
ANCHO (a) DE SOLDADURA						
MATERIAL: ASTM A36		DIMENSIONES: 190X100X8 mm		PROCESO FCAW		
°N° PROBETA	METODO TRADICIONAL		REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)	RESULTADO /METODO TRADICIONAL	RESULTADO /METODO REALIDAD AUMENTADA	EVALUACIÓN FINAL
	Ancho (a) inicial en mm	Ancho(a) final en mm	Ancho (a) en mm	Ancho	Ancho aceptable	Cumple con los criterios SI/NO a>5 mm <18 mm
W1	11.20	12.75	12.75	Aceptable	Aceptable	SI
W2	15.10	14.90	15.00	Aceptable	Aceptable	SI
W3	7.10	8.80	7.00	Aceptable	Aceptable	SI
W4	14.45	13.50	13.00	Aceptable	Aceptable	SI
W5	13.00	13.00	13.00	Aceptable	Aceptable	SI
MATERIAL: ASTM A36		DIMENSIONES: 190X100X8 mm		PROCESO FCAW		
W6	26.00	14.9	26.00	Aceptable	Aceptable	NO
W7	12.50	11.00	11.00	Aceptable	Aceptable	SI
W8	11.70	11.70	10.00	Aceptable	Aceptable	SI
W9	17.10	16.10	16.00	Aceptable	Aceptable	SI
W10	11.3	9.20	12.00	Aceptable	Aceptable	SI
W11	12.9	13.00	13.00	Aceptable	Aceptable	SI
W12	17.9	17.00	18.00	Aceptable	Aceptable	SI

Fuente: Autor

En el presente análisis se define las mediciones de ancho de soldadura y sus resultados utilizando el método tradicional de inspección y el método propuesto por realidad aumentada, las unidades utilizadas son milímetros, las probetas utilizadas son desde la w1 hasta la w5 de 190x100x8mm y de w6 hasta w12 de 150x100x8mm.

Los resultados de este análisis son de tres, el método tradicional de control de calidad, luego el realizado por la realidad aumentada, y finalmente el que se evalúa con el criterio de inspección. En la probeta w6 los dos análisis son aceptables porque cumplen con los parámetros de medición, sin embargo, al evaluar con el criterio de aceptación no cumple por lo tanto se puede descartar ese tipo de cordón como no operativo.

3.3.1.2 Longitud de Soldadura.

Al tratarse de la longitud del cordón de soldadura, se realiza las mediciones en los dos grupos de probetas desde la w1 hasta la w5 que corresponden a longitudes de 150x100x8 mm de espesor, de la misma forma se obtienen dos tipos de resultados,

el primero está basado en el método tradicional y el otro método está obtenido por ensayos con la cámara del dispositivo de realidad aumentada.

Tabla 3.2 Mediciones de longitud de soldadura

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA					
LONGITUD DE SOLDADURA (L) en mm					
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 190x100x8 mm	PROCESO FCAW		
*N° PROBETA	METODO TRADICIONAL	REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)	RESULTADO /METODO TRADICIONAL	RESULTADO /METODO REALIDAD AUMENTADA	Cumple con los criterios SI/NO Longitud L > 40 mm ó 6*a
W1	130.00	135.00	Aceptable	Aceptable	SI
W2	186.00	187.00	Aceptable	Aceptable	SI
W3	82.00	85.00	Aceptable	Aceptable	SI
W4	183.00	185.00	Aceptable	Aceptable	SI
W5	184.00	184.00	Aceptable	Aceptable	SI
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 150x100x8 mm	PROCESO FCAW		
W6	147.30	148.00	Aceptable	Aceptable	SI
W7	149.00	150.00	Aceptable	Aceptable	SI
W8	148.90	149.00	Aceptable	Aceptable	SI
W9	149.00	150.00	Aceptable	Aceptable	SI
W10	145.00	145.00	Aceptable	Aceptable	SI
W11	144.50	145.00	Aceptable	Aceptable	SI
W12	148.00	148.00	Aceptable	Aceptable	SI

Fuente: Autor

De acuerdo con las mediciones por los dos métodos en los dos grupos dan como resultado aceptable, por lo que en los criterios planteados también cumplen con las mínimas exigencias.

3.3.1.3 Socavación en soldaduras.

Tabla 3.3 Mediciones de Socavación de soldadura

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA					
SOCAVACIÓN EN SOLDADURA					
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 190x100x8 mm	PROCESO FCAW		
*N° PROBETA	METODO TRADICIONAL	REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)	RESULTADO /METODO TRADICIONAL	RESULTADO /METODO REALIDAD AUMENTADA	Cumple con los criterios SI/NO Socavadura smín ≤ 0.8 mm (metal base), smáx ≤ 1.6 mm, L acum ≥ 50 mm
W1	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W2	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W3	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W4	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W5	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 150x100x8 mm	PROCESO FCAW		
W6	7.00	7.00	Aceptable	Aceptable	NO
W7	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W8	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W9	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W10	30.00	30.00	Aceptable	Aceptable	NO
W11	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W12	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI

Fuente: Autor

En las probetas w6 y w10 el resultado de las mediciones por el método tradicional y el método propuesto son aceptables, sin embargo, en la evaluación planteada con el criterio de aceptación no cumplen, por lo tanto, no estarán en estado operativo.

3.3.1.4 Porosidad en soldaduras.

Tabla 3.4 Mediciones de Porosidad en soldadura

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA							
POROSIDAD EN							
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 190x100x8 mm			PROCESO		
*N° PROBETA	DIAMETRO (mm)	METODO TRADICIONAL # poros	DIAMETRO (mm)	REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)	RESULTADO /METODO TRADICIONAL	RESULTADO /METODO REALIDAD AUMENTADA	Cumple con los criterios SI/NO Porosidad visible $p_{min} \leq 0.8 \text{ mm}$ $p_{max} \leq 19 \text{ mm}$, $L_{cum} = 300$
W1	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W2	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W3	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W4	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W5	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 150x100x8 mm			PROCESO		
W6	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W7	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W8	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W9	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W10	1.20	2.00	1.20	2.00	Aceptable	Aceptable	SI
W11	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W12	N/A	0.00	N/A	0.00	Aceptable	Aceptable	SI

Fuente: Autor

En la probeta w10 se localizan 2 poros de 1.20 de diámetro, dando como resultado aceptable para los dos métodos y en la evaluación cumple con los parámetros planteados.

3.3.1.5 Falta de fusión en soldaduras.

Tabla 3.5 Mediciones de Falta de fusión en soldadura

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA					
FALTA DE FUSIÓN EN SOLDADURA					
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 190x100x8 mm		PROCESO FCAW	
*N° PROBETA	METODO TRADICIONAL	REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)	RESULTADO /METODO TRADICIONAL	RESULTADO /METODO REALIDAD AUMENTADA	Cumple con los criterios SI/NO Todos los bordes deben estar soldados
W1	60.00	60.00	Aceptable	Aceptable	NO
W2	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W3	37.50	37.50	Aceptable	Aceptable	NO
W4	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W5	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 150x100x8 mm		PROCESO FCAW	
W6	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W7	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W8	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W9	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W10	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W11	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI
W12	0.00	0.00	Aceptable	Aceptable	SI

Fuente: Autor

Para motivos de esta evaluación todos los cordones deben estar soldados y los bordes que no se encuentren soldados se consideran no operativos.

3.3.1.6 Tiempo de Inspección.

Tabla 3.6 Tiempo de Inspección

ANÁLISIS DE MEDICIONES POR EL MÉTODO TRADICIONAL Y MEDIANTE REALIDAD AUMENTADA		
TIEMPO DE INSPECCIÓN minutos		
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 190x100x8 mm
*N° PROBETA	METODO TRADICIONAL	REALIDAD AUMENTADA (Cámara a 300 mm)
W1	1.00	0.15
W2	1.30	0.15
W3	1.45	0.15
W4	2.00	0.10
W5	2.00	0.20
MATERIAL: ASTM A36		Probeta: 150x100x8 mm
W6	0.45	0.25
W7	1.00	0.25
W8	1.00	0.25
W9	1.00	0.25
W10	3.00	0.30
W11	1.00	0.25
W12	1.25	0.20

Fuente: Autor

El tiempo se mide en minutos en los dos grupos de probetas

3.1.1.1 Presentación gráfica de los datos.

3.1.1.2 Representación gráfica del ancho de soldadura.

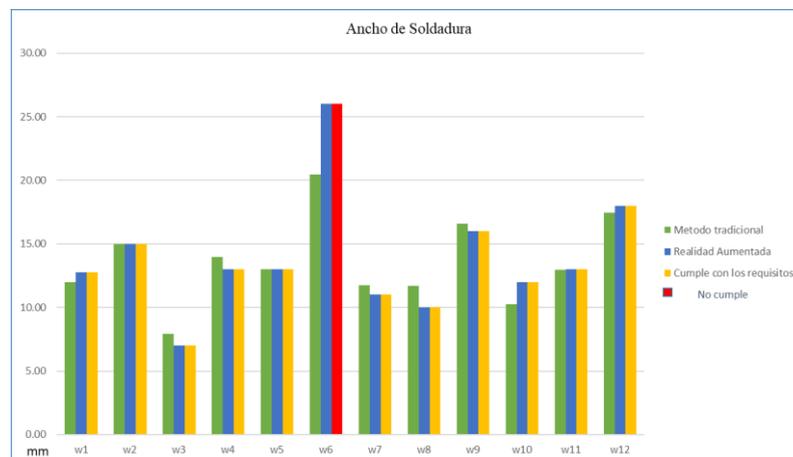


Figura 3.1. Evaluación de ancho de soldadura

Fuente: Autor

3.1.1.3 Representación gráfica de longitud de soldadura.

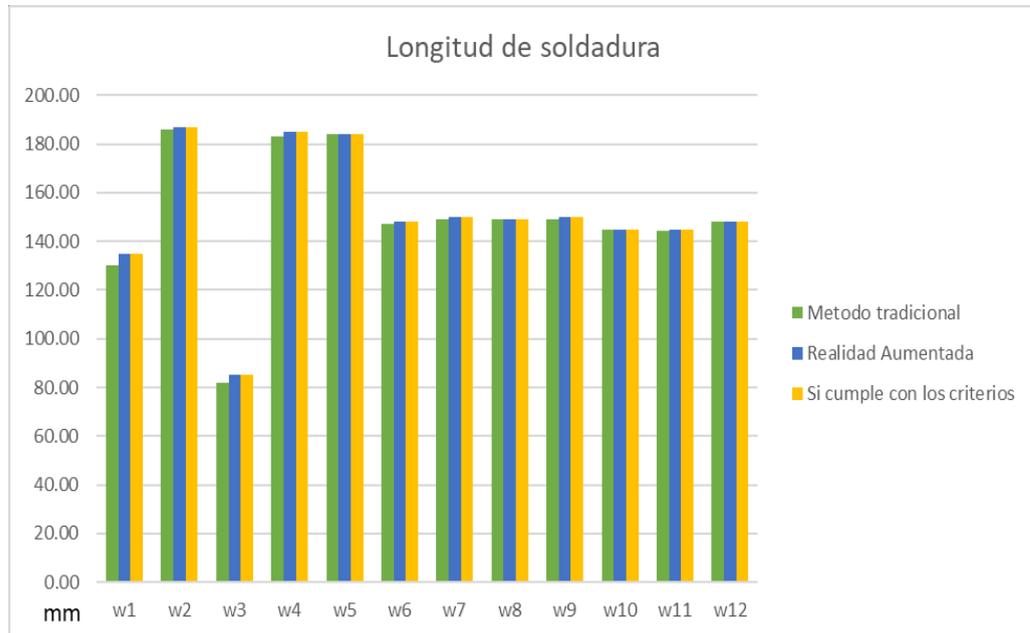


Figura 3.2. Evaluación de Longitud de soldadura
Fuente: Autor

3.1.1.4 Representación gráfica de socavación en soldadura.



Figura 3.3. Socavación en soldadura
Fuente: Autor

3.1.1.5 Representación gráfica de poros en soldadura.

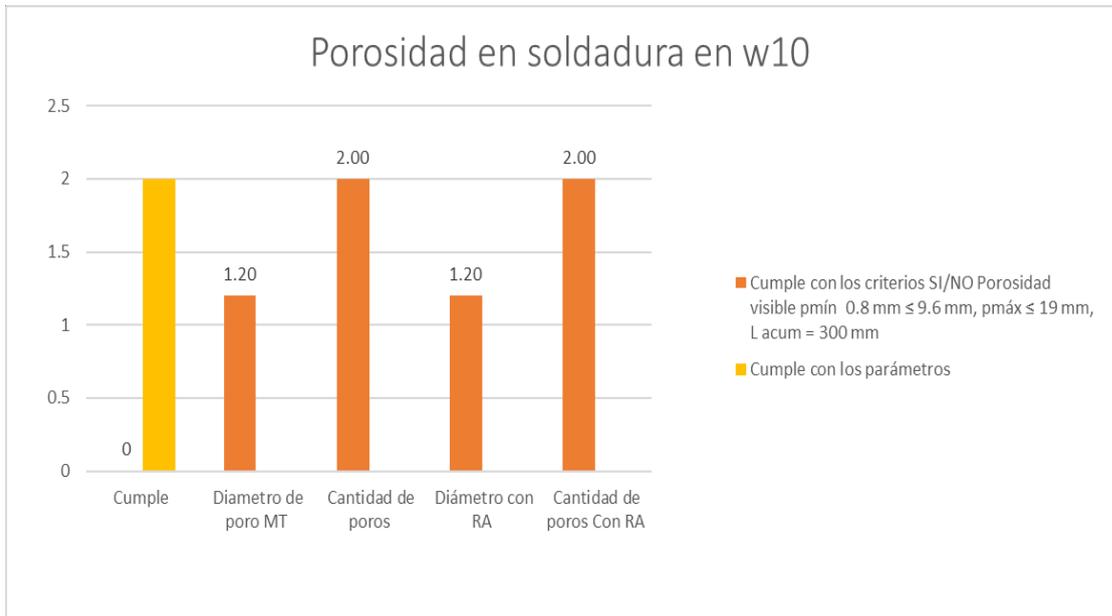


Figura 3.4. Porosidad en soldadura

Fuente: Autor

La medición de porosidad se realiza únicamente en la probeta w10 ya que es la única que presenta porosidad.

3.1.1.6 Falta de fusión en soldadura.

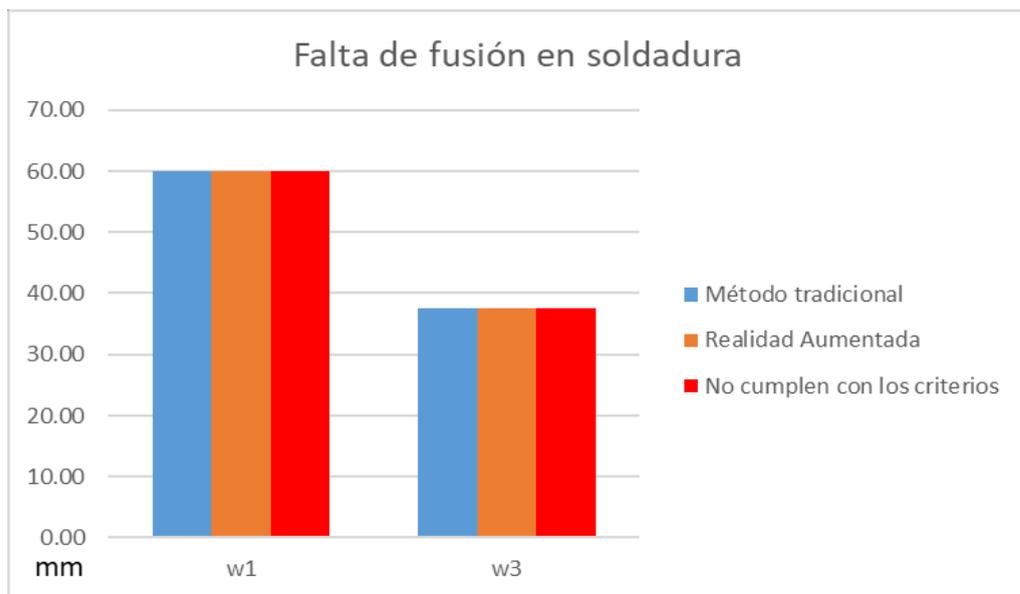


Figura 3.5 Falta de fusión en soldadura

Fuente: Autor

3.1.1.7 Tiempo de Inspección.

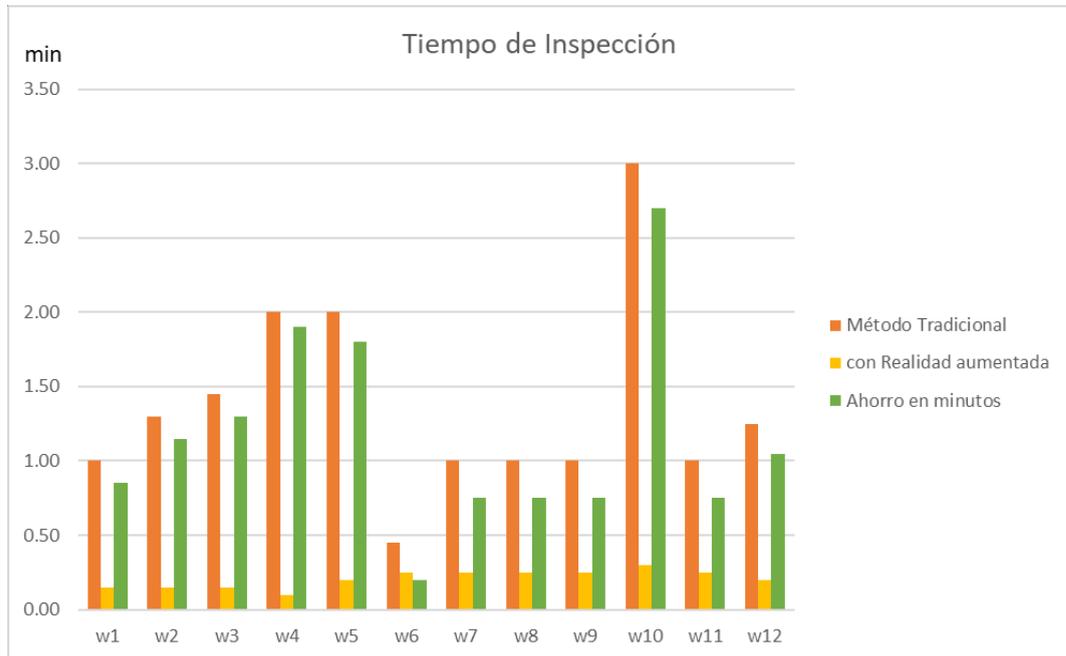


Figura 3.6 Tiempo de Inspección en soldadura
Fuente: Autor

3.1.1.8 Resultados de evaluación.

En la Figura 3.1 en cuanto al ancho de soldadura en la probeta w6 debe repararse toda la junta, sin embargo, en la longitud cumple con los parámetros establecido, por, o que se reparará a la misma longitud y al ancho que cumpla.

En la socavación de soldadura se reparará únicamente la distancia en mm observada en la Figura 3.3.

En cuanto a porosidad en soldadura vista en Figura 3.4, solamente se deberá pulir y revisar su continuidad.

La falta de fusión vista en la Figura 3.5, no cumple con los criterios si embargo se tiene que completar la distancia requerida.

El ahorro de tiempos de inspección es una de las ventajas que brinda la aplicación, el tiempo mínimo de uso por probeta es de apenas 0.15 minutos (9 segundos), lo que ayudará a determinar en menor tiempo el análisis por realidad aumentada.

A continuación, se tiene en la siguiente tabla el resumen del análisis de todas las juntas soldadas

Tabla 3.0 Resumen de los resultados de evaluación

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE EVALUACIÓN																
PROBETA	Ancho de Soldadura			LONGITUD			SOCAVADURA			POROSIDAD			FALTA DE FUSIÓN			RESULTADOS DE LA OBSERVACIÓN
	MT	RA	OBSERVACIÓN	MT	RA	OBSERVACIÓN	MT	RA	OBSERVACIÓN	MT	RA	OBSERVACIÓN	MT	RA	OBSERVACIÓN	
	w1	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	
w2	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w3	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	L	OPERATIVO
w4	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w5	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w6	SI	SI	G	SI	SI	N	SI	SI	G	SI	SI	N	SI	SI	N	NO OPERATIVO
w7	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w8	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w9	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	G	SI	SI	N	SI	SI	N	NO OPERATIVO
w10	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	L	SI	SI	N	OPERATIVO
w11	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
w12	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	SI	SI	N	OPERATIVO
			OBSERVACIONES	G	GRAVES		REPARAR		ESTADO NO OPERATIVO							
				L	LEVES		PULIR, RELLENAR, LIMPIAR		OPERATIVO							
				N	NINGUNA		NO HACER NADA		OPERATIVO							

Fuente: Autor

3.2 Verificación de la Hipótesis.

3.2.1 Hipótesis nula H_0

El desarrollo de una aplicación tecnológica utilizando realidad aumentada que ayude al proceso del control la calidad en soldadura no influirá en la calidad de la junta

3.2.2 Hipótesis Alternativa H_1

El desarrollo de una aplicación tecnológica utilizando realidad aumentada que ayude al proceso del control la calidad en soldadura si influirá en la calidad de la junta

3.2.3 Planteamiento de la hipótesis.

$$H_0 = 0$$

$$H_1 \neq 0$$

3.2.4 Decisiones.

$$p \geq \alpha \text{ acepta } H_0$$

$$p < \alpha \text{ rechaza } H_0$$

3.2.5 Prueba de Hipótesis.

Tabla 3.1 Muestras coincidentes entre los dos métodos

MUESTRAS COINCIDENTES ENTRE EL MÉTODO TRADICIONAL Y REALIDAD AUMENTADA			
N° Mediciones	Descripción	Número de Coincidencias	No coincidencias
1	Ancho	7	5
2	Longitud	9	3
3	Socavadura	2	0
4	Porosidad	1	0
5	Falta de fusión	2	0
Total		21	8

Fuente: Autor

En la Tabla 3.1, el valor total de las coincidencias es superior al número de no coincidencias, entonces asumimos el nivel de confianza = 95%, y el margen de error al 5%, o alfa = 0.05. Para la prueba “T” de Student de medias para dos muestras emparejadas tomando en cuenta el número de veces que coinciden obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 3.2 Medias para dos muestras emparejadas

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Conciden</i>	<i>No Conciden</i>
Media	4.2	1.6
Varianza	12.7	5.3
Observaciones	5	5
Coefficiente de correlación de Pearson	0.865403313	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	2.98240454	
P(T<=t) una cola	0.020321044	
Valor crítico de t (una cola)	2.131846786	
P(T<=t) dos colas	0.040642089	
Valor crítico de t (dos colas)	2.776445105	

Fuente: Autor

3.2.6 Decisión estadística.

Para tomar decisiones estadísticas es importante conocer el aporte que tienen estos valores en la proyección del proyecto, lo que significa el número de coincidencias aplicando los dos métodos del estudio, lo que quiere decir que hay efectos mínimos en el $P(T \leq t \text{ dos colas})$ valor que es de $0.04 \leq 0.05$ del valor de α , así mismo en los valores podemos verificar el valor P (coeficiente de correlación de Pearson) es de $0.865 \leq t$ estadístico, por lo que según el número de coincidencias el desarrollo de la aplicación tecnológica utilizando realidad aumentada ayudará al proceso del control la calidad en soldadura, es decir se rechaza la hipótesis nula H_0 , y se acepta la hipótesis H_1 para este estudio.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.1 Descripción.

En el presente trabajo se desarrolla una aplicación móvil en sistema Android a partir de juntas soldadas a tope, tomando en consideración parámetros de control de calidad de la norma AWS D1.1/AWS D1.1M/2015 de la tabla 6.1, cuyos parámetros servirán para establecer criterios de aceptación y rechazo conforme a la obtención de la calidad en cordones de soldadura así como también realizar el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten obtener datos de control de calidad en forma rápida y eficaz, en este proyecto se menciona a la realidad aumentada como la tecnología del futuro asociada a la mejora de procesos continuos como es la calidad en la soldadura.

4.2 Objetivos.

4.2.1 Objetivo General.

Desarrollar una aplicación para dispositivos Android con realidad aumentada para evaluar la calidad en los procesos de soldadura FCAW (Alambre Tubular Relleno de Fundente).

4.2.2 Objetivos Específicos.

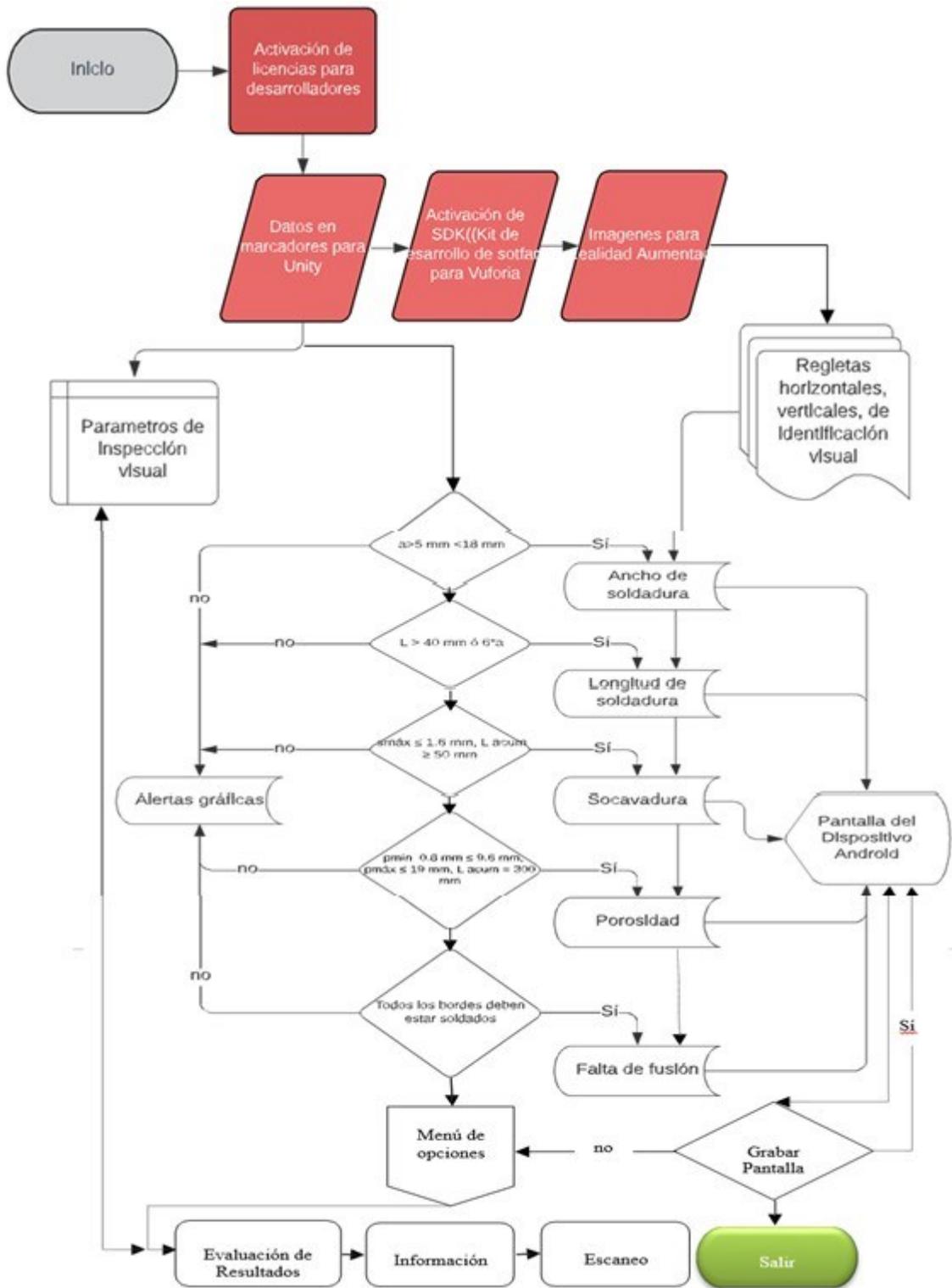
4.2.2.1 Adquisición y configuración de licencias para el desarrollo y programación en Unity-Vuforia-Visual estudio 2019.

4.2.2.2 Transformación digital de imágenes a marcadores de información para enlace al dispositivo Android.

4.2.2.3 Desarrollo de la programación en la consola del Unity - Vuforia de los parámetros de inspección visual de ancho, longitud, socavaduras; porosidades y falta de fusión en soldadura FCAW.

Se realiza en forma programada para dar cumplimiento al 100% del desarrollo de la propuesta.

4.2.3 Flujograma de programación para el desarrollo de la aplicación.



Fuente: Autor

4.3 Desarrollo de la aplicación móvil con realidad aumentada.

4.3.1 Adquisición de licencias para desarrolladores.

Este tipo de licencias se adquieren en una forma gratuita, simplemente al suscribirse a la página que lanza el software, en este proyecto se adquiere ingresando los marcadores o también QR y registrando estas imágenes en la página general del software, en el momento que se registra el QR nos habilitan las licencias



Figura 4.1. Página de registro de adquisición de licencias

Fuente: <https://developer.vuforia.com>

4.3.2 Creación de marcador para identificar parámetros de calidad en el cordón de soldadura.

Este marcador nos permite almacenar datos de inspección como ancho, longitud, socavación, porosidad, falta de fusión en los cordones de soldadura, la base de datos de este marcador es grande y podemos digitalizar miles de datos, estos van enlazados a la pantalla del ordenador.

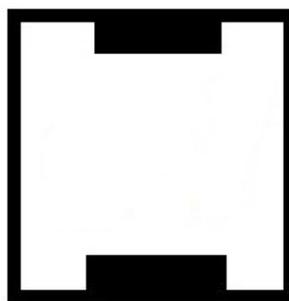


Figura 4.2. Marcadores usados para evaluar cordones soldados

Fuente: Autor

Para obtener la digitalización de estos marcadores es importante conocer en donde va ubicado el marcador, así que se activan los comandos “image target” para el

marcador, se puede observar en la figura 4.3 el funcionamiento y activación de este marcador en la consola del Unity.

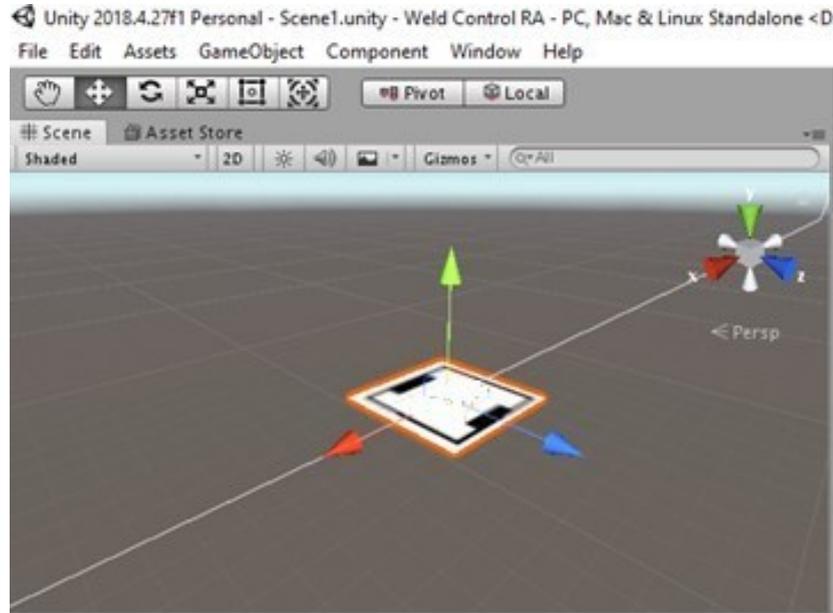


Figura 4.3 Ubicación de marcador en Unity
Fuente: Autor

4.3.3 Activación de un SDK(Kit de desarrollo de software) de Vuforia.

Es necesario complementar el desarrollo de los primeros pasos con este complemento ya que si no se hace con Vuforia no se activan los programadores de movimiento para órdenes y las configuraciones para Android podrían tener futuros problemas, es así que en la consola del unity se tiene que activar como se muestra en la Figura 4.4.

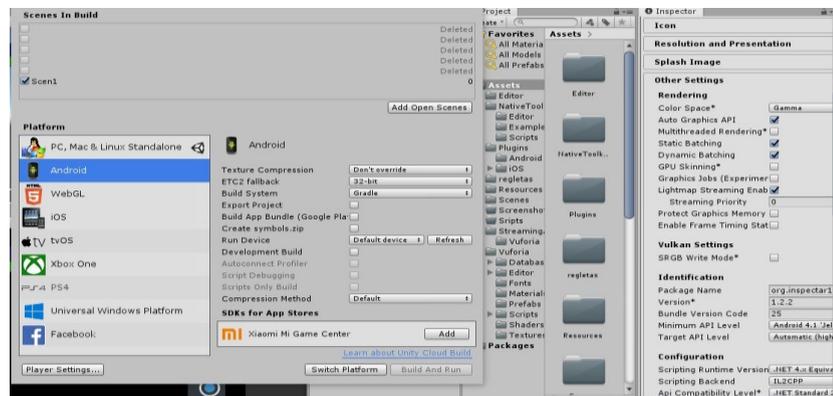


Figura 4.4 Activación de SDK de Vuforia
Fuente: Autor

4.3.4 Configuración de ventana de salida para 1280x720 pixeles

En la consola del Unity se idéntica el dispositivo en donde se realiza el proceso, también se configura los pixeles de acuerdo al requerimiento del desarrollador, una de las técnicas más utilizadas es desactivar la cámara del Unity y activar la cámara de la realidad aumentada, así la configuración es simple y practica en donde se utiliza los mandos de la Figura 4.5

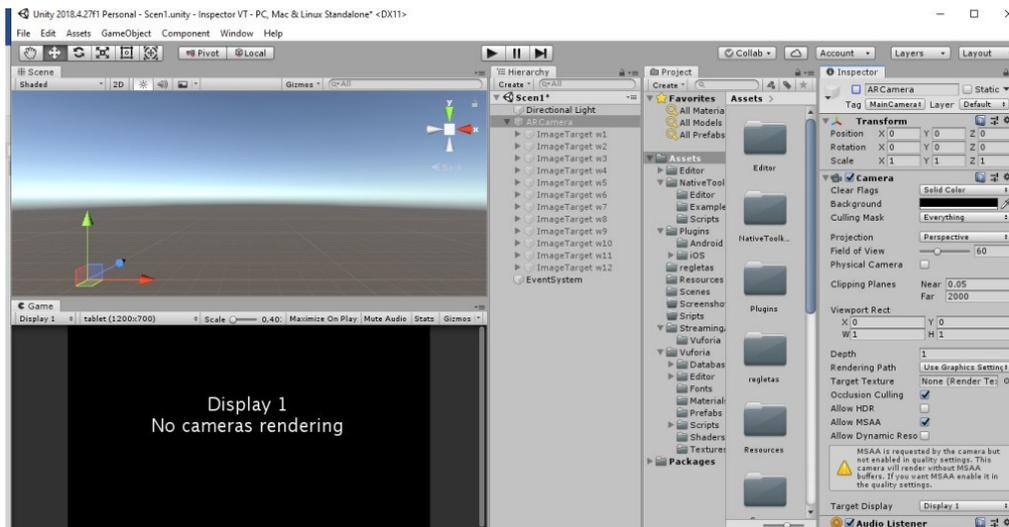


Figura 4.5. Display de 1280x720 pixeles
Fuente: Autor

El display de la consola mostrará la desconexión de la cámara del Unity por lo que ya se podrá activar la realidad aumentada y todo lo que se vaya implementando en esta ventana.

4.4 Implementación de imágenes de medición

4.4.1 Ancho de soldadura

Se crea una regleta vertical la misma que es diseñada a escala 1:1, esta regleta va a ir ubicada en la parte izquierda de la pantalla, se decide hacer una configuración estática ya que el usuario no podrá modificar el tamaño y el movimiento, cada línea está definida para 1 mm y la longitud de esta regleta está entre los 50 mm, como se observa en la Figura 4.5. También se considera la transparencia de la regleta en cada configurando la ventana de opciones en el menú Canvas.

Esta regla permite medir el ancho de soldadura a una distancia de 300 mm desde la superficie del dispositivo, con el uso de esta configuración se definirá el primer paso de la evaluación virtual enfocando directamente en la soldadura.

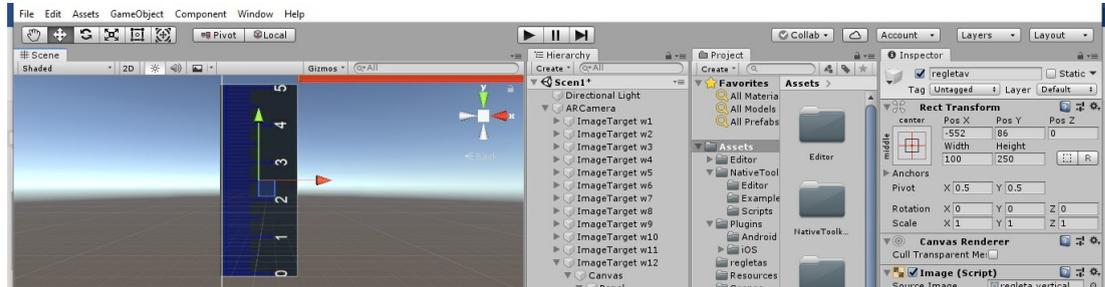


Figura 4.6. Regleta vertical para medición de ancho de soldadura
Fuente: Autor

4.4.2 Longitud de soldadura

Se diseña una regla en forma horizontal, la misma que permite abarcar la parte horizontal de la ventana de 1280x800 pixeles, de la misma forma como la regla vertical está configurada a la escala 1:1, restringida de movimiento y rotación su uso es a partir de 300 mm desde la superficie de la cámara del dispositivo hasta la soldadura, el ancho de esta regla es de 10mm y la longitud es de 200mm marcada cada centímetro, su funcionamiento es para medir longitud de soldadura.

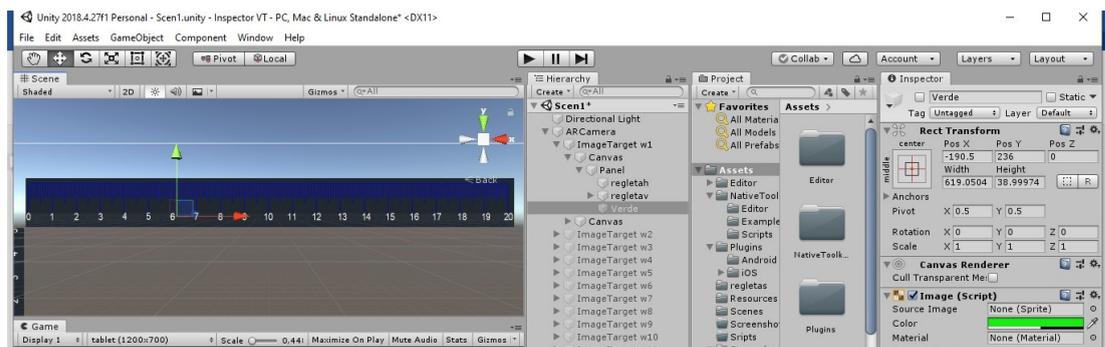


Figura 4.7. Regleta vertical para medición de ancho de soldadura
Fuente: Autor

4.4.3 Socavadura en soldadura

Se diseña un botón desplegable en forma horizontal en donde el usuario podrá verificar la distancia de socavación en mm a lo largo de la regla horizontal, su uso es manual y automático puede desplegar e ir sumando cada 200 mm la socavación o

mordedura en cada cordón como muestra la Figura 4.8, así mismo la identificación va a ser enlazada a otro botón en forma de cámara para su almacenamiento en una carpeta del dispositivo llamada “Screenshot” y captura de pantalla, el enlace de esta opción es programada en visual estudio 2019 el mismo que trabaja con Unity 2018.24.f1.

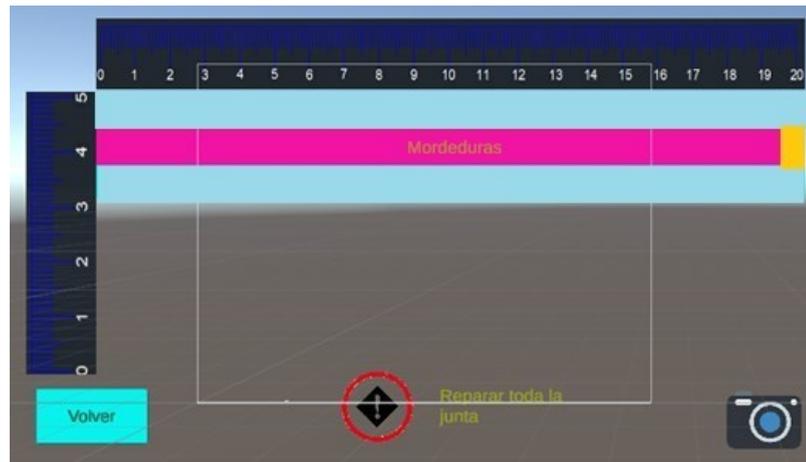


Figura 4.8. Regleta vertical para medición de socavación de soldadura
Fuente: Autor

4.4.3.1 Scripts de programación para socavaciones en soldadura.

Los enlaces programados o llamados scripts usados en este caso son generados en Unity y la edición se realiza en Visual estudio, dentro de estos algoritmos están los más conocidos en programación como son las variables públicas llamadas “void”.

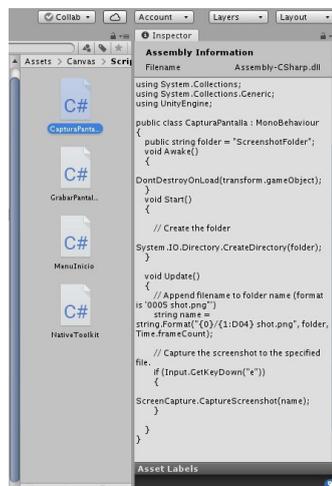


Figura 4.9. Scripts de programación para opciones de inspección
Fuente: Autor

4.4.4 Porosidad en Soldadura

Estas mediciones se realizan en forma visual de la misma forma que la socavación, está identificada con una franja de color celeste.

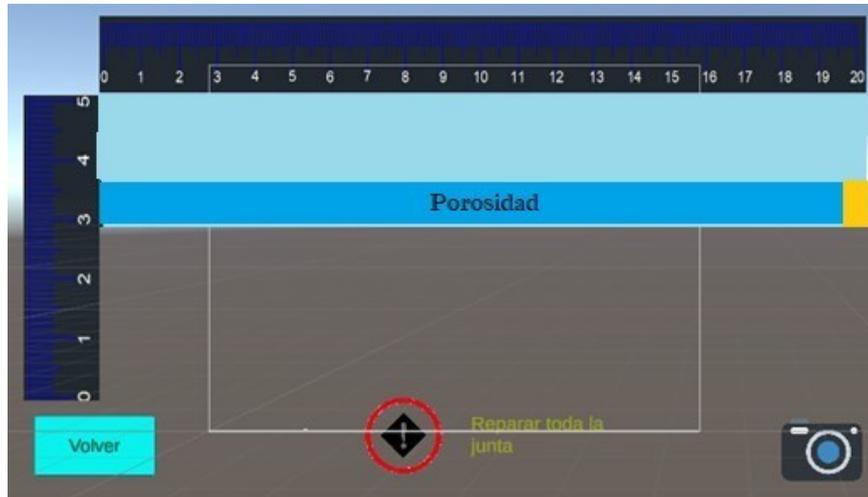


Figura 4.10. Franja Horizontal para evaluar Porosidad
Fuente: Autor

El número de poros estará identificado en la franja y su lectura se realizará en la regleta horizontal.

4.4.4.1 Scripts de programación para porosidad en soldadura

Este script permitirá capturar todo el proceso de evaluación de la porosidad, almacenando cada una de la información y su uso adecuado en la pantalla.

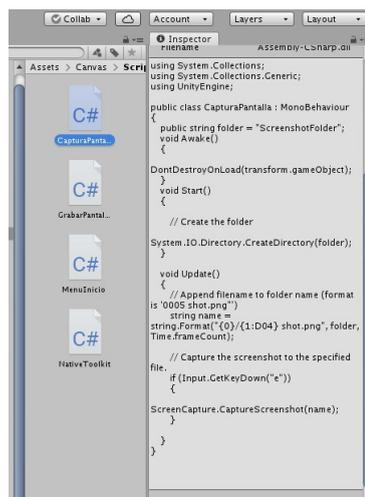


Figura 4.11. Scripts de programación para opciones almacenamiento de información en porosidad de soldadura

Fuente: Autor

4.4.5 Falta de fusión

Considerada en este proyecto como la falta de soldadura en los bordes, esta banda de color rojo es la que permitirá al usuario mover de acuerdo al momento que está evaluando siendo la herramienta de manipulación que se activa con el “touch desplegable”, su uso está proyectado a lo largo de la regla horizontal la misma que determinará su funcionalidad del cordón.

Así mismo su el uso de esta herramienta se determinará a 300 mm desde la pieza a ser evaluada hasta el filo de la cámara del dispositivo móvil.

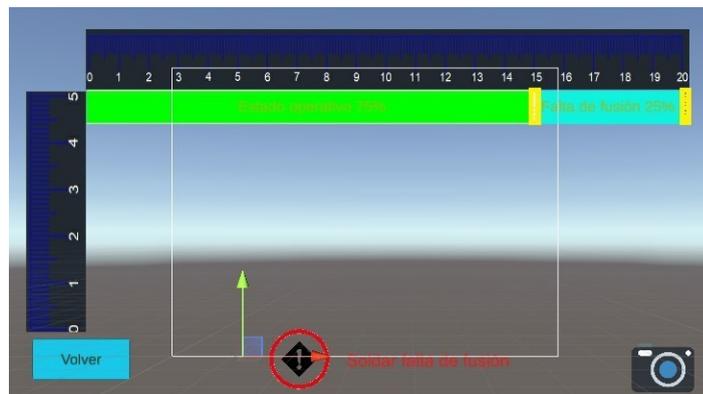


Figura 4.12. Franja Horizontal para evaluar Falta de fusión

Fuente: Autor

También se incorpora una regla horizontal para el cordón soldado en donde se puede también desplegar y hacer uso de las dos para mayor facilidad del usuario.

4.4.6 Almacenamiento y salida de datos

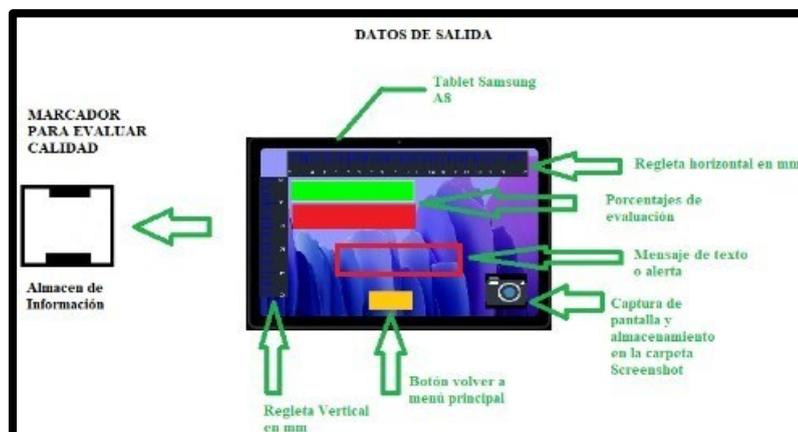


Figura 4.13. Almacenamiento en marcador de Realidad Aumentada

Fuente: Autor

El uso adecuado de estas herramientas permite grabar las opciones en scripts de programación, estos enlaces van conectados a un botón de la función “Grabar pantalla” enlace en el cual se define toda la evaluación de captura de pantalla, almacenamiento de información en carpetas, enlaces con Android, todo a través de un solo marcador como muestra la Figura 4.13, mientras que la salida de datos se programa en la consola del Unity como se muestra en la Figura 4.14.

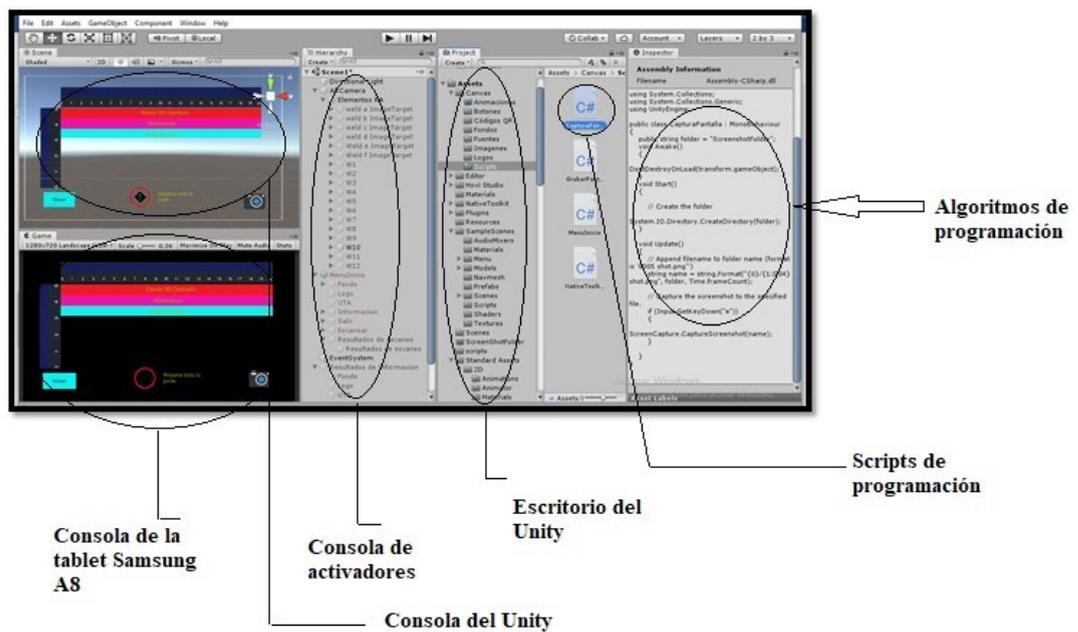


Figura 4.14. Salida de Datos con programación en Unity + Vuforia

Fuente: Autor

4.4.7 Datos para el usuario

4.4.7.1 Grabar datos

En la parte derecha de la pantalla se define la herramienta más importante de la aplicación, se diseña en forma de cámara la misma que permite capturar la evaluación y a través de algoritmos de programación enviar a dos carpetas en el dispositivo móvil creadas automáticamente en la descarga de la aplicación móvil como se observa en las Figuras 4.15 y 4.16.

Esta herramienta está programada para hacer capturas en forma secuencial solamente grabará la pantalla cuando el usuario presione una vez y capturará la información cuando presione 2 veces seguidas.

La activación de esta herramienta se realiza en forma automática cuando el dispositivo móvil ha detectado el marcador que está ubicado en la soldadura.

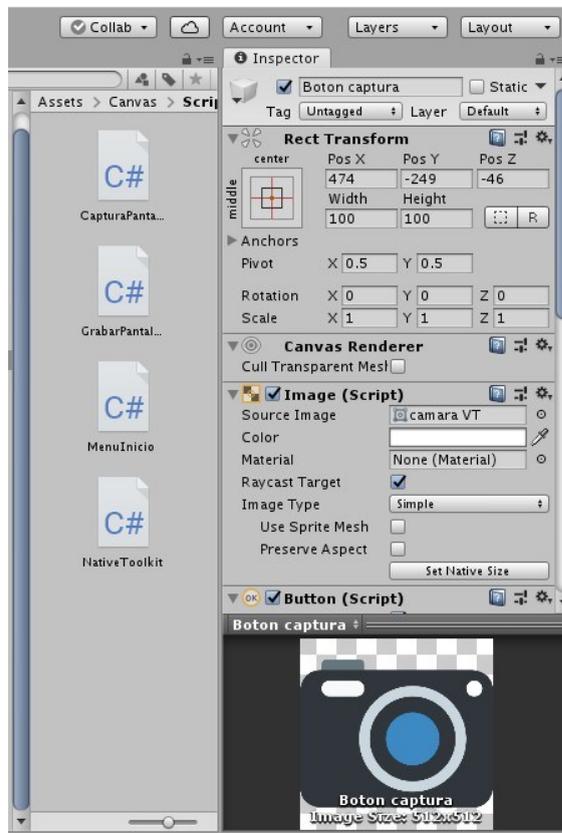


Figura 4.15. Botón Captura y Grabar datos
Fuente: Autor

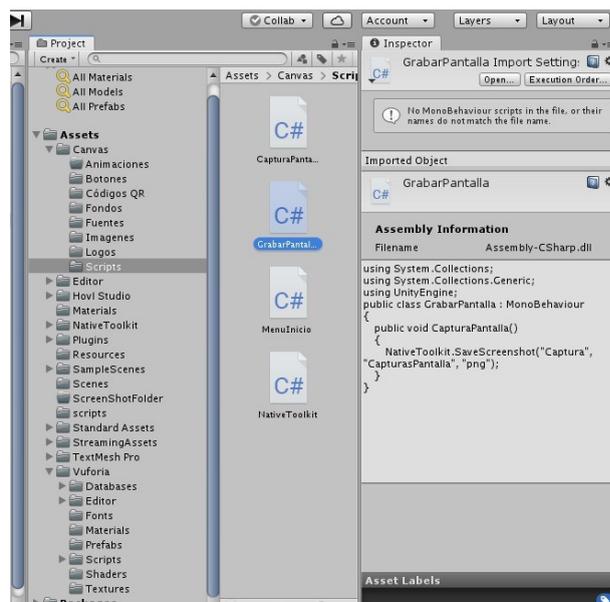


Figura 4.16. Carpetas de almacenamiento
Fuente: Autor

4.4.8 Menú de Usuario

Se diseña una pantalla de menú para mejorar la presentación se usa las opciones de menú: Información, escanear, resultados de escaneo, salir.



Figura 4.17. Menú de Usuario

Fuente: Autor

4.4.8.1 Menú Información

El usuario puede presionar en el botón de información en el que se despliega el contenido textual de la aplicación, explica acerca de la realidad aumentada y el control de calidad utilizados en la industria.



Figura 4.18. Información de la aplicación

Fuente: Autor

4.4.8.2 Menú Escanear

En esta opción el usuario presiona en el botón escanear y empieza a buscar marcadores o códigos QR de programación esta opción indispensable ya que si no escanea no podrá evaluar y tampoco obtendrá los resultados de escaneo.



Figura 4.19. Pantalla de escaneo

Fuente: Autor

4.4.8.3 Resultados de escaneo

Esta opción está enlazada a la opción escaneo, es el resumen de escaneo de juntas soldadas identificadas, también identifica los porcentajes de inspección realizados y emite criterios de aceptación y rechazo del escaneo.



Figura 4.20. Resultados de escaneo

Fuente: Autor

4.4.8.4 Menú Salir y Volver

Este botón se utiliza para salir de la aplicación y volver al menú principal



Figura 4.21. Botones de Salida

Fuente: Autor

4.4.9 Diseño de un logo

Considerando el uso del proceso FCAW se crea un logo para representación inicial en la pantalla de un sistema Android 9.0



Figura 4.22. Logo de inicio de la aplicación móvil
Fuente: Autor

4.4.9.1 Enlace Unity+Vuforia al sistema Android 9.0 de una Tablet Samsung Galaxy S4 utilizando Buid Setings

Es importante conocer la configuración de la Tablet como desarrollador Android el sistema permite el enlace directo a través de un comando llamado “Buid Setings”el que permite desarrollar aplicaciones móviles y descargar a la pantalla en forma directa sin la necesidad de estar conectado al internet

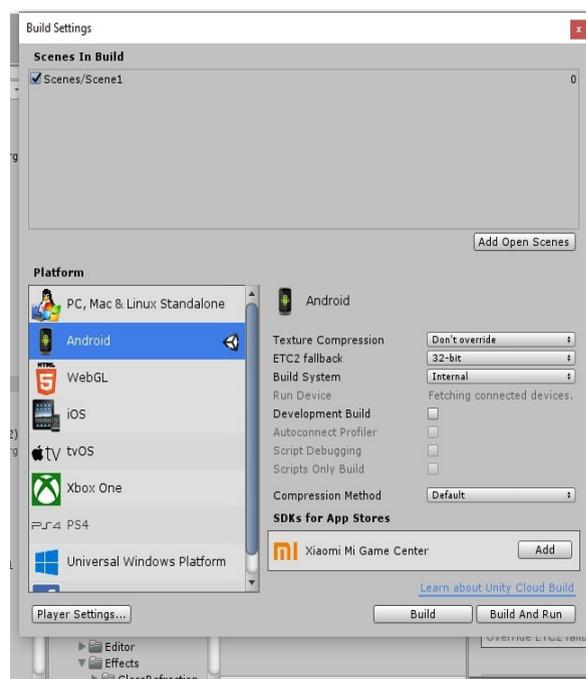


Figura 4.23. Enlace con el sistema Android
Fuente: Autor

4.5 Funcionamiento de la aplicación móvil en Tablet Samsung

En control de calidad hay varias alternativas de uso de la realidad aumentada, por el avance de esta tecnología de desarrollo e innovación se decide probar en una Tablet de última generación con un sistema Android 10.0, por lo que el objetivo es brindar al operador o supervisor de obra la información necesaria, conforme al proceso de soldadura aplicado.



Figura 4.24. Weld Control RA aplicación móvil
Fuente: Autor

4.5.1 Aplicación móvil en el dispositivo Andorid Samsung Galaxy

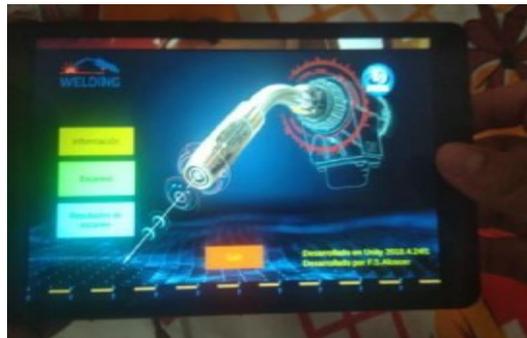


Figura 4.25. Menú de opciones en Tablet Samsung Galaxy
Fuente: Autor

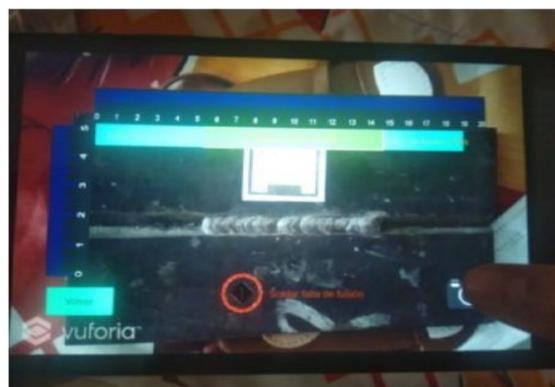


Figura 4.26. Escaneo de soldaduras
Fuente: Autor

4.5.2 Almacenamiento de actividades

Son las almacenadas en el dispositivo móvil en el botón de captura de pantalla.

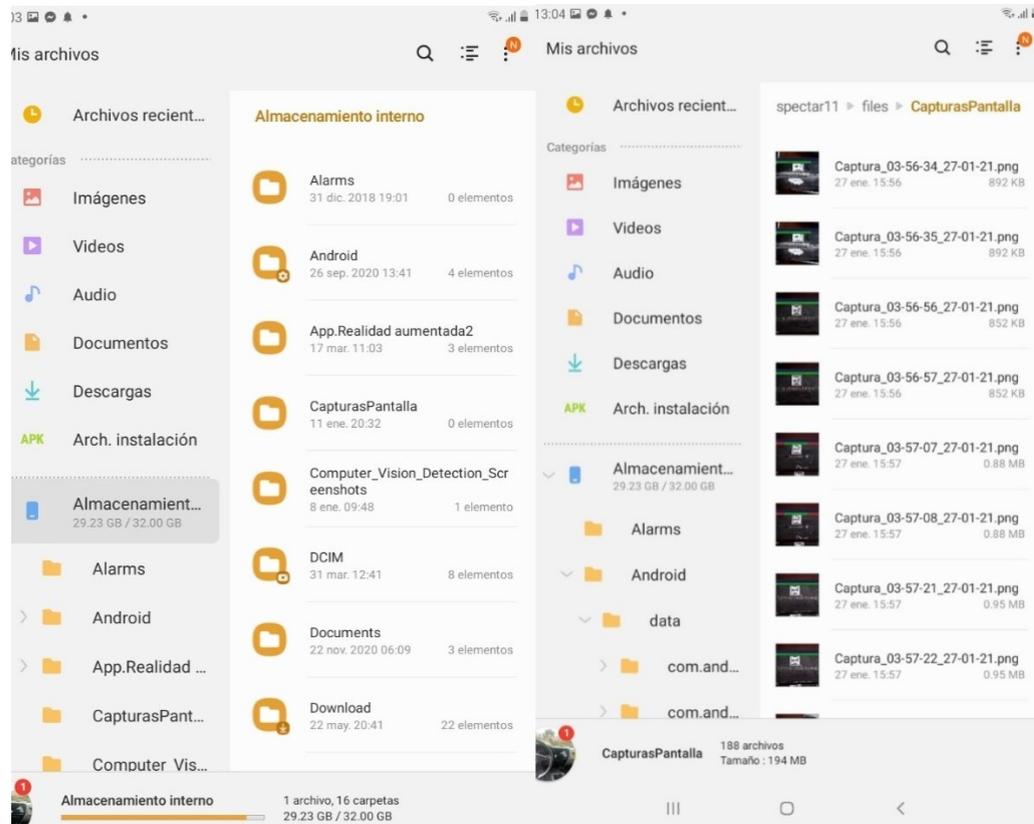


Figura 4.27. Carpetas en el dispositivo Android

Fuente: Autor

Estas carpetas de información pueden almacenarse en forma continua y su respaldo puede ser copiado directamente en una base de datos más grande.

4.6 Análisis económico

4.6.1 Costo de la aplicación

El costo total de la aplicación es de 1918 USD americanos, subida a la tienda online se estima la venta en 100 usd americanos, la inversión se recuperaría en 20 días aproximadamente en 1 descarga diaria en todo el país de américa latina.

En cuanto a las ventajas esta aplicación es nueva e innovadora y puede utilizar cualquier persona con conocimiento básico de control de calidad en soldadura.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.- Conclusiones

El uso de la aplicación móvil en el dispositivo Android mejora las condiciones y manejo de método tradicional de inspección de soldadura.

La identificación y almacenamiento de información en tiempo real a través del dispositivo móvil ayuda a interactuar con nuevas tecnologías de control de calidad en soldadura expuestos en el mundo de la industria 4.0.

La Realidad aumentada aplicada al control de calidad mejora las condiciones de tiempos de inspección y almacena de una manera más rápida y segura la información.

Mejora la calidad y ambiente de trabajo ya que el uso de la aplicación no contamina el ambiente, no consume papel y el sistema es más fácil para utilizar.

6. Recomendaciones

Se recomienda utilizar este tipo de tecnología para enlazar información en tiempo real de control de calidad.

Usar el método de realidad aumentada para mejorar tiempos de inspección.

Esta tecnología es futurista y su uso será necesario para complementar sistemas de inteligencia artificial y mejorar la programación de algoritmos que utilizan para supervisar visualmente la soldadura.

7. Materiales y Referencias Bibliográficas

- [1] H. C. Terán, O. Arteaga, F. S. Alcocer, N. R. Richard, M. P. Stalin, and C. A. Eduardo, “Application of multiple methods of ndt for the evaluation of welded joints in a steel bridge astm-a-588,” *Solid State Phenomena*, vol. 287. 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/SSP.287.8.
- [2] O. Lopez, H. Trujillo, and L. Parra, “Aplication and selection of non-destructive test for the evaluation of welded joints,” *Sci. Tech.*, no. 48, pp. 1–10, 2011.
- [3] J. M. Guivernau, “Procesos de Soldadura Aplicados en la Construcción Naval,” p. 126, 2011.
- [4] R. Serrano, “Ensayos No Destructivos : Partículas Magnéticas,” pp. 1–8, 2007.
- [5] J. Tomków, G. Rogalski, D. Fydrych, and J. Labanowski, “Advantages of the application of the temper bead welding technique during wet welding,” *Materials (Basel)*., 2019, doi: 10.3390/ma12060915.
- [6] L. Cui, R. Luo, and D. Ma, “Carbon Fiber Reinforced Carbon-Al-Cu Composite for Friction Material.,” *Mater. (Basel, Switzerland)*, vol. 11, no. 4, Mar. 2018, doi: 10.3390/ma11040538.
- [7] S. Herz et al., “Magnetic Particle Imaging–Guided Stenting,” *J. Endovasc. Ther.*, 2019, doi: 10.1177/1526602819851202.
- [8] J. S. Oh, J. S. Oh, T. H. Kim, and G. Y. Yeom, “Efficient metallic nanowire welding using the Eddy current method,” *Nanotechnology*, 2019, doi: 10.1088/1361-6528/aaf13d.
- [9] L. Song, X. Li, Y. Yang, X. Zhu, Q. Guo, and H. Yang, “Detection of Micro-Defects on Metal Screw Surfaces Based on Deep Convolutional Neural Networks,” *Sensors (Basel)*., 2018, doi: 10.3390/s18113709.
- [10] O. J. Araque de los Rios, “Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A,” *Sci. Tech.*,

vol. 20, no. 4, p. 335, 2015, doi: 10.22517/23447214.10501.

- [11] J. Issa, “No TitleEΛENH,” *Αγων*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
- [12] ICONTEC, “Guía Para La Inspección Visual De Soldaduras,” Gtc110, 2004.
- [13] J. Santamarta Martínez and J. Mas Domínguez, “BIM, realidad aumentada y técnicas holográficas aplicadas a la construcción = BIM, increased reality and holographic techniques applied to construction,” *An. Edif.*, vol. 4, no. 1, p. 27, 2018, doi: 10.20868/ade.2018.3731.
- [14] M. L. L. R. Okimoto, P. C. Okimoto, and C. E. Goldbach, “User Experience in Augmented Reality Applied to the Welding Education,” *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 6223–6227, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.739.
- [15] F. Echtler et al., “The Intelligent Welding Gun: Augmented Reality for Experimental Vehicle Construction,” in *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*, London: Springer London, 2004, pp. 333–360.
- [16] N. B. Fethke, L. C. Gant, and F. Gerr, “Comparison of biomechanical loading during use of conventional stud welding equipment and an alternate system,” *Appl. Ergon.*, vol. 42, no. 5, pp. 725–734, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.apergo.2010.11.007.
- [17] J. van Essen et al., “Identifying Welding Skills for Robot Assistance,” in *2008 IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications*, Oct. 2008, pp. 437–442, doi: 10.1109/MESA.2008.4735675.
- [18] M. Quandt, B. Knoke, C. Gorltdt, M. Freitag, and K.-D. Thoben, “General Requirements for Industrial Augmented Reality Applications,” *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 1130–1135, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.061.
- [19] O. Giovanny and G. Fernández, “APLICACIÓN PARA DAR A CONOCER LOS ELEMENTOS Y ACCIONES BÁSICAS DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO MANUAL DESDE VIRTUALIDAD AUMENTADA,” Universidad Pedagógica Nacional, 2020. Accessed: Jun. 16, 2021. [Online].

Available: <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/13166>.

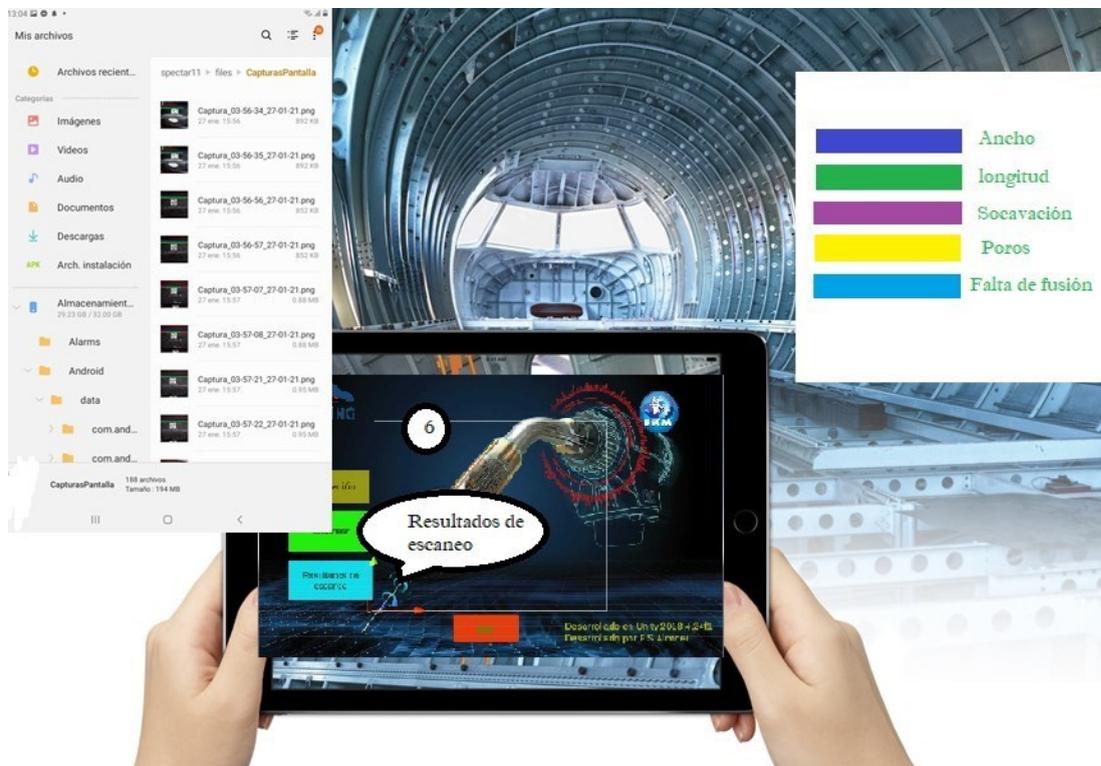
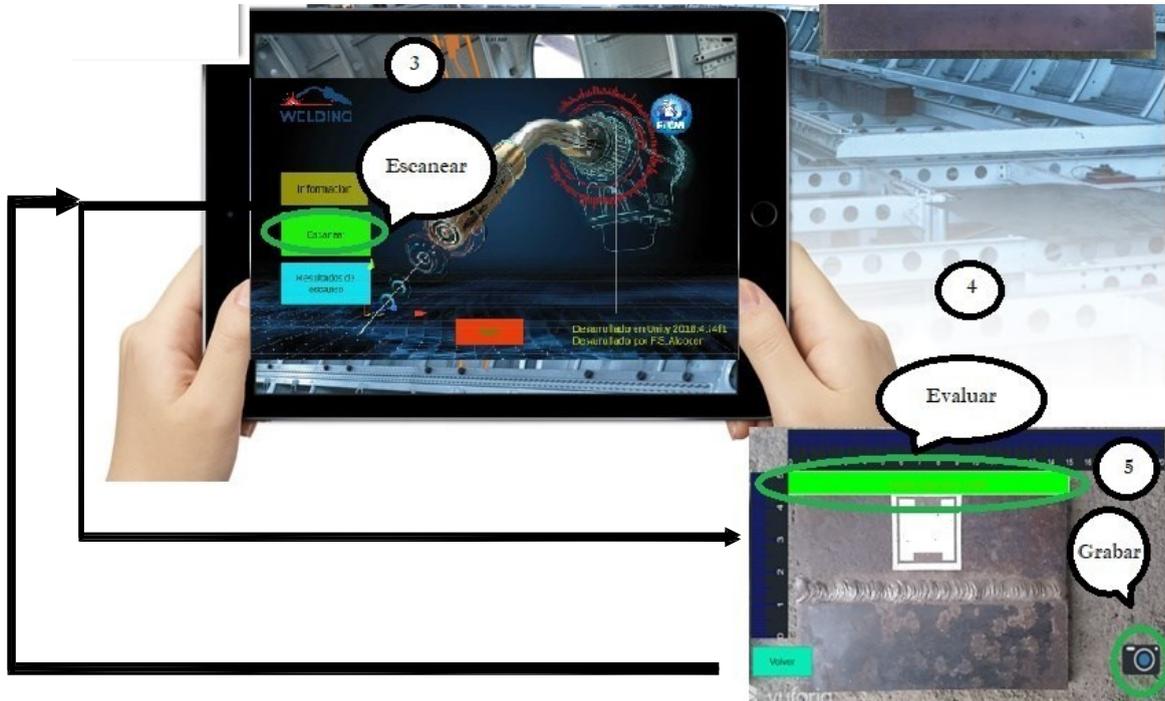
- [20] I. M. Melo Bohórquez, “Realidad aumentada y aplicaciones,” *Tecnol. Investig. y Acad.*, vol. 6, no. 1, pp. 28–35, 2018.
- [21] “Trabajos de investigación - 2015 : Welding Journal : Publicaciones : American Welding Society.” <https://www.aws.org/publications/page/research-papers-2015> (accessed Jun. 16, 2021).
- [22] “Manual de Indura -2019” <https://www.indura.com>
- [23] “AWS 2015: Welding Journal : Publicaciones : American Welding Society.” <https://www.aws.org/publications/page/research-papers-2015> (accessed Jun. 16, 2021).

ANEXOS

ANEXO1. MANUAL DE USO DE LA APLICACIÓN MÓVIL

PASOS PARA UTILIZAR LA APLICACIÓN MÓVIL.







ACYS MENDOZA S.A.



ANEXO 1.1 AWS D1.1 CAPITULO 6

Capitulo 6 "Inspección visual"

6.9 Inspección visual de soldaduras

Todas las soldaduras deben ser visualmente inspeccionadas y deben ser aceptables si los criterios de **tabla 6.1** son cumplidos.

Tabla 6.1

Criterios de aceptación para Inspección Visual¹ (ver 6.9)

	Conexiones no tubulares cargadas	Conexiones no tubulares cargadas	Conexiones tubulares (todas las
(1) Prohibición de grietas			
Cualquier grieta es inaceptable, independientemente del tamaño	X	X	X
(2) Fusión soldadura / Metal base			
Completa fusión debe existir entre cordones y entre el metal	X	X	X
(3) Cráter de soldadura			
Todos los cráteres deben ser rellenados, a fin de proveer el tamaño especificado de soldadura, excepto para los finales de	X	X	X
(4) Perfiles de soldaduras			
Los perfiles de soldadura deben estar en concordancia con figura 5.4 .	X	X	X

Preparó: ALN

Aprobó: JMP

Este documento es propiedad de ACYS MENDOZA S.A. y estrictamente confidencial. Ninguna parte de este documento puede ser reproducido en forma alguna o incorporado en cualquier sistema de recuperación de datos sin el permiso escrito de ACYS MENDOZA S.A.



<p>(5) Tiempo de inspección</p> <p>La inspección visual en todos los aceros puede iniciarse inmediatamente después de completada la soldadura y enfriada a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para la inspección visual de soldaduras en aceros ASTM A 514 y 517, y</p>	X	X	X
<p>(6) Soldaduras subdimensionadas</p> <p>El tamaño de un filete de soldadura en cualquier soldadura continua podría ser menor del nominal especificado (L), sin rectificación para las siguientes medidas (U):</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>L</p> <p><u>Tamaño nominal de sold. espec. pulg (mm)</u></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>U</p> <p><u>reducción permitida de L, pulg (mm)</u></p> </div> </div>			

Preparó: ALN

Aprobó: JMP

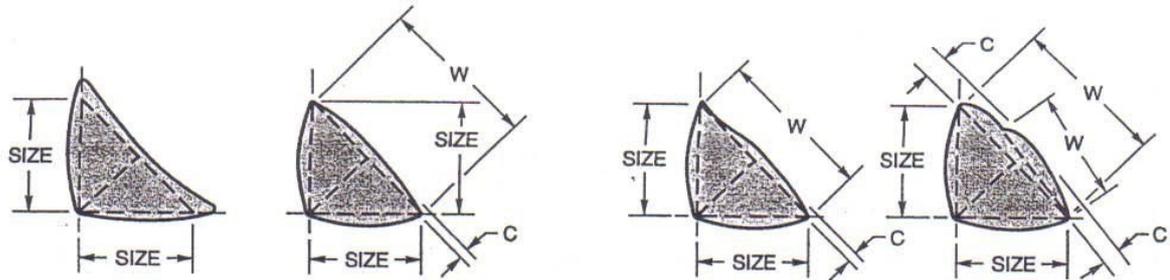


	Conexiones no tubulares cargadas	Conexiones no tubulares cargadas	Conexiones tubulares (todas las)
(7) Socavación (mordedura de borde)			
(A) Para materiales inferiores a 1" (25mm) de espesor, las socavaciones no deben exceder 1/32" (0.8mm), excepto que un máximo de 1/16" (1.6mm) sea permitido para una longitud acumulada de 2" (50mm) en cualquier longitud de 12" (300mm).			
(B) En miembros primarios, las socavaciones no deben ser mayor que 0.01" (0.25mm) de profundidad cuando la soldadura es transversal a la tensión bajo cualquier condición de carga de diseño. Socavaciones no deben ser mayores de 1/32" (0.8mm)			
(8) Porosidad			
(A) En soldaduras de penetración total transversales a la dirección del esfuerzo no deben poseer porosidad visible. Para otras soldaduras de penetración y para filetes, la suma de porosidad visible de 1/32" (0.8mm) o mayores en diam. no			
(B) La frecuencia de porosidad en filetes no excederá de una por cada 4 pulg.(100mm) de long de sold y un diam max de porosidad de 3/32" (2.5mm). <u>Excepción:</u> para soldaduras de filetes que conecten refuerzos a vigas,		X	X
(C) En soldaduras de penetración total transversales a la dirección del esfuerzo no deben poseer porosidad. Para otras soldaduras de penetración, la frecuencia de porosidad no debe exceder de 1 en 4 pulg (100mm) de long y el diámetro max no		X	X

¹ Una X indica aplicabilidad para el tipo de conexión, área sombreada indica no aplicable.

Preparó: ALN

Aprobó: JMP

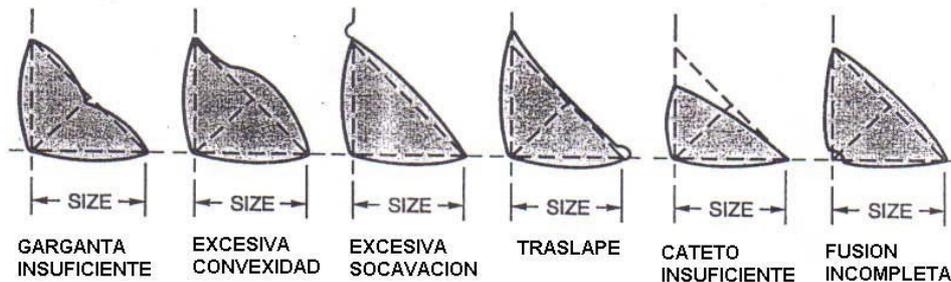


(A) PERFILES DESEADOS DE SOLDADURA DE FILETES

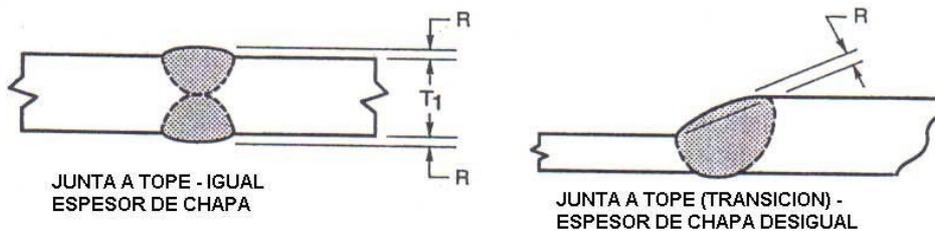
(B) PERFILES DE FILETES ACEPTABLES

NOTA: CONVEXIDAD, C, DE UNA SOLDADURA O SUPERFICIE INDIVIDUAL DE UN CORDON, CON DIMENSION W, NO DEBE EXEDER EL VALOR DE LA SGTE TABLE:

ANCHO DE LA CARA DE SOLD O SUP INDIVIDUAL DEL CORDON W	MAXIMA CONVEXIDAD C
$W \leq 5/16$ in. (8 mm)	1/16 in. (2 mm)
$W > 5/16$ in. (8 mm) TO $W < 1$ in. (25 mm)	1/8 in. (3 mm)
$W \geq 1$ in. (25 mm)	3/16 in. (5 mm)

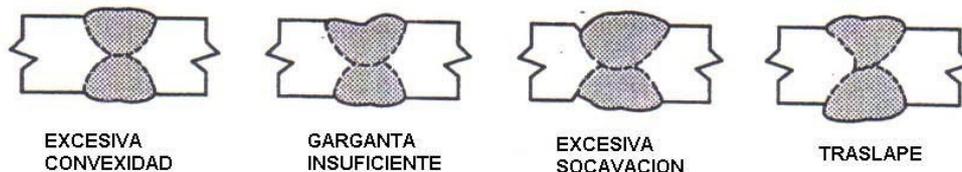


(C) PERFILES DE FILETES DE SOLDADURA INACEPTABLES



NOTA: LA SOBREMONTA R NO DEBE EXCEDER 1/8" (3mm).

(D) PERFILES ACEPTABLES DE CORDON DE SOLDADURA EN JUNTAS A TOPE



(E) PERFILES INACEPTABLES DE CORDON DE SOLDADURA EN JUNTAS A TOPE

Figura 5.4 - PERFILES DE SOLDADURA ACEPTABLES E INACEPTABLES

Preparó: ALN

Aprobó: JMP