



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN
DE LOS BORDES DEL METAL BASE SOBRE
LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA
MICROESTRUCTURA EN UN ACERO AISI
1010 SOLDADO POR EL PROCESO SMAW**

Autores:

Andrés de Jesús Montaña Martínez

C.I: 25.848.880

César Alejandro Mujica Magdaleno

C.I: 24.497.977

Tutor:

Giovanni Pizzella P

C.I: 4.455.859

Urb. Yuma II, calle N°3, Municipio San Diego
Teléfono (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN DE LOS BORDES DEL METAL BASE
SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA MICROESTRUCTURA EN UN
ACERO AISI 1010 SOLDADO POR EL PROCESO SMAW**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Autores:

Andrés de Jesús Montaña Martínez
C.I: 25.848.880

César Alejandro Mujica Magdaleno
C.I: 24.497.977

Tutor:

Giovanni Pizzella P
C.I: 4.455.859

San Diego, Abril 2018



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Giovanni Pizzella P. portador de la cédula de identidad N° V-4.455.859, en mi carácter de tutor del Informe de Trabajo Especial de Grado presentado por los ciudadanos Andrés de Jesús Montaña Martínez, portador de la Cédula de Identidad: 25.848.880 y César Alejandro Mujica Magdaleno, portador de la Cédula de Identidad: 24.497.977, titulado **“INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN DE LOS BORDES DEL METAL BASE SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA MICROESTRUCTURA EN UN ACERO AISI 1010 SOLDADO POR EL PROCESO SMAW”**. Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los quince días del mes de Marzo del año dos mil dieciocho.

Ing. Giovanni Pizzella P.
C.I.: V- 4.455.859
Tutor Académico



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-M-070-2018-1

Valencia, 25 de Enero de 2018.

Ciudadanos:

Andrés Montaña

C.I: 25.848.880

César Mújica

C.I: 24.497.977

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2018 de fecha **25/01/2018** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **"INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN DE LOS BORDES DEL MENTAL BASE SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA MICROESTRUCTURA EN UN ACERO AISI 1010 SOLDADO POR EL PROCESO SMAW."** Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizzella, C.I. 4.455.859 y la Ing. Alicia Yanez de Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente.


Prof. Zulay Salcedo

Decana de la Facultad de Ingeniería



e. e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

ÍNDICE

CONTENIDO	p.p
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Justificación del problema.....	5
1.5 Limitaciones.....	5
1.6 Alcance.....	6
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.2.1 Concepto de acero.....	9
2.2.2 Diagrama Fe-C.....	10
2.2.3 Aceros de bajo carbono.....	16
2.2.4 Aceros medios en carbono.....	16
2.2.5 Aceros altos en carbono.....	16
2.2.6 Concepto de soldadura.....	17
2.2.6.1 Clasificación de la soldadura.....	18
2.2.6.2 Importancia de la soldadura a nivel industrial	26
2.2.6.3 Algunas desventajas del proceso de soldadura.....	27
2.2.6.4 Algunas aplicaciones de la soldadura.....	27
2.2.6.5 La fusión de la soldadura.....	27
2.2.6.6 Características de una junta soldada por fusión.....	28
2.2.6.7 Cordón de soldadura.....	30
2.2.6.8 Metal base.....	31
2.2.6.9 Proceso SMAW.....	32
2.2.6.10 Máquinas de soldar con arco eléctrico.....	35
2.2.6.11 Electroodos.....	38
2.2.6.12 Preparación de los bordes.....	42

2.2.7 Ensayos metalúrgicos.....	46
2.2.7.1 Ensayo de macroscopia.....	46
2.2.7.2 Ensayo de microscopia.....	46
2.2.8 Ensayos mecánicos.....	46
2.2.8.1 Ensayo de tracción	46
2.2.8.2 Ensayo de doblado	50
2.2.8.3 Ensayo de dureza.....	52
2.3 Definición de Términos Básicos.....	54
2.3.1 Símbolos y abreviaturas de términos.....	55
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	56
3.2 Nivel de la investigación.....	56
3.3 Diseño de la Investigación.....	57
3.4 Población y muestra.....	57
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	57
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.....	59
3.7 Fases de desarrollo de la Investigación.....	59
3.7.1. Fases Metodológicas.....	59
IV RESULTADOS	
4.1 Caracterizar el acero AISI 1010 por medio de ensayos de tracción y metalografía (Macroscopía y microscopia).....	63
4.2 Definir cuatro (4) tipos de preparación de bordes con los cuales se estudiarán las distintas soldaduras a realizar.....	68
4.3 Seleccionar los parámetros de soldadura en función del ancho, penetración y aspecto superficial del cordón tomados de probetas de prueba realizados previamente.....	69
4.4 Realizar las juntas soldadas con los parámetros seleccionados para las distintas preparaciones del borde de las láminas y caracterizarlas por medio de ensayos mecánicos, metalografía y microdureza.....	69
4.4.1 Mecanizado de probetas.	69
4.4.2 Realización de los ensayos.....	70
4.4.2.1 Ensayo de Tracción.....	71
4.4.2.2 Ensayo de Doblado.....	81
4.4.2.3 Ensayo de Microdureza Vickers.....	88

4.4.2.4 Ensayos de Microscopía.....	93
4.4.2.5 Ensayo de Macroscopía.....	102
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones.....	109
5.2 Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Bibliografía.....	111
ANEXOS	
Anexo A.....	116
Anexo B.....	118
Anexo C.....	120
Anexo D.....	121

LISTA DE TABLAS CONTENIDO

TABLAS	p.p.
1 Ensayo de uniones soldadas a realizar.....	6
2 Población y muestras estudiadas.....	58
3 Características de la máquina de soldar	62
4 Comparación de la microdureza del material base ensayado con el teórico.....	64
5 Ensayo de la probeta de Metal Base.....	67
6 Parámetros arrojados por la máquina de ensayos.....	67
7 Muestra 1 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 170A).....	72
8 Muestra 2 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 160A).....	72
9 Muestra 3 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 100A).....	73
10 Muestra 4 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 170A).....	74
11 Muestra 5 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 160A).....	75
12 Muestra 6 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 100A).....	75
13 Muestra 7 - Ensayo de borde RECTO (I = 170A).....	76
14 Muestra 8 - Ensayo de borde RECTO (I = 160A).....	77
15 Muestra 9 - Ensayo de borde RECTO (I = 100A).....	78

16	Muestra 10 - Ensayo de borde en J (I = 170A).....	79
17	Muestra 11 - Ensayo de borde en J (I = 160A).....	79
18	Muestra 12 - Ensayo de borde en J (I = 100A).....	80
19	Ensayo de Microdureza Vickers para probetas con borde en V Sencilla.....	89
20	Ensayo de Microdureza Vickers para probetas con borde en U Sencilla.....	90
21	Ensayo de microdureza Vickers para probetas con borde RECTO.....	91
22	Ensayo de microdureza Vickers para probetas con borde en J....	92

LISTA DE FIGURAS CONTENIDO

FIGURAS		p.p.
1	Diagrama de Fe-C.....	10
2	Microestructura de la Martensita.....	12
3	Presencia de Cementita (granos claros) y de perlita (granos oscuros).....	13
4	Presencia de Martensita.....	14
5	Presencia de Vainita.....	15
6	Presencia de Austenita.....	15
7	Denominación de los gases.....	19
8	Soldadura con gases al soplete.....	20
9	Soldadura por arco eléctrico.....	22
10	Soldadura SMAW.....	23
11	Soldadura TIG.....	24
12	Soldadura con electrodo consumible (MIG y MAG).....	25
13	Soldadura SAW.....	26
14	(a) Vista transversal de zonas afectadas por la soldadura. (b) Cambios de la microestructura en las juntas soldadas.....	29
15	Partes del cordón de soldadura.....	31
16	Proceso de soldadura por arco protegido	32
17	Gráfico de eficiencia vs tipo de electrodo.....	34
18	DCEP y DCEN para alta penetración y alto depósito.....	36
19	Clasificación AWS para electrodos SMAW.....	39
20	Electrodos comunes para proceso SMAW.....	40
21	Descripción del proceso SMAW donde se muestra la escoria....	41
22	Escoria en soldadura SMAW.....	42
23	Tipos de biseles.....	44

24	Tipos de biseles (continuación).....	45
25	Ensayo de traccion.....	48
26	Comportamiento típico de los materiales Esfuerzo vs Deformación unitaria.....	49
27	Curva característica Esfuerzo vs Deformación para materiales dúctiles.....	49
28	Dispositivo para Ensayo de Doblado.....	51
29	Bordes utilizados para la union de las laminas.....	60
30	Microestructura del material base a 100X y 200X de aumento...	63
31	Máquina para ensayo de tracción FRANK.....	65
32	Probeta para el Ensayo de Tracción.....	66
33	Probeta en la Máquina de Ensayos de Tracción.....	66
34	Probetas después de realizar el ensayo de tracción.....	66
35	Actuación del Indentador.....	70
36	Máquina para ensayo de Doblado Enerpac.....	81
37	Ensayo de doblado: (a) Etapa 1, (b) Etapa 2.....	82
38	Doblado de las muestras número 1 (borde en V a 170 A), dos de cara y una de raíz.....	82
39	Doblado de las muestras número 2 (borde en V 160 A),dos de cara y una de raíz.....	83
40	Doblado de las muestras número 3 (borde en V 100 A), dos de cara y una de raíz.....	83
41	Doblado de las muestras número 4 (borde en U a 170 A), dos de cara y una de raíz.....	84
42	Doblado de las muestras número 5 (borde en U a 160A),dos de cara y una de raíz.....	84
43	Doblado de las muestras número 6 (borde en U a 100 A),dos de cara y una de raíz.....	85
44	Doblado de las muestras número 7 (borde recto a 170 A), dos de cara y una de raíz.....	85
45	Doblado de las muestras número 8 (borde recto a 160 A),dos de cara y una de raíz.....	86
46	Doblado de las muestras número 9 (borde recto a 160 A), dos de cara y una de raíz.....	86
47	Doblado de las muestras número 10 (borde en J a 170 A), dos de cara y una de raíz.....	87
48	Doblado de las muestras número 11 (borde en J a 160 A), dos de cara y una de raíz.	87
49	Doblado de las muestras número 12 (borde en J a 100 A), dos de cara y una de raíz.....	88
50	Distribución de las indentaciones en cada zona.....	88
51	Instrumento para ensayo de microscopía Buehler.....	93

52	Áreas de estudio de las probetas para el análisis microestructural.	93
53	Microestructura de la muestra 1, borde V Sencilla (I = 170A)....	94
54	Microestructura de la muestra 2, borde V Sencilla (I = 160A)....	94
55	Microestructura de la muestra 3, borde V Sencilla (I = 100A)....	95
56	Microestructura de la muestra 4, borde U Sencilla (I = 170A)....	96
57	Microestructura de la muestra 5, borde U Sencilla (I = 160A)....	96
58	Microestructura de la muestra 6, borde U Sencilla (I = 100A)....	97
59	Microestructura de la muestra 7, de borde RECTO (I = 170A)...	98
60	Microestructura de la muestra 8, de borde RECTO (I = 160A)...	98
61	Microestructura de la muestra 9, de borde RECTO (I = 100A)...	99
62	Microestructura de la muestra 10, de borde en J (I = 170A).....	100
63	Microestructura de la muestra 11, de borde en J (I = 160A).....	100
64	Microestructura de la muestra 12, de borde en J (I = 100A).....	101
65	Macroscopía de la muestra 1, de borde V Sencilla (I = 170A)....	103
66	Macroscopía de la muestra 2, de borde V Sencilla (I = 160A)....	103
67	Macroscopía de la muestra 3, de borde V Sencilla (I = 100A)....	104
68	Macroscopía de la muestra 4, de borde U Sencilla (I = 170A)....	104
69	Macroscopía de la muestra 5, de borde U Sencilla (I = 160A)....	105
70	Macroscopía de la muestra 6, de borde U Sencilla (I = 100A)....	105
71	Macroscopía de la muestra 7, de borde RECTO (I = 170A).....	106
72	Macroscopía de la muestra 8, de borde RECTO (I = 160A).....	106
73	Macroscopía de la muestra 9, de borde RECTO (I = 100A).....	107
74	Macroscopía de la muestra 10, de borde en J (I = 170A).....	107
75	Macroscopía de la muestra 11, de borde en J (I = 160A).....	108
76	Macroscopía de la muestra 12, Ensayo de borde en J (I = 100A)	108

LISTA DE GRÁFICAS CONTENIDO

GRÁFICAS		p.p.
1	Esfuerzo vs deformación material base.....	67
2	Esfuerzo vs deformación muestra 1 (V sencilla con 170A).....	72
3	Esfuerzo vs deformación muestra 2 (V sencilla con 160A).....	73
4	Esfuerzo vs deformación muestra 3 (V sencilla con 100A).....	73
5	Esfuerzo vs deformación muestra 4 (U sencilla con 170A).....	74
6	Esfuerzo vs deformación muestra 5 (U sencilla con 160A).....	75
7	Esfuerzo vs deformación muestra 6 (U Sencilla 100A).....	76
8	Esfuerzo vs deformación muestra 7 (Recto 170A).....	77
9	Esfuerzo vs deformación muestra 8 (Recto 160A).....	77
10	Esfuerzo vs deformación muestra 9 (Recto 100A).....	78
11	Esfuerzo vs deformación muestra 10 (J 170A).....	79

12	Esfuerzo vs deformación muestra 11 (J 170A).....	80
13	Esfuerzo vs deformación muestra 12 (J 170A).....	80
14	Comparación Esfuerzo vs deformación de todas las muestras.....	81
15	Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas V Sencilla.....	89
16	Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas U Sencilla.....	90
17	Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probeta RECTO.....	91
18	Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas J.....	92



REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INFLUENCIA DE LA PREPARACIÓN DE LOS BORDES DEL METAL BASE SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y LA MICROESTRUCTURA EN UN ACERO AISI 1010 SOLDADO POR EL PROCESO SMAW

Autores: Andrés de Jesús Montaña Martínez y César Alejandro Mujica Magdaleno.

Tutor: Ing. Pizzella P, Giovanni.

Fecha: Abril 2.018

RESUMEN

Este trabajo de investigación se fundamenta en conocer la influencia de la preparación de los bordes del metal base sobre las propiedades mecánicas y la microestructura en un acero AISI 1010 soldado por el proceso SMAW usando electrodos E – 7018, los bordes preparados son cuatro: V Sencilla, U Sencilla, RECTA, y J, para las intensidades de corriente de 100A, 160A y 170A, se quiere identificar la condición más óptima para los ensayos de Tracción, Dureza, Microestructura, Microscopía y Macroscopía. Para saber que se trataba del Acero antes mencionado, se compararon los valores que se le realizaron al metal base con valores ya tabulados. Dicho eso tenemos que por estudio, el borde RECTO a una intensidad de corriente de 170 A presenta una buena resistencia a la tracción, todas las condiciones de bordes son aptas para el doblado, el borde RECTO a una intensidad de corriente de 100 A presenta la mejor dureza, todas las condiciones de borde en su estructura microscópica tienen presencia de ferrita, perlita y ferrita acicular, macroscópicamente las condiciones de bordes presentan una buena penetración en la junta soldada, aumentando así la tenacidad de la soldadura realizada.

Palabras claves: bordes, cordones, ensayos, probetas, uniones soldadas.

INTRODUCCIÓN

Unir dos o más metales mediante soldadura es un proceso que se ha mantenido vigente durante años y, desde sus inicios, ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta de utilidad en la industria metalmecánica, empleada en la construcción de partes y reparaciones de piezas. Es un método de trabajo cuyo objeto es unir metales, a través de técnicas razonablemente económicas, otorgando a la unión propiedades adecuadas y compatibles con el metal base (MB). Entre los métodos utilizados se encuentra la soldadura por arco manual revestido (SMAW), la cual se destaca como uno de los procedimientos más antiguos y simples, y a pesar que han surgido otros métodos más innovadores, no ha sido desplazada del mercado debido a su sencillez y a sus bajos costos. Uno de los materiales más utilizados para este proceso son los aceros al carbono, formando uno de los grupos de materiales con mayor diversidad en los procesos industriales a nivel mundial.

La estructura del presente trabajo de investigación está destinada al estudio de las propiedades mecánicas y la microestructura en juntas soldadas de acero de bajo carbono AISI 1010, mediante el proceso de soldadura SMAW.

A continuación, se describe el contenido del proyecto en cinco capítulos. En el Capítulo I se plantea y se formula el problema, el cual se basa en cómo influyen las uniones soldadas en las propiedades y microestructura del material soldado por el proceso anteriormente nombrado, los objetivos de la investigación, se delimita y justifica la investigación. El espesor de las muestras de acero fue de 6 mm, con respecto a los parámetros de soldadura se mantuvo un voltaje constante y un amperaje variable.

En el Capítulo II se presentan las bases teóricas y prácticas relacionadas con el trabajo de investigación. En el Capítulo III se describe la metodología realizada con el fin de lograr los objetivos propuestos. En el Capítulo IV se tienen los resultados y en el Capítulo V las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Este capítulo está dedicado a detallar las razones que motivaran la realización de este proyecto de grado, los objetivos que se plantearan al comienzo de la investigación, su justificación y las limitaciones que condicionaran este proyecto.

1.1 Planteamiento del problema.

En la industria cada vez son mayores las exigencias de los materiales dependiendo del servicio que prestarán, se espera una mejor respuesta a condiciones de presión, corrosión, resistencia eléctrica, dilatación, ductilidad, dureza entre otras cosas. Por eso han surgido actualmente aceros que favorecerán los requerimientos mecánicos.

Los aceros de bajo carbono, han sido desarrollados para diversas aplicaciones, entre las que se destacan la construcción de tubos de conducción de gas y petróleo, industria automovilística y naval. El desarrollo de estos aceros ha permitido aumentar tanto la resistencia a la tracción como la tenacidad y otras propiedades aplicables, lo cual ha permitido una reducción de peso en los diseños de los distintos componentes. La mayor utilidad que tiene es para el transporte de crudo y sus derivados, debido a que es un acero estructural con buenas propiedades mecánicas. En los últimos años, se han mejorado considerablemente las propiedades de los aceros microaleados convencionales.

Por otra parte, al efectuar una soldadura tal como es frecuente en las aplicaciones de estos aceros, el balance logrado en las propiedades de los mismos puede ser influenciado por el ciclo térmico provocado por el proceso de soldadura empleado. Se lleva a cabo gracias a la cohesión entre el metal base y de aporte, a través de una fuente de calor móvil fuertemente concentrada, fundiendo y mezclando ambos elementos. Por consiguiente, el área próxima del cordón, se dilata al aumentar la temperatura y se contrae cuando se enfría; su movimiento es restringido por la masa del cuerpo, generándose tensiones y desplazamientos en las zonas.

Si bien es cierto, en la correcta ejecución de la soldadura se debe tomar en cuenta algunas consideraciones, como: velocidad de enfriamiento, condiciones de bajo hidrogeno en los electrodos y los múltiples pases durante su aplicación. La velocidad de enfriamiento de una soldadura es inversamente proporcional al máximo calor de entrada que puede ser tolerado por el material.

Una zona de especial interés en la junta soldada corresponde a la zona afectada por el calor (ZAC), la cual experimenta altas temperaturas que originan cambios microestructurales en el material base durante la solidificación de la soldadura. Frecuentemente las fallas en uniones soldadas son causadas por procesos de soldadura inapropiados o por una concentración de esfuerzos; para la detección de fallas se recurre a diferentes técnicas entre las cuales se destacan los ensayos no destructivos.

Debido a que los aceros presentan propiedades diferentes se debe tomar en cuenta el efecto de la unión entre ambos y el material de aporte dependiendo de las condiciones impuestas en el momento de soldar.

Actualmente debido al creciente uso que tiene el proceso de soldadura se han desarrollado una variedad de métodos a través de los cuales se pueden obtener uniones soldadas, entre los cuales se encuentran: La soldadura por arco manual con electrodos revestidos (SMAW), la cual se destaca como uno de los procedimientos más simples, y a pesar que han surgido otros métodos más innovadores, no ha sido desplazada del mercado ya que su sencillez se traduce en facilidad en su operación y bajos costos.

Los efectos que pueden tener los parámetros de soldadura dictaminarán la calidad final de la unión de la siguiente manera: la velocidad de soldadura influye directamente en la calidad y la fusión del material base; el amperaje interviene en la cantidad de energía que se aporta y la capacidad de fusión del material base.

Se requiere bisel suficiente para una buena forma de cordón y penetración; insuficiente bisel evita que el electrodo penetre la unión. Por ejemplo, un cordón profundo y estrecho puede carecer de penetración y tener una fuerte tendencia a fisurarse. Una abertura de raíz suficiente es necesaria para una penetración completa, mientras que el exceso de residuos en la abertura de raíz ralentiza la velocidad de soldadura. Es importante señalar que la abertura

de raíz debe ser compatible con el diámetro del electrodo que se está utilizando. Una cara de la raíz o una banda es requerida para una soldadura rápida y de buena calidad. Preparaciones de borde requieren un cordón lento y costoso para cerrar. Sin embargo, la unión biselada en V sin talón son prácticas cuando el coste del cierre del cordón se compensa con una más fácil preparación y la abertura de raíz puede ser limitada aproximada a 3/32 pulg (2,38 mm).

La preparación de bordes de las piezas a enlazar tiene la finalidad de facilitar la penetración en todo el espesor de la junta. Cuando se trata de realizar uniones a tope sobre los espesores superiores a 6 mm, y se quiere conseguir una penetración completa, se recomienda chaflanar los bordes. Para los espesores más finos se utiliza la preparación con bordes rectos.

El objetivo fundamental de la preparación de juntas es obtener la máxima eficiencia del calor aportado. La penetración del proceso mide su capacidad para generar cordones profundos, por lo cual, el grosor de los componentes a unir debe de ser el adecuado y también la temperatura utilizada para no dañar las juntas.

1.2 Formulación del problema.

Con este trabajo se pretende determinar el estudio en la preparación de cuatros (4) tipos de bordes, a partir de probetas de acero AISI 1010, para así dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cómo influyen la preparación de bordes las propiedades mecánicas y la microestructura de las uniones soldadas mediante un proceso SMAW?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Determinar cómo influye la preparación de los bordes del metal bases, sobre las propiedades mecánicas y la microestructura en un acero AISI 1010 soldado por el proceso SMAW.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Definir cuatro (4) tipos de preparación de bordes con los cuales se estudiarán las distintas soldaduras a realizar, siendo estas: Recta, V Sencilla, U Sencilla, y en J.
2. Seleccionar los parámetros de soldadura en función del ancho, penetración y aspecto superficial del cordón tomados de probetas de prueba realizadas previamente.

3. Realizar las juntas soldadas con los parámetros seleccionados para las distintas preparaciones del borde de las láminas y caracterizarlas por medio de ensayos mecánicos, metalografía y microdureza.

4. Concluir sobre el efecto que tiene la preparación de los bordes del metal base sobre las propiedades mecánicas del material soldado y su microestructura.

1.4 Justificación del Problema.

Debido al gran número de procesos en los cuales se encuentra uniones soldadas, surge la necesidad de disponer información respecto al comportamiento mecánico y metalúrgico del acero AISI 1010 cuando se realizan uniones por el método de soldadura SMAW y a su vez comparar dichas propiedades, para definir criterios al momento de estudiar el proceso que se utilizó con este tipo de material.

La preparación de los bordes es importante porque depende del espesor del material que se utilizó, sobre todo en las industrias que requieren buena calidad de soldadura como las industrias químicas y petroleras. En estas industrias se desea que las condiciones de soldadura sean óptimas, y por medio de este trabajo especial de grado se buscará cuál de estas preparaciones tienen mejor coalescencia mecánica de los materiales para garantizar una alta confiabilidad y así no generar daños en las juntas soldadas.

Se pretende demostrar las ventajas de esta soldadura en el material analizado, el cual es ampliamente utilizado en la industria, principalmente en las aplicaciones estructurales, siendo uno de los aceros al carbono más utilizados en la fabricación de tubos, ductos, vigas, entre otros.

1.5 Limitaciones.

Conseguir un soldador que este calificado por la American Welding Society (AWS), es una limitante importante, además de la disponibilidad de las máquinas y herramientas de ensayo, en un laboratorio de materiales calificado, por el uso que éste tiene en el periodo de clases, si es en la Universidad de Carabobo o por razones económicas, si es en una empresa privada como TREXA C.A donde se encuentra la máquina Multiensayo serie 5697.

Por otra parte, los reactivos y materiales utilizados en la preparación de las probetas y el costo de las láminas de acero AISI 1010.

El tiempo de la investigación está estipulado en ocho meses, sin embargo, en el transcurso del desarrollo de la investigación pueden surgir nuevas variables que tiendan a extender este período de investigación.

1.6 Alcance.

El estudio se realizó tomando en consideración cuatro (4) tipos de preparación de los bordes para así efectuar los diferentes ensayos que permitieron concluir sobre cómo influye dicha preparación sobre las propiedades de la unión soldada. Los tipos de preparación de los bordes serán las siguientes: Recta, V Sencilla, U Sencilla, y en J. Todas las soldaduras fueron a tope con las preparaciones de los bordes mencionadas. Adicionalmente por cada preparación de borde se utilizaron III intensidades de corriente, seleccionadas para un electrodo E-7018 en todos sus diámetros y espesor de lámina a utilizar de 6 mm. Por lo antes descrito, el estudio abarcará doce (12) condiciones de soldadura, aplicadas a veinticuatro (24) planchas de 10 x 30 cm.

Tabla 1: Ensayos de uniones soldadas a realizar

TRACCION	MICRO Y MACROESTRUCTURA	MICRODUREZA	DOBLADO DE CARA	TOTAL DE ENSAYOS DE UNIONES SOLDADAS
60	24	36	36	156

Fuente: Andrés Montaña y César Mujica

En base a la tabla 1, la cual indica el número de ensayos a realizar en cada una de las pruebas mecánicas y análisis de la estructura de las uniones de soldadura. Para las uniones soldadas se realizarán ciento cincuenta y seis (156) ensayos, así mismo, se puede constatar el número de estudios que se realizaran, el cual estará conformado por ciento cincuenta y seis (156) probetas de acero AISI 1010. Sumado a esto se harán 5 estudios de tracción al material base y 5 más de microdureza dando un total de estudios realizados de ciento sesenta y seis (166) ensayos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La finalidad de este capítulo es presentar los antecedentes necesarios para definir el contexto de esta investigación, y por el otro, desarrollar los fundamentos y herramientas teóricas requeridas para la realización de este trabajo especial de grado.

2.1. Antecedentes de la investigación.

Melgarejo, Ramírez y Aperador (2.013), en su trabajo de investigación titulado *“Determinación de las Causas de las Falla en la ZAC de un Acero ASTM A36 Soldado por Proceso SMAW”*. Realizaron el estudio de una junta de acero ASTM A36 utilizado para el transporte de hidrocarburos y unido por el proceso de soldadura SMAW. Para la detección de discontinuidades en el cordón de soldadura y evaluación del grado de afectación del material próximo a la soldadura y su incidencia en la aparición de discontinuidades se utilizó la técnica de ultrasonido Phased Array. Las soldaduras fueron aplicadas siguiendo los parámetros establecidos en WPS. La zona de análisis se caracterizó mediante Microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido con el fin de determinar cambios microestructurales que incidan en la formación de la discontinuidad encontrada. Las propiedades mecánicas fueron evaluadas mediante un ensayo de dureza Rockwell C. El estudio demuestra cambios microestructurales del material base debido a la elevación de temperaturas por encima del límite aconsejado por códigos, lo cual trae como consecuencia la formación de una discontinuidad lineal.

Este trabajo de investigación fue de utilidad para determinar los estudios necesarios para observar los cambios en las propiedades del metal base.

Así mismo, García, Burgos, Álvarez y García (2.007), en su trabajo *“Determinación de los Esfuerzos Residuales en Soldadura a Tope por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido en Acero ASTM A-36”*. Estudiaron las construcciones metálicas obtenidas mediante la

aplicación de soldadura, analizando los cambios que se producen como la pérdida de la forma geométrica de la estructura, la no coincidencia de bordes y desplazamientos apreciables debido al calentamiento no uniforme que se manifiesta durante la realización de la junta en el cordón y zonas próximas al mismo. Al emplear una fuente de calor móvil fuertemente concentrada, como puede ser un arco eléctrico, ocurren procesos físico-químicos, estructurales y termodeformacionales de diversa índole que provocan el surgimiento de tensiones residuales, particularmente en el Cordón y en la Zona Afectada Térmicamente (ZAT).

Gracias a este trabajo de investigación se pudo establecer el procedimiento para definir los parámetros para realizar el tipo de soldadura.

Por lo tanto, Este Javier A. (2.010), realizó una investigación titulada ***“Influencia del Tratamiento Térmico de Recocido Post-soldadura en las Propiedades Mecánicas y Metalúrgicas en Juntas Soldadas de Acero de Bajo Carbono ASTM A-36”***. Realizó el estudio de la vida a la fatiga de algunos aceros de medio y bajo carbono, para realizar este estudio se maquinaron 100 probetas a las cuales les fue realizado ensayos de tracción y fatiga arrojando como resultado que a medida que el material contiene mayor porcentaje de carbono la formación de microgrietas se hacen más finas para cada uno de los límites de fatiga de las probetas estudiadas, así como también disminuye la resistencia a la fatiga.

Con la información proporcionada por este trabajo de investigación se obtuvo la importancia que tiene los ensayos mecánicos para definir las propiedades mecánicas del material base.

De igual manera, Riveros, Castillo, Bermont, y Lafferte (2.003), en su trabajo cuyo título es ***“Influencia del Tratamiento Térmico de Recocido Post-soldadura en las Propiedades Mecánicas y Metalúrgicas en Juntas Soldadas de Acero de Bajo Carbono ASTM A-36”***. Estudiaron la influencia de los Tratamientos Térmicos Post Soldaduras en fundiciones nodulares a través de cupones, en forma de barras, unidos mediante soldadura de arco en forma manual a los cuales se les aplico ferritizado, normalizado, austemperizado, temple y revenido. A dichas probetas se les realizaron ensayos de Dureza, Tracción, Análisis Metalográfico y Fractográfico arrojando como resultado que los tratamientos térmicos

modifican en distinta magnitud la dureza de la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) y el metal base, mientras que el Cordón de soldadura presenta valores de dureza similares entre si y además dichos tratamientos térmicos disminuyen el gradiente de dureza de la Zona Afectada Térmicamente (ZAT) disminuyendo así el riesgo de fractura en esta zona.

El estudio previamente mencionado facilito la selección de los ensayos mecánicos utilizados para la obtención de las propiedades mecánicas y metalúrgicas del material base.

Mientras que, Bruno y Viñones (2.007), en su trabajo de investigación titulado ***“Estudio Comparativo de las Propiedades Mecánicas y Metalúrgicas de Uniones Soldadas Mediante los Procesos SMAW y SAW en los Aceros ASTM A-36 y ASTM A-516-70”***. Realizaron un estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales en las uniones soldadas realizadas con tres tipos de electrodos revestidos (bajo hidrogeno celulósico y rutilico), cada uno de ellos sometido a cuatro condiciones ambientales diferentes (1h de humedad, 4h de humedad,

Desde el punto de vista de su composición los aceros se pueden clasificar en dos grandes grupos: aceros aleados y aceros al Carbono (de bajo, medio y alto contenido en carbono). Los aceros al carbono constituyen la mayor parte de todo el acero fabricado. Contienen al menos del 0,25% del peso de C. La microestructura consiste en Ferrita y Perlita. Por tanto, son relativamente blandos y pocos resistentes, pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad. Son de fácil mecanizado, soldables y económicos. Se utilizan para fabricar vigas, carrocerías de automóviles y láminas para tuberías de edificios y puentes. Vera J. y Henríquez D. (2.007).

2.2.2. Diagrama de Fe-C

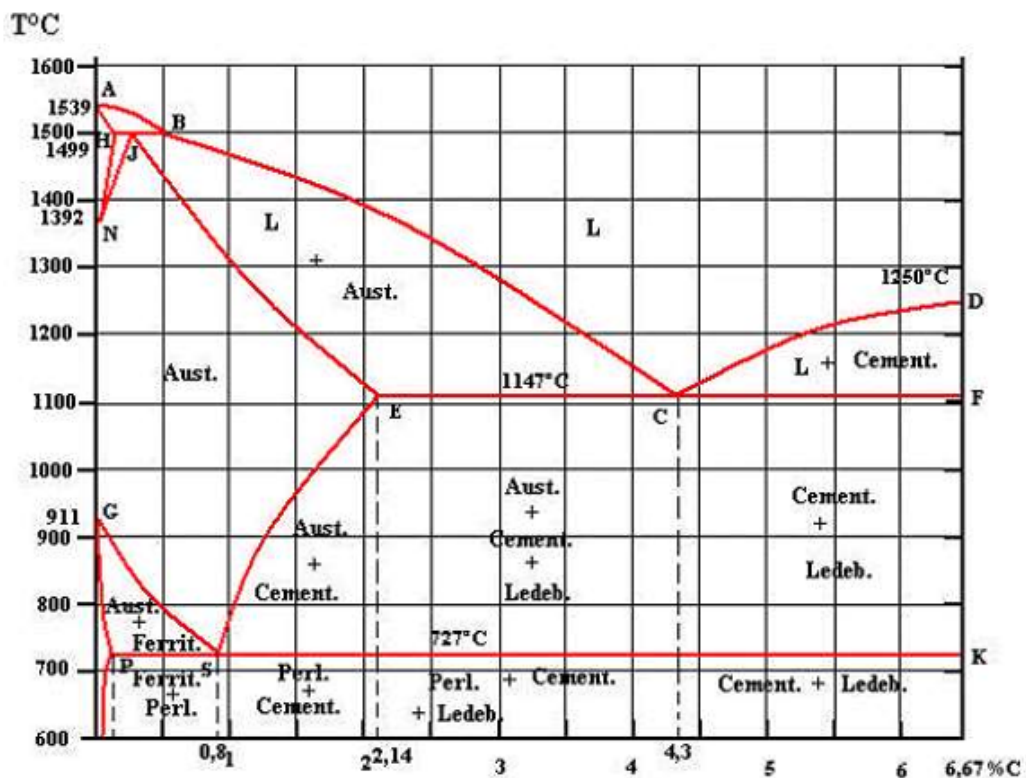


Figura 1: Diagrama de Fe-C.

Fuente: Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2004).

En el diagrama de equilibrio o de fases hierro-carbono (Fe-C) [Figura 1] se representan las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura, admitiendo que el calentamiento (o enfriamiento) de la mezcla se realiza muy lentamente de modo que los procesos de difusión (homogeneización) tienen tiempo para completarse. Dicho diagrama se obtiene experimentalmente identificando los puntos críticos (temperaturas a las que se producen las sucesivas transformaciones) por métodos diversos.

Microconstituyentes.

El hierro puro está presente en tres estados alotrópicos a medida que se incrementa la temperatura desde la temperatura ambiente:

Hasta los 911 °C (temperatura crítica AC3), el hierro ordinario cristaliza en el sistema dúctil y maleable responsable de la buena forjabilidad de las aleaciones con bajo contenido en carbono y es ferromagnético hasta los 770 °C (temperatura de Curie a la que pierde dicha cualidad; se suele llamar también AC2). La ferrita puede disolver pequeñas cantidades de carbono.

Entre 911 y 1400 °C cristaliza en el sistema cúbico de caras centradas y recibe la deforma con mayor facilidad y es paramagnética.

Entre 1400 y 1538 °C cristaliza de nuevo en el sistema cúbico de cuerpo centrado y recibe alfa, pero con parámetro de red mayor por efecto de la temperatura. A mayor temperatura el hierro se encuentra en estado líquido.

Si se añade carbono al hierro, aumenta su grado de acidez y sus átomos podrían situarse simplemente en los intersticios de la red cristalina de éste último; sin embargo, en los aceros aparece combinado formando carburo de hierro (Fe_3C), es decir, un compuesto químico definido y que recibe la denominación de Cementita de modo que los aceros aleados al carbono están constituidos realmente por ferrita y Cementita.

Transformación de Austenita

El diagrama de fases Fe-C (Figura 1) muestra dos composiciones singulares:

Un eutéctico (composición para la cual el punto de fusión es mínimo) que se denomina Ledeburita (Figura 2) y contiene un 4,3% de carbono (64,5 % de Cementita). La Ledeburita aparece entre los constituyentes de la aleación cuando el contenido en carbono supera el 2% (región del diagrama no mostrada) y es la responsable de la mala forjabilidad de la aleación marcando la frontera entre los aceros con menos del 2% de C (forjables) y las fundiciones con porcentajes de carbono superiores (no forjables y fabricadas por moldeo). De este modo se observa que por encima de la temperatura crítica A31, los aceros están constituidos sólo por Austenita, una solución sólida de carbono en

de las transformaciones que sufra ésta.



Figura 2: Microestructura de la Martensita.

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm>

Un Eutectoide en la zona de los aceros, equivalente al eutéctico, pero en el estado sólido, donde la temperatura de transformación de la Austenita es mínima. El Eutectoide contiene un 0,80 %C (13,5% de Cementita) y se denomina perlita. Está constituido por capas alternas de ferrita y Cementita, siendo sus propiedades mecánicas intermedias entre las de la Ferrita y la Cementita. (Ver la figura 3).

La existencia del Eutectoide permite distinguir dos tipos de aleaciones de acero:

Aceros Hipoeutectoides (menor a 0,80% C). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica A3 comienza a precipitar la ferrita entre los granos de Austenita y al alcanzar la temperatura crítica A1 la Austenita restante se transforma en perlita. Se obtiene por tanto a temperatura ambiente una estructura de cristales de perlita embebidos en una matriz de ferrita.

Aceros Hipereutectoides (mayor a 0,80% C). Al enfriarse por debajo de la temperatura crítica se precipita el carburo de hierro resultando a temperatura ambiente cristales de perlita embebidos en una matriz de Cementita.

Pues ya que este es un tratamiento térmico y su temperatura se eleva hasta dicha temperatura.

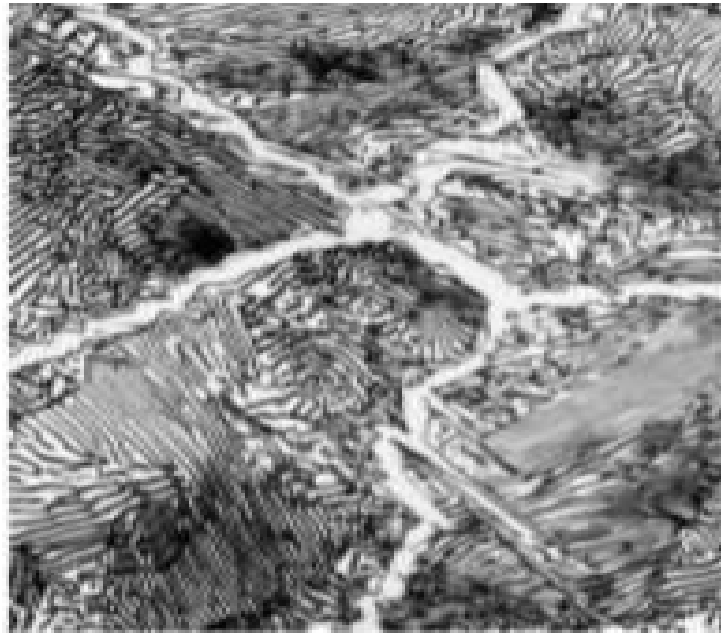


Figura 3: Presencia de Cementita (granos claros) y de Perlita (granos oscuros)

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm>

Otros Microconstituyentes.

Las texturas básicas descritas (Perlíticas) son las obtenidas enfriando lentamente aceros al carbono, sin embargo, modificando las condiciones de enfriamiento (base de los tratamientos térmicos) es posible obtener estructuras cristalinas diferentes:

La Martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la Austenita. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa con tendencia, cuanto mayor es el carbono, a la sustitución de la estructura cúbica centrada en el cuerpo por tetragonal centrada en el cuerpo. Tras la Cementita (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros. (Ver la figura 4).

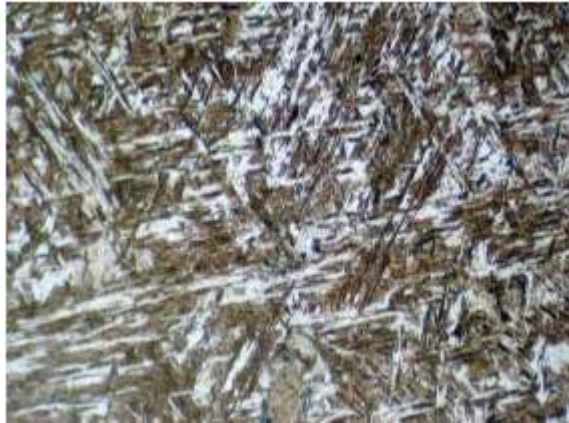


Figura 4: Presencia de Martensita

Fuente: Osmond R. (1902).

Velocidades intermedias de enfriamiento dan lugar a la Bainita, estructura similar a la Perlita formada por agujas de Ferrita y Cementita, pero de mayor ductilidad y resistencia que aquella. (Ver la Figura 5).



Figura 5: Presencia de vainita
Fuente: López A. Tierno (2.015)

También se puede obtener Austenita por enfriamiento rápido de aleaciones con elementos tal es el caso por ejemplo de los aceros inoxidable Austeníticos. (Ver la Figura 6)



Figura 6: Presencia de Austenita.
Fuente: <http://throwate.blogspot.com/2014/02/los-aceros.html>

Antaño se identificaron también la Sorbita y la Troostita que han resultado ser en realidad perlitas de muy pequeña distancia interláminar por lo que dichas denominaciones han caído en desuso. http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/6_diagrama_fec.html. (2.009).

2.2.3. Aceros de bajo carbono.

Contienen hasta 0,30% de C. la presentación más amplia de estos aceros es los productos planos, usualmente láminas en frío y recocido. Para láminas y secciones estructurales láminas, el contenido de carbono puede ser ir incrementando con porcentaje Manganese hasta 1,5%. Este grupo pertenece el acero al carbono AISI 1010.

2.2.4. Aceros medios en carbono.

Contiene entre 0,25 y 0,60% en peso de C. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La microestructura generalmente es Martensita revenida. Las adiciones de Cr, Ni, Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para las secciones de piezas relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono, pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, entre otros. http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4910/html/6_diagrama_fec.html. (2.009).

2.2.5. Aceros altos en carbono.

Generalmente contiene entre el 0,60 y 1,4% en peso de C. Son más duros y resistentes (menos dúctiles) que los otros aceros al Carbono. Casi siempre se utiliza con tratamientos de templado y revenido que los hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Generalmente contienen Cr, V, Wolframio (W) y Mo. Los cuales dan carburos muy duros. Se utilizan como herramienta de corte y matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería. Ramírez A, Cerpa S, Mejías G, León J, y Quintero A. (2.006).

Características del Acero AISI 1010

El Acero AISI 1010 es un acero estructural al carbono, de alta ductilidad y buena soldabilidad, utilizado en construcción de estructuras metálicas, tuberías, construcción de maquinarias cuando es endurecido superficialmente mediante tratamiento de cementación o carbonitrurado seguido de temple y revenido.

Como la mayoría de los aceros, el AISI 1010 tiene una densidad de , el acero AISI 1010 en barras, planchas y perfiles estructurales tiene un Esfuerzo de Fluencia de 275 (40 ksi), un Esfuerzo de Rotura de 455 MPa (66 ksi) y con una dureza Brinell Máxima de 223 HB según la ASTM international standards Worldwide (2016).

Formas

El acero AISI 1010 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas.

Métodos de unión

Las piezas hechas a partir de acero AISI 1010 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura. Los más comúnmente usados para el AISI 1010 son los menos costosos y rápidos como la Soldadura por Arco Metálico Protegido (SMAW, Shielded Metal Arc Welding), Soldadura con Arco Metálico y Gas (GMAW, Gas Metal Arc Welding), y soldadura oxiacetilénica. El acero AISI 1010 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales: edificios, puentes, torres, etc.

2.2.6 Concepto de Soldadura.

La soldadura es un proceso de unión permanente de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más partes mediante la aplicación conveniente de calor, presión o ambas a la vez. La integración de las partes que se unen mediante la soldadura se denomina un ensamble soldado. En algunos casos se agrega un material de aporte o relleno para facilitar la fusión. La soldadura se asocia por lo regular con partes metálicas, pero el proceso también se usa para unir plásticos. Aunque este estudio se basará en el análisis de la soldadura en la unión de metales.

2.2.6.1. Clasificación de la Soldadura.

Se pueden distinguir primeramente los siguientes tipos de soldadura:

Soldadura heterogénea. Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte.

Soldadura blanda. Esta soldadura de tipo heterogéneo se realiza a temperaturas por debajo de los 400 °C. El material metálico de aportación más empleado es una aleación de estaño y plomo, que funde a 230 °C aproximadamente.

Soldadura fuerte. También se llama dura o amarilla. Es similar a la blanda, pero se alcanzan temperaturas de hasta 800 °C. Como metal de aportación se suelen usar aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y cinc. Como material fundente para cubrir las superficies, desoxidándolas, se emplea el bórax. Un soplete de gas aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se suelda a solape y en ángulo. Este tipo de soldadura se lleva a cabo cuando se exige una resistencia considerable en la unión de dos piezas metálicas, o bien se trata de obtener uniones que hayan de resistir esfuerzos muy elevados o temperaturas excesivas. Se admite que, por lo general, una soldadura fuerte es más resistente que el mismo metal que une.

Soldadura homogénea. Los materiales que se sueldan y el metal de aportación, si lo hay, son de la misma naturaleza. Puede ser oxiacetilénica, eléctrica (por arco voltaico por resistencia), etc. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan autógenas. Las soldaduras homogéneas son:

Soldadura por presión. La soldadura en frío es un tipo de soldadura donde la unión entre los metales se produce sin aportación de calor. Puede resultar muy útil en aplicaciones en las que sea fundamental no alterar la estructura o las propiedades de los materiales que se unen. Se puede realizar de las siguientes maneras: **Por presión en frío o en caliente.** Consiste en limpiar concienzudamente las superficies que hay que unir; y, tras ponerlas en contacto, aplicar una presión sobre ellas hasta que se produzca la unión.

Por fricción. Se hace girar el extremo de una de las piezas y, después, se pone en contacto con la otra. El calor producido por la fricción une ambas piezas por deformación plástica.

Soldadura por fusión. En la soldadura de los metales, se llama soldadura por fusión a la técnica que consiste en calentar dos piezas de metal hasta que se derriten y se funden entre sí. Puede ser con o sin aporte de material. Éstas se clasifican en:

Soldadura con gases al soplete. El calor aportado en este tipo de soldadura se debe a la reacción de combustión del acetileno (C_2H_2): que resulta ser fuertemente exotérmica, pues

se alcanzan temperaturas del orden de los 3500 °C. La denominación de los gases puede verse en la figura 7.

En la llama se distinguen diferentes zonas, claramente diferenciadas: Una zona fría al a salida de la boquilla del soplete donde se mezclan los gases, a continuación, el dardo que es la zona más brillante de la llama y tiene forma de tronco de cono, posteriormente se encuentra la zona reductora que es la parte más importante de la llama, donde se encuentra la mayor temperatura (puede llegar a alcanzar los 3150 °C) y por último el penacho o envoltura exterior de la llama. (Ver figura 8).

Denominación del gas	Fórmula química	Densidad con relación al aire	m ³ de O ₂ para la combustión de 1 m ³ de gas	Temperatura de combustión, en O ₂ , en °C.
Acetileno	C ₂ H ₂	0,9056	2,5	3200
Propano	C ₃ H ₈	1,53	5	2750
Hidrógeno	H ₂	0,0695	0,5	2200
Gas natural (metano)	CH ₄	0,56	2	2000

Figura 7: Denominación de los gases

Fuente: Bedoya A. (2009)

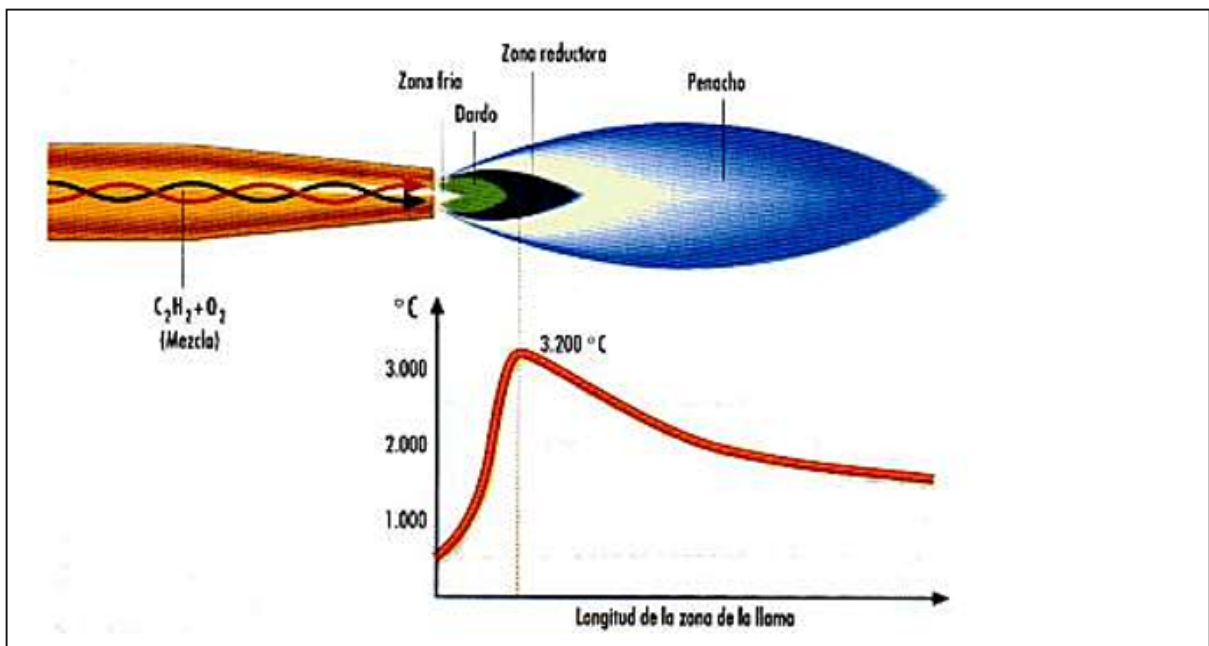


Figura 8: Soldadura con gases al soplete

Fuente: Izquierdo B. A. (2.015)

Aluminotermia.

Utiliza como fuente de calor para fundir los bordes de las piezas a unir y metal de aportación el hierro líquido y sobrecalentado que se obtiene de la reacción química que se produce entre el óxido de hierro y el aluminio de la cual se obtiene la alúmina (óxido de aluminio), hierro y una muy alta temperatura.

La alúmina forma una escoria en la parte superior de la unión evitando la oxidación. Para efectuar la soldadura se realiza un molde de arena alrededor de la zona de soldadura y se vierte el metal fundido en él.

Por resistencia.

Este tipo de soldadura se basa en el efecto Joule: el calentamiento se produce al pasar una corriente eléctrica a través de la unión de las piezas.

Soldadura por Arco Eléctrico.

Es un proceso de soldadura por fusión en el cual la unificación de los metales se obtiene mediante el calor de un arco eléctrico entre un electrodo y pieza a soldar. El arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica a través de una separación en un circuito y se sostiene por la presencia de una columna de gas ionizado (llamado plasma), a través de la cual fluye la corriente. (Ver Figura 9). El arco eléctrico se inicia al acercar el electrodo a la pieza, después del contacto se separa rápidamente de la pieza a una distancia corta. El arco eléctrico produce temperaturas hasta 5500 °C o más que son suficientes para fundir cualquier metal. Se forma un pozo de metal fundido que consiste en metal base y el metal de aporte (cuando se usa), cerca de la punta del electrodo. En la mayoría de los procesos de soldadura con arco eléctrico se agrega un metal de aporte durante la operación para aumentar el volumen y fortalecer la unión soldada. Conforme el electrodo se mueve a lo largo de la unión, el pozo de metal fundido se solidifica de inmediato.

Longitud del Arco: Depende del tipo de electrodo que se usa y el tipo de soldadura por hacer. Por lo tanto, para electrodos con diámetro pequeño se requiere de un arco más corto que levante electrodos más grandes. Generalmente, la longitud del arco deberá ser aproximadamente igual al diámetro del electrodo. Si el arco está demasiado largo, el metal se derrite del electrodo en grandes glóbulos que oscilan de un lado al otro a medida que el arco oscila. Esto produce un depósito ancho, salpicado, e irregular sin suficiente fusión entre el metal original y el metal depositado. Un arco largo permite la atmósfera a fluir en el flujo del arco, permitiendo la formación de nitruros y óxidos. Además, cuando el arco esté demasiado largo, el calor del flujo de arco disipa demasiado rápidamente, causando salpicadura considerable. Un arco largo puede reconocerse, por un silbido continuo muy parecido a un escape de vapor.

Un arco que está demasiado corto no genera suficiente calor para correctamente derretir el metal por soldar. Además, el electrodo se pegará frecuentemente y producirá depósitos desiguales con ondas irregulares. Un arco más corto normalmente es mejor para soldadura vertical porque se puede lograr mejor control de la mezcla de metales fundidos. El uso de un arco corto también evita entrada a la soldadura de impurezas de la atmósfera. Cuando el

electrodo, la corriente, y la polaridad sean correctos, un buen arco corto producirá un sonido agudo de crepitación.

Tipos de soldadura por arco eléctrico:

Soldadura por arco manual con electrodos revestidos (SMAW).

Este tipo de soldadura se caracteriza porque el arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto. El recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión. Con el calor del arco, el extremo del electrodo se funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base. Los electrodos suelen ser de acero suave, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera protectora que evita la oxidación del metal fundido y favorece la operación de soldeo. (Ver Figura 10)

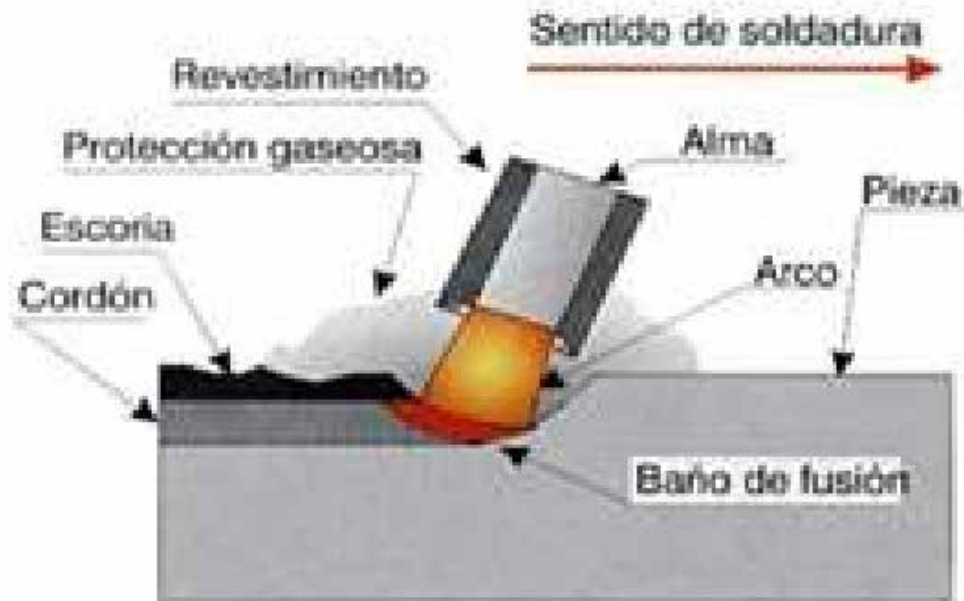


Figura 9: Soldadura por Arco Eléctrico.

Fuente: <https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>

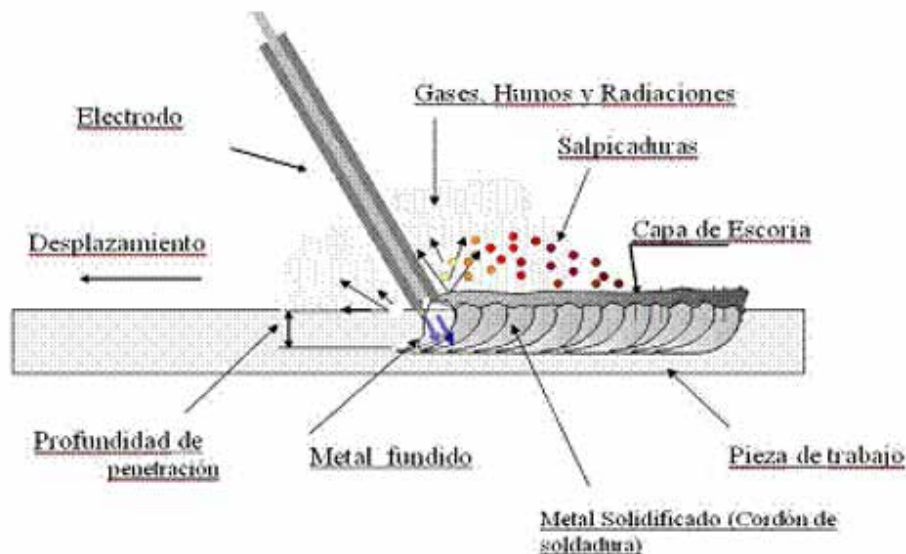


Figura 10: Soldadura SMAW.

Fuente: <https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>

Soldadura por electrodo no consumible protegido (GTAW/TIG)

La soldadura TIG, es un proceso en el que se utiliza un electrodo de tungsteno, no consumible. El electrodo, el arco y el área que rodea al baño de fusión, están protegidos de la atmósfera por un gas inerte. Si es necesario aportar material de relleno, debe de hacerse desde un lado del baño de fusión. La soldadura TIG, proporciona unas soldaduras excepcionalmente limpias y de gran calidad, debido a que no produce escoria. De este modo, se elimina la posibilidad de inclusiones en el metal depositado y no necesita limpieza final. La soldadura TIG puede ser utilizada para soldar casi todo tipo de metales y puede hacerse tanto de forma manual como automática. La soldadura TIG, se utiliza principalmente para soldar aluminio, y aceros inoxidable, donde lo más importante es una buena calidad de soldadura. Principalmente, es utilizada en unión de juntas de alta calidad en centrales nucleares, químicas, construcción aeronáutica e industrias de alimentación. (Ver figura 11).

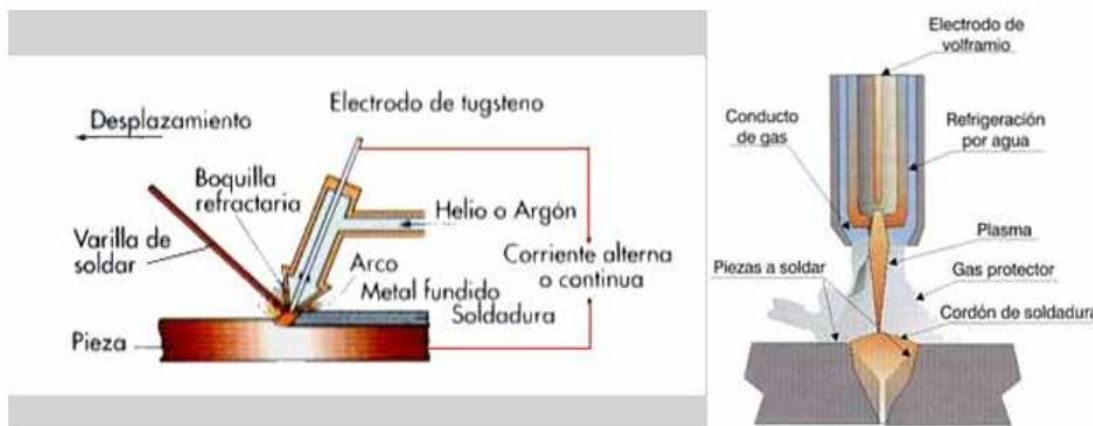


Figura 11: Soldadura TIG

Fuente: <https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>

Soldadura por electrodo consumible protegido (GMAW/MIG)

La soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas, dependiendo del gas que se inyecte) también denominada GMAW (Gas Metal Arc Welding o soldadura a gas y arco metálico) es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG).

En la soldadura MIG, como su nombre indica, el gas es inerte; no participa en modo alguno en la reacción de soldadura. Su función es proteger la zona crítica de la soldadura de oxidaciones e impurezas exteriores. Se emplean usualmente los mismos gases que en el caso de electrodo no consumible: argón, menos frecuentemente helio, y mezcla de ambos. (Ver Figura 12).

En la soldadura MAG, en cambio, el gas utilizado participa de forma activa en la soldadura. Su zona de influencia puede ser oxidante o reductora, ya se utilicen gases como el dióxido de carbono o el argón mezclado con oxígeno. El problema de usar CO₂ en la soldadura es que la unión resultante, debido al oxígeno liberado, resulta muy porosa. Además, sólo se puede usar para soldar acero, por lo que su uso queda restringido a las ocasiones en

las que es necesario soldar grandes cantidades de material y en las que la porosidad resultante no es un problema a tener en cuenta.

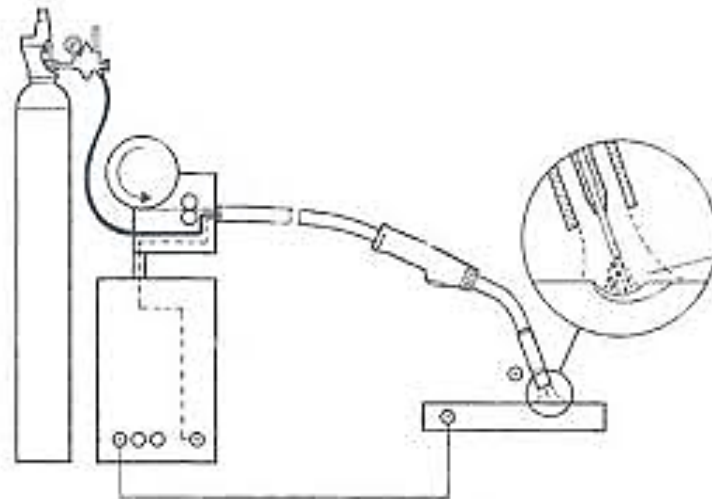


Figura 12: Soldadura con electrodo consumible (MIG y MAG).
Fuente: I.E.S. “Cristóbal de Monroy”. Dpto. de Tecnología

Soldadura por arco sumergido (SAW)

Es un proceso automático, en el cual un alambre desnudo consumible es alimentado hacia la pieza. Este proceso se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo. De esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja pues evita el empleo de elementos de protección contra la radiación infrarrojo y ultravioleta, que son imprescindibles en otros casos. Las corrientes en este proceso varían, van desde los 200 hasta los 2000 Amps. Y los espesores que es posible soldar varían entre los 5 mm y hasta más de 40 mm. Usualmente se utiliza corriente continua con electrodo positivo, cuando se trata de intensidades inferiores a los 1000 amperes. El proceso puede observarse en la Figura 13.

El proceso se caracteriza por sus elevados regímenes de deposición y es normalmente empleado cuando se trata de soldar grandes espesores de acero al carbono o de baja aleación.

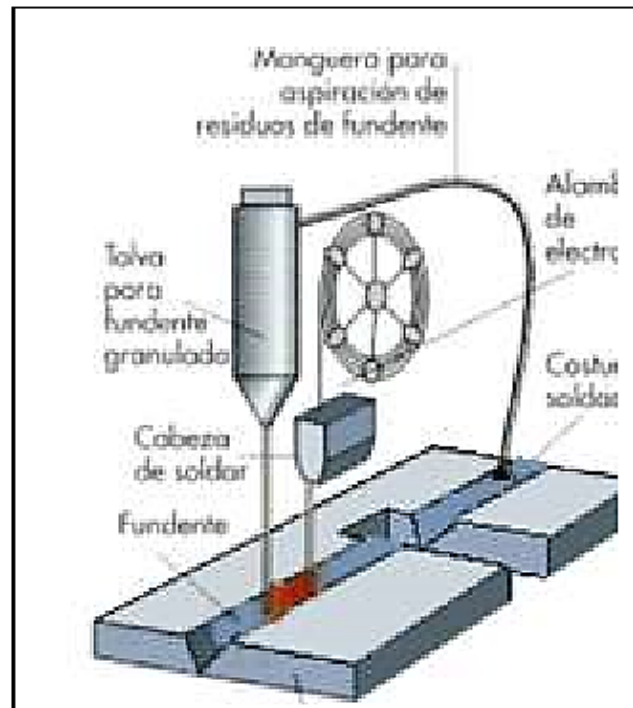


Figura 13: Soldadura SAW

Fuente: <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-soldadura/Asistencia/Procedimiento-de-soldadura/Soldadura-de-arco-sumergido.html> (2017)

2.2.6.2. Importancia de la Soldadura a nivel industrial.

La soldadura proporciona una unión permanente. Las partes soldadas se vuelven una sola unidad.

La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales si se usa un metal de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales y se emplean las técnicas de soldadura adecuadas.

En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes, en términos de uso de materiales y costos de fabricación, los métodos mecánicos alternativos de ensamblaje requieren alteraciones más complejas de las formas (por ejemplo, taladro de orificios) y adición de sujetadores (remaches o tuercas). El ensamblaje mecánico resultante por lo general es más pesado que la soldadura correspondiente.

La soldadura no se limita al ambiente de la fábrica. Puede realizarse en el campo.

2.2.6.3. Algunas desventajas del proceso de Soldadura.

La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan de forma manual y los costos de mano de obra son elevados ya que se consideran cuestiones especializadas y no son muchas las personas que las realizan.

Casi todos los procesos de soldadura implican el uso de mucha energía y por consiguiente son peligrosos.

Dado que la soldadura obtiene una unión permanente entre los componentes, no permite un ensamble adecuado. Si se requiere un desensamble ocasional de producto (para reparación o mantenimiento), no debe usarse la soldadura como método de ensamble.

La unión soldada puede padecer ciertos defectos de calidad que son difíciles de detectar. Los factores pueden reducir la resistencia de la unión.

2.2.6.4. Algunas aplicaciones de la Soldadura.

La construcción, por ejemplo: Edificios, puentes, estructuras metálicas, entre otros.

La producción de tuberías con costuras, recipientes para presión, calderas, tanques de almacenamiento, entre otros.

La construcción naval.

La industria aeronáutica y espacial.

Los automóviles y los ferrocarriles.

2.2.6.5. La fusión de la Soldadura.

Aunque hay varios mecanismos para fundir la soldadura, la fusión es por mucho el medio más común. Para conseguir la fusión, se aplica una fuente de energía calorífica de alta densidad a las superficies que van a empalmar y las temperaturas resultantes son suficientes para producir la fusión localizada de los metales base. Si se agrega un metal de aporte, la densidad calorífica debe ser suficientemente alta para fundirlo también. La densidad calorífica se define como la energía transferida al trabajo por unidad de área de superficie, esto es en J/m^2 . El tiempo para fundir el metal es inversamente proporcional a la densidad de la potencia. A bajas densidades de potencias, se requiere una gran cantidad de tiempo para producir la fusión. Si la densidad de energía es demasiado baja, el calor se conduce a las

partes del trabajo tan rápidamente como se transmite a la superficie y nunca ocurre la fusión. Se ha encontrado que la mínima densidad de energía requerida para fundir la mayoría de los metales en la soldadura es aproximadamente 10 J / cm^2 . Conforme aumenta la densidad calorífica, se reduce el tiempo de fusión. Si la densidad de energía es demasiado alta, un poco arriba de 105 J / cm^2 , las temperaturas localizadas vaporizan el metal en la región afectada. Por tanto, hay un rango de valores prácticos para la densidad de energía, dentro del cual puede ejecutarse la soldadura.

Las diferencias entre los procesos de soldadura en este rango son:

1. La velocidad a la que se ejecuta la soldadura.
2. El tamaño de región que puede soldarse.

2.2.6.6. Características de una junta soldada por fusión.

La mayoría de las uniones de soldadura consideradas anteriormente son fusiones soldadas como se ilustra en la sección transversal de la Figura 14 (a), una junta soldada por fusión común a la cual se ha agregado un metal de aporte, consta de varias zonas: 1) zona de fusión, 2) interface de soldadura, 3) zona afectada por el calor y 4) zona de metal base no afectada.

1. La zona de fusión consiste en una mezcla de metal de aporte y metal base que se ha fundido por completo. Esta zona se caracteriza por un alto grado de homogeneidad entre los metales componentes que se han fundido durante la soldadura. El motivo principal por el que se mezclan estos componentes es la convección que se suscita en el pozo de la soldadura fundida. La solidificación en la zona de fusión se asemeja a un proceso de fundición. En la soldadura el molde se forma por medio de los bordes o superficies no fundidos de los componentes que se están soldando. La diferencia significativa entre la solidificación en fundición y la soldadura es que en esta última ocurre un crecimiento de grano epiaxial. Se debe recordar que durante la fusión se transforman los granos metálicos a partir de la fusión, mediante la enucleación de partículas sólidas en la pared de fusión, seguida por el crecimiento del grano. En contraste, en el proceso de soldadura se evita la etapa de nucleación a través del mecanismo de crecimiento de grano epiaxial, en el cual los átomos del pozo fundido se solidifican sobre los sitios reticulares preexistentes de la base metálica sólida

adyacente. En consecuencia, la estructura del grano en el área de fusión cerca de la zona afectada por calor tiende a imitar la orientación cristalográfica de la zona afectada por calor circundante. Más hacia el centro de la zona de fusión se desarrolla una orientación preferencial, en la cual los granos están aproximadamente perpendiculares a los límites de la interface de la soldadura. La estructura resultante en la zona de fusión solidificada tiende a presentar granos columnares burdos, como lo muestra en la figura 14 (b). La estructura del grano depende de varios factores que incluyen el proceso de soldadura, los metales que se sueldan (por ejemplo, metales idénticos contra metales diferentes), si se utiliza un metal de aporte y la velocidad de alimentación a la que se obtiene la soldadura.

En consecuencia, la estructura del grano en el área de fusión cerca de la zona afectada por calor tiende a imitar la orientación cristalográfica de la zona afectada por calor circundante. Más hacia el centro de la zona de fusión se desarrolla una orientación preferencial, en la cual los granos están aproximadamente perpendiculares a los límites de la interface de la soldadura. La estructura resultante en la zona de fusión solidificada tiende a presentar granos columnares burdos, como lo muestra en la Figura 14 (b). La estructura del grano depende de varios factores que incluyen el proceso de soldadura, los metales que se sueldan (por ejemplo, metales idénticos contra metales diferentes), si se utiliza un metal de aporte y la velocidad de alimentación a la que se obtiene la soldadura.

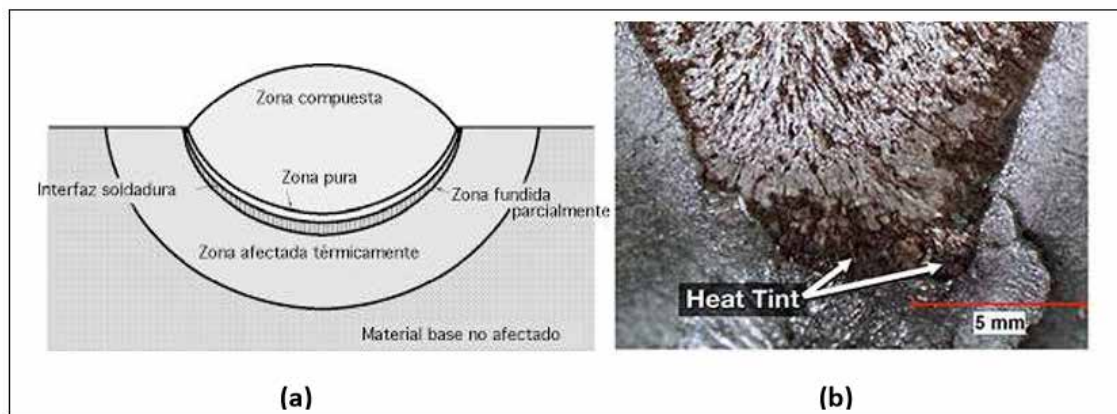


Figura 14: (a) Vista transversal de zonas afectadas por la soldadura. (b) Cambios de la microestructura en las juntas soldadas.

Fuente: <http://www.inoxidable.com/infoutil.htm>

2. La interface de soldadura, un estrecho límite que separa la zona de fusión de la zona afectada por calor. La interface consta de una banda completa y delgada de metal base fundido durante el proceso de fusión (el fundido se localiza dentro de los granos), el cual se ha solidificado inmediatamente después, antes de mezclarse con el metal de la zona de fusión. Por tanto, su composición química es idéntica a la del metal base.

3. La zona afectada por el calor. Esta zona, el metal ha experimentado temperaturas menores a su punto de fusión, aunque lo suficientemente altas para producir cambios microestructurales en el metal sólido. La composición en la zona afectada por el calor es igual a la del metal base, pero esta zona ha sido tratada con el calor debido a las temperaturas de soldadura, por lo que ha alterado sus propiedades y estructura. La cantidad de daño metalúrgico en la ZAC depende los factores tales como la cantidad de calor que ha ingresado y la máxima temperatura alcanzada, la distancia de la zona de fusión, el intervalo de tiempo al que ha estado sujeto a altas temperaturas, la velocidad de enfriamiento y propiedades térmicas del metal. El efecto sobre las propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor por lo general es negativo y en esta región con frecuencia ocurren fallas en la junta soldada.

Conforme aumenta la distancia de la zona de fusión, se alcanza por fin la zona del metal base no afectada, en la cual no ha ocurrido un cambio metalúrgico. No obstante, es probable que el metal base que rodea la ZAC presente un estado de alta tensión residual, producido por la contracción de la zona de fusión.

2.2.6.7. Cordón de Soldadura.

Es la región que se funde durante el proceso de soldadura y se compone de metal base y material de aporte; aunque algunas soldaduras se producen sin material de aporte, como es el caso de las que son realizadas mediante la aplicación del proceso de soldadura por resistencia eléctrica, tiene tres partes bien diferenciadas, como se aprecia en la Figura 15.

- a) **Zona de penetración.** Es la parte de las piezas que ha sido fundida por los electrodos. La mayor o menor profundidad de esta zona define la penetración de la soldadura. Una soldadura de poca penetración.

b) **Zona de transición (ZAC).** Es la más próxima a la zona de penetración. Esta zona, aunque no ha sufrido la fusión, si ha soportado altas temperaturas, que le han proporcionado un tratamiento térmico con posibles consecuencias desfavorables, provocando tensiones internas. Esta zona también es conocida como la zona afectada por el calor (ZAC).

2.2.6.8. Metal Base.

La tercera zona que compone una soldadura es el metal base.

Actualmente la mayoría de los materiales que se utilizan son soldables; y su selección para una aplicación que involucra la soldadura requiere que se considere su soldabilidad, que es la capacidad de un metal o combinación de ellos de ser soldados en condiciones de fabricación y comportarse satisfactoriamente en el servicio requerido. “Lincoln Soldadura de Venezuela C.A. Revista Edición N°7 pp 2 – 4”, (Julio 2.010).

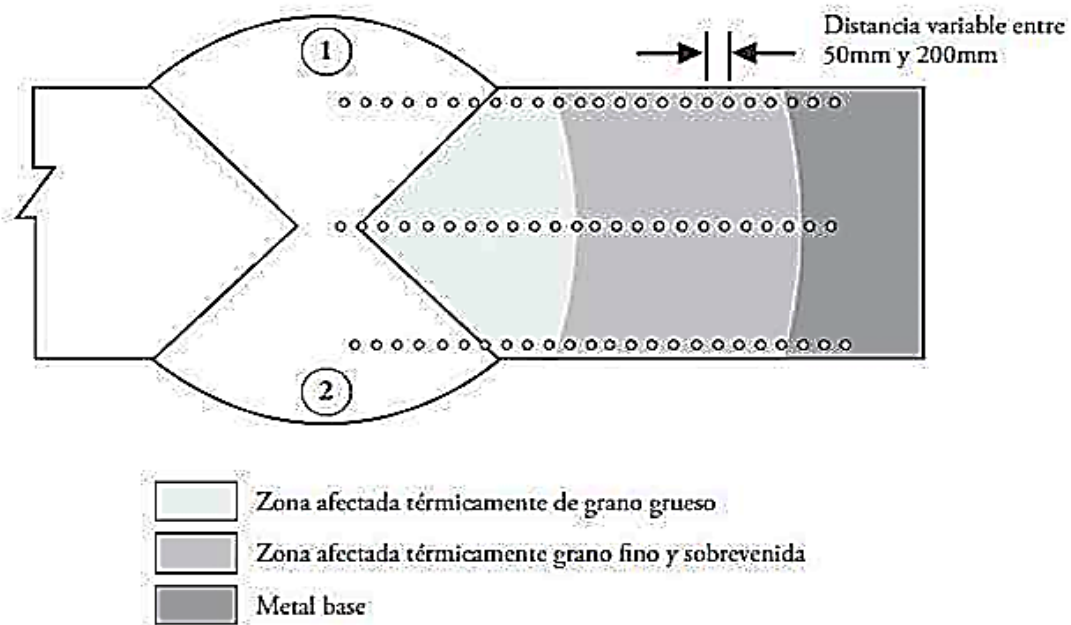


Figura 15: Partes del cordón de soldadura
Fuente: [http://www.smaw.cl/ejercicios-soldadura/\(2.016\)](http://www.smaw.cl/ejercicios-soldadura/(2.016))

2.2.6.9 Proceso SMAW.

Definición de soldadura por arco con electrodo metálico revestido.

La soldadura metálica con arco es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección. La Figura 16 muestra el proceso.



Figura 16: Proceso de soldadura por arco protegido

Fuente: http://www.elchapista.com/riesgos_de_la_soldadura.html. (2.017)

En ocasiones, el proceso se denomina soldadura de varilla. La varilla de soldadura normalmente tiene una longitud entre de 230 a 460 mm y un diámetro de 2,5 a 9,5 mm. El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera) mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato. En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo de metal descubierto de la varilla de soldadura (que está en la otra punta de la soldadura) se sujeta en un soporte de electrodos conectado a la fuente de energía. El soporte tiene una manija aislada para que lo tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAW varían entre 30 y 300 A y 15 a 45 V. La

selección de los parámetros de energía adecuados depende de los metales que se van a soldar, del tipo y longitud del electrodo, así como de la profundidad de penetración de la soldadura requerida. El transformador de corriente, los cables de conexión y el soporte del electrodo pueden adquirirse en algunos miles de dólares.

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinaria, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. Se prefiere sobre la soldadura con oxígeno y gas combustible para secciones más gruesas que 4,8 mm debido a su mayor densidad de energía. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que se convierte a la SMAW en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de AW. Los metales base incluyen los aceros, los aceros inoxidables, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa o se emplea rara vez en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio. “Lincoln Soldadura de Venezuela C.A. Revista Edición N°7 pp 2 – 4”, (Julio 2.010).

Ventajas y desventajas del proceso soldadura por arco con electrodo metálico revestido.

Ventajas:

El equipo es relativamente simple, portátil y económico.

La protección del metal de aporte y del charco de soldadura está incluida en el electrodo revestido.

No requiere del suministro externo de un gas de protección o fundente granular.

Es menos sensible a las corrientes de aire que los procesos que requieren de protección con gas.

Puede ser utilizado en áreas de acceso limitado.

Para la mayoría de las aleaciones comerciales existe disponibilidad de electrodos.

Desventajas:

El operador requiere de una mayor habilidad que en los procesos de alambre.

La aplicación es más lenta que los procesos de alambre.

Se requiere de mayor tiempo de limpieza para los cordones.

El electrodo revestido tiene la eficiencia más baja.

En la Figura 17 se muestra un gráfico de Eficiencia Vs Tipo de electrodo.

La desventaja de la soldadura metálica con arco protegido como operación de producción proviene del uso de varillas de electrodos consumibles, porque estos deben cambiarse en forma periódica a causa del desgaste. Esto reduce el tiempo de arco eléctrico en este proceso de soldadura. Otra limitación es el nivel de corriente que puede usarse, porque la longitud del electrodo varía durante la operación y ésta afecta al calentamiento de la resistencia del electrodo, los niveles de corriente deben mantenerse dentro de un rango seguro o el recubrimiento se sobrecalienta y fundirá prematuramente cuando se empieza a usar una nueva varilla de soldadura.

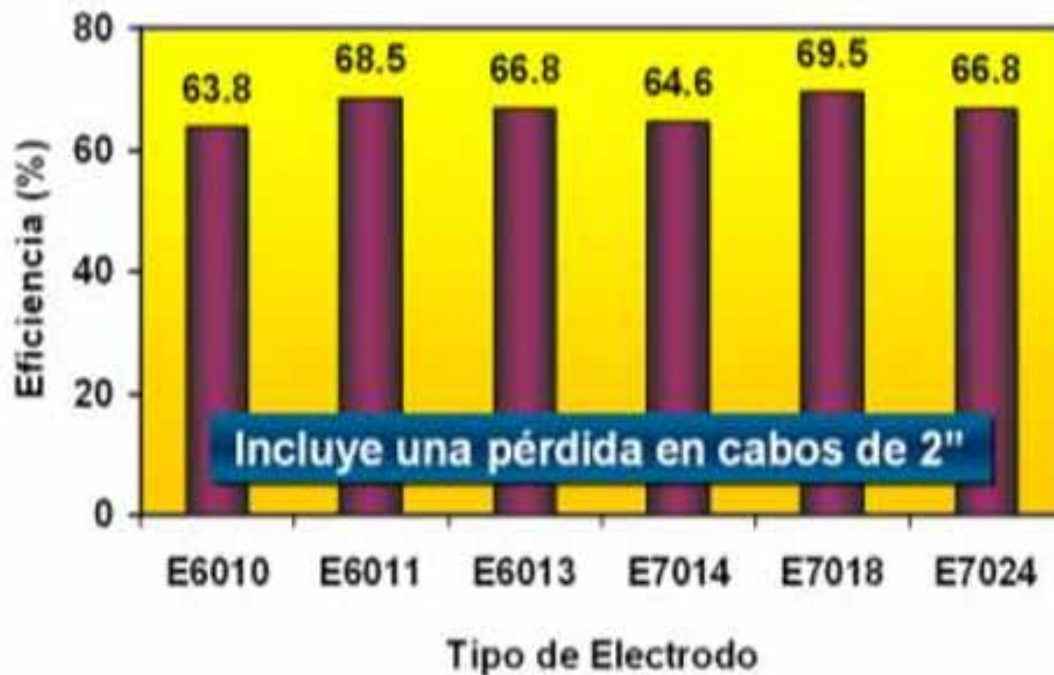


Figura 17: Gráfico de Eficiencia Vs Tipo de electrodo.

Fuente: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/ejercicios12_3.html (2.017)

Algunos de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico superan las limitaciones de la longitud de la varilla de soldadura en este proceso, usando un electrodo de alambre que se alimenta en forma continua.

Un buen procedimiento de soldadura está caracterizado por la poca presencia de porosidad, buena fusión, y una terminación libre de grietas o quebraduras, es una de las causas más frecuentemente citadas de una soldadura pobremente ejecutada, es causada por el exceso de oxígeno de la atmósfera, creada por el gas usado en el proceso y cualquier contaminación en el metal base, que combinado con el carbón en el metal soldado forma diminutas burbujas de monóxido de carbono (CO). Algunas de estas burbujas de CO pueden quedar atrapadas en la soldadura fundida después que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad.

2.2.6.10. Máquinas de soldar con arco eléctrico.

Para lograr buenas soldaduras con electricidad, se necesita una máquina que controle la intensidad de la electricidad, aumente o disminuya la potencia según se requiera y que sea segura para manejarla. Hay tres tipos principales de máquinas utilizadas en la soldadura con arco:

Máquina de CA (Corriente Alterna).

Máquina de CC (Corriente Continua)

Máquina de CA y CC (Una combinación de las dos).

Máquinas de Corriente Alterna.

Las máquinas de corriente alternan (CA) se llaman transformadores, Transforman la corriente de la línea de alimentación (que es de alto Voltaje y de bajo Amperaje) es una corriente útil, pero segura para soldar (que es de bajo Voltaje y alto Amperaje). Esto se efectúa dentro de la máquina con un sistema de un devanado primario, uno secundario y un reactor móvil. Las características principales de este tipo de máquina son:

El sentido del flujo de corriente cambia 120 veces por segundo (frecuencia de 60 Hz).

Se obtiene una penetración y una tasa de depósito media.

Se reduce el soplo magnético.

El equipo es más económico.

Máquinas de Corriente Continua.

Las máquinas de CC se clasifican en dos tipos básicos: generador y rectificador. En un generador de CC, la corriente se produce por la rotación de una armadura (inducido) dentro de un campo eléctrico. Esta Corriente Alterna generada la captan una serie de escobillas de carbón y un conmutador o colector y la convierten en Corriente Continua. Los rectificadores básicos son transformadores de CA a los que se ha agregado un rectificador. La Corriente Alterna que suministra el transformador se envía al rectificador que la convierte o rectifica a Corriente Continua,

La corriente directa fluye continuamente en un solo sentido.

Puede usarse con todos los tipos de electrodos recubiertos.

Es la mejor opción para aplicaciones a bajos amperajes.

El sentido y la estabilidad de arco son mejores.

Produce menos salpicadura.

DCEP para alta penetración.

DCEN para alto depósito.

A continuación, en la figura 18 se muestran las polaridades en las varillas.

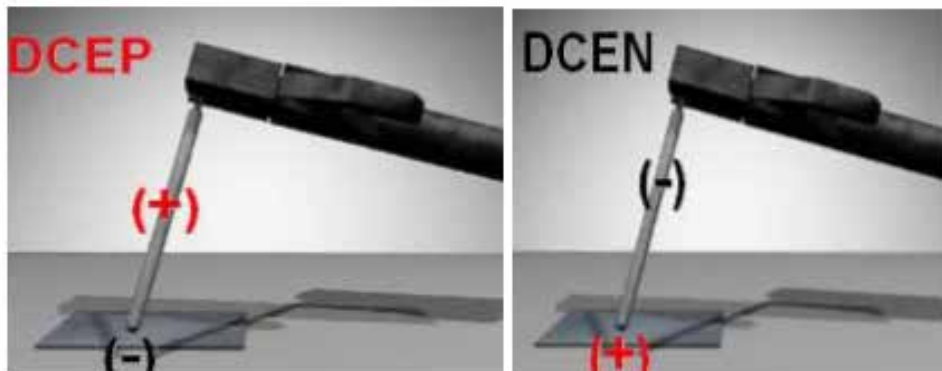


Figura 18: DCEP y DCEN para alta penetración y alto depósito
Fuente: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/ejercicios12_3.html (2.017)

Polaridad.

Una corriente eléctrica produce una fuerza magnética alrededor de su conductor. Debido a que las líneas de fuerza magnética finalizan en las terminales negativa y positiva de la corriente eléctrica, se les llama polo negativo y polo positivo. De ahí se deriva la palabra polaridad con la cual sabemos la dirección en que circula la corriente. Cuando el cable para el electrodo se conecta en la terminal positiva de la máquina de soldar, está se encuentra en polaridad positiva. Cuando el cable para el electrodo se conecta en la terminal negativa de la máquina de soldar, esta se encuentra en polaridad negativa.

No es necesario cambiar los cables para cambiar la polaridad. En la mayor parte de las máquinas, solo hay que mover una palanca o un cuadrante en el frente de la máquina de soldar. En algunos procesos de soldadura, la polaridad que se debe utilizar se determina con el metal que se va a soldar. Sin embargo, en el proceso de SMAW, la polaridad se determina por el recubrimiento del electrodo.

El factor principal que hace de este proceso de soldadura un método tan útil es su simplicidad y, por tanto, su bajo precio. A pesar de la gran variedad de procesos de soldadura disponibles, la soldadura con electrodo revestido no ha sido desplazada del mercado. La sencillez hace de ella un procedimiento práctico, todo lo que necesita un soldador para trabajar es una fuente de alimentación, cables, portaelectrodos y electrodos. El soldador no tiene que estar junto a la fuente y no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección. El procedimiento es excelente para trabajos, reparación, fabricación, y construcción. Además, la soldadura SMAW es muy versátil. Su campo de aplicaciones es enorme; casi todos los trabajos de pequeña y mediana soldadura de taller se efectúan con electrodo revestido; se puede soldar metal de casi cualquier espesor y se pueden hacer uniones de cualquier tipo. Sin embargo, el procedimiento de soldadura con electrodo revestido no se presta para su automatización ó semiautomatización; su aplicación es esencialmente manual.

La longitud de los electrodos es relativamente corta: de 230 a 700 mm. Por tanto, es un proceso principalmente para soldadura a pequeña escala. El soldador tiene que interrumpir el trabajo a intervalos regulares para cambiar el electrodo y debe limpiar el punto de inicio antes de empezar a usar electrodo nuevo.

2.2.6.11 Electroodos.

Además de establecer el arco y proporcionar metal de aporte para el depósito de soldadura, el electrodo introduce otros materiales para el arco o sus inmediaciones. El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura.

Fabricación de la varilla:

Alambrón de 6 a 8 mm de diámetro.

En rollos o bobinas, de aproximadamente 1.000 Kg.

Los diámetros de alma son normalmente 1,6; 2; 2,5; 3; 3,25; 4; 5 y 6mm.

El corte de las varillas se realiza a un ritmo entre 580 y 1400 cortes/minuto, en función de su diámetro.

Fabricación del revestimiento:

Se suelen utilizar hasta cuarenta minerales y sustancias distintas.

Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos convencionales de aire para darles un secado final a 400-450 °C, con el fin de que el contenido de H₂O a 1.000 °C según AWS, sea inferior a 0,4%.

Composición del revestimiento:

Óxidos naturales: óxidos de hierro, ilemita (50% óxido férrico y 50% óxido de titanio), rutilo (óxido de titanio), sílice (óxido de silicio).

Silicatos naturales: caolín, talco, mica, feldepasto.

Productos volátiles: celulosa, serrín.

Fundente.

Productos químicos: carbonato, óxidos.

Ferroaleaciones: de Mn, Si, Ti.

Aglomerantes: Silicato Sódico, Silicato Potásico.

El revestimiento del electrodo, que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.

Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.

Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación y hierro en polvo.

La denominación por la AWS se realiza según lo indica la figura 19.

Alambre del núcleo.

El alambre del núcleo de un electrodo, en casi todos los casos, se hace con el mismo metal con el de las piezas que se van a soldar. Por ejemplo, el acero dulce se solda con un electrodo con el alambre del núcleo hecho con acero dulce.

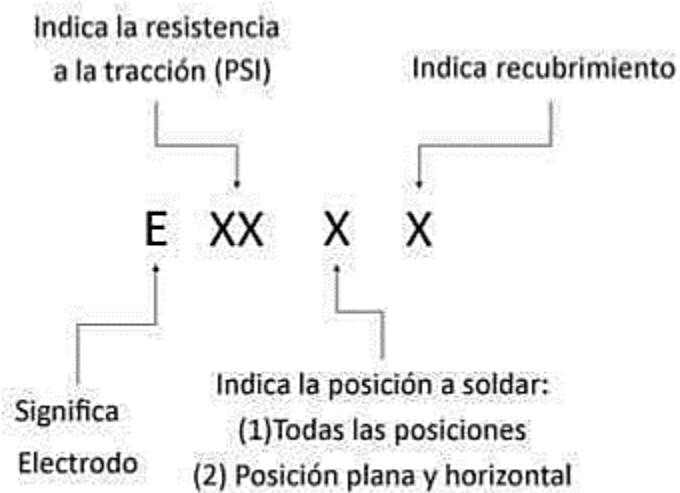


Figura 19: Clasificación AWS para electrodos SMAW

Fuente: Marin H. Andrés M. (2.017)

El alambre sería de aluminio para soldar un metal base de aluminio; para el cobre, se emplearía alambre de núcleo de cobre, entre otros. La combinación de los elementos utilizados para el recubrimiento produce las características especiales de cada tipo de electrodo.

La finalidad del alambre del núcleo es conducir la energía eléctrica al arco y suministrar el metal de relleno o aporte adecuado.

Recubrimiento.

El recubrimiento tiene muchas funciones. Si no lo hubiera, el metal fundido se combinaría con el oxígeno y nitrógeno del aire. Por tanto, es necesario proteger tanto el metal de aporte del electrodo como el metal base fundido que se suelda; éste es la mezcla del metal base fundido y el metal fundido del electrodo que, cuando se solidifica forma la soldadura en sí. El arco se puede proteger con una envoltura de un gas inerte, el cual no producirá una reacción química con el metal fundido. El recubrimiento de los electrodos suministra el gas protector. Este es el proceso de soldadura con metal y arco protegido (SMAW).

Algunos de los elementos utilizados en los recubrimientos son Magnesio, Silicatos de Aluminio y Talco, todos ellos son formadores de escoria. Los Fluoruros de Calcio, Carbonatos de Calcio, Ferromanganeso, Ferrosilicio y Ferrotitanio son agentes fundentes. El silicato de Sodio se utiliza como agente aglutinante. La celulosa, que forma un gas, protege la zona de la soldadura. (Ver figura 20).

Clasificación AWS	Tipo de revestimiento	Posiciones	Corriente y polaridad	% adicional de polvo de Fe
XX10	Celulósico	Todas	CCEP	*
XX11			CCEP Y CA	*
XX12	Rutilico		CCEN	*
XX13			CCEP Y CA	*
XX14			CCEN	= 30 %
XX24			Plana y horizontal	= 70 %
XX15	Básico	Todas	CCEP	*
XX16			CCEP Y CA	*
XX18		Plana y horizontal	CCEP	= 30%
XX28				= 70%

Figura 20: Electrodo comunes para proceso SMAW

Fuente: Marin H. Andrés M. (2.017)

Funciones de los recubrimientos.

Las principales funciones de los recubrimientos de los electrodos son:

Reducir al mínimo la contaminación del metal de soldadura con el oxígeno y nitrógeno atmosférico.

Compensar las pérdidas de ciertos elementos durante la transferencia de metal a través del arco, porque el recubrimiento incluye aleaciones.

Concentrar el arco en una zona específica porque forma una taza o copa en la punta del electrodo, que se debe a la fusión más lenta del recubrimiento.

Escoria.

El recubrimiento también forma escoria en la parte superior del metal fundido que se suelda, la cual protege al metal fundido durante el enfriamiento y también ayuda a configurar la soldadura. Se elimina después de que se ha enfriado la soldadura. La escoria, además de formar una capa protectora sobre la soldadura, también debe poseer las siguientes características:

Tener un punto de fusión más alto que el del metal que se suelda. De lo contrario, hay el peligro de que la escoria se solidifique antes que el metal de aporte depositado.

Tener una densidad, en su estado fundido, que sea menor que la del metal de soldadura, para que pueda flotar en la superficie.

Debe tener superficie viscosidad para que no fluya sobre una superficie muy grande.

Sirve para evitar la contaminación del metal de la soldadura con el aire atmosférico.

En las figuras 21 y 22 se muestra la escoria generada por el proceso de soldadura SMAW.

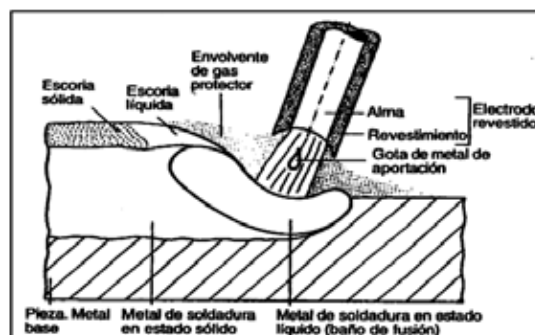


Figura 21: Descripción del proceso SMAW donde se muestra la escoria

Fuente: Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A (2.016)



Figura 22: Escoria en Soldadura SMAW

Fuente: <https://www.reparatucultivador.com/controlar-la-escoria-en-soldadura/> (2.017)

2.2.6.12 Preparación de los bordes.

El bisel es un corte inclinado en el borde de una lámina o tubo con el fin de realizar un buen proceso de soldadura; cumple una función importante en este proceso, debido a que en ocasiones el soldador no posee el nivel de penetración suficiente por parte del material de aporte en la zona de la soldadura, que conlleva a una mala unión soldada. Este biselado se hace normalmente con la ayuda de la pulidora o del esmeril, ya sea en las dos láminas a unir o en solo una de ellas.

Una soldadura con bisel es, “una soldadura hecha en un bisel entre las piezas”. Hay ocho tipos de soldadura con bisel:

- Bisel recto
- A tope con inglete
- Bisel en V
- Bisel en 1/2 V
- Bisel en U
- Bisel en J
- Bisel en V ensanchado
- Bisel en 1/2 V ensanchado

Sus nombres implican como las configuraciones actuales se ven cuando son vistas en sección transversal. Todos estos tipos de soldadura con bisel pueden ser aplicados a juntas que son soldadas de un solo lado o de ambos lados. La Figura 23 ilustra las configuraciones típicas para una junta soldada de bisel simple y doble. Como es de imaginarse, una junta soldada simple es una “junta soldada fusionada que ha sido soldada de un solo lado”. De la misma manera, una junta soldada doble es “una junta soldada fusionada que ha sido soldada de ambos lados”. Soldadura con bisel de diferentes tipos son usadas en varias combinaciones.

La selección está influenciada por la accesibilidad, economía, adaptación al diseño estructural, distorsión esperada y el tipo de proceso de soldadura usado. Las soldaduras con bisel recto son las más económicas de usar, pero están limitadas por el espesor de los componentes.

La soldadura con bisel recto con penetración total, soldada de un solo lado, generalmente no es usada para material más fino que $\frac{1}{4}$ de pulgada. Materiales finos requieren la selección de geometría de juntas que acomoden otros tipos de soldaduras con bisel. En juntas finas la geometría particular debe proveer accesibilidad para soldar, asegurando la solidez y resistencia de la soldadura, y minimizando la cantidad de metal removido.

Por razones económicas, estos diseños de juntas deben ser elegidos con abertura de raíz y ángulo de bisel que requieran la mínima cantidad de metal de soldadura, pero que aún reúnan las condiciones de servicio de la soldadura. La selección de las aberturas de raíz y ángulos de bisel es influenciada por el metal a ser unido, la ubicación de la junta dentro de la soldadura, y las condiciones de servicio requeridas.

Las soldaduras con biseles en J o U pueden ser usadas para minimizar los requerimientos de metal de soldadura cuando los factores económicos excedan en valor el costo de la preparación del borde. Estos tipos de soldaduras son especialmente útiles en secciones de poco espesor. Soldaduras con bisel en $\frac{1}{2}$ V y con bisel en J son más difíciles de soldar que aquellas con bisel en V o en U, debido al borde vertical. Soldaduras con bisel en V ensanchado y bisel en $\frac{1}{2}$ V ensanchado son usadas en conexión con componentes de bordes curvos o redondeados. “Soldadura Protocolo”. (2.008).

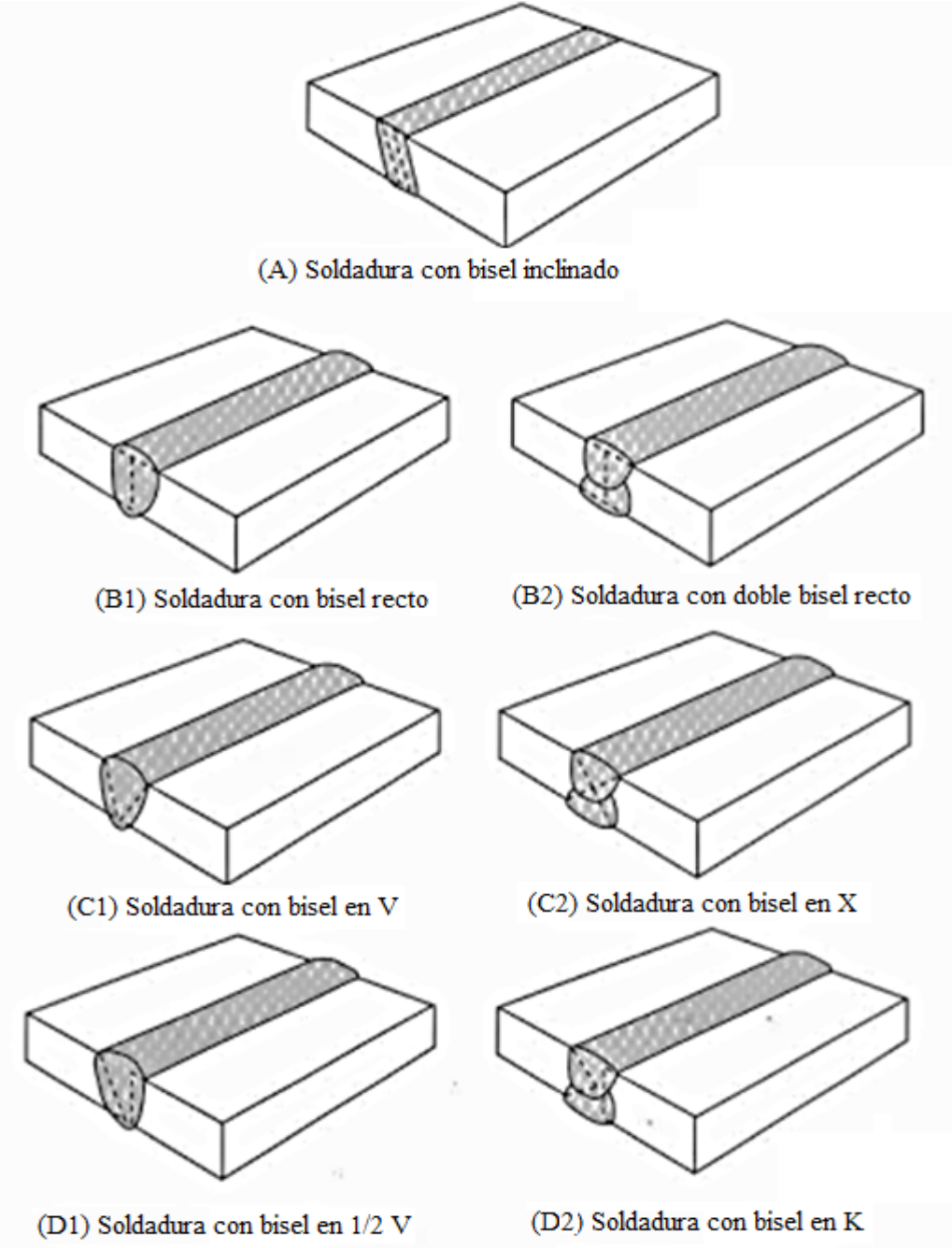


Figura 23: Tipos de biseles

Fuente: AWS Welding Handbook. Ninth Edition volume 2
Welding process, part 1 (2.001)

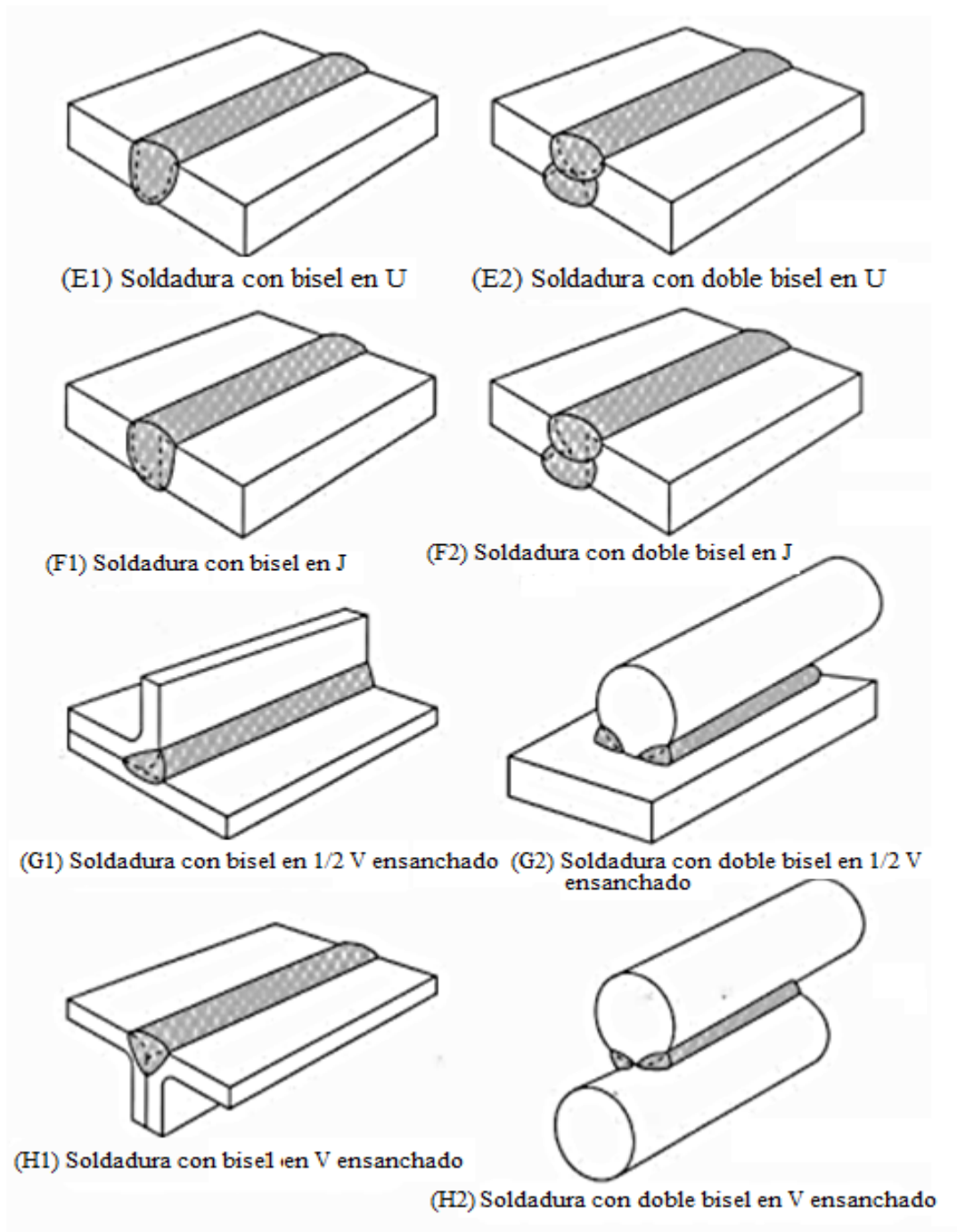


Figura 24: Tipos de biseles (Continuación)
Fuente: AWS Welding Handbook. Ninth Edition volume 2
 Welding process, part 1 (2.001)

2.2.7 Ensayos Metalúrgicos.

2.2.7.1. Ensayo de Macroscopía.

El objetivo de un examen macroscópico es el de detectar ciertos aspectos e imperfecciones observables a simple vista, que generan información sobre las características del material en estudio; esta información permite concluir cualitativamente acerca de las características mecánicas y de los procesos de conformación utilizados en los metales y aleaciones, la preparación de la muestra debe hacerse previa al examen.

2.2.7.2 Ensayo de Microscopía.

La microscopía es la técnica de producir imágenes visibles, de estructuras o detalles demasiados pequeños para ser percibidos a simple vista. Para realizar la revisión microscópica de las muestras, previamente se deben preparar de acuerdo a ciertas normas, luego se exponen a la acción química de un reactivo y como último paso, se observa la muestra en el microscopio metalográfico. La confiabilidad de la información, sobre la microestructura y los constituyentes del material en estudio, está íntimamente vinculada con el proceso antes descrito, de no ser así, el ensayo puede arrojar datos que disten de la realidad.

Sin duda alguna el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como el técnico, ya que es posible mediante este determinar las características de la estructura de un metal o aleación, pudiéndose determinar el tamaño de grano y el tamaño, forma y distribución de las diversas fases e inclusiones, características íntimamente relacionadas con las propiedades mecánicas de los materiales.

Este ensayo se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio), para observar características estructurales microscópicas (micro-estructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido el metal, debido a que los mismos nos ponen en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren es dicho proceso. Guzmán F. (2016).

2.2.8 Ensayos mecánicos.

2.2.8.1. Ensayo de Tracción.

La prueba de tracción es la que se realiza con más frecuencia, para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Consiste en realizar esfuerzos a tensión a un

material hasta su ruptura. Las cargas en la probeta y en el alargamiento de estas se miden continuamente a medida que aumenta la carga. El esfuerzo al cual se somete la probeta se determina dividiendo la fuerza aplicada por el área transversal nominal de la misma, y la deformación unitaria se obtiene dividiendo el alargamiento total por una longitud inicial de referencia. Como resultado de este ensayo se obtiene un diagrama esfuerzo-deformación.

El ensayo destructivo más importante es el ensayo de tracción, en donde se coloca una probeta en una máquina especial para este ensayo, que consiste en dos (2) mordazas, una fija y una móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil. El ensayo de tracción es el apropiado para uso general en el caso de la mayoría de los metales y aleaciones no ferrosas, fundidas, laminados o forjados. (Ver Figura 25).

La curva Esfuerzo vs. Deformación a la tracción se obtiene por la acción de la carga fija sobre una probeta estándar. Otro método para obtener la curva es especificar la rapidez de deformación como variable independiente, en cuyo caso la rapidez de carga se ajusta en forma continua para mantener la deformación requerida. En la mayoría de los materiales de ingeniería, la curva tendrá una región elástica lineal, en la cual la deformación es reversible e independiente del tiempo.

La máquina para realizar el ensayo de tracción impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionada. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, algunas máquinas poseen una impresora que gráfica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

Las ecuaciones para determinar las propiedades mecánicas con este ensayo son las siguientes:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\sigma = E \epsilon \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

A_0 = Área inicial (mm^2)

L_0 = Longitud inicial (mm)

= Longitud final (mm)
S = Esfuerzo de Ingeniería (MPa)
= Esfuerzo Real (MPa)

= Área instantánea (mm^2)
= Carga (N)
= Carga instantánea (N)



Figura 25: Ensayo de tracción

Fuente: <http://endalloy.net/desarrolloycalificacionsoldadura.html> (2017)

Este ensayo además da como resultado, un gráfico que permite deducir puntos y zonas características que revisten gran importancia, dicho grafico se obtiene directamente de la máquina representando alargamiento, en función de la carga o la fuerza estática aplicada. Sin embargo, a partir de él se puede obtener el diagrama esfuerzo- deformación, el cual destaca

las propiedades mecánicas más importantes del material. La curva típica del ensayo se observa en la Figura 26.

En los materiales dúctiles (materiales que pueden deformarse sostenidamente sin romperse), si se posee su curva característica es posible obtener propiedades que servirán para su estudio. (Ver Figura 27).

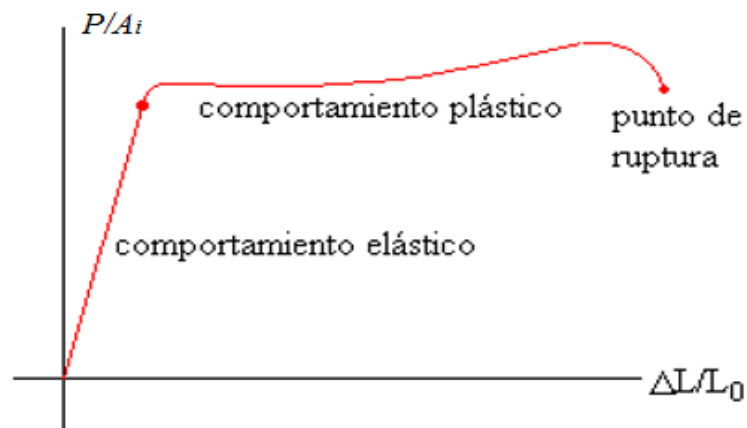


Figura 26: Comportamiento típico de los materiales
Esfuerzo vs Deformación unitaria.

Fuente: Askeland, Ingeniería y Ciencia de los materiales, (2.004)

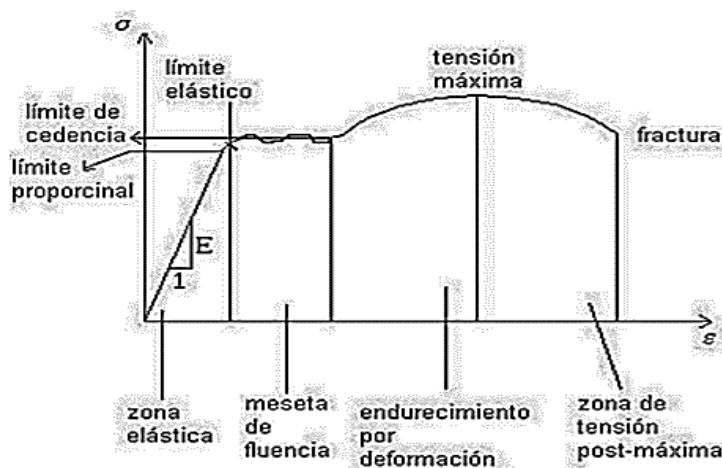


Figura 27: Curva característica Esfuerzo vs Deformación para materiales dúctiles.

Fuente: Askeland, Ingeniería y Ciencia de los materiales, (2.004)

Módulo de Young E: representa la relación entre la tensión y la deformación en la zona proporcional.

Límite de rotura: máximo valor de la tensión observable en un diagrama tensión-deformación. Es la máxima tensión que soporta la probeta.

Límite de proporcionalidad: la tensión a partir de la cual deja de cumplirse la relación proporcional entre tensión y deformación.

Límite de fluencia: Valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la fluencia.

Estricción: Es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

2.2.8.2 Ensayo de Doblado.

Este ensayo se utiliza para medir la capacidad de deformación de la soldadura en una probeta al flexionarla alrededor de un punzón, ocasionalmente se toma el alargamiento de la fibra exterior para evaluar la capacidad de deformación.

Generalmente para estos ensayos se utiliza una prensa hidráulica donde se ubica el material entre dos apoyos y se hace bajar la prensa haciendo actuar el punzón.

En este ensayo es colocada la probeta en dos apoyos, se somete a una carga progresiva en el centro de la misma, se dobla hasta la aproximación de las grietas o hasta que se considere suficiente, el ángulo de doblado, los pliegues y demás detalles de esa zona proporcionan información útil sobre el comportamiento de ese material en trabajos de flexión. (Ver Figura 28).

El doblado a temperatura ambiente es un ensayo tecnológico derivado del de flexión, se realiza para determinar la ductilidad de los materiales metálicos (de él no se obtiene ningún valor específico). Este ensayo es solicitado por las especificaciones en la recepción de los aceros en barras y perfiles, para la comprobación de la tenacidad de los mismos y después de haber sido sometido al tratamiento térmico de recocido. El material se coloca entre los soportes cilíndricos, aplicando la carga lentamente hasta obtener el ángulo de doblado del mismo, o bien se observa la aparición de las primeras fisuras en la cara inferior o la sometida a la tracción. Avner, S. (1.989).

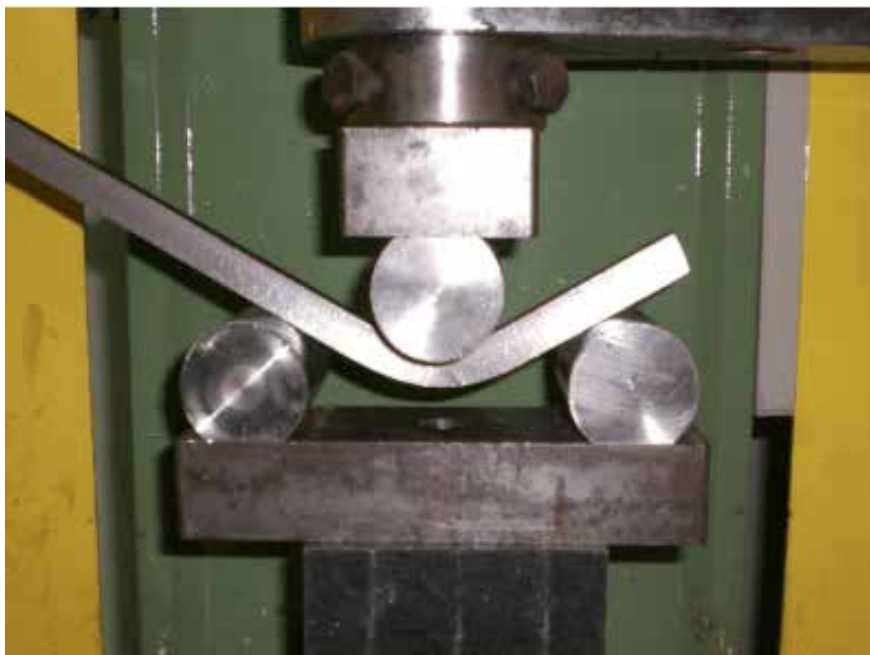


Figura 28: Dispositivo para Ensayo de Doblado.
Fuente: <http://endalloy.net/desarrolloycalificacionsoldadura.html> (2017)

El ángulo de doblez depende de los siguientes factores:

Forma y fabricación de la probeta: a la forma y dimensiones de la probeta, estado de la superficie (sin considerar el cordón); ángulo del chaflán en V o en X.

Realización del Ensayo: posición de la costura de la raíz del ensayo, distancia entre apoyos, diámetros del punzón, velocidad de deformación en el ensayo.

Doblado de cara.

Se utiliza para comprobar la calidad de la fusión, es decir, es para ver si la soldadura está libre de porosidad, inclusiones y falta de fusión. Para realizar el ensayo de cara se sitúa la probeta sobre los soportes cilíndricos de tal manera que la parte más ancha del cordón de soldadura se coloque hacia abajo y se aplica la presión hasta que la probeta quede en forma de U.

2.2.8.2 Ensayo de Dureza.

En este ensayo se obtienen características mecánicas importantes en forma rápida y no destructivo, lo que permite realizarlo en piezas ya elaboradas.

La dureza se define como: “La mayor o menor resistencia que un cuerpo se opone a ser rayado o penetrado por otro” o “La mayor o menor dureza de un cuerpo con respecto a otro tomado como elemento de comparación”. El ensayo es realizado con indentadores en forma de esferas, pirámides o conos. Estos elementos se cargan contra el material y se procede a medir el tamaño de la huella que dejan. Es un ensayo fácil y puede realizarse en cualquier sitio, ya que existen durómetros fácilmente transportables. Una de las ventajas del ensayo de dureza es que los valores entregados pueden usarse para hacer una estimación de la resistencia a la tracción. La dureza superficial del material puede aumentarse añadiendo una capa de carbono en un tratamiento térmico denominado Cementación.

Existen varios métodos para realizar este ensayo, los cuales utilizan diferentes penetradores y cargas, tales como:

Ensayo Brinell (Dureza Brinell- HB).

Ensayo Rockwell (Dureza Rockwell- HR).

Ensayo Vickers (Dureza Vickers-HV).

Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolita de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra. El valor de dureza, número de Brinell HB, resulta de dividir la carga aplicada P por la superficie del casquete, por lo que

Ec. 4

— —

La profundidad h del casquete impreso se mide directamente en la máquina, mientras la carga se mantiene aplicada de modo de asegurar un buen contacto entre la bolita y el material.

Dureza Rockwell

Para los materiales duros se emplea como elemento de penetración un cono de diamante de ángulo 120°, y para los semiduros y blandos una bolita de acero de 1/16", deduciéndose la fuerza Rockwell de la profundidad conseguida en la penetración. El cuerpo empleado para la penetración se hace incidir sobre la superficie de la pieza a ensayar con carga previa de 10Kg. La profundidad de penetración alcanzada constituye el valor de partida para la medición de la profundidad de la huella. Después se aumenta en 140Kg la carga aplicada al cono (150Kg), y en 90Kg la aplicada a la bolita (100Kg), bajándose nuevamente el valor previo. Se mide la profundidad de penetración que queda y en la escala del aparato se lee directamente la correspondiente dureza Rockwell C (HRc) cono o la Rockwell B (HRb) bolita.

Microdureza Vickers

Durante las mediciones estandarizadas de dureza Vickers se hace penetrar un indentador de diamante en forma de pirámide de cuatro caras con un ángulo determinado en el vértice. La utilización de una pirámide de diamante tiene las siguientes ventajas: 1) las improntas resultan bien perfiladas, cómodas para la medición; 2) la forma de las improntas es geoméricamente semejante, por lo cual la dureza para un mismo material es constante, independientemente de la magnitud de la carga; 3) la dureza con la pirámide coincide con la dureza Brinell para los materiales de dureza media; 4) este método es aplicable con igual éxito para los materiales blandos y duros, y sobre todo para los ensayos de probetas delgadas y las capas superficiales.

Para obtener la dureza Vickers de la superficie de un material se presiona contra la probeta un indentador piramidal de se mantiene algún tiempo bajo la carga P. Luego de retirada la carga se miden las dos diagonales de la impronta dejada, con ayuda de un microscopio. El valor medio de las diagonales (d) y el valor de la carga se sustituyen en la fórmula de trabajo para obtener el valor de la dureza Vickers. En las mismas condiciones se realizan varias indentaciones más. Calle y Henao (2.016).

La dureza Vickers viene dada por: $HV = P/S$ [kg/mm], donde S es la superficie de la impronta y P la carga aplicada.

2.3 Definición de Términos Básicos.

Acero: es una aleación de hierro-carbono con un contenido de carbono no mayor a 20.11%, y que posee otros aleantes como Cr, Si, Mn, etc.

Alúmina: óxido de aluminio anhídrido, en combinación con sílice y otros cuerpos, como: los feldespatos y arcillas.

Ataque químico: es el que sufre la superficie de cualquier metal en virtud de la acción química o electrolítica con el fin de revelar detalles de su microestructura.

Biselado: proceso en el cual se realiza un corte oblicuo en el borde de una superficie.

Cementita: carburo de hierro constituyente de las estructuras del acero (Fe_3C).

Ductilidad: es la capacidad que tiene un material para ser deformado plásticamente sin que este se fracture.

Dureza: resistencia de un material a ser penetrado superficialmente.

Escoria: residuos no deseados dejados por el proceso de soldadura.

Esfuerzo: fuerza por unidad de área.

Ferrita: es un componente del acero el cual posee un color blancuzco, cuya composición es aproximadamente 99.95% de hierro y el resto de carbono.

Ferrita Widmanstaetten: es una microestructura ferrítica la cual posee una apariencia del grano vasto, es una microestructura frágil.

Grano: cristales estructurales que, según su tamaño, puede representar zonas de enfriamiento.

Indentador: penetrador utilizado en los ensayos de dureza y microdureza; en el caso de microdureza Vickers, es un penetrador de diamante en forma piramidal con un ángulo de 135° .

Microestructura: disposición microscópica de granos, límites de granos, inclusiones, defectos, etc. Observados en el acero luego de ser pulido y atacado químicamente.

Perlita: microconstituyente de los aceros formados por ferrita y cementita, se presenta en forma de láminas alternadas.

Vernier: dispositivo empleado para efectuar mediciones de precisión y basado en dos escalas graduales de movimientos relativos.

2.3.1 Símbolos y Abreviaturas de Términos.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
A	Ampere
AWS	American Welding Society
ASTM	American Society for Testing and Materials
C	Carbono
Cu	Cobre
Fe	Hierro
Fe ₃ C	Cementita
Hv	Índice de dureza Vickers
I	Intensidad de corriente medida en Ampere
Kg	Kilogramos
L	Longitud (m)
Lo	Longitud calibrada (m)
MB	Metal Base
Mo	Molibdeno
Mn	Manganeso
N	Newton
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pulg.	Pulgadas
S	Azufre
Si	Silicio
SMAW	Soldadura manual por arco revestido
ZAC	Zona Afectada por el Calor
ZF	Zona de fusión

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Según Arias F. (2.012): “La Investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)” y “La investigación documental es un proceso en la búsqueda, recuperación, análisis, crítico e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresos, audiovisuales o electrónicos. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos”. Este estudio es una investigación experimental y documental ya que se buscaron referencias previas y se realizaron una serie de ensayos mecánicos y metalúrgicos ya normalizados al material antes y luego de ser sometido al proceso de soldadura SMAW. Este trabajo se basó en una investigación experimental debido a que se realizarán varios ensayos como estudio a las probetas de acero AISI 1010.

3.2 Nivel de la investigación.

La investigación es de nivel descriptivo ya que se centra en medir con la mayor precisión posible los distintos fenómenos a estudiar en dicho trabajo, buscando especificar sus propiedades y características a partir de un modelo o criterio definido previamente, con el fin de arrojar los mejores resultados posibles, teniendo en cuenta que es esencial el reconocimiento de los niveles a estudiar, durante el tiempo destinado a la realización de la investigación. Según Arias F. (2.012): “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.”

3.3 Diseño de investigación

Según Arias F. (2.012): “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental”

El diseño de investigación que identifica este trabajo, es el de tipo experimental ya que busca controlar variables, para describir la situación y hechos que se pueden presentar, estableciendo un comportamiento de dicho conjunto de variables y así lograr establecer las causas para caracterizar las juntas soldadas de estudio, con el fin de establecer su microestructura y comportamiento mecánico, de esta manera realizar el análisis comparativo entre los distintos tipos de bordes y verificar el comportamiento mecánico de dichos de las juntas soldadas.

3.4 Población y muestra

Según Arias (2012): “la población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuáles serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”. (p.81). “La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2.012, p. 83). Tomando esto de referencia tenemos que la muestra es un grupo que será seleccionado en la zona de estudio del proyecto que representara a la población total.

La población estará definida por una lámina de Acero AISI 1010 de 6 mm de espesor, mientras que las muestras están constituidas por (156) probetas en total, de las cuales (60) probetas fueron destinadas para tracción, para doblado (36) probetas, para el estudio de Microestructuras y Macroestructura (24) probetas, y Microdureza (36) probetas (Ver tabla 2).

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Arias (2.012) afirma:

“Una vez efectuada la operacionalización de las variables y definidos los indicadores, es hora de seleccionar las técnicas e instrumentos de recolección de datos pertinentes para verificar las hipótesis o responder a las interrogantes formuladas. Todo en correspondencia

con el problema, los objetivos y el diseño de Las técnicas que se emplearon para recolectar la información fueron bajo observación directa, y la data de los ensayos destructivos y no destructivos.” Observación: Pruebas y ensayos realizados en el pasado, cuadros de registros, fichas, informes, material audiovisual.

Los instrumentos utilizados serán:

Aparatos de los respectivos ensayos (tracción, dureza, el de observación (microscopía).

Equipo de soldadura por arco eléctrico manual: Marca: Lincoln, Rango de intensidad de fuente de poder: (0-600) [A].

Martillo.

Mandarria.

Espátula.

Esmeril.

Base o soporte para colocar las láminas soldadas.

Equipos y herramientas en la elaboración de las probetas: Cizalla, Fresadora, Esmeril, Limadora y Lijas.

Equipos y herramientas utilizadas en la realización de los ensayos: Máquina para ensayo de tracción Frank, Microdurómetro. Marca: BUEHLER, Microscopía óptica, Pulidora metalografías, Lijas, alúmina, Nital al 2%, Dispositivo de doblado normalizado y Reactivo de agua regia.

Tabla 2: Población y muestras estudiadas

Población	Lámina de acero 1010
Muestra N° 1	60 probetas para tracción
Muestra N° 2	36 probetas para doblado
Muestra N° 3	24 probetas para micro y macroestructura
Muestra N° 4	36 probetas para microdureza

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.

Una vez organizados los datos obtenidos de cada ensayo, se procedió a aplicar técnicas de procesamiento de datos tales como tablas, imágenes y gráficos con el fin de determinar las tendencias de la información registrada, se realizaron comparaciones para establecer de esta manera las diferencias que presentaron cada muestra.

El procesamiento y análisis de estos datos estuvo dado de acuerdo a las normas que se mencionaran más adelante en el procedimiento experimental, referidas a cada ensayo o pruebas realizadas. Estas normas refieren parámetros y guías.

Los datos fueron obtenidos mediante la observación directa, todos los ensayos se realizarán para el estudio de la preparación de bordes de los metales bases con el material acero AISI 1010, aplicando soldadura por el proceso SMAW, realizados en el laboratorio de materiales y el laboratorio de proceso de fabricación, ya que constan con los equipos e instrumentos necesarios.

3.7 Fases de Desarrollo de la Investigación

El desarrollo de la presente investigación está comprendido por una serie de fases que permitirán dar respuesta a los objetivos planteados en un determinado orden, brindando a los investigadores una herramienta para la planificación y mejor aprovechamiento del tiempo dedicado al proyecto.

3.7.1. Fases Metodológicas.

Fase I: Caracterizar el acero AISI 1010 por medio de análisis de los ensayos de tracción y metalografía (macroscopía y microscopia).

El procedimiento experimental se inicia con la caracterización del material base a manipular en la investigación, el cual es una lámina de Acero AISI 1010 de 6 mm de espesor. se certificará experimentalmente con los ensayos de tracción, microdureza y microscopia.

Fase II: Definir cuatro (4) tipos de preparación de bordes con los cuales se estudiarán las distintas soldaduras a realizar.

Para la Soldadura de láminas y Unión de las láminas se escogieron los cuatro (4) tipos de biseles los cuales se muestran en la Figura 29.

Se cortaron láminas de acero AISI 1010 con las siguientes dimensiones: 4 láminas de espesor 6mm de 1200x2400mm. Las láminas de Acero AISI fueron suministradas por la empresa Rollers Conveyors S.A. ubicada en la ciudad de Valencia Estado Carabobo, para formar 4 preparaciones de bordes a través del proceso de soldadura SMAW a utilizar en la investigación.

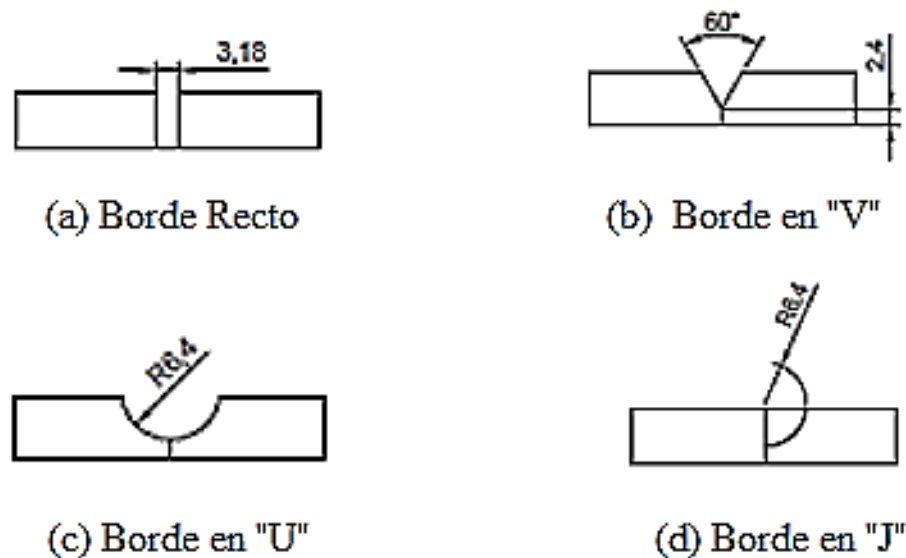


Figura 29: Bordes utilizados para la unión de las laminas
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Fase III: Seleccionar los parámetros de soldadura en función del ancho, penetración y aspecto superficial del cordón tomados de probetas de prueba realizados previamente.

Utilizando los distintos electrodos E-6010, E-6013 y E-7018 a las intensidades sugeridas por Lincoln Electric (<http://www.lincolnelectric.com/ve>), se establece que las intensidades de corriente de 100A, 160A y 170A, resultan las apropiadas para este ensayo y el electrodo que produce menos distorsión es el E-7018 en los diámetros 2,5 x 350 mm, 3,2 mm x 350 y 5 x 350 mm. Por otra parte, el voltaje de trabajo fue entre [20 – 30] V.

Fase IV: Realizar las juntas soldadas con los parámetros seleccionados para las distintas preparaciones del borde de las láminas y caracterizarlas por medio de ensayos mecánicos, metalografía y microdureza.

El procedimiento a seguir será:

- i. Sujeción de las láminas a la mesa de trabajo: Se soldaron soporte a ellas con pequeños puntos de soldadura, a fin de que las láminas sufrieran la menor deformación posible, los cuales evitan su pandeo o combadura, además se soldaron pequeñas láminas de acero para que el operador realizara el cordón de soldadura en éstas, y así no dañara la soldadura realizada a lo largo de las láminas que se utilizan para realizar las probetas.
- ii. Máquinas utilizadas:
La máquina utilizada en este proceso, fue facilitada por la Universidad José Antonio Páez al igual que el soldador calificado (Profesor Tomás González). Se presenta en la tabla 3 algunas características de la máquina de soldadura.
- iii. Intensidades de trabajo:
La intensidad de corriente constituye el parámetro a fijar en este trabajo especial de grado, por lo cual se necesitan obtener láminas soldadas de manera tal que permitan estudiar el comportamiento de las muestras, a medida que varía la intensidad. Se utilizaron intensidades de 100A, 160A y 170A. Por otra parte, el voltaje de trabajo fue entre [20 – 30] V.
- iv. Realización del Cordón de Soldadura:
Luego de fijar la lámina a la base y de preparar con los apoyos correspondientes, se realizó la penetración de cada junta y para el relleno del espacio entre cada lámina con un electrodo E-7018. Cada lámina fue soldada manteniendo a través de toda su longitud la intensidad de trabajo fijada anteriormente en [100,160 y 170] A. A medida que fue realizado el cordón en cada una de las láminas, el operador fue eliminando la escoria formada, utilizando el esmeril, además existe una pequeña fluctuación de corriente debido a que el proceso se realizó de manera manual.

Tabla 3: Características de la Máquina de soldar

Características de la maquina SMAW	
Marca	Lincoln
Voltaje	(20 a 30 V)
Rango de intensidades Fuente de poder	(0-600 A)

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Fase V: Concluir sobre el efecto que tiene la preparación de los bordes del metal base sobre las propiedades mecánicas del material soldado y su microestructura.

La preparación de bordes de las piezas a enlazar tiene la finalidad de facilitar la penetración en todo el espesor de la junta. Cuando se trata de realizar uniones a tope sobre los espesores iguales o superiores a 6 mm.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se presentan todos los datos y resultados obtenidos de los ensayos realizados, así como también las observaciones más destacadas que arrojaron. También en este capítulo se presenta los análisis de resultados obtenidos luego de la realización.

En los resultados que se analizarán en este apartado se toma en cuenta que, para la realización de los cordones de soldadura, se tomaron tres intensidades de corriente de [100 A, 160 A y 170 A] para las láminas de acero AISI 1010 que fueron soldadas manualmente con electrodo revestido (SMAW) E-7018 diámetro 9,53 mm (3/8 pulg).

4.1 Caracterizar el acero AISI 1010 por medio de ensayos de tracción y metalografía (Macroscopía y microscopía).

Resultados de la microscopía del material base.

A continuación, se presenta en las dos fotos de la Figura 30 la microestructura del material base AISI 1010.000

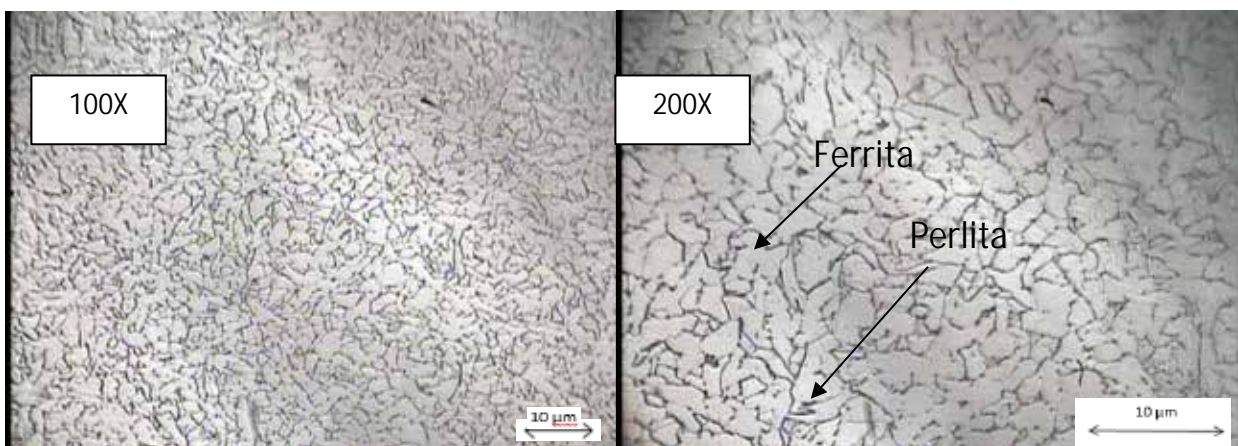


Figura 30: Microestructura del material base a 100X y 200X de aumento.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Observación: En las fotos de la figura 30 se puede observar una estructura que presenta zonas que contienen perlita (parte oscura) y zonas que contienen ferrita (parte clara). Por otra parte, las micrografías tomadas al metal base, también son coincidentes con las micrografías del acero AISI/SAE 1010 referenciados en el Handbook de la ASM. Se pudo realizar el siguiente análisis microestructural de la zona del metal base en una probeta sin soldadura. En este metal base+ presenta una estructura de granos homogéneos de perlita (oscura) y ferrita (con tonalidad clara). La perlita ocupando espacios entre los límites de grano de la ferrita y se forman los primeros granos equiaxiales de la perlita. Acero hipoeutectoide.

Resultados del Ensayo de Macroscopía.

En la probeta ensayada del material base, no se requirió aplicar el ataque químico para poder apreciar los defectos de la probeta, ya que se trataba de una probeta sin soldadura. Se realizó el estudio con una lupa de aumento 10X donde solo se observaron líneas de fluencia en todas las probetas ensayadas.

Análisis de microdureza para caracterizar el material

Para realizar el ensayo de microdureza Vickers se procedió a realizar la indentación al material base, y cuyo resultado se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación de la microdureza del material base ensayado con el teórico

Material AISI 1010	Microdureza Vickers (Hv)
Toma 1	120,4
Toma 2	121,3
Toma 3	123,3
Toma 4	123,1
Toma 5	125,6
Promedio	122,74
AISI 1010 (Máximo)	223

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Ensayo de Tracción para caracterizar el material.

El ensayo fue realizado en la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo de la ciudad de Valencia, en el municipio Naguanagua. En la Figura 31 se muestra la maquina empleada para la realización de dicho ensayo.

Durante la realización del ensayo se miden repetidamente las cargas aplicadas y el alargamiento que presenta la probeta para luego generar la curva de esfuerzo vs deformación. (Ver Gráfica 1). Se ensayaron 5 muestras dimensionadas bajo la norma de COVENIN 7:2-001, probeta tipo A-2, cuyas dimensiones se muestran en la figura 32.

Para realizar el ensayo de tracción se siguieron los siguientes pasos:

Marcar la probeta para medir una longitud inicial (En el área que se encuentra entre los extremos de la probeta) Con un Vernier de precisión.

Medir el ancho y espesor de la probeta con un Vernier de precisión.

Enfriar los extremos de las probetas para evitar posibles deslizamientos en las mordazas de la prensa.

Aprisionar firmemente los extremos de la probeta en las mordazas de la máquina de tracción, como se puede ver en la figura 33.

Proceder con la aplicación de carga, estirando la probeta hasta hacer que esta rompa.

Tomar nuevamente medidas de la longitud entre las marcas realizadas al principio; y el ancho y espesor de la probeta en las cercanías del punto donde ocurrió la falla (Ruptura). (Ver Figura 34).



Figura 31: Máquina para ensayo de tracción FRANK.
Fuente: Laboratorio de Materiales Universidad de Carabobo (2018)

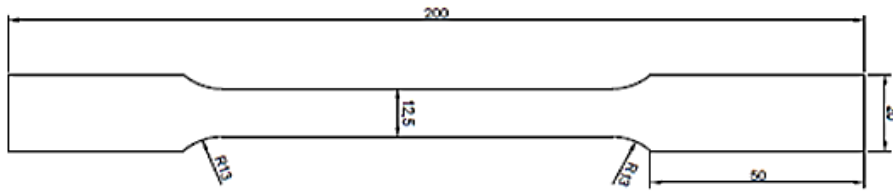


Figura 32: Probeta para el Ensayo de Tracción.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)



Figura 33: Probeta en la Maquina de Ensayos de Tracción
Fuente: Montaña-Mujica (2018)



Figura 34: Probetas después de realizar el ensayo de tracción
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los resultados del ensayo se promediaron y se tabularon en la siguiente tabla:

Tabla 5: Ensayo de la probeta de Metal Base

Probetas	1B	2B	3B	4B	5B	Promedio
E. Fluencia	227	225	228	225	228	226,6
E. Máximo	334,9	332,6	336,2	336,2	332,6	334,5
E. Rotura	227,8	232,3	230,2	232,3	227,8	230,08
%Alargamiento	30	29	27	30	27	28,6

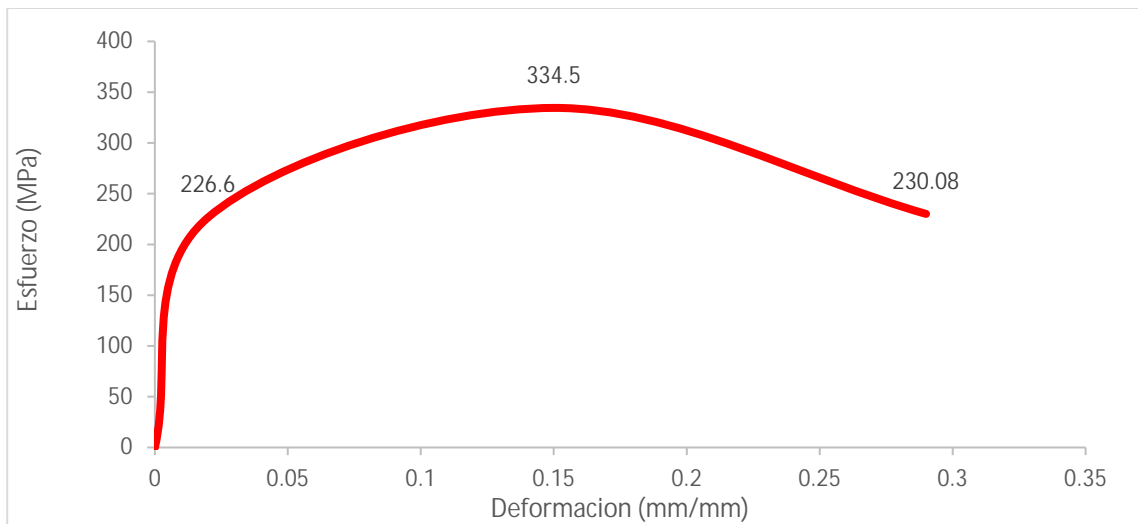
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 6: Parámetros arrojados por la máquina de ensayos

Probeta Metal Base		
Esfuerzo de fluencia	226,6	MPa
Esfuerzo máximo	334,5	MPa
Esfuerzo de rotura	230,08	MPa

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

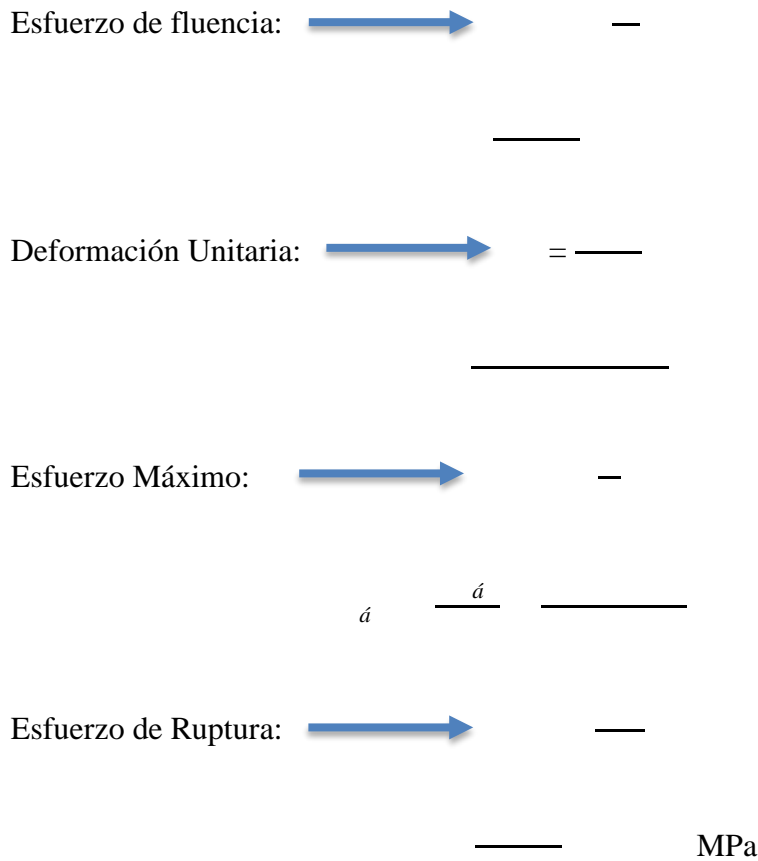
Con los datos de las tablas 5 y 6 se graficó esfuerzo vs deformación para la probeta de metal base, la gráfica puede verse en la Gráfica 1.



Gráfica 1: Esfuerzo vs deformación material base

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En el gráfico, puede verse que el metal base tiene un esfuerzo de ruptura de 230,08[MPa], esto es debido a las propiedades mecánicas del Acero AISI 1010, es importante reflejar que el esfuerzo máximo obtenido en esta probeta fue de 334,5 [MPa] con una deformación unitaria de 0,286. A continuación se muestran unos cálculos tipo:



4.2 Definir cuatro (4) tipos de preparación de bordes con los cuales se estudiarán las distintas soldaduras a realizar.

Se cortaron láminas de acero AISI 1010 con las siguientes dimensiones: 4 láminas de espesor 6 mm de 1200x2400 mm. Las láminas de Acero AISI fueron suministradas por la empresa Rollers Conveyors S.A. ubicada en la ciudad de Valencia Estado Carabobo, para

formar 4 preparaciones de bordes a través del proceso de soldadura SMAW a utilizar en la investigación.

4.3 Seleccionar los parámetros de soldadura en función del ancho, penetración y aspecto superficial del cordón tomados de probetas de prueba realizados previamente.

Utilizando los distintos electrodos E-6010, E-6013 y E-7018 a las intensidades sugeridas por Lincoln Electric (<http://www.lincolnelectric.com/ve>), se estableció que las intensidades de corriente de 100A, 160A y 170A, resultan las apropiadas para este ensayo y el electrodo que produce menos distorsión es el E-7018 en los diámetros 2,5 x 350 mm, 3,2 mm x 350 y 5 x 350 mm. Por otra parte, el voltaje de trabajo fue entre [20 – 30] V.

4.4 Realizar las juntas soldadas con los parámetros seleccionados para las distintas preparaciones del borde de las láminas y caracterizarlas por medio de ensayos mecánicos, metalografía y microdureza.

Los cortes y la preparación de los bordes seleccionados, que se muestran en la figura 29, a saber: bordes rectos, bordes en “V”, bordes en “U” y bordes en “J” fueron realizados en la empresa Diques y Astilleros Nacionales C. A. (DIANCA), cada lámina de 1200x2400x6 mm, se cortó con cizalla

El procedimiento seguido se explica a continuación:

Sujeción de las láminas a la mesa de trabajo: Se soldaron soporte a ellas con pequeños puntos de soldadura, a fin de que las láminas sufrieran la menor deformación posible, los cuales evitan su pandeo o combadura, además se soldaron pequeñas láminas de acero para que el operador realizara el cordón de soldadura en éstas, y así no dañara la soldadura realizada a lo largo de las láminas que se utilizan para realizar las probetas.

La máquina utilizada en este proceso, fue facilitada por la Universidad José Antonio Páez al igual que el soldador calificado, que fue el Profesor Tomas González. En la tabla 3 se muestran algunas características de la máquina de soldadura.

4.4.1 Mecanizado de probetas.

Una vez realizado el proceso de soldadura se procede a realizar la extracción de las tiras de material de las láminas soldadas según la norma ASME Sección 9 QW 463.1 (a). Se

realizaron 60 probetas de tracción a las láminas soldadas y 5 probetas de tracción a la lámina sin soldadura.

Se mecanizaron 12 probetas para realizar el estudio metalográfico y microdureza Vickers. En la figura 35 se puede ver cómo actúa el indentador.

Se realizaron 24 probetas para la prueba de doblado de cara y 12 de raíz para cada combinación de parámetros en cada caso.

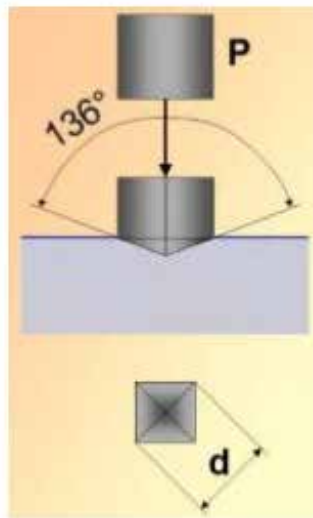


Figura 35: Actuación del indentador
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

4.4.2 Realización de los ensayos.

Existe una variedad de ensayos a través de los cuales se pueden obtener distintas propiedades mecánicas de los materiales, en este caso, de uniones soldadas, estas propiedades permiten la adecuada selección del material para una aplicación determinada, donde se necesitan unir permanentemente piezas, que en conjunto tendrán una función determinada. Con todos los resultados obtenidos se procedió a analizar cada una de las 156 probetas estudiadas, el comportamiento de dichos ensayos realizados en el acero AISI 1010 soldado por el proceso SMAW, se pudo observar el dominio que cada una de las probetas presentaba

mediante los ensayos mecánicos y metalúrgicos aplicados. Así como también se pudo concluir cómo influyeron dichas preparaciones sobre las propiedades de las uniones soldadas.

4.4.2.1 Ensayo de Tracción.

El ensayo se realizó aplicando una carga axial sobre la probeta. La fuerza y la elongación son registradas digitalmente por un controlador automatizado, conectado a la máquina de tracción FRANK (Ver figura 31).

Siguiendo el procedimiento descrito para ensayar el metal base, a continuación se muestran las tablas de los resultados obtenidos en los ensayos y las gráficas de Esfuerzo (MPa) vs Deformación (mm/mm), representando cada una de las probetas ensayadas a través de las cuales se pueden derivar propiedades mecánicas de las probetas soldadas por el método de proceso SMAW, en las diferentes variaciones de parámetros, se realizaron 60 ensayos de tracción, de los cuales se promediaron y se redujeron a 12 ensayos, se muestran a continuación junto a sus comportamientos.

Los datos obtenidos de fuerza y elongación, pueden convertirse a fin de obtener la curva ingenieril, pero si los datos se quieren obtener para graficar la curva Esfuerzo Vs Deformación de la siguiente manera:

1. Se divide la fuerza medida entre el área transversal de la sección original de la probeta, para obtener el esfuerzo.
2. Se divide la elongación entre la longitud original de la probeta entre las marcas calibradas, para obtener deformación.
3. Con estos datos se construye la curva Esfuerzo Vs Deformación para cada probeta ensayada.

Durante la realización del ensayo se miden repetidamente las cargas aplicadas y el alargamiento que presenta la probeta para luego generar la curva de esfuerzo vs deformación. Se ensayaron 60 muestras dimensionadas bajo la norma de COVENIN 7:2-001, probeta tipo A-2, con tres tipos de intensidades de corriente [100,160 y 170] A, cuyas dimensiones se muestran en la figura 32. A continuación se muestran los resultados agrupados por condición de borde.

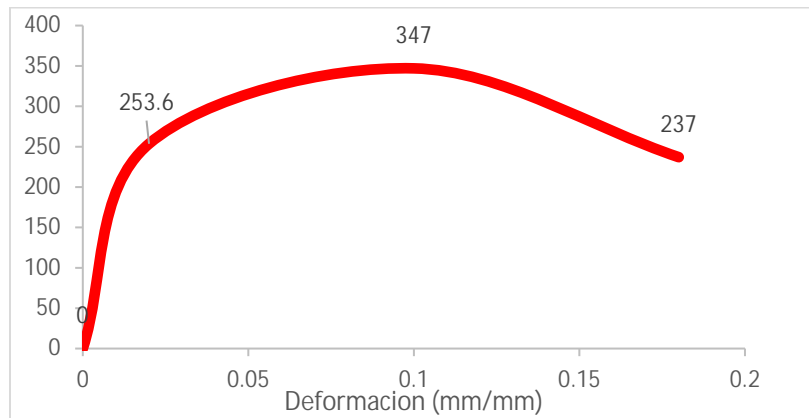
Muestra 1, 2 y 3 - Ensayo de borde V Sencilla con intensidades de I = 170A, I = 160 y I = 100.

Tabla 7: Muestra 1 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 170A).

Probetas	1A	1B	1C	1D	1E	Promedio
E. Fluencia	256	251	254	251	256	253,6
E. Máximo	342	354	343	342	354	347
E. Rotura	248	223	243	223	248	237
% Alargamiento	18,6	17,3	19,4	17,3	19,4	18,4

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 7 se graficaron a continuación:



Gráfica 2: Esfuerzo vs deformación muestra 1 (V sencilla con 170A)

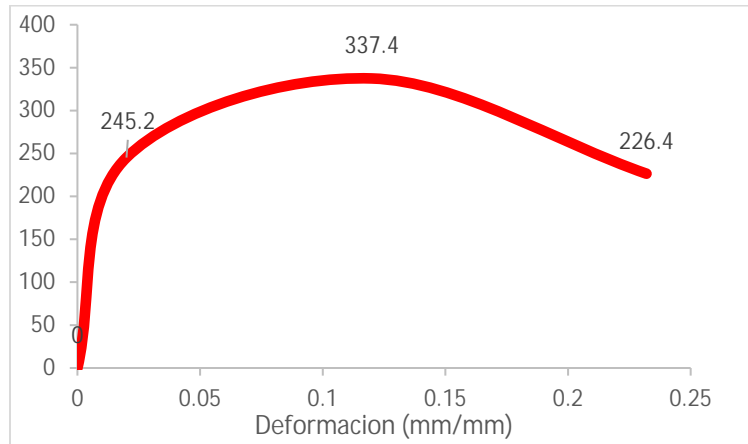
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 8: Muestra 2 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 160A).

Probetas	2A	2B	2C	2D	2E	Promedio
E. Fluencia	244	243	248	243	248	245,2
E. Máximo	335	334	342	334	342	337,4
E. Rotura	223	228	229	223	229	226,4
% Alargamiento	24	22	24	22	24	23,2

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 8 se graficaron a continuación:



Gráfica 3: Esfuerzo vs deformación muestra 2 (V sencilla con 160A)

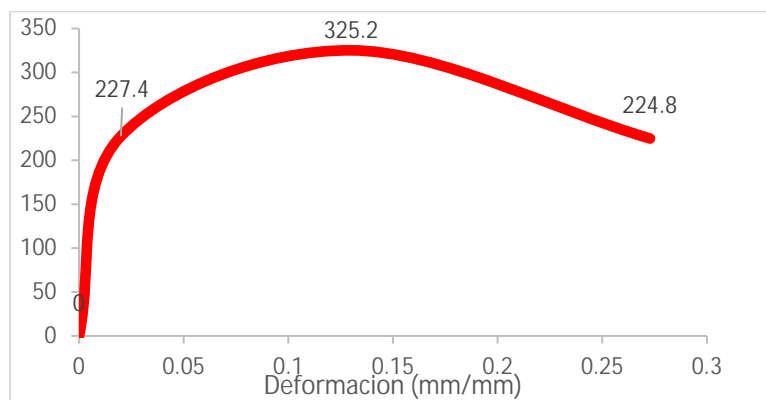
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 9: Muestra 3 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 100A).

Probetas	3A	3B	3C	3D	3E	Promedio
E. Fluencia	234	231	219	234	219	227,4
E. Máximo	322	325	332	322	325	325,2
E. Rotura	218	232	224	218	232	224,8
% Alargamiento	26	28,7	27	26	28,7	27,28

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 9 se graficaron a continuación:



Gráfica 4: Esfuerzo vs deformación muestra 3 (V sencilla con 100A)

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Análisis de las muestras 1, 2 y 3. Las propiedades mecánicas obtenidas de las probetas soldadas con borde V Sencilla son semejantes a pesar de que el esfuerzo de fluencia más alto se obtuvo con las probetas soldadas a 170A cuyo valor alcanzó 347 MPa. Con respecto a la deformación, a una intensidad de 100A la máxima deformación fue de 27,28% la cual corresponde a una elongación total de 13,64mm para la condición mencionada la cual es la más alta obtenida.

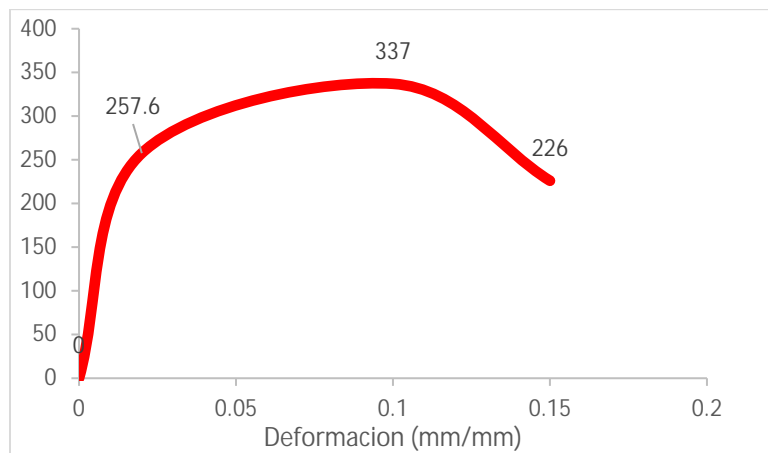
Muestra 4, 5 y 6 - Ensayo de borde U Sencilla con intensidades de $I = 170A$, $I = 160$ y $I = 100$.

Tabla 10: Muestra 4 - Ensayo de borde U Sencilla ($I = 170A$).

Probetas	4A	4B	4C	4D	4E	Promedio
E. Fluencia	272	252	246	272	246	257,6
E. Máximo	337	332	342	332	342	337
E. Rotura	233	218	228	218	233	226
% Alargamiento	14,4	14,8	16,7	14,4	16,7	15,4

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 10 se graficaron a continuación:



Gráfica 5: Esfuerzo vs deformación muestra 4 (U sencilla con 170A)

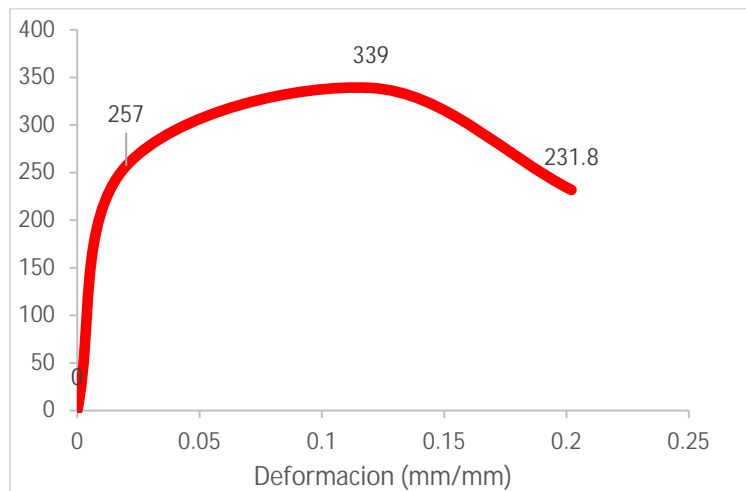
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 11: Muestra 5 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 160A).

Probetas	5A	5B	5C	5D	5E	Promedio
E. Fluencia	267	265	243	267	243	257
E. Máximo	344	337	335	344	335	339
E. Rotura	229	233	234	229	234	231,8
% Alargamiento	18	22	21	18	22	20,2

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 11 se graficaron a continuación:



Gráfica 6: Esfuerzo vs deformación muestra 5 (U sencilla con 160A)

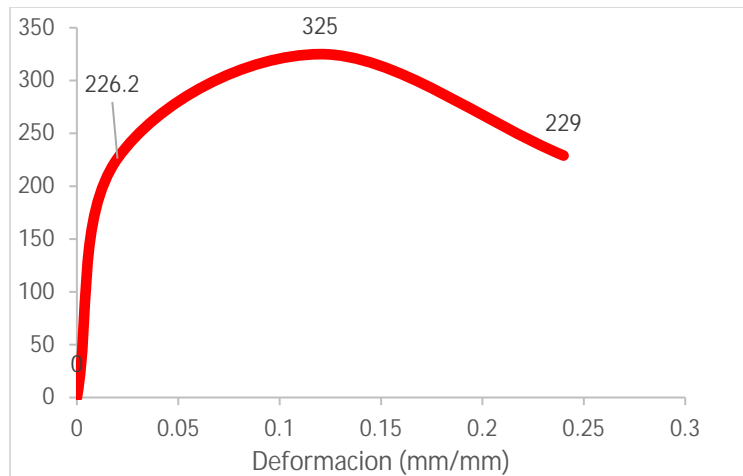
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 12: Muestra 6 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 100A).

Probetas	6A	6B	6C	6D	6E	Promedio
E. Fluencia	231	227	221	231	221	226,2
E. Máximo	325	331	319	331	319	325
E. Rotura	232	226	229	232	226	229
% Alargamiento	24	26	25	23	25	24

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 12 se graficaron a continuación:



Gráfica 7: Esfuerzo vs deformación muestra 6 (U Sencilla 100A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Análisis de las muestras 4, 5 y 6. El esfuerzo de fluencia para las probetas soldadas con borde U Sencilla obtuvo en dos intensidades 170A y 160A un valor casi igual de 257,6 y 257 MPa. El mayor esfuerzo máximo se obtuvo a 160A siendo este de 339 MPa. Hubo gran variación en la deformación en las tres intensidades, de 15.4% a 24% la cual corresponde a una elongación total comprendida entre 7.7mm a 12mm para la condición mencionada, siendo esta la condición soldara donde se encuentra la menor deformación.

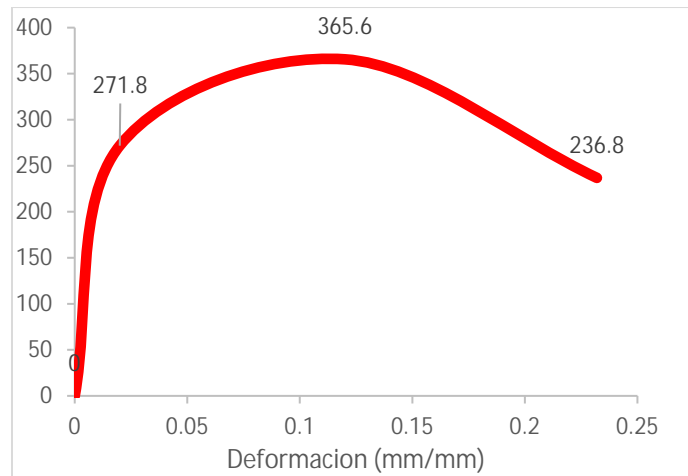
Muestra 7, 8 y 9 - Ensayo de borde RECTO con intensidades de I = 170A, I = 160 y I = 100.

Tabla 13: Muestra 7 - Ensayo de borde RECTO (I = 170A).

Probetas	7A	7B	7C	7D	7E	Promedio
E. Fluencia	276	271	268	276	268	271,8
E. Máximo	348	378	367	378	348	365,6
E. Rotura	238	231	242	231	242	236,8
% Alargamiento	20	18	18	20	18	18,8

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 13 se graficaron a continuación:



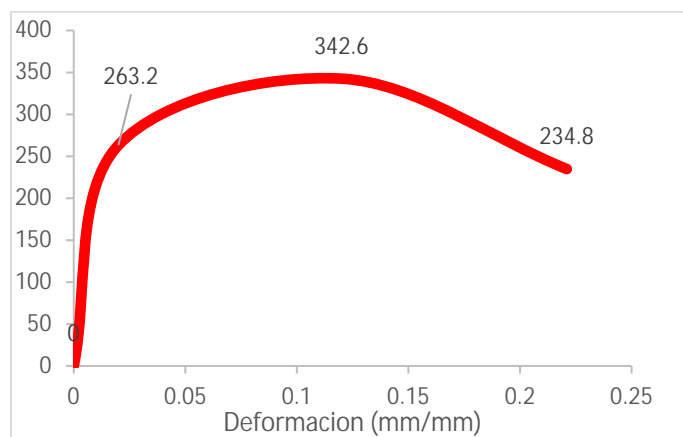
Gráfica 8: Esfuerzo vs deformación muestra 7 (Recto 170A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 14: Muestra 8 - Ensayo de borde RECTO (I = 160A).

Probetas	8A	8B	8C	8D	8E	Promedio
E. Fluencia	272	262	255	272	255	263,2
E. Máximo	345	341	341	345	341	342,6
E. Rotura	239	234	231	239	231	234,8
% Alargamiento	24	22	21	24	21	22,4

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 14 se graficaron a continuación:



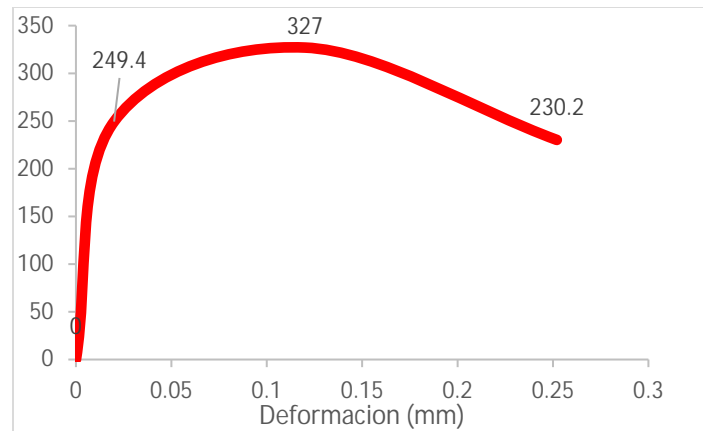
Gráfica 9: Esfuerzo vs deformación muestra 8 (Recto 160A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 15: Muestra 9 - Ensayo de borde RECTO (I = 100A).

Probetas	9A	9B	9C	9D	9E	Promedio
E. Fluencia	253	251	245	253	245	249,4
E. Máximo	328	326	327	328	326	327
E. Ruptura	231	231	229	231	229	230,2
% Alargamiento	26	26	24	26	24	25,2

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 15 se graficaron a continuación:



Gráfica 10: Esfuerzo vs deformación muestra 9 (Recto 100A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Análisis de las muestras 7, 8 y 9. Una de las características más notables de las probetas soldadas con borde RECTO es que esta condición tiene los esfuerzos máximos del estudio de tracción a una intensidad de corriente de 170A dando un Esfuerzo de Fluencia de 271,8MP y un Esfuerzo de Ruptura de 365,6 Mpa.

Con respecto a los porcentajes de alargamiento esta condición tiene el segundo más alto del estudio a una intensidad de 100A con un valor de 25%.

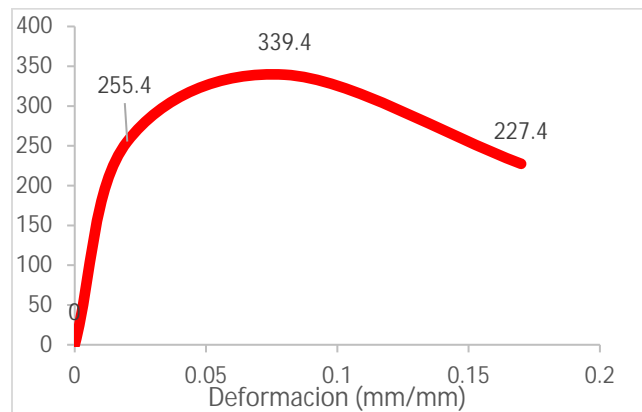
Muestra 10, 11 y 12 - Ensayo de borde J con intensidades de I = 170A, I = 160 y I = 100.

Tabla 16: Muestra 10 - Ensayo de borde en J (I = 170A).

Probetas	10A	10B	10C	10D	10E	Promedio
E. Fluencia	265	246	255	265	246	255,4
E. Máximo	336	343	339	336	343	339,4
E. Rotura	230	227	225	230	225	227,4
% Alargamiento	16	17	18	16	18	17

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 16 se graficaron a continuación:



Gráfica 11: Esfuerzo vs deformación muestra 10 (J 170A)

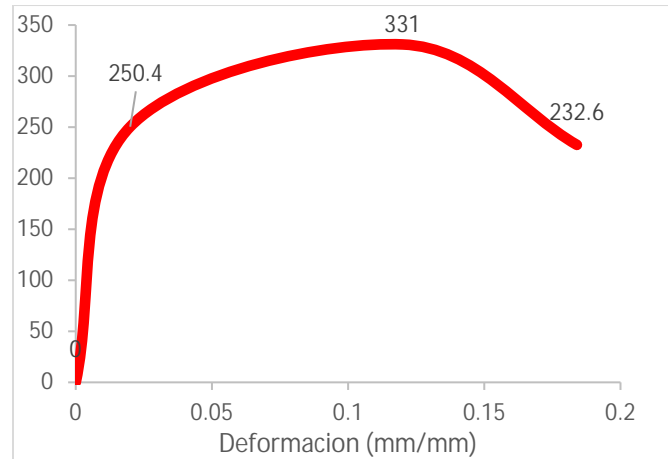
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 17: Muestra 11 - Ensayo de borde en J (I = 160A).

Probetas	11A	11B	11C	11D	11E	Promedio
E. Fluencia	254	256	243	256	243	250,4
E. Máximo	333	329	331	333	329	331
E. Rotura	231	228	238	228	238	232,6
% Alargamiento	18	20	17	20	17	18,4

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 17 se graficaron a continuación:



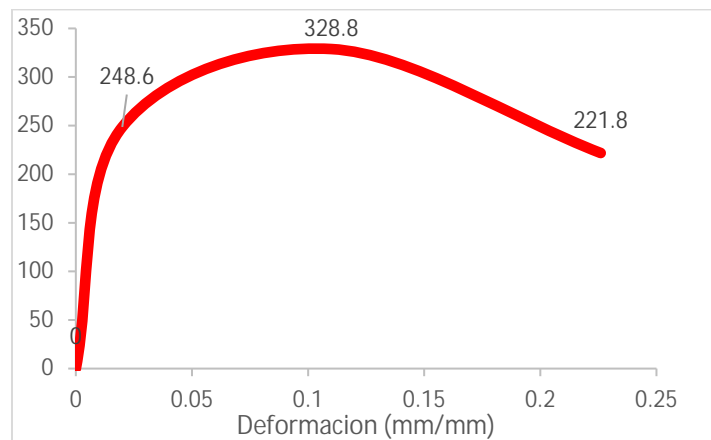
Gráfica 12: Esfuerzo vs deformación muestra 11 (J 170A)
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 18: Muestra 12 - Ensayo de borde en J (I = 100A).

Probetas	12A	12B	12C	12D	12E	Promedio
E. Fluencia	247	243	255	243	255	248,6
E. Máximo	328	331	327	331	327	328,8
E. Rotura	223	221	218	229	218	221,8
% Alargamiento	22	23	23	22	23	22,6

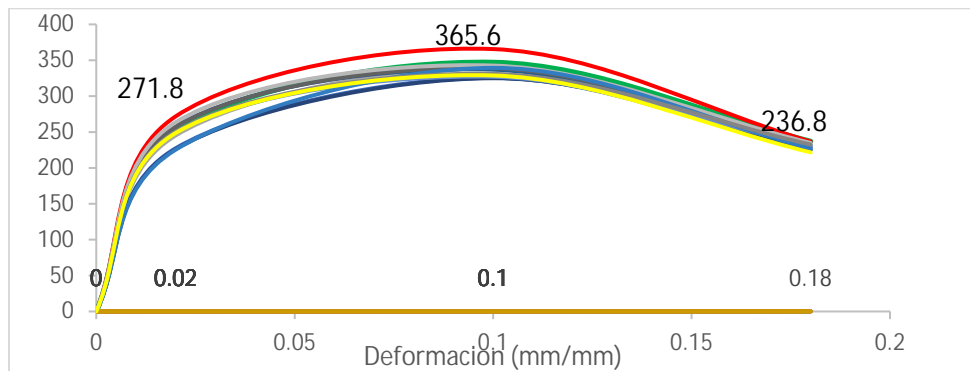
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 18 se graficaron a continuación:



Gráfica 13: Esfuerzo vs deformación muestra 12 (J 170A)
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Análisis de las muestras 10, 11 y 12. Para las probetas soldadas con borde J se puede decir que esta condición es la más estable con relación a la variación de valores en todos los esfuerzos dando valores casi parecidos entre sí.



Gráfica 14: Comparación Esfuerzo vs deformación de todas las muestras
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Análisis de todas las muestras. Se corrobora que la muestra que resiste los mayores esfuerzos es la muestra número 7 en cuanto a los esfuerzos de fluencia y ruptura existe poca variación entre los valores arrojados por todas las muestras.

4.4.2.2 Ensayo de Doblado.

El ensayo fue realizado en la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo de la ciudad de Valencia, en el municipio Naguanagua. En la Figura 36 se muestra la máquina empleada para la realización de dicho ensayo.



Figura 36: Máquina para ensayo de Doblado Enerpac.
Fuente: Laboratorio de Materiales Universidad de Carabobo (2018)

Se realizaron 24 probetas para la prueba de doblado de cara y 12 de raíz para cada combinación de parámetros en cada caso. En las figuras 37-a, 51-b se muestran las etapas por las que paso la probeta durante el ensayo.

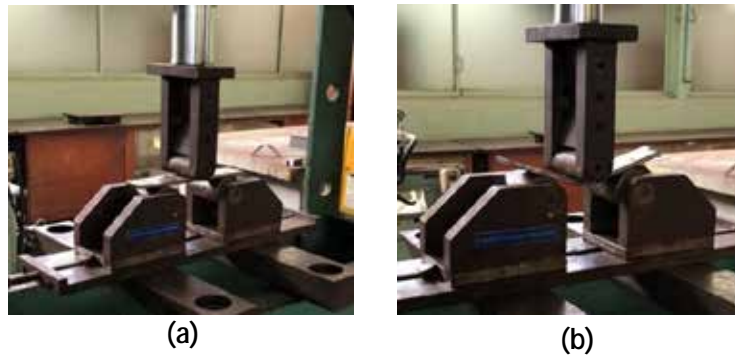


Figura 37: Ensayo de doblado: (a) Etapa 1, (b) Etapa 2.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

A continuación, se presentan los ensayos de doblado:

i) Muestra 1 - Ensayo de borde V Sencilla ($I = 170A$).



Figura 38: Doblado de las muestras número 1 (borde en V a 170 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

ii) Muestra 2 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 160A).



Figura 39: Doblado de las muestras número 2 (borde en V 160 A), dos de cara y una de raíz.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

El cordón de soldadura se observa centrado y no se aprecian grietas ni fisuras en ambas imágenes.

iii) Muestra 3 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 100A).



Figura 40: Doblado de las muestras número 3 (borde en V 100 A), dos de cara y una de raíz.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

iv) Muestra 4 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 170A).



Figura 41: Doblado de las muestras número 4 (borde en U a 170 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

El cordón de soldadura se observa centrado y no se aprecian grietas ni fisuras en ambas imágenes.

v) Muestra 5 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 160A).



Figura 42: Doblado de las muestras número 5 (borde en U a 160A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

vi) Muestra 6 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 100A).



Figura 43: Doblado de las muestras número 6 (borde en U a 100 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

El cordón de soldadura se observa centrado y no se aprecian grietas ni fisuras en ambas imágenes.

vii) Muestra 7 - Ensayo de borde RECTO (I = 170A).



Figura 44: Doblado de las muestras número 7 (borde recto a 170 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

viii) Muestra 8 - Ensayo de borde RECTO ($I = 160A$).



Figura 45: Doblado de las muestras número 8 (borde recto a 160 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

El cordón de soldadura se observa centrado y no se aprecian grietas ni fisuras en ambas imágenes.

ix) Muestra 9 - Ensayo de borde RECTO ($I = 100A$).



Figura 46: Doblado de las muestras número 9 (borde recto a 160 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

x) Muestra 10 - Ensayo de borde en J (I = 170A).



Figura 47: Doblado de las muestras número 10 (borde en J a 170 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

El cordón de soldadura se observa centrado y no se aprecian grietas ni fisuras en ambas imágenes.

xi) Muestra 11 - Ensayo de borde en J (I = 160A).



Figura 48: Doblado de las muestras número 11 (borde en J a 160 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

xii) Muestra 12 - Ensayo de borde en J (I = 100A).



Figura 49: Doblado de las muestras número 12 (borde en J a 100 A), dos de cara y una de raíz.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

El ensayo de doblado reflejó una buena ductilidad del cordón de soldadura y no se observó ningún tipo de agrietamiento ni otra discontinuidad que no sea permisible en este ensayo.

4.4.2.3 Ensayo de Microdureza Vickers.

A continuación, se presentan los ensayos de dureza en las probetas soldadas. Las muestras fueron preparadas metalográficamente, luego de observadas en el microscopio, se procedió a realizarles un estudio de dureza, para el cual se realizaron huellas con el microdurómetro Vickers, tal y como se explicó en el capítulo anterior, y obteniendo la dureza Vickers promedio para cada zona; Material Base (M.B), Zona Afectada por el Calor (Z.A.C) y Zona de Fusión (Z.F), tal como se muestra a continuación en la figura 50.

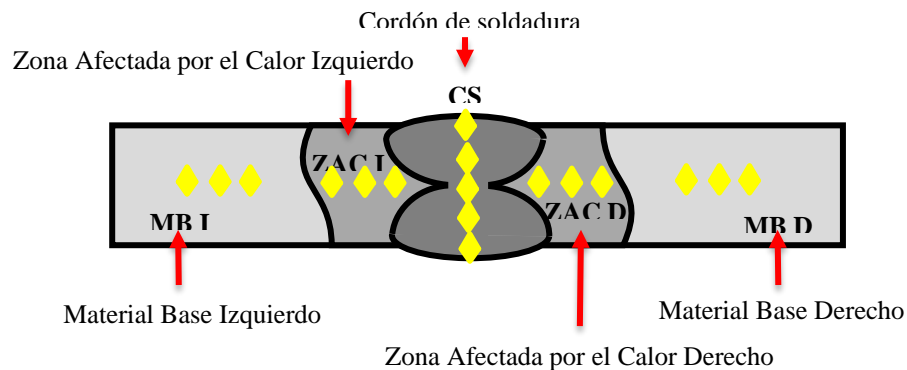


Figura 50: Distribución de las indentaciones en cada zona
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Tabla 19: Ensayo de Microdureza Vickers para probetas con borde en V Sencilla.

Muestras	MB I (Hv)	ZAC I (Hv)	CS (Hv)	ZAC D (Hv)	MB D (Hv)
Muestra 1.1 a 170	148,1	241	248,9	241,1	155
Muestra 1.2 a 170	144	236	251,5	256,1	159
Muestra 1.3 a 170	151	234,3	254,1	246,3	155
Promedio 170	147,7	237,1	251,533	247,833	156,333
Muestra 2.1 a 160	170	149	220	148	161
Muestra 2.2 a 160	169	153	216	140	155
Muestra 2.3 a 160	166	157	212	146	154
Promedio 160	168,333	153	216	147,667	156,667
Muestra 3.1 a 100	152	238	251	243	154
Muestra 3.2 a 100	150	233	256	239	159
Muestra 3.3 a 100	161	239	254	241	161
Promedio 100	154,667	236,667	253,667	241	158

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 19 se graficaron a continuación:



Gráfica 15: Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas V Sencilla.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

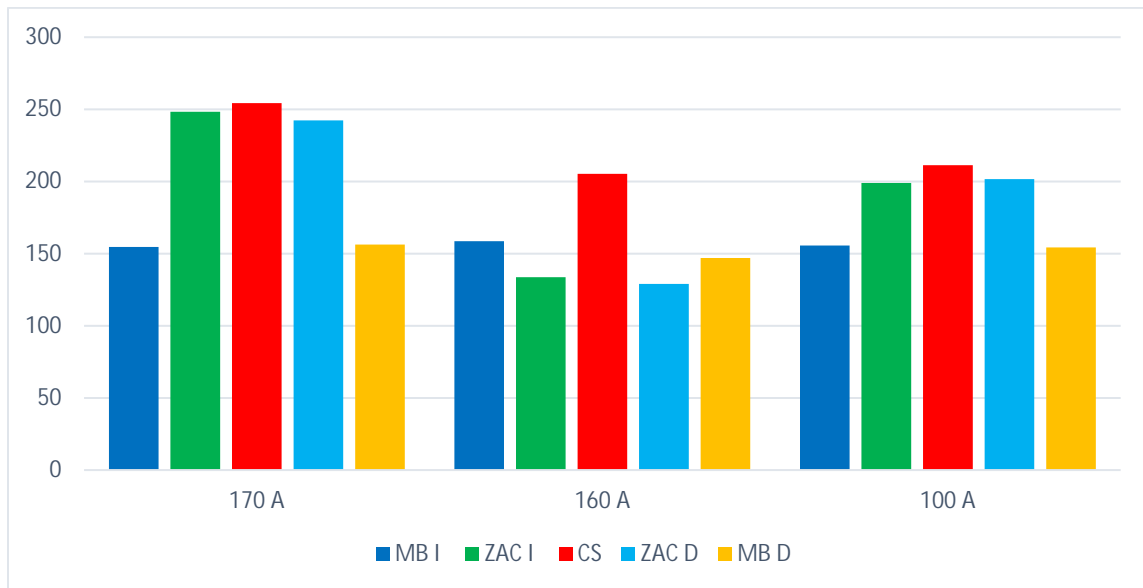
En las muestras preparadas con borde “V” sencilla se observa claramente la mayor dureza en el cordón de soldadura (C.S) para todas las intensidades ensayadas, lo cual se debió en gran medida a que sufrieron un enfriamiento brusco al aire luego del proceso, dando un valor máximo de **253,667** Hv para la intensidad de corriente de 100 A, para las otras dos intensidades se obtuvieron valores cercanos a estos, a medida que se aleja la huella del microdurómetro del cordón de soldadura (C.S.) se obtuvieron valores de dureza menores, debido precisamente a la influencia del calor generado en esta zona.

Tabla 20: Ensayo de Microdureza Vickers para probetas con borde en U Sencilla.

Muestras	MB I (Hv)	ZAC I (Hv)	CS (Hv)	ZAC D (Hv)	MB D (Hv)
Muestra 4.1 a 170	157	246	255	246	165
Muestra 4.2 a 170	154	248	256	243	169
Muestra 4.3 a 170	153	251	252	238	157
Promedio 170	154.667	248.333	254.333	242.333	163.667
Muestra 5.1 a 160	154	133	210	126	152
Muestra 5.2 a 160	165	132	206	132	142
Muestra 5.3 a 160	157	136	200	129	147
Promedio 160	158.667	133.667	205.333	129	147
Muestra 6.1 a 100	158	204	208	206	154
Muestra 6.2 a 100	161	191	216	206	147
Muestra 6.3 a 100	148	202	210	193	162
Promedio 100	155.667	199	211.333	201.667	154.333

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 20 se graficaron a continuación:



Gráfica 16: Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas U Sencilla.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

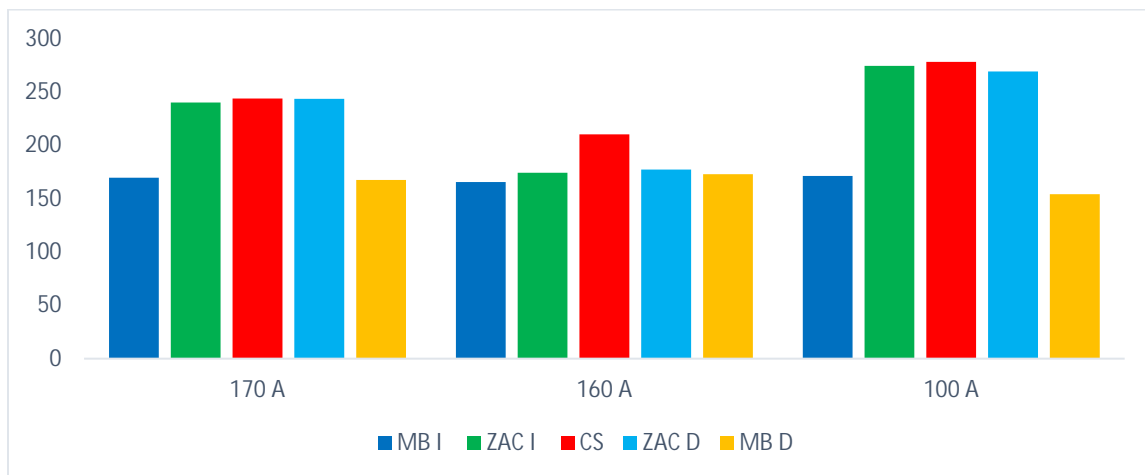
Para los bordes “U” sencilla se observa como la dureza en el cordón de soldadura se mantiene cerca una de la otra en las intensidades de 100 y 160 A, pero para una intensidad de corriente de 170A la dureza es máxima para esta condición de soldadura.

Tabla 21: Ensayo de microdureza Vickers para probetas con borde RECTO.

Muestras	MB I (Hv)	ZAC I (Hv)	CS (Hv)	ZAC D (Hv)	MB D (Hv)
Muestra 7.1 a 170	172	239	241	246	170
Muestra 7.2 a 170	165	246	243	251	167
Muestra 7.3 a 170	172	236	248	234	166
Promedio 170	169.667	240,333	244	243,667	167,667
Muestra 8.1 a 160	159	175	216	181	178
Muestra 8.2 a 160	173	172	206	173	167
Muestra 8.3 a 160	165	176	209	178	174
Promedio 160	165.667	174,333	210,333	177,333	173
Muestra 9.1 a 100	173	268	283	270	172
Muestra 9.2 a 100	172	270	279	265	188
Muestra 9.3 a 100	169	286	273	273	190
Promedio 100	171.333	274,667	278,333	269,333	183,333

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 21 se graficaron a continuación:



Gráfica 17: Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probeta RECTO.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

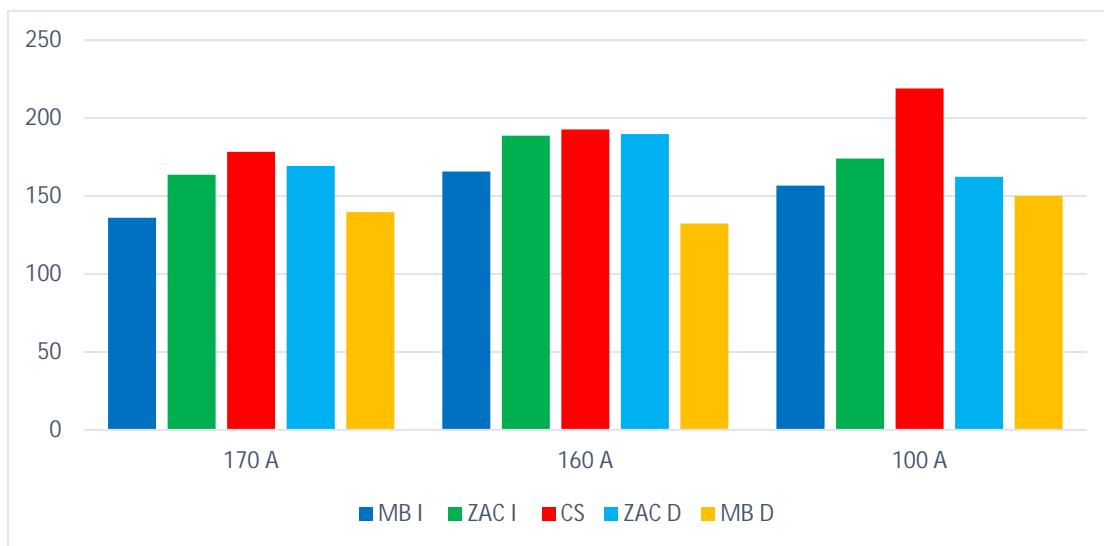
Para el borde **RECTO**, los valores de dureza disminuyen a medida que la medición se realizó más lejana al cordón de soldadura (C.S.) con valores cercanos a los 280 Hv para una intensidad de corriente de 100 A dando la mejor dureza para esta condición en el cordón de soldadura, observándose también la decarburización del material en la zona fundidas solo para las láminas de este borde donde la soldadura se realizó con una intensidad de 100 A. También se puede decir que en esta condición de soldadura se encuentra la mejor dureza en el cordón de soldadura para este ensayo con un valor exacto de 278, 333 HV.

Tabla 22: Ensayo de microdureza Vickers para probetas con borde en J.

Muestras	MB I (Hv)	ZAC I (Hv)	CS (Hv)	ZAC D (Hv)	MB D (Hv)
Muestra 10.1 a 170	135	159	176	165	137
Muestra 10.2 a 170	138	163	178	173	138
Muestra 10.3 a 170	135	169	181	170	144
Promedio 170	136	163,667	178,333	169,333	139,667
Muestra 11.1 a 160	129	191	189	178	131
Muestra 11.2 a 160	127	189	196	189	134
Muestra 11.3 a 160	132	186	193	172	132
Promedio 160	129,333	188,667	192,667	179,667	132,333
Muestra 12.1 a 100	156	172	227	166	147
Muestra 12.2 a 100	162	178	214	159	151
Muestra 12.3 a 100	152	172	216	162	152
Promedio 100	156,667	174	219	162,333	150

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

Los datos de la tabla 22 se graficaron a continuación:



Gráfica 18: Comparación del ensayo de Microdureza Vickers para probetas J.

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En este grupo de muestras “J” se encuentra la menor dureza en el cordón de soldadura para una intensidad de corriente de 170 A dando un valor de 178,333 Hv, dando por entendido que esta condición de soldadura no es la más adecuada cuando se requiere dureza, ya que arroja valores bajos en dicho estudio.

4.4.2.4 Ensayos de Microscopía.

El ensayo fue realizado en la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo de la ciudad de Valencia, en el municipio Naguanagua. En la Figura 51 se muestra el instrumento empleado para la realización de dicho ensayo.

Este ensayo se llevó a cabo según la norma ASTM E-340 en donde las probetas fueran sometidas a un ataque químico con nital al 2% durante 8 segundos para revelar los granos y microestructuras presentes, luego se visualizaron las muestras con aumentos de 100, 200, 400 y 1000x. Se establecieron 3 áreas específicas de trabajo como se muestra en la figura 52.



Figura 51: Instrumento para ensayo de microscopía Buehler.
Fuente: Laboratorio de Materiales Universidad de Carabobo (2018)

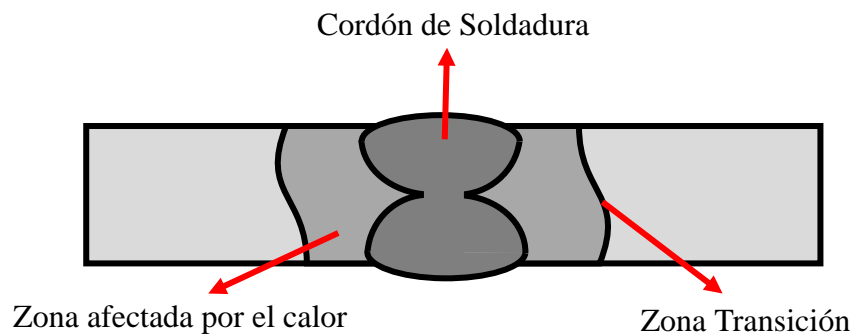


Figura 52: Áreas de estudio de las probetas para el análisis microestructural.
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

i) Muestra 1 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 170A).

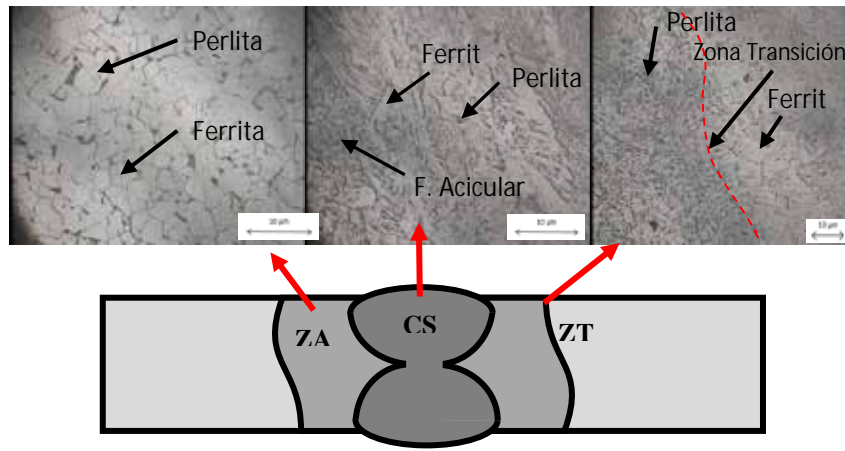


Figura 53: Microestructura de la muestra 1, borde V Sencilla (I = 170A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 53, se visualiza la perlita fina en forma de láminas y casi desaparece la estructura clara de la cementita quedando solo en los límites de grano. Se visualizan pequeñas formaciones de Ferrita Acicular debido al enfriamiento rápido en esa zona y por la naturaleza del electrodo utilizado.

ii) Muestra 2 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 160A).

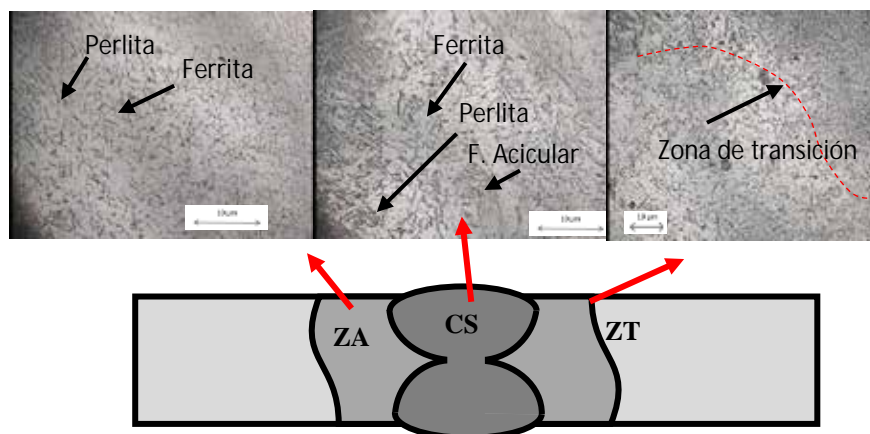


Figura 54: Microestructura de la muestra 2, borde V Sencilla (I = 160A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 54, se puede observar las mismas fases que en el caso anterior con pequeñas diferencias en los tamaños de grano tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada térmicamente, en donde los granos son algo más pequeño en este caso.

iii) Muestra 3 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 100A).

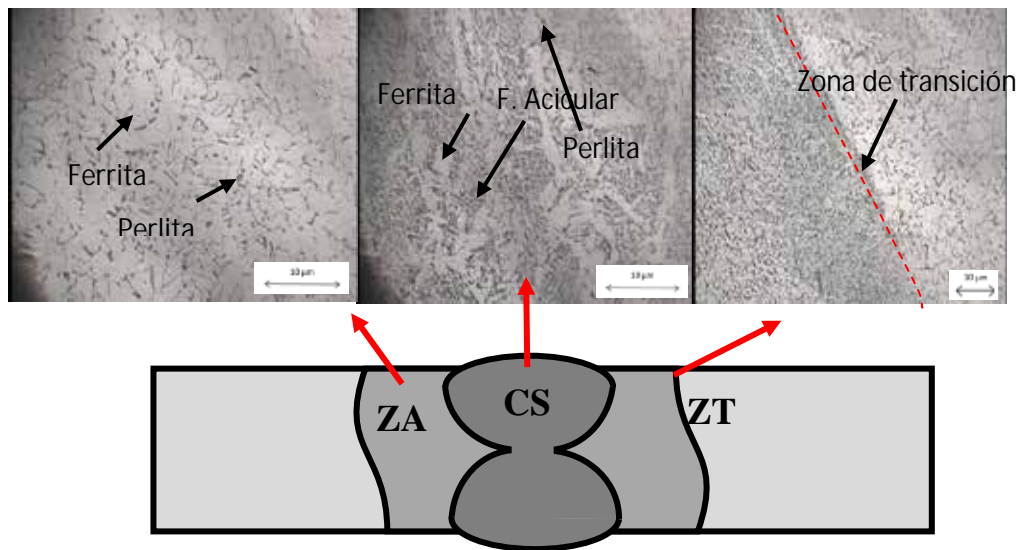


Figura 55: Microestructura de la muestra 3, borde V Sencilla (I = 100A).

Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la figura 55, se observa claramente la zona de transición por medio de la diferencia de la morfología de los granos de ferrita y perlita. Se observa un menor tamaño de grano en la zona próxima al cordón de soldadura, en el cual se observa la presencia de Ferrita Acicular, perlita y ferrita. En la zona afectada térmicamente solo se observa ferrita y perlita.

iv) Muestra 4 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 170A).

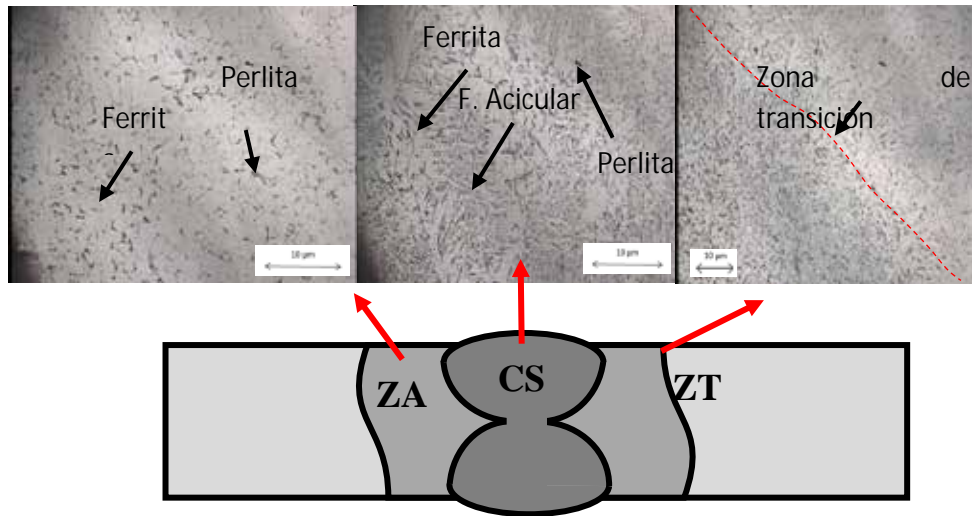


Figura 56: Microestructura de la muestra 4, borde U Sencilla (I = 170A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 56, se evidencia una estructura ferrítica con presencia de una perlita por el calor generado por la soldadura y líneas de fluencia a lo largo de la probeta. Se observa Ferrita Acicular y Se observa un aumento del tamaño del grano en la estructura perlítica.

v) Muestra 5 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 160A).

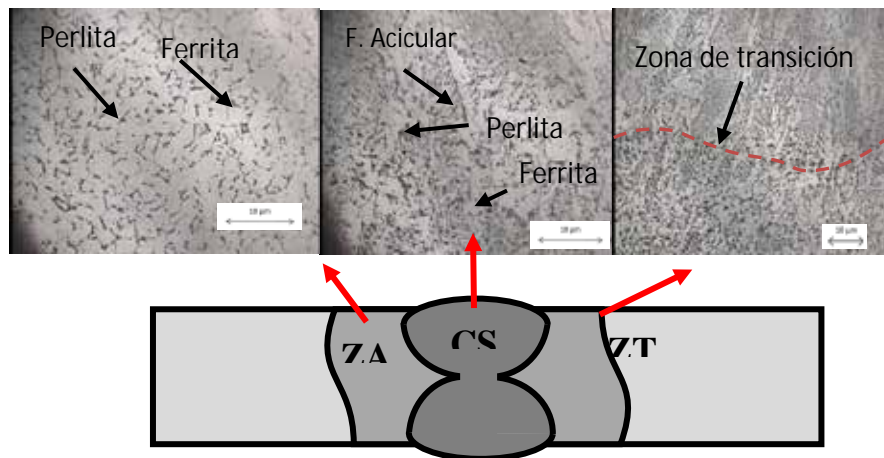


Figura 57: Microestructura de la muestra 5, borde U Sencilla (I = 160A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

La figura 57, se pudieron observar los granos de la perlita mucho menos amplios y se observa la presencia de Ferrita Acicular, pero a simple vista se puede notar que existe mayor porcentaje de ferrita.

vi) Muestra 6 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 100A).

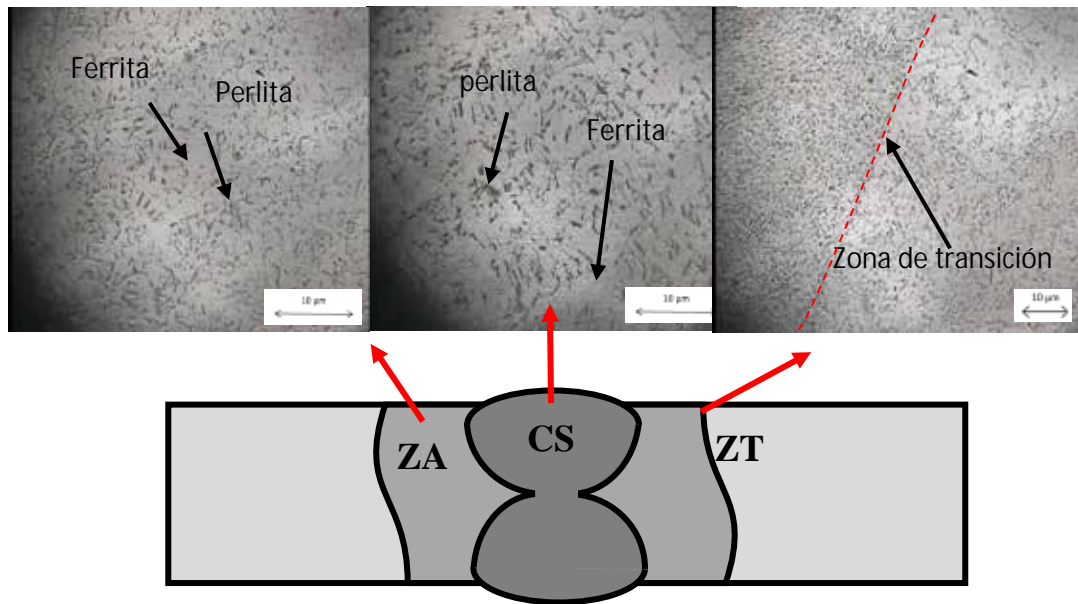


Figura 58: Microestructura de la muestra 6, borde U Sencilla (I = 100A).
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la Figura 58, se pudo visualizar que los granos de la perlita son muchos más amplios y se puede notar que la perlita está en forma laminar llamándose perlita fina, los límites claros son de la ferrita. Acero hipoeutectoide.

vii) Muestra 7 - Ensayo de borde RECTO (I = 170A).

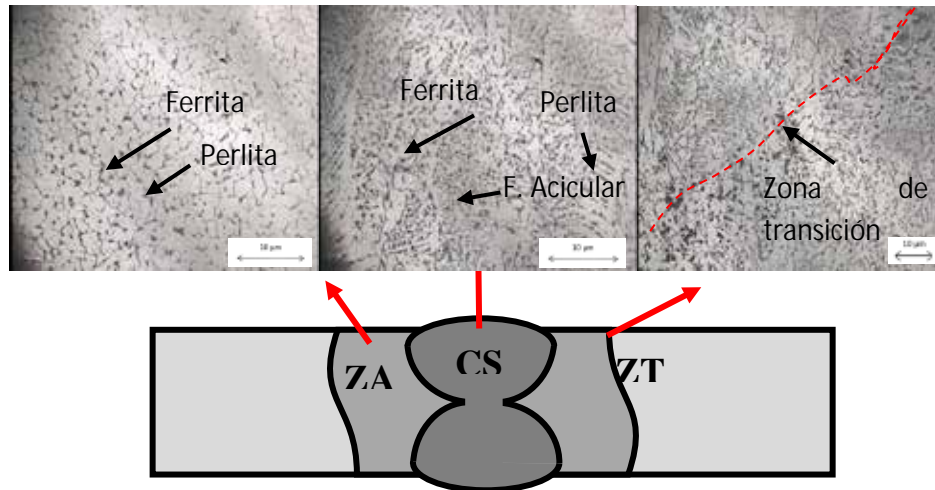


Figura 59: Microestructura de la muestra 7, de borde RECTO (I = 170A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 59, los granos de la perlita son muchos más amplios y se puede notar que la perlita está en forma laminar llamándose perlita fina, y se observa la presencia de Ferrita Acicular, los límites claros son de la ferrita. Acero hipoeutectoide.

viii) Muestra 8 - Ensayo de borde RECTO (I = 160A).

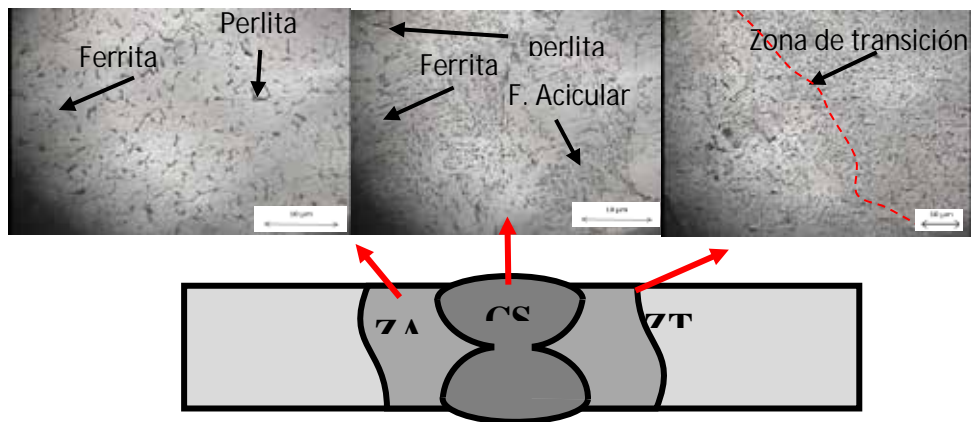


Figura 60: Microestructura de la muestra 8, de borde RECTO (I = 160A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 60, se observa perlita en las zonas oscuras, y en gran cantidad de la muestra se puede visualizar también ferrita en su tonalidad clara.

ix) Muestra 9 - Ensayo de borde RECTO (I = 100A).

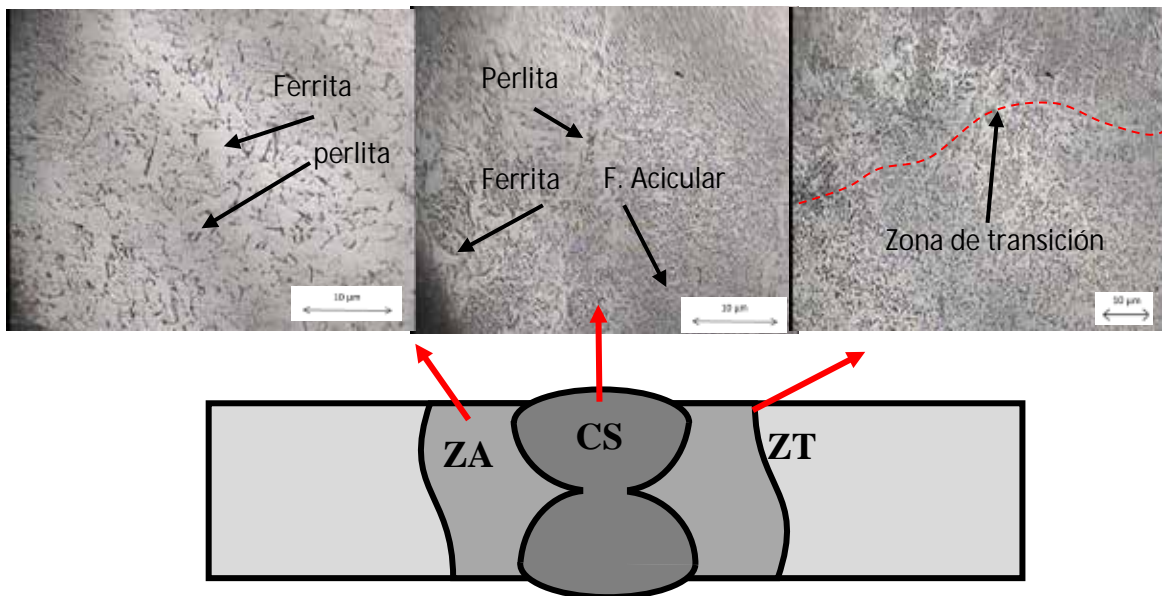


Figura 61: Microestructura de la muestra 9, de borde RECTO (I = 100A).

Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la figura 61, se observa la perlita ocupando espacios entre los límites de grano de la ferrita y se forman los primeros granos equiaxiales de la perlita y se observa la presencia de Ferrita Acicular. Acero hipoeutectoide.

x) Muestra 10 - Ensayo de borde en J (I = 170A).

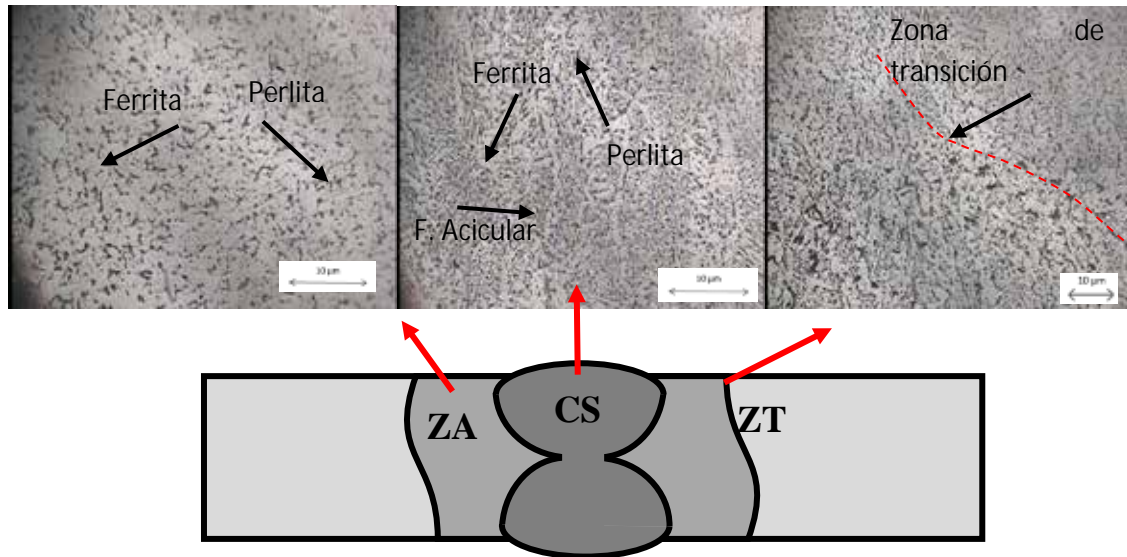


Figura 62: Microestructura de la muestra 10, de borde en J (I = 170A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

xi) Muestra 11 - Ensayo de borde en J (I = 160A).

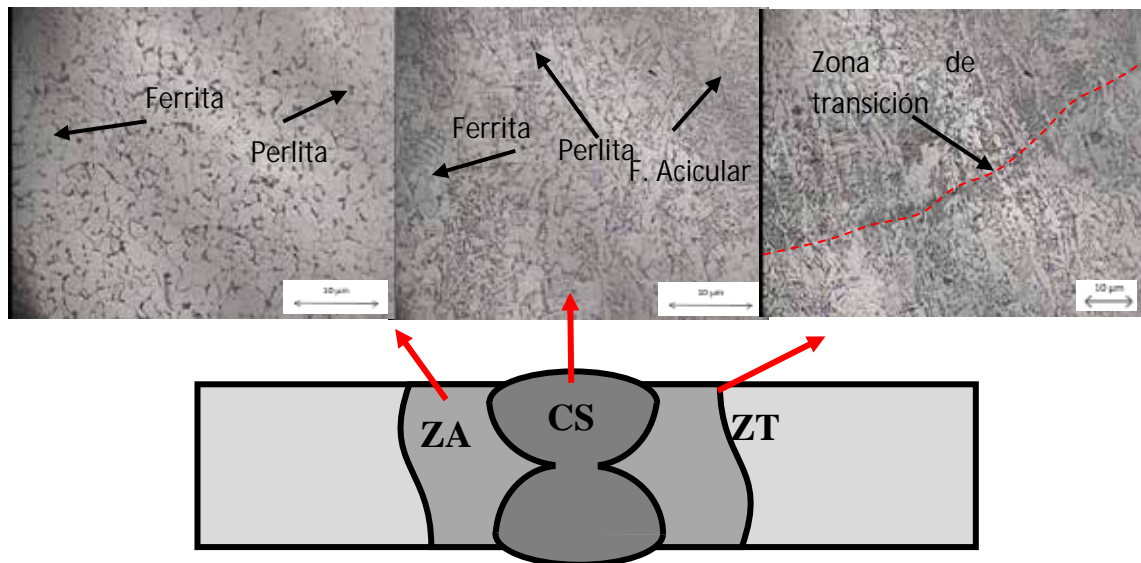


Figura 63: Microestructura de la muestra 11, de borde en J (I = 160A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la Figura 63, se observa perlita esparcida en forma localizada y gran cantidad de tamaños de granos de ferrita (zona clara) y se observa la presencia de Ferrita Acicular.

xii) Muestra 12 - Ensayo de borde en J (I = 100A).

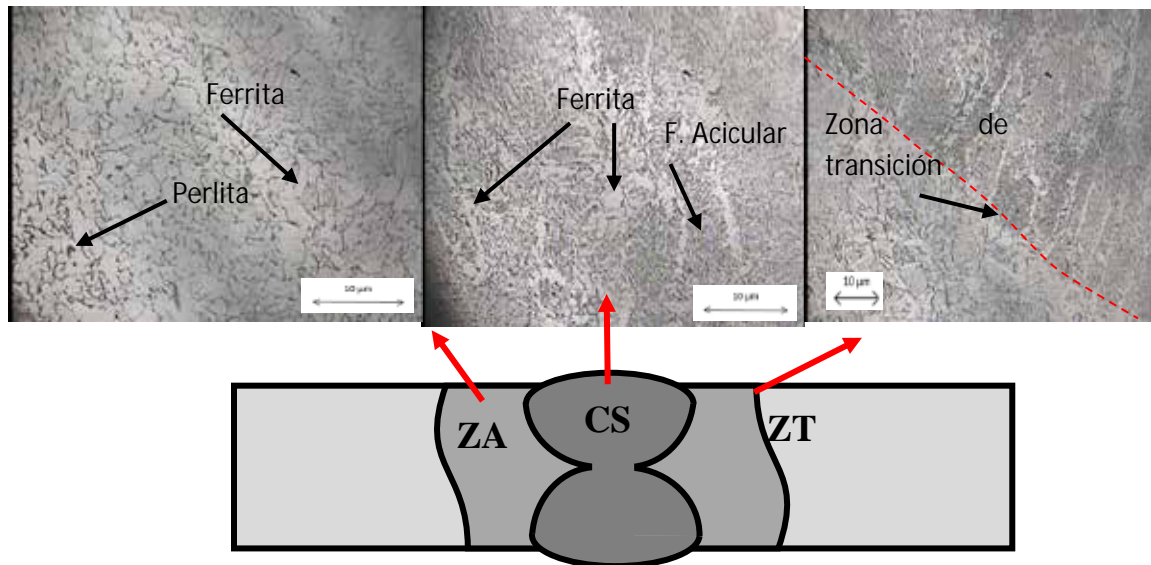


Figura 64: Microestructura de la muestra 12, de borde en J (I = 100A).

Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la Figura 64, se observa una igualdad de distribución en la microestructura de perlita y ferrita en la misma cantidad de tamaño de granos e igualmente se observa la presencia de Ferrita Acicular.

Análisis del Ensayo de Microscopía.

En este ensayo se pueden apreciar imágenes de la microestructura observada en el proceso, en las que se pueden distinguir claramente las diferentes zonas presentes en cada muestra, la Zona Afectada por el Calor (Z.A.) y la Zona Fundida (C.S) o cordón de soldadura. En el proceso se observa una estructura conformada por Austenita con morfología dendrítica, determinadas por el modo de solidificación primario predominante. La mayor cantidad de dendritas se encuentran en el cordón con orientación en el sentido de solidificación en el Metal Base. En el proceso SMAW se observa en la Z.A presencia de zona crecida

parcialmente debido al calor aportado durante la soldadura, apreciándose que a medida que las intensidades de corriente aumentaron la Z.A. se hacía mayor.

En el CS para todas las muestras el tamaño del grano aumenta en relación al Metal Base y estos se desordenan en forma de dendritas y sin ningún sentido fijo, formándose una estructura característica oscura, la cual se forma por las altas temperaturas alcanzadas en el proceso de soldadura SMAW.

Se puede observar debido a las corrientes trabajadas, presencia de formaciones dendríticas para la zona del CS poca diferenciación entre los granos de la Z.A. y el Metal Base, se observan poros en la Z.A., esto es debido a las posibles alteraciones en la velocidad de la soldadura.

Mediante la observación de las probetas se pudo comprobar que son de acero al carbono. La cantidad de carbono aumenta en cada una de las muestras y, por ende, aumenta notoriamente el microconstituyente perlita.

La perlita se observa en los límites de granos, por otra parte dentro de sus granos hay cementita, la cual se refleja como estrías blancas, siendo de fácil observación ya que resaltan al estar en medio de la perlita negra, sin embargo, en las probetas de mayor cantidad de carbono es mucho más difícil apreciar la diferencia entre la fase primaria y el microconstituyente debido a la uniformidad presente entre los colores de la imagen y el sobre ataque que se produjo durante la preparación de dichas probetas.

El cambio en la cantidad de perlita de los aceros hipereutectoides debido al cambio de composición es muy leve. Al contrario de los aceros hipoeutectoides en donde un pequeño aumento en la cantidad de carbono significa la formación de una gran cantidad de perlita.

4.4.2.5 Ensayo de Macroscopía.

Este ensayo se llevó a cabo utilizando como reactivo para revelar las zonas de la unión soldada Iodo en Ioduro de potasio al 20%. Teniendo los siguientes resultados.

i) Muestra 1 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 170A).



Figura 65: Macroscopía de la muestra 1, de borde V Sencilla (I = 170A).
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la figura 65, se puede observar claramente una imperfección en el material como lo es el punto negro en la misma, además se puede apreciar que no hubo buena penetración de la soldadura ya que solo una de ella fue la que pudo llegar más allá de la mitad.

ii) Muestra 2 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 160A).



Figura 66: Macroscopía de la muestra 2, de borde V Sencilla (I = 160A).
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la figura 66; tenemos que la penetración de la soldadura no fue buena ya que uno de los lados soldados no dio paso a una buena penetración del material, y el lado que sí pudo penetrar dejó porosidad en la misma causando un mal acabado en ella.

iii) Muestra 3 - Ensayo de borde V Sencilla (I = 100A).



Figura 67: Macroscopía de la muestra 3, de borde V Sencilla (I = 100A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 67, podemos ver que en ambas caras la soldadura pudo penetrar dejando una penetración sin impresiones, donde también se puede ver la forma del borde utilizado.

iv) Muestra 4 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 170A).

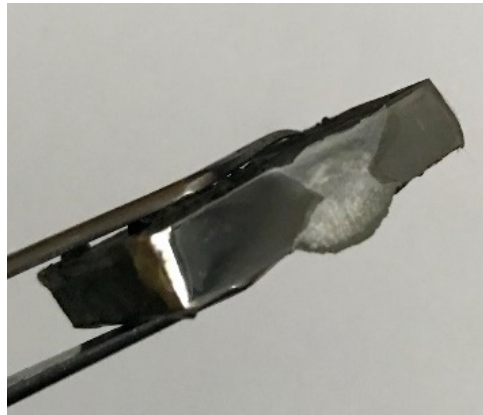


Figura 68: Macroscopía de la muestra 4, de borde U Sencilla (I = 170A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 68, se puede ver claramente la buena penetración que hubo de la soldadura dejando un buen acabado sin dejar imperfecciones visibles.

v) Muestra 5 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 160A).



Figura 69: Macroscopía de la muestra 5, de borde U Sencilla (I = 160A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 69, podemos ver que hubo una buena penetración en ambas caras de pieza más sin embargo se puede apreciar pequeñas porosidades que dejó la soldadura en el acabado.

vi) Muestra 6 - Ensayo de borde U Sencilla (I = 100A).

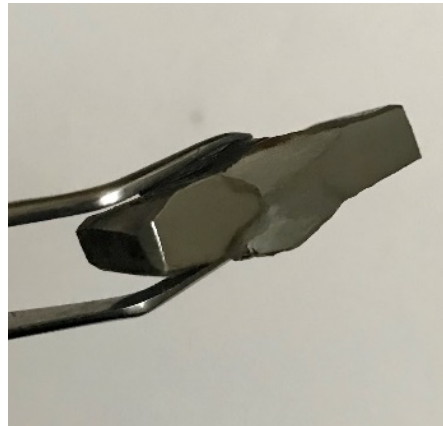


Figura 70: Macroscopía de la muestra 6, de borde U Sencilla (I = 100A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 70, podemos ver claramente que la soldadura tuvo una buena penetración en ambas caras del material.

vii) Muestra 7 - Ensayo de borde RECTO (I = 170A).



Figura 71: Macroscopía de la muestra 7, de borde RECTO (I = 170A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 71, podemos ver una buena penetración de la soldadura en el material.

viii) Muestra 8 - Ensayo de borde RECTO (I = 160A).



Figura 72: Macroscopía de la muestra 8, de borde RECTO (I = 160A).
Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 72, tenemos que para ambas caras del material la soldadura tuvo una buena penetración dejando un buen acabado en ella.

ix) Muestra 9 - Ensayo de borde RECTO (I = 100A).

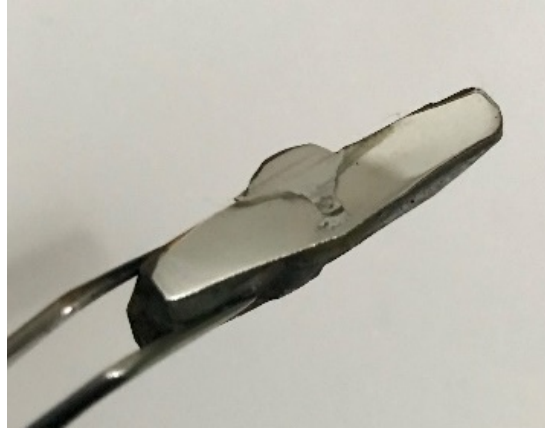


Figura 73: Macroscopía de la muestra 9, de borde RECTO (I = 100A).
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la figura 73, podemos ver que la soldadura no penetra de manera correcta el material, dejando así imperfecciones en la misma y mal acabo de la soldadura realizada.

x) Muestra 10 - Ensayo de borde en J (I = 170A).



Figura 74: Macroscopía de la muestra 10, de borde en J (I = 170A).
Fuente: Montañó-Mujica (2018)

En la Figura 74, podemos ver una buena penetración de la soldadura, más sin embargo esta dejó porosidades en el acabado.

xi) Muestra 11 - Ensayo de borde en J (I = 160A).



Figura 75: Macroscopía de la muestra 11, de borde en J (I = 160A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la muestra 75, se puede apreciar una buena penetración de la soldadura que no dejó imperfecciones en el material.

xii) Muestra 12 - Ensayo de borde en J (I = 100A).



Figura 76: Macroscopía de la muestra 12, Ensayo de borde en J (I = 100A).

Fuente: Montaña-Mujica (2018)

En la figura 76, podemos ver que en ambos lados la soldadura tuvo buena penetración, más sin embargo en uno de ellos tuvo pequeños rastros de porosidades.

Análisis del ensayo de Macroscopía. La apreciación visual refleja que el cordón de soldadura tuvo buena penetración y no se observan discontinuidades que sobrepasen a los valores permisibles como para rechazar dicho procedimiento de soldadura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Mediante los ensayos de Tracción, Doblado, Microdureza, Microscopia y Macroscopía se pudo identificar el material utilizado como un acero AISI-1010 cuyos resultados fueron comparados con el Handbook ASTM.

Se definieron cuatro tipos de bordes siendo estos U Sencilla, V Sencilla, J y RECTO, dejando de lado los bordes V doble y U doble ya que el espesor de la lámina utilizada no es óptimo para realizar el estudio en estos tipos de preparación.

Debido a pruebas piloto utilizadas con diferentes intensidades de corriente y diversos electrodos, se pudo determinar que las condiciones óptimas de intensidad de corriente para realizar el estudio son 100A, 160A y 170A, mientras que el electrodo que causo menor distorsión fue el E-7018.

Siguiendo los procedimientos, se realizaron las juntas soldadas por un proceso de soldadura SMAW a las intensidades de corriente de 100A, 160A y 170A para cada condición de borde, las doce (12) juntas soldadas fueron realizadas satisfactoriamente y de ellas se cortaron las probetas para realizar los estudios pertinentes.

Se realizaron ensayos de Tracción, Doblado, Microdureza, Microscopia y Macroscopía a todas las juntas soldadas, los resultados fueron comparados entre sí para obtener la condición optima en cada uno de ellos.

En cuanto al ensayo de tracción, la condición de borde óptima para trabajos que requieran la resistencia de grandes esfuerzos, es la RECTA a una intensidad de corriente de 170A la cual arrojó los valores más altos del estudio siendo estos de 271,8MP para Esfuerzo de Fluencia y 365,6 Mpa para el Esfuerzo de Ruptura.

Con relación al ensayo de doblado se puede decir que en todas las condiciones hay una buena respuesta no hay defectos ni problemas en ellas, para cualquier condición de borde el doblado es una buena opción.

Para el ensayo de microdureza, la condición que arrojo una mejor respuesta según lo estudiado que es la dureza del material, tenemos la condición de borde RECTO a 100A dando un valor de dureza igual a 278,33 Hv.

Del ensayo microscópico se concluye que en los extremos donde está el material base hay Ferrita y Perlita, conforme se avanza hacia el cordón de soldadura se encuentra la zona afectada por el calor donde comienza la aparición de ferrita acicular y cuando se termina de llegar al cordón de soldadura se puede apreciar mejor.

Del ensayo de Macroscopía podemos decir que en general todas las condiciones de bordes obtuvieron una buena penetración del material, dejando pocas imperfecciones y un buen acabado más, sin embargo, la condición de borde RECTO a 100A arrojo una mala penetración de la soldadura y dejó un mal acabado como también paso en la condición de borde V Sencilla que hubo poca penetración y es la condición donde se vio más porosidades en la soldadura.

5.2 Recomendaciones.

Realizar el estudio para los bordes V doble y U doble, para lograr un estudio más completo.

Realizar el estudio con otros tipos de soldadura.

Utilizar una lámina de mayor espesor para obtener mejores resultados.

Realizar las pruebas y ensayos necesarios siguiendo las pautas de este trabajo a otros electrodos para así aumentar la cantidad de electrodos evaluados, así como también cambiar los amperajes utilizados.

El acero AISI 1010 es fácil de manejar en cuanto a soldadura, ensayos y resulta accesible desde el punto de vista económico, sin embargo, se recomienda para futuras investigaciones realizar estudios con otro material base.

BIBLIOGRAFIA

- “**Agrietamiento en caliente de la unión soldada de acero ASTM A-36**” (2.015). [En línea]. Disponible:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S166573812015000200005. [Citada 21-07-2017].
- Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2.004). “*Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”. Editorial Thomson. 4ta Edición. D.F. México. Pág. 231-497.
- Arias F. (2.012). “*El proyecto de investigación: introducción a la investigación científica*”. Editorial Episteme. 6ta Edición. Caracas. Venezuela. Pag. 60.
- Avner, Sidney. (1.983) “**Introducción a la metalurgia Física**”. Segunda edición. Editorial Mc Graw-Hill, México. Pp 187,1889.
- AWS Welding Handbook. Ninth Edition volume 2. Welding process, part 1. (2.001) American Welding Society 550 N.W. LeJeune Road Miami, FL 33126.
- Bedoya A. (2.009) “**Clasificación AWS – ASTM de los electrodos de acero al carbono**” [En línea]. Disponible:
http://andresbedoya16g.blogspot.com/2009_06_01_archive.html [Citada 30-08-2017].
- Bruno A. y Viñones C. (2.007). “**Estudio comparativo de las propiedades mecánicas y metalúrgicas de uniones soldadas mediante los procesos SMAW y SAW en los aceros ASTM A-36 y ASTM A-516-70**”. Rev. ESAB – CONARCO. pp 7 – 8, Argentina.
- “**Clasificación de los tipos de soldadura**”. (2.015) [En línea]. Disponible:
<https://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf> [Citada 14-09-2017].
- “**Composición del revestimiento**”. [En línea]. Disponible: <http://www.indura.cl/web/cl> [Citada 13-10-2.017].
- “**Como controlar la escoria en soldadura**” <https://www.reparatucultivador.com/controlar-la-escoria-en-soldadura/> (2.017). [Citada 13-10-2017].
- “**Constituyentes de los aceros**” (2.015). [En línea]. Disponible:
<http://throwate.blogspot.com/2014/02/los-aceros.html> [Citada 30-08-2017].

“El cordón de soldadura” [En línea]. Disponible: <http://www.smaw.cl/ejercicios-soldadura/>. [Citada 23-07-2017].

“Desarrollo y calificación de procedimiento de soldadura” [En línea]. Disponible: <http://endalloy.net/desarrolloycalificacionsoldadura.html>. [Citada 13-10-2017]

“Esquema del tipo de electrodo y su eficiencia” [En línea]. Disponible: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/ejercicios12_3.html. [Citada 24-07-2015].

Este Javier A. (2.010). **“Influencia del tratamiento térmico de recocido post-soldadura”**. en las propiedades mecánicas y metalúrgicas en juntas soldadas de acero de bajo carbono ASTM A-36” Revista de Metalurgia, Vol. N 40, No2.pp 5 – 6, España.

“Fundamentos de la Soldadura”. (2.015). [En línea]. Disponible: <https://soldaduracap3.wordpress.com/category/fundamentos-de-la-soldadura/> [Citada 15-09-2017].

García Jacomino J, Burgos Sola J, Álvarez Luna M, García Arteaga J. (2.007) **“Determinación de los esfuerzos residuales en soldadura a tope por arco eléctrico con electrodo revestido en Acero ASTM A-36”**. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, Versión impresa ISSN 0798-4065. Rev. Fac. Ing. UCV v.22 n.2 Caracas jun. 2007.

I.E.S Cristobal de Monroy. Dpto Tecnología (2.015) **“Procedimiento de unión: soldadura”**. [Citada 14/10/2017]. Visto en http://www.academia.edu/13443657/Procedimientos_de_uni%C3%B3n_Soldadura

Izquierdo B. A. (2.015). **“Clasificación de los tipos de soldadura”** [En línea]. Disponible: <http://bryanizquierdocran.blogspot.com/> [Citada 14-09-2017].

kjellberg. Tecnología-de-soldadura. (2.017) **“Asistencia/Procedimiento-de-soldadura/Soldadura-de-arco-sumergido”**. <http://www.kjellberg.de/Tecnologia-de-soldadura/Asistencia/Procedimiento-de-soldadura/Soldadura-de-arco-sumergido.html%20> [citada 13-10-2.017].

Marín H. Andrés M. **“Proceso SMAW – Electrodo y su clasificación”** [En línea]. Disponible: http://soldadurayestructuras.com/2184409_Procesos-de-soldadura-y-corte.html. [Citada 13-10-2017].

“Máquina de soldar Corriente Continua” [En línea]. Disponible: <http://www.expondo.de/products/es/Soldadura/Soldadura-WIG/Mquina-desoldar-corriente-alterna-CA-corriente-continua-CC.html>. [Citada 28-07-2.017].

“Material de apoyo del curso de Soldadura MIG y SAW”. (2.010). Lincoln soldadura de Venezuela C.A. Revista Edición N°7 pp 2 – 4, (Julio 2.010), Valencia, Venezuela.

Melgarejo Rincón M. I, Ramírez Martin C, Aperador Chaparro W. A. (2.013) **“Determinación de las causas de las fallas en la ZAC de un acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW”**. Revista científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Costa. Enlace web: <http://www.revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/9> [Citada 08/10/2017].

“La fundición del gas protector” (2.015). [En línea]. Disponible: <http://www.kemppi.com/inet/kemppi/contman.nsf/Print/A0A71A8414E05343C22574390033DD69?OpenDocument>. [Citada 13-10-2.017].

“La soldadura por arco con electrodos revestidos (M.M.A. Manual Metal Arc)” [En línea]. Disponible: <http://www.sertema.com.ve/soldaduraporarco.php>. [Citada 24-07-2017].

Lincoln Electric. (2.015). **“Electrodos Revestidos Catalogo”**. San Vicente 1, Edo. Aragua Venezuela. <https://www.lincolnelectric.com.ve> [Citada 13-10-2017].

“Lincoln Soldadura de Venezuela C.A. Revista Edición N°7 pp 2 – 4”, (Julio 2.010).

López A. Tierno. **“Constituyentes de los aceros”** [En línea]. Disponible: <http://auladetecnologias.blogspot.com> [Citada 30-08-2015].

“Microestructura del acero 1%C, red blanca de cementita” (2.015). [En línea]. Disponible: <http://www.utp.edu.co/~publio17/aceros.htm> [Citada 30-08-2017].

Osmond R. (1.902). **“Martensita”** [En línea]. Disponible: <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/martensi.html> [Citada 30-08-2017].

“Proceso de Soldadura FCAW - Alambre Tubular relleno de Fundente” [En línea]. Disponible: <http://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/blog/proceso-soldadura-fcawalambre-tubular-relleno-de-fundente-definiciones-del-proceso.cfm>. [Citada 25-072015]

Ramírez A, Cerpa S, Mejías G, León J, y Quintero A. (Venezuela 2.006). **“Soldadura de un acero inoxidable Duplex 2205 por el proceso de soldadura GTAW”**. Universidad Central de Venezuela. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Vol. N 5, No1.pp 3 – 4, Caracas-Venezuela.

“Resistencia a la corrosión localizada en juntas soldadas en un acero ASTM A-36”
(2.014) [En línea]. Disponible:
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079840652008000300004. [Citada 23-07-2017].

Riveros S, Castillo R.N, Bermont V.M, & Laffertte J.E. (2.003). **“Influencia del tratamiento térmico de recocido post-soldadura en las propiedades mecánicas y metalúrgicas en juntas soldadas de acero de bajo carbono ASTM A-36”**. Rev. Jornada SAM / CONAMET / Simposio Materia 2003, I. Balseiro UNC, pp 104 –106, Bariloche, Argentina.

“Soldadura con electrodo revestido” [En línea]. Disponible:
http://www.elchapista.com/riesgos_de_la_soldadura.html. [Citada 23-07-2017].

“Soldadura con gases al soplete.” (2.015) [En línea]. Disponible:
http://traigan.net/posts/los-tipos-de-soldaduras-mas-empleadas-ydefinicion_i356107
[Citada 30-08-2017].

“Soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno y Protección gaseosa, o TIG”.
(2.015) (Tungsten Inert Gas).” [En línea]. Disponible:
<https://www.emaze.com/@AZLTIWIRO/Presentation-Name> [Citada 15-09-2017].

Soldadura Protocolo. (2.008). **“Laboratorio de producción Facultad de Ingeniería. Industrial”**. 1era Edición. Colombia.

ANEXOS

ANEXO A



Designation: E190 – 92 (Reapproved 2008)

Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds¹

This standard is issued under the fixed designation E190; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method covers a guided bend test for the determination of soundness and ductility of welds in ferrous and nonferrous products. Defects, not shown by X rays, may appear in the surface of a specimen when it is subjected to progressive localized overstressing. This guided bend test has been developed primarily for plates and is not intended to be substituted for other methods of bend testing.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

Note 1—For additional information see Terminology E6, and American Welding Society Standard D 1.1.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

2.2 *AWS Standard:*

D1.1 Structural Welding Code, Steel³

3. Summary of Test Method

3.1 The specimen is bent in a U-shaped die by means of a centrally applied force to the weldment in a flat specimen supported at two positions equidistant from the line of force

application. The specimen is forced into the die by a plunger having the shape necessary to produce the desired contour. The convex surface of the bent specimen is examined for cracks or other open defects.

4. Significance and Use

4.1 The guided bend test as described in this test method is used to evaluate the quality of welds as a function of ductility as evidenced by their ability to resist cracking during bending.

5. Apparatus

5.1 The guided bend test jig is shown in Fig. 1 (see Explanatory Notes at end of this test method).

6. Sampling

6.1 Sampling is performed in accordance with the requirements of relevant specifications and codes.

7. Test Specimens

7.1 The types of specimens generally used for guided bend testing are rectangular ones machined from plates and pipes. The face surface of the flat specimen contains the greater width of the weld material, while the opposite side is called the root surface.

7.1.1 *Transverse Side Bend*—The weld is transverse to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that either one of the side surfaces becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 2 and Fig. 3).

7.1.2 *Transverse Face Bend*—The weld is transverse to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the weld face surface becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 4).

7.1.3 *Transverse Root Bend*—The weld is transverse to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the weld-root surface becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 4).

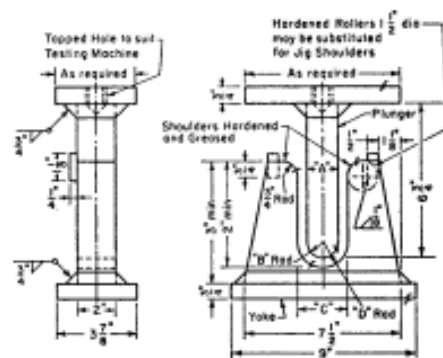
7.1.4 *Longitudinal Face Bend*—The weld is parallel to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the weld-face surface becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 5).

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.02 on Ductility and Formability.

Current edition approved Sept. 1, 2008. Published January 2009. Originally approved in 1961. Last previous edition approved in 2003 as E190 – 92 (2003). DOI: 10.1520/E0190-02R08.

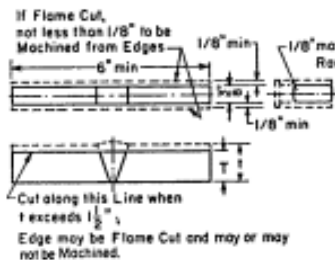
² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from The American Welding Society (AWS), 550 NW LeJeune Rd., Miami, FL 33126.



Thickness of Specimen in. (mm)	A, in. (mm)	B, in. (mm)	C, in. (mm)	D, in. (mm)
1/8 (3.2)	1 1/8 (38)	1/8 (19)	2 1/8 (50)	1 1/8 (30)
1/4 (3.2)	2 1/4 (54)	1 1/4 (27)	2 1/4 (50)	1 1/4 (30)
t	4t	2t	8t + 1/4 (+ 3.2)	3t + 1/4 (+ 1.8)

FIG. 1 Guided Bend Test Jig



t, in. (mm)	T, in.
1/8 to 1 1/8 (3.2 to 38)	t
> 1 1/8 (38)	See Note

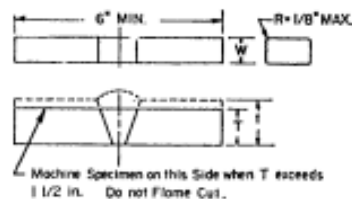
Note 1—For plates over 1 1/8 in. (38 mm) thick, cut specimen into approximately equal strips between 1/8 and 1 1/8 in. (19 and 38 mm) wide and test each strip.

FIG. 2 Side-Bend Specimen for Ferrous Materials

7.1.5 *Longitudinal Root Bend*—The weld is parallel to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the weld root surface becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 5).

8. Procedure

8.1 Bend the guided-bend specimens in a test jig that is substantially in accordance with Fig. 1. Place transverse specimens on the die member of the jig with the weld at midspan. Place face-bend specimens with the face of the weld directed toward the gap; place root-bend specimens with the root of the weld directed toward the gap; and place side-bend specimens with the side showing the greater defects toward the gap. If no significant defects are evident, either side may be chosen.



t, in. (mm)	T, in.
1/8 to 1 1/8 (3.2 to 38)	t
> 1 1/8	See Note

Note 1—For plates over 1 1/8 in. (38 mm) thick, cut specimen into approximately equal strips between 1/8 and 1 1/8 in. (19 to 38 mm) wide and test each strip.

FIG. 3 Side-Bend Specimen for Nonferrous Materials

8.2 Any convenient means may be used for moving the plunger with relation to the die; but it must be steady and without any significant lateral motion. Apply the force until the specimen conforms to a U-shape, and until a 1/8-in. (3.2 mm) diameter wire cannot be inserted between the specimen and any point on the curvature of the plunger member of the jig, unless the specimen fails earlier.

9. Interpretation of Results

9.1 Examine the convex surface of the bent specimen for cracks or other open defects.

9.1.1 When the test is conducted as an acceptance criterion, the allowable crack size shall be specified by the code or specification requiring the test.

9.1.2 When the test is conducted for informational purposes, report the size and location of all cracks visible to the unaided eye.

ANEXO B



Designation: E 407 – 07

Standard Practice for Microetching Metals and Alloys¹

This standard is issued under the fixed designation E 407; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript symbol (n) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice covers chemical solutions and procedures to be used in etching metals and alloys for microscopic examination. Safety precautions and miscellaneous information are also included.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific cautionary statements, see 6.1 and Table 2.

2. Referenced Documents

- 2.1 ASTM Standards:²
- D 1193 Specification for Reagent Water
- E 7 Terminology Relating to Metallography
- E 2014 Guide on Metallographic Laboratory Safety

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definition of terms used in this standard, see Terminology E 7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *stain etch*—an immersion etchant that produces color contrast, often selective to a particular constituent in the microstructure, due to a thin oxide, sulfide, molybdate, chromate or elemental selenium film on the polished surface that reveals the structure due to variations in light interference effects as a function of the film thickness (also called a “stain etch”).

3.2.2 *vacuum-deposition interference layer method*—a technique for producing enhanced contrast between microstructural constituents, usually in color, by thin films formed by vacuum

deposition of a dielectric compound (such as $ZnTe$, $ZnSe$, TiO_2 , ZnS or ZnO) with a known index of refraction, generally due to light interference effects (also known as the “Pepperhoff method”).

4. Summary of Practice

4.1 Table 1 is an alphabetical listing of the metals (including rare earths) and their alloys for which etching information is available. For each metal and alloy, one or more etchant numbers and their corresponding use is indicated. Alloys are listed as a group or series when one or more etchants are common to the group or series. Specific alloys are listed only when necessary. When more than one etchant number is given for a particular use, they are usually given in order of preference. The numbers of electrolytic etchants are italicized to differentiate them from non-electrolytic etchants.

4.2 Table 2 is a numerical listing of all the etchants referenced in Table 1 and includes the composition and general procedure to be followed for each etchant.

4.3 To use the tables, look up the metal or alloy of interest in Table 1 and note the etchant numbers corresponding to the results desired. The etchant composition and procedure is then located in Table 2 corresponding to the etchant number.

4.4 If the common name of an etchant is known (Marble's, Vilella's, etc.), and it is desired to know the composition, Table 3 contains an alphabetical listing of etchant names, each coded with a number corresponding to the etchant composition given in Table 2.

5. Significance and Use

5.1 This practice lists recommended methods and solutions for the etching of specimens for metallographic examination. Solutions are listed to highlight phases present in most major alloy systems.

6. Safety Precautions

6.1 Before using or mixing any chemicals, all product labels and pertinent Material Safety Data Sheets (MSDS) should be read and understood concerning all of the hazards and safety precautions to be observed. Users should be aware of the type of hazards involved in the use of all chemicals used, including those hazards that are immediate, long-term, visible, invisible,

¹This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.02 on Specimen Preparation.

Current edition approved May 1, 2007. Published May 2007. Originally approved in 1988. Last previous edition approved in 2004 as E 407-04.

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards technical information, refer to the standard's Discussion Summary page on the ASTM website.

and with or without odors. See Guide E 2014 on Metallographic Laboratory Safety for additional information on: Chemical Safety, Electrolytic Polishing/Etching and Laboratory Ventilation/Fume Hoods.

6.1.1 Consult the product labels and MSDSs for recommendations concerning proper protective clothing.

6.1.2 All chemicals are potentially dangerous. All persons using any etchants should be thoroughly familiar with all of the chemicals involved and the proper procedure for handling, mixing, and disposing of each chemical, as well as any combinations of those chemicals. This includes being familiar with the federal, state, and local regulations governing the handling, storage, and disposal of these chemical etchants.

6.2 Some basic suggestions for the handling and disposing of etchants and their ingredients are as follows:

6.2.1 When pouring, mixing, or etching, always use the proper protective equipment, (glasses, gloves, apron, etc.) and it is strongly recommended to always work under a certified and tested fume hood. This is imperative with etchants that give off noxious odors or toxic vapors that may accumulate or become explosive. In particular, note that solutions containing perchloric acid must be used in an exclusive hood equipped with a wash down feature to avoid accumulation of explosive perchlorates. See Guide E 2014 on Metallographic Laboratory Safety for additional information on safety precautions for electrolytes containing perchloric acid.

6.2.2 No single type of glove will protect against all possible hazards. Therefore, a glove must be carefully selected and used to ensure that it will provide the needed protection for the specific etchant being used. In some instances it may be necessary to wear more than one pair of gloves to provide proper protection. Information describing the appropriate glove may be obtained by consulting the MSDS for the chemical being used. If that does not provide enough detailed information, contact the chemical manufacturer directly. Additionally, one can contact the glove manufacturer or, if available, consult the manufacturers glove chart. If the chemical is not listed or if chemical mixtures are being used, contact the glove manufacturer for a recommendation.

6.2.3 Use proper devices (glass or plastic) for weighing, mixing, containing, and storage of solutions. A number of etchants generate fumes or vapors and should only be stored in properly vented containers. Storage of fuming etchants in sealed or non-vented containers may create an explosion hazard.

6.2.4 When mixing etchants, always add reagents to the solvent unless specific instructions indicate otherwise.

6.2.5 When etching, always avoid direct physical contact with the etchant and specimen; use devices such as tongs to hold the specimen (and tufts of cotton, if used).

6.2.6 Methanol is a cumulative poison hazard. Where ethanol or methanol, or both are listed as alternates, ethanol is the preferred solvent. Methanol should be used in a properly designed chemical fume hood.

6.2.7 When working with HF always be sure to wear the appropriate gloves, eye protection and apron. Buying HF at the lowest useable concentration will significantly reduce risk. Additionally, it is recommended that a calcium gluconate

cream or other appropriate HF neutralizing agent be available for use if direct skin contact of the etchant occurs.

6.2.8 The EPA states that human studies have clearly established that inhaled chromium (VI) is a human carcinogen, resulting in an increased risk of lung cancer. Animal studies have shown chromium (VI) to cause lung tumors via inhalation exposure. Therefore, when working with Cr(VI) compounds such as $K_2Cr_2O_7$ and CrO_3 , always use a certified and tested fume hood. Additional information can be obtained at the EPA website³.

6.2.9 For safety in transportation, picric acid is distributed by the manufacturer wet with greater than 30% water. Care must be taken to keep it moist because dry picric acid is shock sensitive and highly explosive especially when it is combined with metals such as copper, lead, zinc, and iron. It will also react with alkaline materials including plaster and concrete to form explosive compounds. It should be purchased in small quantities suitable for use in six to twelve months and checked periodically for lack of hydration. Distilled water may be added to maintain hydration. It must only be stored in plastic or glass bottles with nonmetallic lids. If dried particles are noted on or near the lid, submerge the bottle in water to re-hydrate them before opening. It is recommended that any bottle of picric acid that appears dry or is of unknown vintage not be opened and that proper emergency personnel be notified.

6.2.10 Wipe up or flush any and all spills, no matter how minute in nature.

6.2.11 Properly dispose of all solutions that are not identified by composition and concentration.

6.2.12 Store, handle and dispose of chemicals according to the manufacturer's recommendations. Observe printed cautions on reagent bottles.

6.2.13 Information pertaining to the toxicity, hazards, and working precautions of the chemicals, solvents, acids, bases, etc. being used (such as material safety data sheets, MSDS) should be available for rapid consultation. A selection of useful books on this subject is given in Refs. (1-11)⁴.

6.2.14 Facilities which routinely use chemical etchants should have an employee safety training program to insure the employees have the knowledge to properly handle chemical etchants.

6.2.15 When working with etchants always know where the nearest safety shower, eye-wash station, and emergency telephone are located.

7. Miscellaneous Information

7.1 If you know the trade name of an alloy and need to know the composition to facilitate the use of Table 1, refer to a compilation such as Ref (12).

7.2 Reagent grade chemicals shall be used for all etchants. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents conform to specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society where such specifications are available. Other grades, such as United States

³ <http://www.epa.gov/ttn/aml/hl/hl/chromium.html>

⁴ The **boldface** numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

ANEXO C

2010 SECTION IX

QW-463.1(a) PLATES – LESS THAN $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION

Discard		this piece
Reduced section		tensile specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Root bend		specimen
Face bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Discard		this piece



QW-463.1(b) PLATES – $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) AND OVER THICKNESS AND ALTERNATE FROM $\frac{3}{8}$ in. (10 mm) BUT LESS THAN $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) THICKNESS PROCEDURE QUALIFICATION

Discard		this piece
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Side bend		specimen
Reduced section		tensile specimen
Side bend		specimen
Discard		this piece



Norma ASME sección 9 QW-463.1(a)

ANEXO D



ASTM INTERNATIONAL E 384 - 08 Método de prueba estándar para la dureza de penetración

Esta norma se basa en las ediciones de los números siguientes indican el año de adopción inicial; en el caso de la revisión Emenda reinado. Un número entre paréntesis la última aprobación. Una (s) pailon superíndice (s), expresado desde la última Después de algunos cambios de redacción.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por el Dep

1. alcance

1.1 estándar incluye material método de micro dureza de penetración de pruebas, máquinas Calibración de los bloques de referencia dureza.

1.2 Métodos de ensayo incluyen el uso de Vickers y Brinell (10 y 500 g) en el rango de fuerza 9,8 N (Micro ensayo de penetración a 1000 gf) lleva a cabo bajo.

1.3 método de prueba cubre las causas de los análisis de error de proceso indentación micro Factores exactitud de los resultados de las pruebas, repetibilidad y reproducibilidad de.

nota — Comité Técnico centran metales, sin embargo, el método de ensayo descrito es aplicable también

1.4 norma no pretende discusión con el uso de todas las cuestiones relacionadas con la s Los estudiantes determinan dichos procedimientos y uso de privilegios administrativos, e

2. Referencias normativas

2.1 ASTM estándar:

Nuri muestra espectro de dureza C 1326 Método de prueba estándar Advanced Ceramics

C 1327 Cerámica avanzada Vickers dureza de penetración Método de prueba estándar

E3 preparación de muestras metalográficas

E 7 Términos y Metalografía relacionados

E 122 para estimar la calidad de un producto o grupo de productos, el proceso de selección

E 140 de metal tabla de conversión de dureza (Brinell, Vickers de la dureza, la dureza de Las relaciones entre)

E término 175 microscopio

E 691 mediante la investigación en colaboración entre laboratorios para determinar la pre

E 766 calibrado de aumento de la SEM

3. Terminología

3.1 Definiciones - Definición de los términos utilizados en esta norma, consultar la terminología

3.2 El plazo para el término que se utiliza en la presente norma:

Norma ASTM E-384

3.2.1 Calibración (verbo) --- o un conjunto de criterios para determinar el valor del blo Valor.

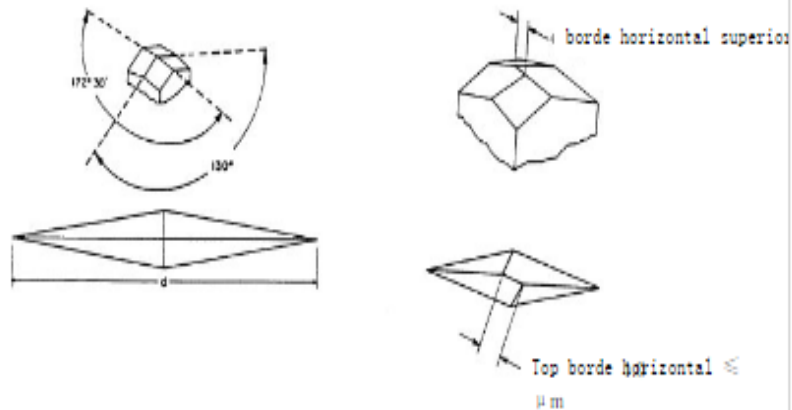
3.2.2 Knoop valor de fuerza de prueba de dureza, --- el término aplicado a penetrador pes La dureza obtenida representa el área proyectada de las calificaciones obtenidas.

3.2.3 Knoop penetrador, sustantivo --- pirámide de diamante penetrador con una superficie $A = 172.5^\circ$ y 130° $\angle B = 0^\circ$ (ver Fig.

3.2.4 micro dureza de penetración de ensayo, n -. El uso de un probador determinada pe métodos de prueba de dureza en la superficie del material. Durante la prueba Para 9,8 N), después de la eliminación de la diagonal fuerza prueba de indentación usando Ensayo de dureza, la gente asumirá después de la sangría eliminación fuerza de recuperaci no. Evitar el uso del término "dureza micro" porque ese término implica dureza muy baja, más que el tamaño de la fuer

3.2.5 Inspección, verbos --- inspección o equipos de prueba para garantizar el cumplimie

3.2.2 términos de valor, la fuerza de ensayo de dureza Vickers Vickers --- penetrador se valor de la dureza del cociente representado por el área de superficie de las marcas obte



La Fig. 1 penetrador Knoop

3.2.7 indentador Vickers, la terminología indentador de diamante --- una vértebra rectang 136° (ver Fig. 2).

3.3 --- 3.3.1-3.3.4 fórmula aparece en la fórmula utilizada para calcular el probador de A. dureza de penetración microscópica del valor medido de material se ve afectada por div De las diferencias y los errores humanos medición de la desviación de longitud de la díag Afectar el cálculo de la dureza del material. Los valores de error de estos parámetros es

No se discuten.

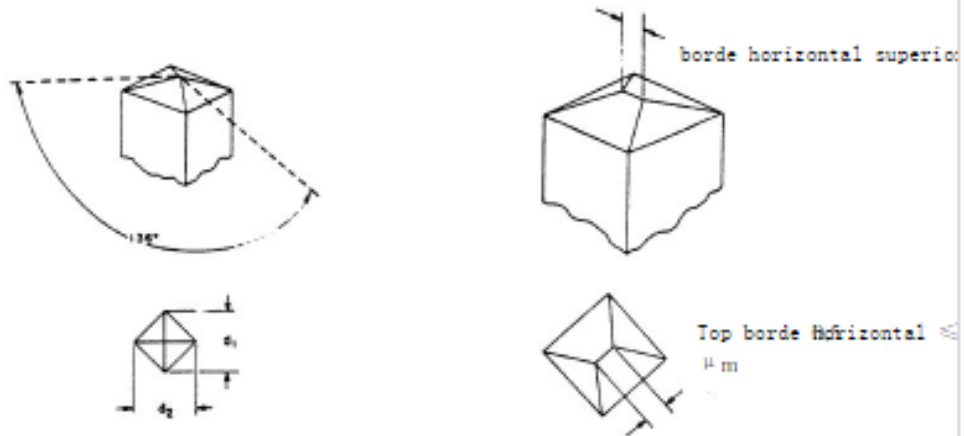
3.3.1 Para la prueba de dureza Knoop, de hecho, la fuerza de ensayo es en gramos - fuerza. Representado, valor de dureza Knoop se calcula como sigue:

$$HK = 1000 \times 10^3 \times (P/A_p) = 1.000 \times 10^3 \times P/c_p \times d^2 \quad (1)$$

or

$$HK = 14229 \times P/d^2 \quad (2)$$

$$c_p = \frac{\tan\left(\frac{\angle B}{2}\right)}{2 \tan\left(\frac{\angle A}{2}\right)} \quad (3)$$



La Fig. 2 indentador V

donde:

P = fuerza de ensayo, unidad gf.

d = longitud de la diagonal, m.

A_p = Área proyectada de la huella, micras

∠ A = ángulo en el vértice entre la dirección longitudinal del borde, 172 ° 30 '.

∠ B = ángulo en el vértice entre los bordes en la dirección de anchura, 130 ° 0 ' (ver Fig. 2).

c_p = Constant, y el área proyectada de la indentación y la longitud de diagonal larga de 9.81-1-gf (9.8 × 10⁻³ N) en virtud de la ley de Hooke. Cuando se desea convertir el valor de dureza Knoop a fuerza de 9.81-1-gf (9.8 × 10⁻³ N) en virtud de la ley de Hooke, el valor de dureza Knoop correspondiente determinaren multiplicador

3.2.2 En kgf / mm² Knoop fórmula de cálculo de dureza es como sigue:

$$HK = 14.229 \times P_1 / d^2 \quad (4)$$

donde:

好文档, 让好朋友也看看 ×