



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**INFLUENCIA DEL TIPO DE
REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO
SOBRE LA SENSIBILIDAD AL
AGRIETAMIENTO EN CALIENTE DE
UNA JUNTA SOLDADA DE ACERO
E-AISI 1010**

Autores: Fajardo S. Javier J.
C.I. N°20.000.130
Santo F. Gilberto J.
C.I. N°21.239.414

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



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

**INFLUENCIA DEL TIPO DE REVESTIMIENTO
DEL ELECTRODO SOBRE LA SENSIBILIDAD AL
AGRIETAMIENTO EN CALIENTE DE UNA JUNTA
SOLDADA DE ACERO AISI 1010**

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

Autores: Fajardo S. Javier J.

C.I. N°20.000.130

Santo F. Gilberto J.

C.I. N°21.239.414

Tutor: Ing. Giovanni Pizzella P.

San Diego, 2017



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

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Giovanni PizzellaP. 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: Fajardo Sánchez Javier José, portador de la Cédula de Identidad N° V-20.000.130 y Santo Feng Gilberto José, portador de la Cédula de Identidad N° V-,21.239.414,titulado **INFLUENCIA DEL TIPO DE REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO SOBRE LA SENSIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE DE UNA JUNTA SOLDADA DE ACERO AISI 1010**.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, Junio del 2017

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



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-TG-2017-1CR-071

Valencia, 13 de Enero de 2017.

Ciudadanos:

Fajardo Javier

C.I. 20.000.130

Santo Gilberto

C.I. 21.239.414

Presente -

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2017 de fecha 13/01/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **"INFLUENCIA DEL TIPO DE REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO SOBRE LA SENSIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE DE UNA JUNTA SOLDADA DE ACERO ESTRUCTURAL AISI 1010."** Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Giovanni Pizella, C.I. 4.455.859 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.830 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Mariene Zambrano
Decana (Encargada) de la Facultad de Ingeniería
(CUS02 de fecha 11/10/2016)



e. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).
Archivo.

MEZ:jp

ÍNDICE

CONTENIDO	Pp
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Alcance.....	8
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Soldadura.....	13
2.2.2 Tipos de Soldadura.....	14
2.2.3 Electrodo.....	23
2.2.3.1 Clasificación de los Electrodo.....	23
2.2.4 Biseles.....	28
2.2.5 Fallas característicasde soldaduras.....	29
2.2.6 Grietas.....	30
2.2.6.1 Criterio para evaluar el riesgo del agrietamiento en caliente.....	33
2.2.6.2 Naturaleza del agrietamiento en caliente.....	33
2.2.6.3 Fisuramiento en caliente (FC) del metal de soldadura	34
2.2.6.4 Fisuras de solidificación (FS).....	35
2.2.6.5 Fisura de licuación.....	36
2.2.7 Acero.....	36
2.2.7.1 Clasificación de los aceros.....	39
2.2.8 Ensayos mecánicos.....	44
2.2.8.1 Ensayo de tracción	44

2.2.8.2 Ensayo de doblado	47
2.2.8.3 Ensayo de dureza.....	47
2.2.9 Ensayos Metalográficos.....	50
2.2.9.1 Macroscopía.....	51
2.2.9.10 Microscopía.....	51
2.2.10 Ensayo de Varestraint	51
2.3 Definición de Términos Básicos.....	52
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1 Tipo de Investigación.....	54
3.2 Nivel de la investigación.....	54
3.3 Diseño de la Investigación.....	55
3.4 Población y muestra.....	55
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.....	56
3.7 Fases de la Investigación.....	57
3.7.1. Fases Metodológicas.....	57
IV RESULTADOS	68
4.1 Caracterizar el material base.....	68
4.2 Determinar el comportamiento mecánico en tracción, flexión y dureza en uniones soldadas de acero al carbono AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.....	72
4.2.1 Ensayo de tracción.....	72
4.2.1 Ensayo de doblado.....	82
4.2.3 Microdureza Vickers.....	87
4.3 Estudiar el comportamiento microestructural de las uniones soldadas de acero estructural AISI 1010 mediante marcros- copia y microscopia en función de la intensidad de corriente y el voltaje.....	90
4.4 Evaluar mediante el ensayo de Varestrain el agrietamiento por deformación en caliente en uniones soldadas de acero estructural AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.....	111
4.5 Determinar cuál revestimiento de electrodo ofrece la menor sensibilidad al agrietamiento.....	118
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones.....	120
5.2 Recomendaciones.....	121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía..... 122

ANEXOS

A..... 124
 B..... 125
 C..... 127
 D..... 128

**LISTA DE TABLAS
CONTENIDO**

TABLAS		p.p.
1	Cantidad de probetas a ensayar.....	57
2	Características de la lámina inicial.....	58
3	Comparación de la microdureza del material base ensayado con el teórico.....	69
4	Caracterización de material base.....	71
5	Probeta E-6010 – 80 Amp.....	72
6	Probeta E-6010 – 100 Amp.....	73
7	Probeta E-6010 – 120 Amp.....	74
8	Probeta E-6013 – 80 Amp.....	76
9	Probeta E-6013 – 100 Amp.....	77
10	Probeta E-6013 – 120 Amp.....	78
11	Probeta E-7018 – 90 Amp.....	79
12	Probeta E-7018 – 120 Amp.....	80
13	Probeta E-7018 – 1500 Amp.....	81
14	Ensayo de tracción.....	82
15	Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodos E-6010.....	87
16	Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodos E-6013.....	88
17	Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodos E-7018.....	89

**LISTA DE FIGURAS
CONTENIDO**

FIGURAS		
1	Soldadura heterogénea.....	14
2	Soldadura homogénea.....	15
3	Soldadura por arco eléctrico.....	16
4	Soldadura por arco sumergido.....	17
5	Soldadura con electrodo refractario(método TIG).....	18
6	Soldadura con electrodo consumible (método MIG y MAG)...	19

7	Soldadura con termita o aluminotérmica.....	19
8	Soldadura de energía radiante.....	20
9	Soldadura por punto.....	21
10	Soldadura por costura.....	22
11	Soldadura a tope.....	22
12	Estructura de los electrodos de varilla.....	24
13	Clasificación de los electrodos de acero al carbono.....	24
14	Clasificación de los electrodos según revestimiento, corriente y penetración.....	25
15	Tipos de biseles.....	29
16	Diagrama hierro-carbono.....	38
17	Clasificación de los aceros al carbono.....	42
18	Composición química de la colada del acero AISI 1010.....	44
19	Máquina para el Ensayo de Tracción.....	45
20	Grafico esfuerzo deformación.....	47
21	Ensayo de doblado.....	48
22	Esquema matriz de doblado.....	48
23	Tipos de ensayos de dureza.....	49
24	Probeta ensayada del ensayo de Varestraint de forma longitudinal, Técnica de multi-pasada.....	52
25	Composición química de los electrodos.....	59
26	Junta soldada.....	59
27	Intensidades de corriente según el electrodo.....	59
28	Matriz de doblado de tres puntas.....	60
29	Medidas de probetas de tracción.....	61
30	Microscopio.....	63
31	Indentaciones realizadas a cada probeta.....	64
32	Micro durómetro Vickers.....	64
33	Dimensiones de probeta ensayo Varestraint.....	66
34	Esquema del procedimiento de Varestraint.....	67
35	Microestructura del material base a 400x y 1000x.....	68
36	Doblado de la probeta sin soldar.....	69
37	Máquina para ensayo de tracción FRANK.....	70
38	Grafico esfuerzo vs deformación material base, ensayo tracción.....	71
39	Grafico esfuerzo vs deformación E-6010 – 80 Amp, ensayo tracción.....	73
40	Grafico esfuerzo vs deformación E-6010 – 100 Amp, ensayo tracción.....	74
41	Grafico esfuerzo vs deformación E-6010 – 120 Amp, ensayo	

	tracción.....	75
42	Grafico esfuerzo vs deformación E-6013 – 80 Amp, ensayo tracción.....	76
43	Grafico esfuerzo vs deformación E-6010 – 100 Amp, ensayo tracción.....	77
44	Grafico esfuerzo vs deformación E-6010 – 120 Amp, ensayo tracción.....	78
45	Grafico esfuerzo vs deformación E-7018 – 90 Amp, ensayo tracción.....	79
46	Grafico esfuerzo vs deformación E-7018 – 120 Amp, ensayo tracción.....	80
47	Grafico esfuerzo vs deformación E-7018 – 150 Amp, ensayo tracción.....	81
48	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 80Amp..	82
49	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 100Amp	83
50	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 120Amp	83
51	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 80Amp..	84
52	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 100Amp	84
53	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 120Amp	85
54	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 90Amp..	85
55	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 120Amp	86
56	Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 150Amp	86
57	Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E- 6010.....	87
58	Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E- 6013.....	88
59	Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E- 7018.....	89
60	Probeta soldada con E-6010 a 80 Amp.....	90
61	Probeta soldada con E-6010 a 100 Amp.....	90
62	Probeta soldada con E-6010 a 120 Amp.....	91
63	Probeta soldada con E-6013 a 80 Amp.....	91
64	Probeta soldada con E-6013 a 100 Amp.....	91
65	Probeta soldada con E-6013 a 120 Amp.....	91
66	Probeta soldada con E-7018 a 90 Amp.....	92
67	Probeta soldada con E-7018 a 120 Amp.....	92
68	Probeta soldada con E-7018 a 150 Amp.....	92
69	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 80Amp.....	94
70	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a	

	100Amp.....	96
71	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 120Amp.....	98
72	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 80Amp.....	100
73	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 100Amp.....	102
74	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 120Amp.....	104
75	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 90Amp.....	106
76	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 120Amp.....	108
77	Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 150Amp.....	110

**LISTA DE CUADROS
CONTENIDO**

CUADROS		p.p.
1	Ensayo Varestraint.....	102
2	Microscopia Varestraint.....	106



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

INFLUENCIA DEL TIPO DE REVESTIMIENTO DEL ELECTRODO SOBRE LA SENSIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN CALIENTE DE UNA JUNTA SOLDADA DE ACERO ESTRUCTURAL AISI 1010.

Autores: Fajardo S., Javier J.
Santo F., Santiago

Tutor: Pizzella P., Giovanni

Fecha: Junio 2.017

RESUMEN

Este trabajo de investigación se establece debido a la necesidad de evaluar cómo influyen los diversos parámetros al momento de soldar sobre la sensibilidad al agrietamiento en caliente para una Acero estructural AISI 1010 mediante la soldadura SMAW. Para lograr evaluar la sensibilidad se variaron los diversos parámetros tales como la intensidad de corriente, tipo de revestimiento de electrodo posteriormente se procedió a elaborar ciento cuarenta y tres probetas (143) las cuales fueron sometidas a los diversos ensayos destructivos como ensayo de doblado, ensayo Varestraint, ensayo de tracción, ensayo de Microdureza y a los ensayos no destructivos como macroscopía y microscopía dichos ensayos están establecidos en el código ASME sección IX, con la finalidad de garantizar su ejecución y garantizar la calidad de las juntas soldadas. Los resultados de estos ensayos se demostró cómo afecta la variación de los parámetros de soldadura en el calor aportado y a su vez en el agrietamiento en caliente de las juntas soldadas por el proceso SMAW de acero estructural AISI 1010.

Descriptores: Acero estructural AISI 1010, soldadura SMAW, intensidad de corriente, revestimiento de electrodo.

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 metalmeccánica, 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

En la sociedad actual existe un auge de crecimiento rápido y seguro en lo que se refiere a construcciones tanto para vivienda como a nivel industrial en la cual predominan las estructuras de acero las cuales son unidas la gran mayoría mediante el proceso soldadura debido a su factibilidad economía y rapidez en el momento de construir.

El Acero AISI 1010 es un acero de bajo carbono utilizado para la construcción de perfiles, tuberías soldadas y otros, por sus múltiples aplicaciones en el sector industrial, gracias a sus propiedades mecánicas y a que posee una gran soldabilidad, pero también es posible que después del proceso de soldadura queden discontinuidades o defectos que no brinden las propiedades mecánicas que sugiere la unión, aumentando la posibilidad de falla.

La estructura del presente trabajo de investigación está destinada al estudio de las propiedades mecánicas y metalúrgicas de la soldadura con tres (3) tipos de electrodos celulósico, rutilico y bajo en hidrogeno que son de uso común y las variaciones de amperajes del método SMAW, para concluir satisfactoriamente y con resultados verídicos,

que sirvan de apoyo para posteriores investigaciones realizadas que converjan en el presente tema.

En el Capítulo I se plantea y formula el problema y los objetivos de la investigación, los cuales están dirigidos a evaluar la influencia que tienen la variación de los parámetros de soldadura sobre la sensibilidad al agrietamiento en caliente de los materiales en estudio, como objetivos específicos se tiene el caracterizar el acero AISI 1010 en sus condiciones iniciales, determinar mediante ensayos destructivos y no destructivos el comportamiento mecánico de las uniones soldadas en función de la intensidad de corriente y voltaje y analizar dichos resultados. El espesor del acero es constante de 5 mm, con respecto a los parámetros de soldadura tanto el amperaje como el voltaje fueron variables, se trabajó con tres voltajes y amperajes distintos.

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 obtenidos de la investigación, su discusión. Así como en el Capítulo V las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Desde la antigüedad ha existido un material que ha tomado mucho auge en la vida cotidiana como es el acero, ya que con él se construyen infinidad de objetos desde grandes fabricaciones industriales hasta instrumentos médico-quirúrgicos entre otros. Existe una gran variedad de éstos, entre ellos está el acero estructural que tiene alta resistencia, ductilidad, tenacidad y gran facilidad para unir varios miembros por soldadura, tornillos y remaches.

Debido a que en la actualidad se emplea a menudo la construcción y el diseño de estructuras metálicas y debido a que estas requieren de uniones entre piezas se emplea con mucha frecuencia el uso de la soldadura, por ser un proceso sencillo, rápido y de bajo costo, pero este procedimiento deja muchas preocupaciones debido a la calidad del producto.

El proceso de soldadura es llevado a cabo por la cohesión de un material base y otro material de aporte, mediante una fuente de calor concentrada, fundiendo ambos materiales y mezclándolos, lo que permite al área próxima al cordón de soldadura que se dilate durante la entrega de calor y se contraiga a medida que se enfría. La soldadura tiene una variedad de técnicas y entre las más usadas se encuentra la soldadura por arco manual con electrodo revestido SMAW (Shield Metal ArcWelding) y se caracteriza por su fácil aplicabilidad y bajo costo. Este proceso trae alteraciones en la estructura microscópica del material base y esto afectará la estructura donde el mismo se encuentre, con lo que es necesario el estudio de los males que este proceso acarrea.

Es de vital importancia para el inspector de soldadura reconocer las discontinuidades presentes en un determinado cordón de soldadura. Las discontinuidades son interrupciones en la uniformidad natural de una pieza. La grieta generalmente se

considera como la discontinuidad más crítica. Esto es debido al hecho de que la grieta se caracteriza por ser lineal como también por exhibir en los extremos una condición aguda. Debido a esta última característica existe la tendencia a la propagación de la grieta. Las grietas se pueden clasificar dependiendo de la temperatura a la que se presentan como grieta en frío o en caliente. Las grietas en caliente ocurren a elevada temperatura. La propagación de la grieta se considera intergranular; esto es, las grietas ocurren entre granos individuales. La superficie fracturada presenta distintas coloraciones, los cuales indican la presencia de la grieta a elevada temperatura. La grieta en frío ocurre después que el metal se ha enfriado a la temperatura ambiente. La propagación de la grieta en frío puede ser intergranular o transgranular. Las grietas pueden también ser clasificadas según su dirección respecto al eje longitudinal de la soldadura. Las que están en la dirección paralela al eje longitudinal se llaman grietas longitudinales, similarmente las que están en dirección perpendicular al eje longitudinal de soldadura son llamadas grietas transversales. Esta descripción se aplica tanto a las grietas que aparecen en el metal base y en el metal de soldadura.

El agrietamiento es un tema complejo porque hay diferentes tipos de grietas que ocurren en diferentes zonas a lo largo de la soldadura. Todas las grietas son potencialmente graves, ya que pueden conducir a un fallo completo de la soldadura. La mayoría de las grietas se atribuyen a un alto contenido en carbono, aleación o azufre en el metal base. Es importante también conocer la diferencia entre discontinuidad y defecto, generalmente se utilizan los dos términos erróneamente. Mientras una discontinuidad en alguna forma introduce una irregularidad en la uniformidad de una estructura, un defecto es una discontinuidad específica la cual imposibilita la utilización de la estructura para el propósito que fue diseñada. Esto es, un defecto es una discontinuidad de un cierto tipo que ocurre en una cantidad lo suficientemente grande para impedir el uso de la estructura en el servicio para el cual fue diseñada. Para determinar si una discontinuidad se convierte en un defecto, se deberá recurrir a algunos estándares que definen los criterios de aceptación y rechazo. Con el ensayo V-restraint que consiste en doblar las planchas soldadas, podremos observar con claridad si algunas de estas probetas se agrietan en caliente.

En lo anterior expuesto se encuentra el fundamento de este trabajo de investigación, debido a que, se realizaron estudios sobre la influencia que tienen específicamente tres tipos de revestimientos de electrodos, a saber: Rutilico, Celuloso y Bajo Hidrogeno, sobre el acero AISI 1010. Con esto se quiere determinar en esencia cómo influye en la zona afectada la composición química de cada revestimiento de electrodo, para con esto obtener una mejor calidad de unión entre el acero AISI 1010 y poder establecer correlaciones en cada caso a estudiar, que permita poseer un mayor conocimiento sobre el tipo de revestimientodeelectrodo y las ventajas que estos ofrecen para el acero de trabajo.

1.2 Formulación del problema

Con este trabajo se pretende determinar el estudio de diferentes tipos de electrodos; celulósico (E6010) para una intensidad de corriente entre 80-120 Amp., rutilíco (E6013) para una intensidad de corriente entre 80-120 Amp., bajo hidrogeno (E7018) para una intensidad de corriente entre 90-150 Amp., todos referidos a un diámetro de 3,18 mm (1/8 pulg) a partir de probetas de acero AISI 1010, para así dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cómo influye en la zona afectada la composición química de cada revestimiento de electrodo, para con esto obtener una mejor calidad de unión entre el acero AISI 1010 y poder establecer correlaciones en cada caso a estudiar, que nos permita poseer un mayor conocimiento sobre el tipo de revestimiento de electrodo y las ventajas que estos nos ofrecen para la unión soldada mediante un proceso SMAW?

1.3 Objetivos de la investigación:

1.3.1 Objetivo general.

Determinar la influencia del tipo de revestimiento del electrodo sobre la sensibilidad al agrietamiento en caliente de una junta soldada de acero AISI 1010.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Caracterizar el material base en función de ensayos de doblado, de tracción, microscopía y microdureza.
2. Determinar el comportamiento mecánico en tracción, flexión y dureza en uniones soldadas de acero AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

3. Estudiar el comportamiento microestructural de las uniones soldadas de acero AISI 1010 mediante evaluación macroscópica y microscópica en función de la intensidad de corriente y el voltaje.
4. Evaluar mediante el ensayo de Vareststraint el agrietamiento por deformación en caliente en uniones soldadas de acero AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.
5. Determinar cuál revestimiento de electrodo ofrece la menor sensibilidad al agrietamiento.

1.4 Justificación de la investigación.

Debido al gran número de procesos en los cuales se encuentran 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 necesidad de estudiar la influencia que tienen específicamente tres tipos de revestimiento de electrodo (Rutilico, Celuloso, Bajo Hidrogeno) sobre el acero AISI 1010, 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 busca cuál de estos revestimientos ofrece una mejor calidad de unión 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 y estructuras.

1.5 Limitaciones.

El tiempo de 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. En la presente investigación se pueden presentar algunas

condiciones y restricciones que limiten su desarrollo satisfactorio y correcto como la disponibilidad del material en el mercado, tomar en cuenta que para la realización de la soldadura para los diversos tipos de electrodos es necesario contar con el trabajo de mano de obra especializada y certificada para garantizar la calidad del proceso, adicionalmente, para el estudio de las propiedades mecánicas y metalúrgicas del material, se requiere el uso de los laboratorios y equipos de la universidad y de empresas especializadas en el tema, los cuales tienen una accesibilidad limitada.

1.6 Alcance.

Tipo de acero a utilizar: acero AISI 1010.

El proceso de soldadura utilizado es el de electrodo revestido (SWAM) con diferentes tipos de electrodos celulósico (E6010) para una intensidad de corriente entre 80-120 Amp., rutilíco (E6013) para una intensidad de corriente entre 80-120 Amp., y de bajo hidrogeno (E7018) para una intensidad de corriente entre 90-150 Amp., todos referidos a un diámetro de 3,18 mm (1/8 pulg).

La comparación y análisis se fundamentó en los cambios de propiedades mecánicas y metalúrgicas determinadas por ensayos de tracción, doblado, micro dureza, microscopía y macroscopía, además de los ensayos de Varestraint.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se requiere de la recopilación en función del tema tratado de otras investigaciones, permitiendo de esta manera obtener conocimientos al respecto y determinar la relación o pertinencia que dichos trabajos guardan con la investigación desarrollada. El objetivo principal de los antecedentes de una investigación es dar a conocer que el problema seleccionado posee un carácter científico.

A continuación se presentan autores que efectuaron un análisis o proyectos relacionados.

González Y. (2008) en su investigación realizada en la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, titulada **“Evaluación de la Temperatura de Precalentamiento Sobre la Sensibilidad al Agrietamiento en Caliente para Cordones de Soldadura en Acero Inoxidable Austenítico Utilizando Electrodo AWS E309L-16, AWS E310-16”**. Tuvo como objetivo determinar el efecto de la temperatura de precalentamiento sobre la sensibilidad al agrietamiento en caliente para cordones de soldaduras en acero inoxidable utilizando electrodos AWS E309L-16, AWS E310-16. Para la realización de la misma, se efectuaron soldaduras a tope de láminas de acero inoxidable austenítico con espesor de 3 mm. Una vez establecidos como parámetros de trabajo porcentajes de deformación de 3,81%; 4,76%; 6,22%; 9,25%; intensidades de corriente de 45 Amperios y 75 Amperios y temperaturas de precalentamiento de 80°C y 150°C, se realizaron los ensayos combinando dichos parámetros en probetas de las medidas establecidas.

Con este trabajo se concluyó que mediante el ensayo de Varestreint el material de aporte AWS E310-16 es más sensible al agrietamiento en caliente que el material de aporte

AWS E309L-16, para soldaduras en aceros inoxidable austeníticos debido a la cantidad de ferrita presente en éstos. Y en ambos materiales de aporte se evidencio que la sensibilidad al agrietamiento es proporcional a la temperatura de precalentamiento, la intensidad de corriente y porcentaje de deformación empleada en el ensayo de Varestraint. Finalmente en el trabajo se pudo observar que la verificación de la sensibilidad al agrietamiento en caliente se puede realizar por medio del ensayo Varestraint.

El aporte de la investigación es la utilización de los diferentes ensayos tales como: microscopia y macroscopía, tracción, doblado y microdureza que se realizaron para el estudio de la soldadura, además del ensayo de Varestraint.

Por otra parte, **Pérez M. y Pullas L. (2009)** presentaron un trabajo en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador, Quito, titulado **“Influencia de la Utilización de Insertos de Varilla Corrugada sobre las Soldaduras de Perfil Estructural”**. La investigación presentó el objetivo de determinar la influencia de utilizar varilla con resaltes para hormigón armado como material de relleno en la soldadura de perfil estructural. Para el estudio, se desarrollaron procedimientos de soldadura, se realizaron ensayos visuales, no destructivos y mecánicos para la calificación de los procedimientos de soldadura. Adicionalmente, se realizó la caracterización micro-estructural de las zonas de interés usando técnicas de microscopía óptica.

Se concluyó que la utilización de insertos de varilla con resaltes como material de relleno en soldaduras de perfil estructural no debería utilizarse bajo los parámetros de soldadura usados en este estudio.

Asimismo, **Villegas L. (2009)**, en su Trabajo de grado presentado en la Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela, titulado **“Calificación de procedimiento de soldadura y evaluación metalúrgica de junta a tope p8-p8”**. Tuvo como objetivo calificar el procedimiento de soldadura de juntas símiles a tope de acero inoxidable (P8-P8), acero al carbono (P1-P1) y realizar evaluación metalúrgica de la junta (P8-P8) correspondiente a un acero inoxidable austenítico ASTM A-312 tipo 304L, utilizando la sección IX del código ASME y normas de PDVSA. El propósito de la calificación de procedimientos de soldadura, es determinar que el conjunto soldado propuesto sea capaz de

proveer las propiedades requeridas para su aplicación final, sin probabilidad de falla. Se realizó la calificación de procedimiento de soldadura de una junta a tope de acero inoxidable P8-P8 correspondiente a un acero ASTM A-

resultan adecuados para su utilización en condiciones reales de servicio según los requerimientos de la Sección IX del Código ASME.

Del trabajo de investigación se pudo ver como la disminución del voltaje genera zonas de fusión con menor penetración y mayor refuerzo de cara, indistintamente del proceso de soldadura utilizado, teniendo esto en cuenta a la hora de trabajar en nuestra investigación como también la evaluación no destructiva y destructiva que se debería aplicar en las juntas soldadas con el fin de determinar las características mecánicas y calidad de la soldadura.

Igualmente, **Aponte Z. Juan J. (2010)**, trabajo presentado como Tesis de Grado en la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, titulado **“Determinación del Efecto de la Temperatura de Pre calentamiento sobre la Sensibilidad al Agrietamiento en Caliente para Cordones de Soldaduras en Acero Estructural utilizando Electrodo E7018 y E6010”**. Tuvo como objetivo examinar el agrietamiento en caliente, para cordones de soldaduras, con relación al efecto de la temperatura de pre calentamiento de un acero, utilizado en aplicaciones estructurales. Para éstos distintos métodos predictivos fueron considerados en el cálculo de la temperatura de pre calentamiento, más adecuada en éste tipo de acero, que debido a su composición química y a su bajo contenido de carbono, está comprendido dentro del intervalo de [100, 250] °C y además, dicha temperatura es compatible con las condiciones de aplicación extremas, bajo las cuales se ejecutó el cordón de soldadura. Con este trabajo se concluyó que el material de aporte más susceptible al agrietamiento en caliente fue el electrodo E6010 a una temperatura de pre calentamiento de 100 °C y una intensidad de corriente de 10 Amperios y se observó que el electrodo E6010 mostro una mayor cantidad de grietas que en el electrodo E7018.

Se pudo tomar en cuenta en dicho trabajo que se debe tener una temperatura adecuada al momento de realizar la soldadura debido a la composición química del tipo acero y su contenido de carbono ya que es de suma importancia al instante de estudiar la sensibilidad al agrietamiento para los diferentes tipos de revestimientos.

Por último, **Del Gatto L. (2011)**, en su trabajo de investigación presentado en la Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela, titulado **“Estudio del Comportamiento a Fatiga de una Unión Soldada a Solape de Láminas de Acero A-36”**. Tuvo como

objetivo realizar el estudio del comportamiento mecánico de una unión soldada a solape sometida a carga estática y de fatiga, proponiendo una metodología actualizada para el diseño de la misma. Para esto se realizaron cálculos de interés con la finalidad de obtener la resistencia máxima de la junta soldada y la magnitud de los esfuerzos utilizando formulas obtenidas de la teoría fundamental de mecánica de materiales, lo cual se denomina método clásico, considerando cargas estáticas y de fatiga, posteriormente se realizó una aproximación al cálculo de la junta soldada mediante el análisis sobre elementos finitos, también considerando cargas estáticas y de fatiga, y por último se llevara a cabo ensayo de tracción y fatiga con probetas soldadas a solape. Se concluyó que se puede utilizar de manera segura el procedimiento de cálculo analítico para la junta soldada a solape, se recomendó la utilización de un factor de seguridad para el cálculo del metal base. Y para el procedimiento de cálculo por el método computacional, se puede corregir las dimensiones de la junta hasta que la misma no falle por fluencia.

De este trabajo se pudo chequear que hay probetas que pueden romper en el material debido a algún defecto al momento de realizar los procesos de soldaduras.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Soldadura

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Para que el metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura es necesario que «moje» a los metales que se van a unir, lo cual se verificará siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido.

Los efectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada. Deben evitarse porosidades y grietas añadiendo elementos de aleación al metal de aportación, y sujetando firmemente las piezas que se

quieren soldar para evitar deformaciones. También puede suceder que la zona afectada por el calor quede dura y quebradiza. Para evitar estos efectos indeseables, a veces se realizan precalentamientos o tratamientos térmicos posteriores. Por otra parte, el calor de la soldadura causa distorsiones que pueden reducirse al mínimo eligiendo de modo adecuado los elementos de sujeción y estudiando previamente la secuencia de la soldadura.

El fisuramiento en caliente puede ocurrir como efecto de la contracción térmica, característica de cualquier proceso de soldadura que involucre calentamiento o enfriamiento localizado, por la falta de ductilidad del metal a temperaturas elevadas como para soportar dichas tensiones.

Matemáticamente la variación del calor aportado durante la soldadura se debe a la variación de voltaje, intensidad de corriente y velocidad de pasada, el cual se puede determinar mediante la ecuación recomendada por la ASME SECCIÓN IX QW-409.1, donde definen al calor como:

Ec.1

En donde:

Entrada de calor

Voltaje

Intensidad de corriente

Velocidad de la soldadura

Rendimiento

El rendimiento depende del proceso de soldadura usado y para la soldadura con arco revestido tiene un valor de 0,75, la soldadura por arco metálico con gas y la soldadura de arco sumergido, 0,9 y la soldadura de arco de gas de tungsteno, 0,8.

2.2.2 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, como se observa en la **Figura 1**. 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.

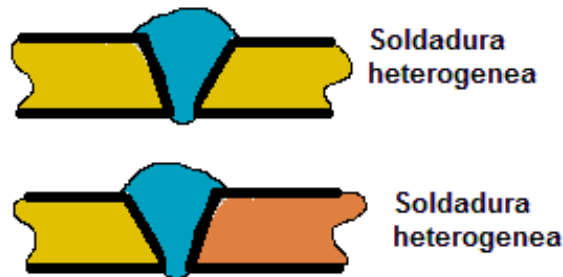


Figura 1: Soldadura heterogénea.
Fuente: Soldadura protocolo, escuela colombiana de ingeniería

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 zinc. 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, como se observa en la **Figura 2**. Puede ser oxiacetilénica, eléctrica (por arco voltaico o por resistencia), etc. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan autógenas.

Por soldadura autógena se entiende aquella que se realiza sin metal de aportación, de manera que se unen cuerpos de igual naturaleza por medio de la fusión de los mismos; así, al enfriarse, forman un todo único.



Figura 2: Soldadura homogénea.
Fuente: Soldadura protocolo, escuela colombiana de ingeniería

Soldadura por presión.

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 oxiacetilénica (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. En la llama se distinguen diferentes zonas, claramente diferenciadas: Una zona fría a la 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.

Soldadura por arco eléctrico.

Como el nombre lo sugiere, es un arco eléctrico que se establece entre las partes a soldar y un electrodo metálico, como se muestra en el esquema de la **Figura 3**. La energía eléctrica, convertida en calor, genera una temperatura en el arco cerca de 5,500 grados centígrados (10,000 F), causando la fundición de los metales y después la unión.



Figura 3: Soldadura por arco eléctrico.
Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

Uno de los principales problemas en soldadura, es el comportamiento de los metales ante la combinación de los agentes atmosféricos y los cambios en su temperatura. El método de proteger el metal caliente del ataque de la atmósfera (oxidación) es uno de los mayores problemas a resolver. Las técnicas desarrolladas van desde "Protección por fundente" (Flux Covering), hasta la de "Protección por gas Inerte": son escudos protectores del oxígeno del aire. En algunas instancias la atmósfera es removida completamente usando sistemas de vacío (soldadura por haz de electrones). El proceso se realiza mediante un arco eléctrico que es mantenido entre la punta de un electrodo cubierto y la pieza a trabajar. Las gotas de metal derretido son transferidas a través del arco y son convertidas en un cordón de soldadura. Un escudo protector de gases es producido por la sublimación del material fundente que cubre el electrodo. Además la escoria derretida flota sobre el cordón de soldadura donde protege el metal soldado aislándolo de la atmósfera durante la solidificación. Esta escoria también ayuda a darle forma al cordón de soldadura especialmente en soldadura vertical y sobre cabeza. La escoria debe ser removida completamente después de cada cordón. El proceso es mayormente usado para soldar aceros

de bajo carbono en trabajos metálicos estructurales, fabricación de barcos e industrias en general. A pesar de lo relativamente lento del proceso, por el recambio de electrodos y la remoción de la escoria, se mantiene como una de las técnicas más flexibles y sus ventajas en áreas de acceso restringido son notables.

El equipo de soldadura por arco eléctrico puede variar en tamaño y complejidad, siendo la diferencia principal del proceso de crear el arco, el método usado para separar la atmósfera o crearla y el material consumible empleado para ser aportado al proceso.

Soldadura por arco sumergido.

Utiliza un electrodo metálico continuo y desnudo. El arco se produce entre el alambre y la pieza bajo una capa de fundente granulado que se va depositando delante del arco. (Ver **Figura4**). Tras la soldadura se recoge el fundente que no ha intervenido en la operación.

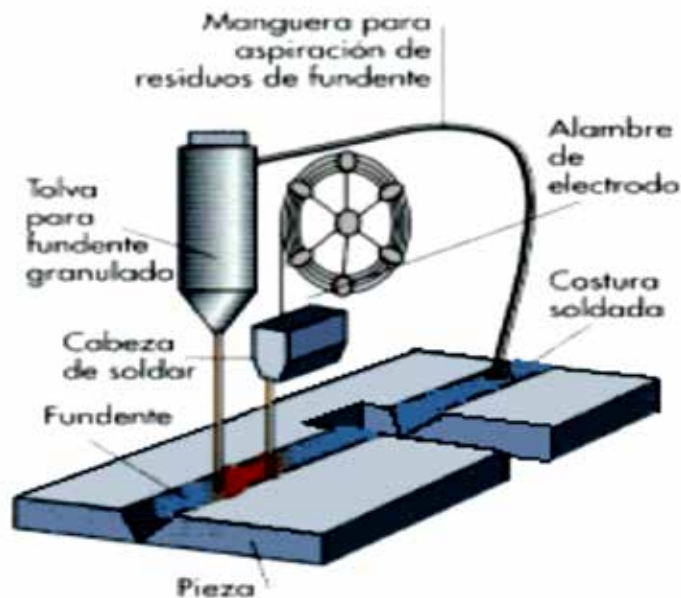


Figura 4: Soldadura por arco sumergido.

Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

Soldadura por arco en atmósfera inerte.

Este procedimiento se basa en aislar el arco y el metal fundido de la atmósfera, mediante un gas inerte (helio, argón, hidrógeno, anhídrido carbónico, etc.). Existen varios procedimientos:

- Con electrodo refractario (método TIG). El arco salta entre el electrodo de Wolframio o tungsteno (que no se consume) y la pieza, el metal de aportación es una varilla sin revestimiento de composición similar a la del metal base. (Ver **Figura 5**).

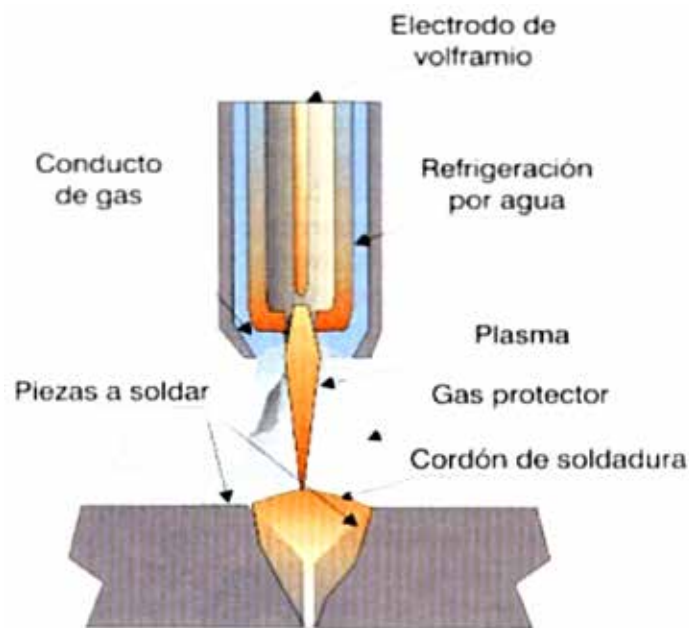


Figura 5: Soldadura con electrodo refractario (método TIG).

Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

- Con electrodo consumible (método MIG y MAG). Aquí se sustituye el electrodo refractario de wolframio por un hilo de alambre continuó y sin revestimiento que se hace llegar a la pistola junto con el gas. Según sea el gas así recibe el nombre, (MIG = Metal Inert Gas) o MAG si utiliza anhídrido carbónico que es más barato. (Ver **Figura 6**).

Soldadura aluminotérmica o con termita.

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 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 **Figura 7** muestra un ejemplo de esta soldadura.

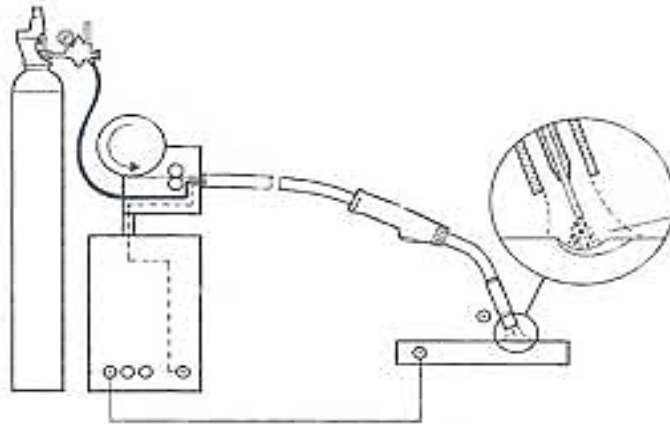


Figura 6: Soldadura con electrodo consumible (método MIG y MAG).
Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

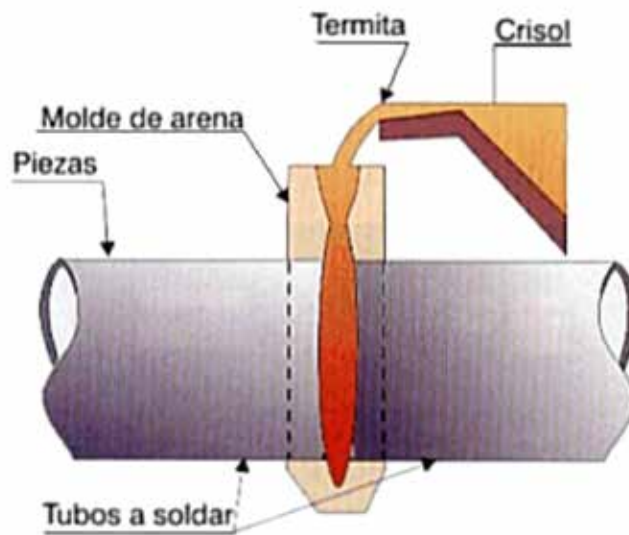


Figura 7: Soldadura con termita o aluminotérmica.
Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

Como se ve en la **Figura 7** la termita 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.

Procedimientos de energía radiante.

Un reducido número de procesos utilizan para la soldadura energía radiante. Su importancia, dentro del volumen total del producto industrial es todavía muy reducida; pero merecen ser destacados por lo que aportan de perspectiva de futuro. Lo que caracteriza a estos procedimientos es su extraordinario poder para aportar la energía en la zona exacta donde se necesita, mediante e enfoque de la fuente radiante sobre el objeto que se va a soldar. (Ver **Figura 8**). Como consecuencia se reduce al mínimo la zona afectada por la unión, no produciendo deformaciones apreciables.

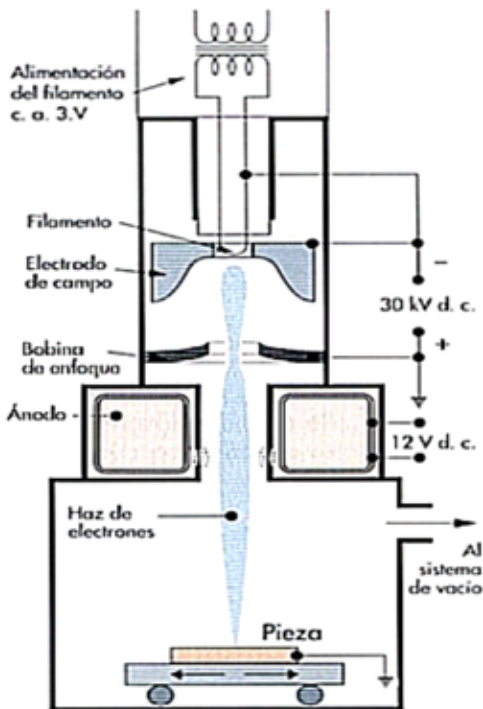


Figura 8: Soldadura de energía radiante.
Fuente: I.E.S. “Cristóbal de Monroy”. Dpto. de Tecnología)

Soldadura por resistencia eléctrica.

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. El calor desprendido viene dado por la expresión

Ec.2

Donde:

Q = calor (en calorías).

I = intensidad de corriente eléctrica (en amperios).

R = resistencia (en ohmios) al paso de la corriente eléctrica.

t = tiempo (en segundos).

La soldadura por resistencia puede realizarse de las siguientes maneras:

- Por puntos. Las piezas (generalmente chapas) quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y regularmente espaciadas que, debido a su relativa pequeñez, se denominan puntos, como se observa en la **Figura 9**. Las chapas objeto de unión se sujetan por medio de los electrodos y, a través de ellos, se hace pasar la corriente eléctrica para que funda los puntos. Cuando se solidifican, la pieza queda unida por estos puntos, cuyo número dependerá de las aplicaciones y de las dimensiones de las chapas que se unen.

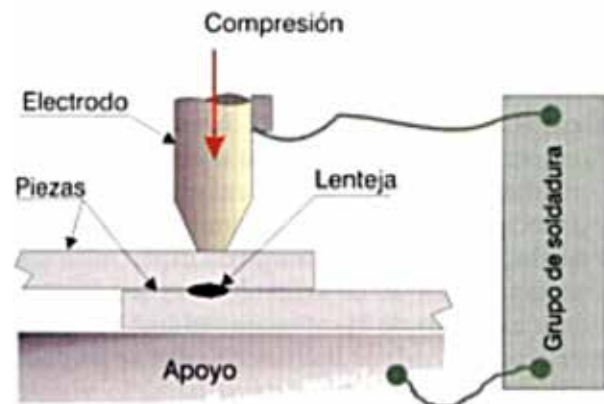


Figura 9: Soldadura por punto.

Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

- Por costura. La soldadura eléctrica por costura se basa en el mismo principio que la soldadura por puntos, pero en este caso las puntas de los electrodos se sustituyen por rodillos, entre los cuales y presionadas por el borde de éstos, pasan las piezas a soldar, como se observa en la **Figura 10** a continuación.

- A tope. Las dos piezas que hay que soldar se sujetan entre unas mordazas por las que pasa la corriente, las cuales están conectadas a un transformador que reduce la tensión de red a la de la soldadura. Las superficies que se van a unir, a consecuencia de la elevada resistencia al paso de la corriente que circula por las piezas, se calientan hasta la temperatura conveniente para la soldadura. En este momento se interrumpe la corriente, y se aprietan las dos piezas fuertemente una contra otra. (Ver **Figura 11**). Un variante de este método es no ejercer presión sino dejar que entre las piezas se realicen múltiples arcos eléctricos, llamado por chisporroteo.

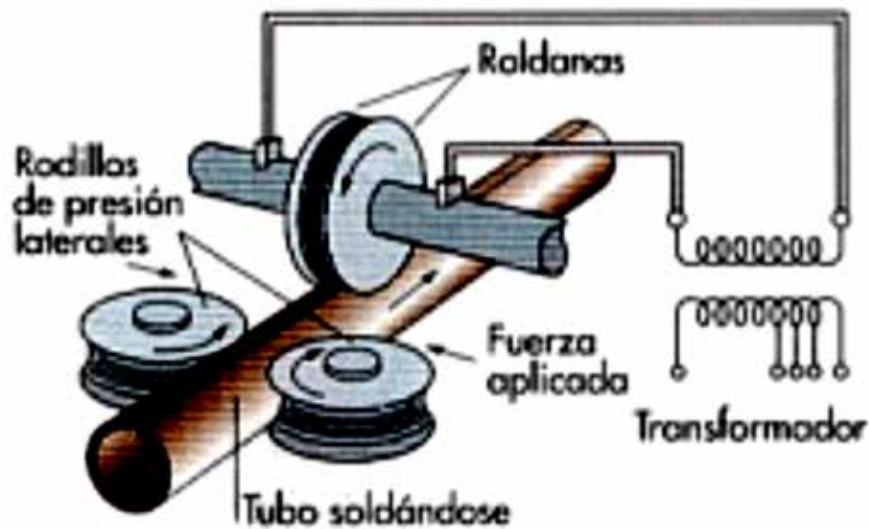


Figura 10: Soldadura por costura.
Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

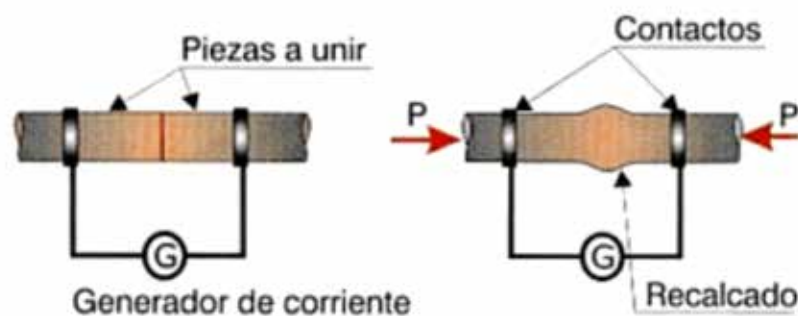


Figura 11: Soldadura a tope.
 Fuente: I.E.S. “Cristóbal de Monroy”. Dpto. de Tecnología

2.2.3 Electrodo

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.

2.2.3.1 Clasificación de los electrodos

Los electrodos que se usan en los procesos de AW se clasifican como consumibles y no consumibles.

Los electrodos consumibles contienen el metal de aporte en la soldadura con arco eléctrico; están disponibles en dos formas principales: varillas (también llamados bastones) y alambres. Las varillas para soldadura normalmente tienen una longitud de 225 a 450 mm y un diámetro de 9.5 mm o menos. El problema con las varillas de soldadura consumibles, al menos en las operaciones de producción, es que deben cambiarse en forma periódica, reduciendo el tiempo de arco eléctrico del soldador. El alambre para soldadura consumible tiene la ventaja de que puede alimentarse en forma Continua al pozo de soldadura desde bobinas que contienen alambres en grandes cantidades, con esto se evitan las interrupciones frecuentes que ocurren cuando se usan las varillas para soldadura. Tanto en forma de varilla como de alambre, el arco eléctrico consume el electrodo durante el proceso de soldadura y

éste se añade a la unión fundida como metal de relleno, a continuación en la Figura 12 se muestra la estructura de un electrodo de varilla.

Los electrodos de varilla se clasifican en base a las propiedades mecánicas del metal depositado, tipo de recubrimiento, posiciones en las que se puede emplear el electrodo y tipo de corriente y polaridad a emplear. El sistema de clasificación empleado para electrodos recubiertos sigue el modelo empleado por la AWS. De acuerdo con este sistema, la clasificación de un electrodo se designa con la letra "E" y con cuatro o cinco dígitos. (Ver Figura 13).

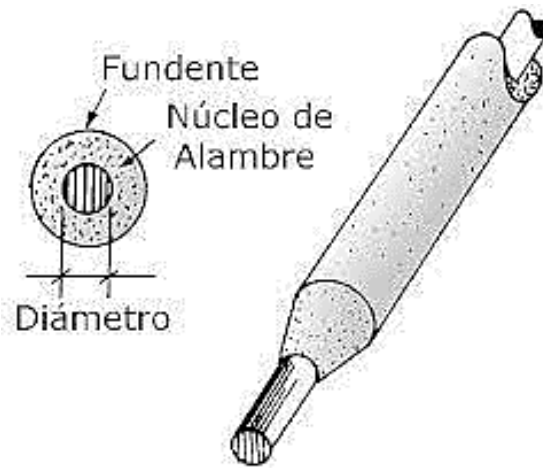


Figura 12: Estructura de los electrodos de varilla.
Fuente: I.E.S. "Cristóbal de Monroy". Dpto. de Tecnología

Número de electrodo AWS*	Resistencia de tensión (MPa)	Límite elástico kpsi (MPa)	Elongación (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Figura 13: Clasificación de los electrodos de acero al carbono.

Fuente: American Welding Society (AWS). En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos, en el cual los dos o tres primeros designan la resistencia mínima a la tensión. El penúltimo dígito indica la posición de soldado (plano, vertical o sobre la cabeza). El último incluye variables en la técnica de soldado, como la fuente de corriente.

En algunas clasificaciones de electrodos existen adicionalmente dos dígitos (6) y (7) E-XXXX-X6X7 que identifican el tipo de elemento que resulta después de la soldadura, ejemplo – 7018 – Mo

Donde:

E = Electrodo

70 = Resistencia mínima a la tensión de 70.000 lb/pulg² (482 MPa).

1 = Cualquier posición (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza).

8 = AC o DCEP Corriente Alterna o Corriente Directa con electrodo positivo"+".

Mo = Molibdeno en el material después de depositado.

En la Figura 14 se presenta el resumen del tipo de revestimiento, corriente y penetración relacionado con el dígito que presente el electrodo.

CLASIF.	CORRIENTE	ARCO	Penetración	Fundente y Escoria
EXXX0	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrogeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)

DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo **DCEN** - Corriente Directa Electrodo Negativo
Nota: El porcentaje del polvo de Hierro esta calculado en base al peso del fundente

Figura 14: Clasificación de los electrodos según revestimiento, corriente y penetración
Fuente: American Welding Society

Electrodos para "Solidificación rápida".

Son aquellos diseñados para depositar metal de soldadura que solidifique rápidamente después de haber sido fundido por el arco. Estos electrodos sirven para soldar en posiciones verticales y sobre cabeza (además de la plana y la horizontal). Electrodos pertenecientes a esta clasificación: E-6010, E-6011, E-7010-A1, E-7010-G, sus principales características son:

- Alta penetración.
- Son de "bajo depósito".
- Dejan poca escoria.
- Producen mucho chisporroteo.
- Se utilizan con corriente relativamente baja.

Aplicaciones principales: propósitos generales de fabricación y mantenimiento, para posiciones vertical y sobre-cabeza, soldadura en tuberías, soldadura sobre superficies galvanizadas o no muy limpias, uniones que requieren alta penetración, soldadura de láminas delgadas en juntas de borde, esquina y a tope.

Electrodos para "Llenado rápido".

Estos electrodos están diseñados para proporcionar cantidades relativamente altas de metal fundido y son adecuados para realizar soldadura de "alta velocidad". El metal de soldadura solidifica con relativa lentitud y por esta razón, estos electrodos no son adecuados para realizar soldaduras fuera de posición.

Electrodos pertenecientes a esta clasificación: E-7024, E- 6027, E-7020-A1, sus principales características son:

- Poca penetración.
- Proporcionan "alto depósito".
- Permiten velocidades de soldadura relativamente elevadas.
- Producen mucha escoria.
- Producen muy poco chisporroteo.

Aplicaciones principales: soldadura de planchas de 5 mm. (3/16") o mayor espesor, soldaduras de filete en posiciones horizontal y plana y soldaduras de ranura profunda en uniones a tope, soldaduras de acero de mediano contenido de carbono y con tendencia al agrietamiento (cuando no se dispone de electrodos de bajo hidrógeno).

Electrodos para "Llenado-Solidificación".

Estos electrodos están diseñados para proporcionar características intermedias entre los electrodos para solidificación y llenado y proporcionar así relaciones de depósito y penetración "medianas".

Electrodos pertenecientes a esta clasificación: E-6012, E-6013, E- 6014, sus características principales son:

- De penetración y llenado medianos.
- Producen cantidades medianas de chisporroteo y escoria.

Principales aplicaciones: soldaduras de filete en posición vertical descendente, propósitos generales, soldaduras cortas o irregulares que cambian de posición o dirección durante la aplicación, soldaduras de filete en láminas delgadas.

Electrodos de bajo hidrógeno.

Estos electrodos están diseñados para producir soldaduras de alta calidad en aplicaciones en las cuales el metal base tiene tendencia al agrietamiento, los espesores a soldar son relativamente grandes (mayores a 19 mm.) o cuando el metal base tiene un contenido de aleantes ligeramente mayor al de los aceros dulces. Los electrodos de bajo hidrógeno están disponibles ya sea con las características de llenado rápido o solidificación rápida. Electrodos pertenecientes a esta clasificación: E-7018 y E-7028.

- Presenta poco chisporroteo y escoria.
- Resistente al agrietamiento.
- Libres de poros e inclusiones de escoria.

Los electrodos no consumibles están hechos de tungsteno (o algunas veces de carbono), los cuales resisten la fusión mediante el arco eléctrico. A pesar de su nombre, un electrodo no consumible se desgasta gradualmente durante el proceso de soldadura (la vaporización es el mecanismo principal) y ocurre en forma similar al desgaste gradual de una herramienta de corte en una operación de maquinado. Para los procesos de AW que utilizan electrodos no consumibles, cualquier metal de relleno usado en la operación debe proporcionarse mediante un alambre separado que se alimenta dentro del pozo de soldadura. Lincoln Electric. “Electrodos revestidos catalogo”. (2015)

2.2.4 Biseles

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

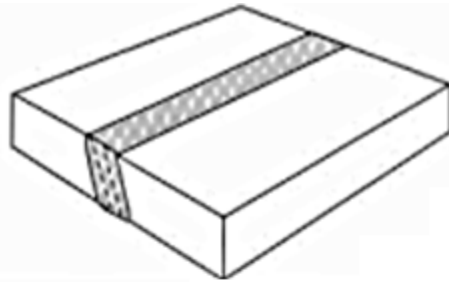
Bisel en V ensanchado

Bisel en 1/2 V ensanchado

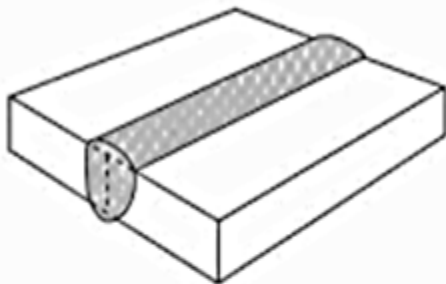
Sus nombres implican como las configuraciones actuales se ven cuando son vistas en sección transversal. Todos estos tipos de soldadura con bisel pueden ser aplicados a juntas que son soldadas de un solo lado o de ambos lados. La Figura 15 ilustra las configuraciones típicas para una junta soldada de 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”. Soldaduras 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.

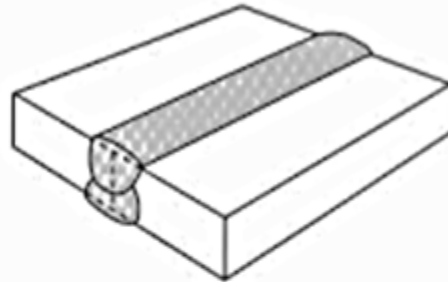
La soldadura con bisel recto con penetración total, soldada de un solo lado, generalmente no es usada para material más fino que $\frac{1}{4}$ de pulgada. Materiales finos requieren la selección de geometría de juntas que acomoden otros tipos de soldaduras con bisel. En juntas finas la geometría particular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



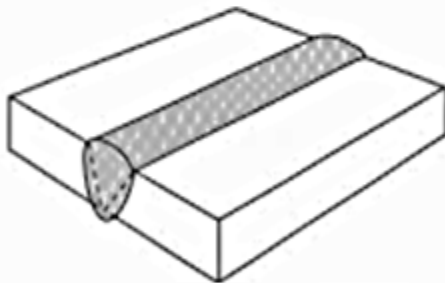
(A) Soldadura con bisel inclinado



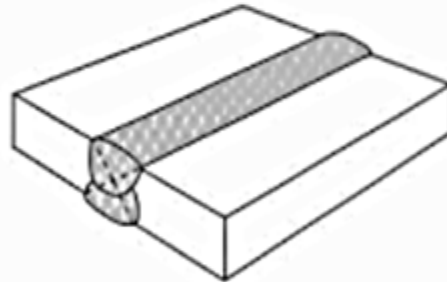
(B1) Soldadura con bisel recto



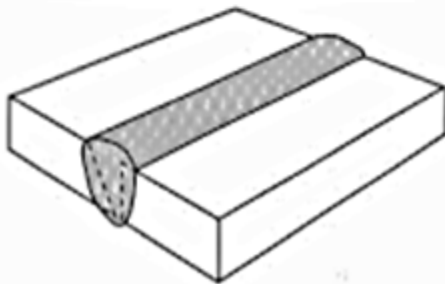
(B2) Soldadura con doble bisel recto



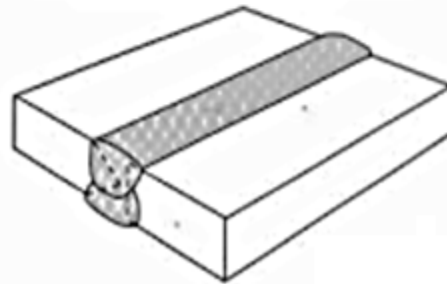
(C1) Soldadura con bisel en V



(C2) Soldadura con bisel en X



(D1) Soldadura con bisel en 1/2 V



(D2) Soldadura con bisel en K

Figura 15: Tipos de biseles

Fuente: ANSI/AWS A3.0, Standard Welding Terms and definitions

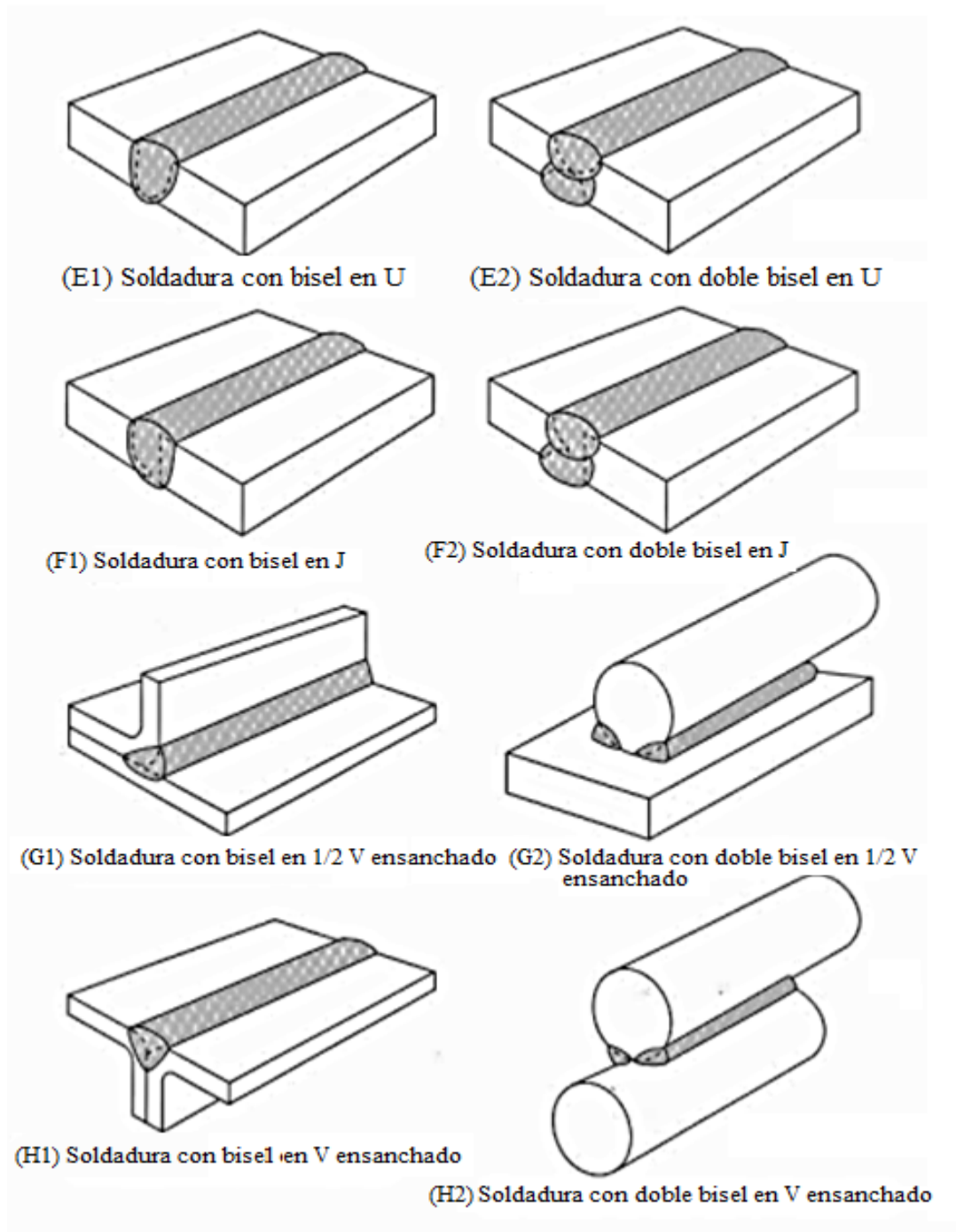


Figura 15: Tipos de biseles (continuación)
 Fuente: ANSI/AWS A3.0, Standard Welding Terms and Definitions).

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 $1/2 V$ 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 $1/2 V$ ensanchado son usadas en conexión con componentes de bordes curvos o redondeados. “Soldadura Protocolo”. (2.008). (Ver figura 15).

2.2.5 Fallas características de soldaduras.

Para entender la soldabilidad, es necesario conocer las diferentes regiones de soldadura. La soldadura generalmente está dividida en dos regiones principales: la zona de fusión o metal soldado, y la zona afectada por el calor (ZAC). Dentro de la zona de fusión, la temperatura máxima excede el punto de fusión del metal base, y la composición química del metal soldado dependerá sobre el tipo de metal de aporte en la soldadura, relación de dilución del metal base, y las condiciones de operación. En condiciones de enfriamiento rápido y solidificación del metal de soldadura, impurezas y elementos aleantes son segregados ampliamente en el centro de regiones interdendríticas o intercelulares así como en la parte central de la soldadura, resultando, en heterogeneidades químicas locales. En consecuencia, el comportamiento de transformación del metal soldado puede ser bastante diferente en el metal base. La composición química permanece en gran parte sin cambiar en la ZAC porque la máxima temperatura permanece por debajo del punto de fusión. Sin embargo, el cambio micro-estructural toma lugar dentro de la ZAC durante la soldadura como resultado de diferentes ciclos térmicos.

El material inmediatamente adyacente a la zona de fusión es calentado dentro del rango de temperatura en la austenita. Los precipitados de micro-aleación que se desarrollaron en la etapa anterior del tratamiento generalmente se disolverán, y la desunión de los límites de grano de la austenita ocurre con el crecimiento substancial de los granos, formando el grano grueso en la ZAC. El tamaño promedio de los granos de austenita, que están en función de la máxima temperatura alcanzada, disminuyen con el aumento de distancia de la zona de fusión. La velocidad de enfriamiento también varía de punto a punto en la ZAC; esto aumenta con el incremento del pico de temperatura con un calor de entrada constante y disminuye con el aumento de calor de entrada a temperatura constante. En realidad la ZAC está compuesta de una zona de granos gruesos (CG), granos finos (FG), zona intercrítica (IC), y zona suscritica (SC). Aguilera J. Estrada H. (2.015).

2.2.6 Grietas.

Existen varios tipos de discontinuidades que pueden producirse en las soldaduras o en la zona afectada por el calor. Las soldaduras pueden contener porosidad, inclusiones de escoria o grietas. De los tres, las grietas son las más perjudiciales. Considerando que existen límites aceptables para las inclusiones de escoria y la porosidad en las soldaduras, las grietas no son aceptables. Las grietas en una soldadura, o en la proximidad de una soldadura, indican que uno o más problemas existen y deben ser tratados con urgencia. Un análisis cuidadoso de las características de la grieta hará que sea posible determinar la causa y tomar las medidas correctivas más satisfactorias.

El agrietamiento en la soldadura se produce cerca o durante el momento de la fabricación. Las grietas en calientes son las que ocurren a temperaturas elevadas y son por lo general relacionadas con la solidificación, y las grietas en frío son aquellas que se producen después de que el metal de soldadura se ha enfriado a temperatura ambiente y tienen que ver generalmente con el hidrógeno.

2.2.6.1 Criterio para evaluar el riesgo del agrietamiento en caliente.

El fisuramiento en caliente puede ocurrir como efecto de la contracción térmica, característica de cualquier proceso de soldadura que involucre calentamiento o enfriamiento localizado, por la falta de ductilidad del metal a temperaturas elevadas como para soportar

dichas tensiones. Estas fisuras se pueden presentar en la etapa final de solidificación de la pileta líquida en el metal de soldadura, denominándose grietas de solidificación, o pueden ocurrir en la zona afectada por la zona de soldadura, y se denominan grietas de licuación, ya que se producen por licuación de fases segregadas en bordes de granos muy próximos a la fusión.

2.2.6.2 Naturaleza del agrietamiento en caliente.

Todo material o combinación de materiales tienen un rango de temperaturas características de sensibilidad al agrietamiento en caliente, denominado Rango de Temperaturas de Fragilización (RTF). El límite de este rango sería, en una primera aproximación, la temperatura de sólidos. El límite inferior correspondería a bruscas disminuciones de ductilidad o reacciones particulares para cada aleación.

El rango de temperatura frágil está caracterizado por una Deformación Crítica (DC) necesaria para provocar el agrietamiento en caliente. A medida que las grietas en caliente se forman durante la solidificación de la soldadura, también se producen deformaciones cuya velocidad desempeña un papel importante. Es posible que se exceda cierto valor crítico de velocidad de deformación antes de la aparición de las grietas, llamado Velocidad de Deformación Crítica (VDC) para una caída de temperatura dada.

Según estos conceptos el RTF se determina por tres criterios característicos:

Rango de temperatura en el cual se forman las grietas en caliente.

Deformación crítica.

Velocidad de deformación crítica para una disminución de temperatura.

En una soldadura, las deformaciones son productos de contracciones en la pileta líquida y las zonas adyacentes, porque depende del proceso de soldadura, del calor aportado y la rigidez del componente, la deformación resultante puede ser diferente. En consecuencia, las condiciones para la formación de grietas en caliente para un cierto componente no son cuantificables debido a que las condiciones de carga son inciertas.

2.2.6.3 Fisuramiento en caliente (FC) del metal de soldadura.

La soldadura de los aceros estructurales es susceptible a ciertos tipos de fisuras, que poseen las siguientes características:

Fisuras de Solidificación, que tienen lugar a muy altas temperaturas durante el enfriamiento, probablemente antes de los 1200°C.

Fisuras Interdendriticas, las que se desarrollan a lo largo de los límites del grano de la estructura de solidificación.

Ciertas formas de fisuras en el metal de soldadura se pueden distinguir por su apariencia, mientras que otras tienen nombre apropiado. Así por ejemplo se tiene las fisuras de cráter, las cuales están situadas en el cráter de la soldadura y aparecen cuando la operación de soldadura es terminada o interrumpida. Este defecto típico de la soldadura por arco es muy peligroso cuando se deposita la pasada de raíz en una junta de tipo doble V altamente embridada. Por otra parte las fisuras en estrella pueden ser descritas como finas grietas, generalmente de 1,6 a 2,5 mm de longitud, las que parte radialmente de un punto central, su apariencia similar con las fisuras de cráter sugiere que son debidas a causas similares. Las fisuras longitudinales, que se desarrollan en la dirección de la soldadura y muchas veces según la línea central de la misma, inclinan a sugerir que se producen durante todo el tiempo en que la soldadura se encuentra muy caliente, deteniéndose cuando la misma ha solidificado. Las fisuras longitudinales son generalmente apreciables a primera vista sobre la parte superior de la superficie de la soldadura. Este tipo de fisuras se presentan generalmente en la primera pasada de las juntas soldadas en multipasadas. Pueden originarse también fisuras transversales situadas perpendicularmente a la línea de fusión y producidas por la excesiva tensión longitudinal, las cuales pueden extenderse más allá de la soldadura y penetrar en el metal base. Finalmente están las microgrietas, término reservado a pequeñas grietas que se producen en el metal de soldadura en cualquier dirección, y que frecuentemente solo son observables mediante un examen metalográfico.

2.2.6.4 Fisuras de solidificación (FS).

Las FS se forman como consecuencia del efecto combinado de factores mecánicos y químicos, es decir, su aparición está afectada por la tecnología de la soldadura aplicada y por la composición química del metal de soldadura. Cuando la composición química es desfavorable, es factible evitar la FS mediante una cuidadosa elección de las condiciones de la soldadura. Por otra parte, la falta de cuidado de la ejecución de la operación de soldadura puede resultar en fisuración, aun en metales que satisfagan estándares normales de composición. La mayoría de los casos de FC que ocurren en la práctica suceden debido a distorsiones que acompañan la soldadura, debido a alguna operación en la vecindad de la soldadura, que genere tensión a través de esta mientras solidifica. En tales casos, la susceptibilidad intrínseca del material puede ser extremadamente baja. Esto demuestra la necesidad de un cuidadoso control de las condiciones extrínsecas durante la operación.

Formas de fisura.

Las FS aparecen en el metal de soldadura, tanto en formas de fisuras como micro fisuras intergranulares, las cuales, no siempre alcanzan la superficie del metal. Las fisuras pueden ser longitudinales originadas en la solidificación de la pileta líquida, donde el centro de la soldadura es lo último en solidificar, constituyendo la parte más débil a la temperatura la cual se forma la fisura. Otra forma de fisura muy común se presenta en el cráter final, debido a que en esta zona está sujeta a un enfriamiento muy rápido, sin el aporte que podría compensar la contracción durante la solidificación.

Formas de la pileta líquida.

Durante la soldadura, el metal base es mojado por el metal fundido de la pileta líquida y, siendo la composición similar, actúa como un sustrato sobre el cual puede crecer una estructura de solidificación. De esta manera el líquido cede su calor latente de fusión y los átomos ocupan posiciones correspondientes en los sitios de la red cristalina, extendiendo esta estructura desde el sólido. Este crecimiento se denomina epitaxial, y la dirección preferencial de crecimiento de granos sea aproximadamente paralela al máximo gradiente de temperatura. Los granos de orientación favorable competirán con los granos adyacentes, formándose una estructura columnar, perpendicular a la línea de fusión.

2.2.6.5 Fisura de licuación.

Las tensiones propias de la soldadura, y una composición particular del material, pueden generar la descohesión de los bordes de grano de metal base en la región adyacente a la línea de fusión. Normalmente se encuentran como micro grietas no detectables a simple vista, sino visibles a las tintas penetrantes o al microscopio.

2.2.7 Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono (máximo 2,11% de carbono), al cual se le adicionan variados elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su diferente utilización en la industria. Los principales elementos de aleación son: Cromo, Tungsteno, Manganeso, Níquel, Vanadio, Cobalto, Molibdeno, Cobre, Azufre y Fósforo. Los productos ferrosos con más de 2,11% de carbono denominan fundiciones de hierro.

Diagrama Hierro-Carbono.

Fases en el sistema Fe-Fe₃C. En la Figura 16 se representa el diagrama de fases del sistema binario Fe-Fe₃C para contenidos altos de hierro. El hierro sufre cambios estructurales con la temperatura antes de fundir. A temperatura ambiente la forma estable es la ferrita o Fe-

a austenita o Fe- se transforma a otra fase CCI a 1394 °C que se conoce como ferrita-

el eje vertical del diagrama de fases para el hierro puro. El otro eje de la Figura 16 sólo llega al 6,67 % en peso de C, concentración que coincide con el 100 % molar del compuesto intermedio Fe₃C conocido como carburo de hierro o cementita. La parte entre el 6,67 % de C y el 100 % de C (grafito puro) no es importante desde el punto de vista tecnológico. El carbono en un soluto intersticial en el hierro y forma disoluciones sólidas

intersticios se puede situar muy poco carbono, el máximo es un 0,022 % a 727 °C. Aunque en proporción muy baja, el carbono afecta mucho a las propiedades mecánicas de la ferrita. Esta fase es relativamente blanda, ferro-magnética por debajo de 768 °C, y de densidad 7.88 g/c³. La austenita (Fe-

del 2,11 % a 1148 °C. Solubilidad aproximadamente 100 veces superior a la de la ferrita. Las transformaciones de fase de la austenita son muy importantes en los tratamientos térmicos de los aceros como se verá más adelante. La ferrita-
el tramo de temperatura donde existe. Al ser sólo estable a altas temperaturas no tiene interés técnico. La cementita desde el punto de vista mecánico es dura y frágil, y su presencia aumenta la resistencia de muchos aceros. Desde un punto de vista estricto, la cementita es meta estable y si se calienta entre 650 y 700 °C descompone para dar Fe-grafito en el periodo de años, que permanece al enfriar.

En la **Figura 16** se puede observar regiones bifásicas y un eutéctico (CE = 4.30 % en peso de C, y TE = 1148 °C). La reacción eutéctica es:

En la que un líquido de composición eutéctica solidifica para dar dos fases sólidas de austenita y cementita. El posterior enfriamiento de estas fases produce transformaciones de fases adicionales. En el diagrama de fases se puede observar otro punto invariante a la temperatura de 727 °C para una composición del 0,77 % de C. Askeland y Phule (2.007).

La reacción del eutectoide se puede representar como:

Proceso de fabricación del acero.

A partir del mineral de hierro (formado por óxidos de Fe y ganga) se obtiene en los altos hornos el arrabio (hierro con un 4 % aproximadamente de carbono). El arrabio es duro pero muy frágil (interesa más un material dúctil, que “avisa” de su estado tensional), para reducir el % de carbono sin perder resistencia se afina el arrabio en convertidores (se quema el carbono sobrante), obteniéndose el acero en bruto con un % de carbono en torno al 2%. Posteriormente se vierte en lingoteras para su enfriamiento y posterior acabado. El proceso de acabado puede ser por: forja, moldeo, trefilado o laminación; para ello se calienta previamente o bien, viene directamente del convertidor mediante un proceso de colada continua, evitando así las lingoteras, el desmoldado y posterior calentamiento.

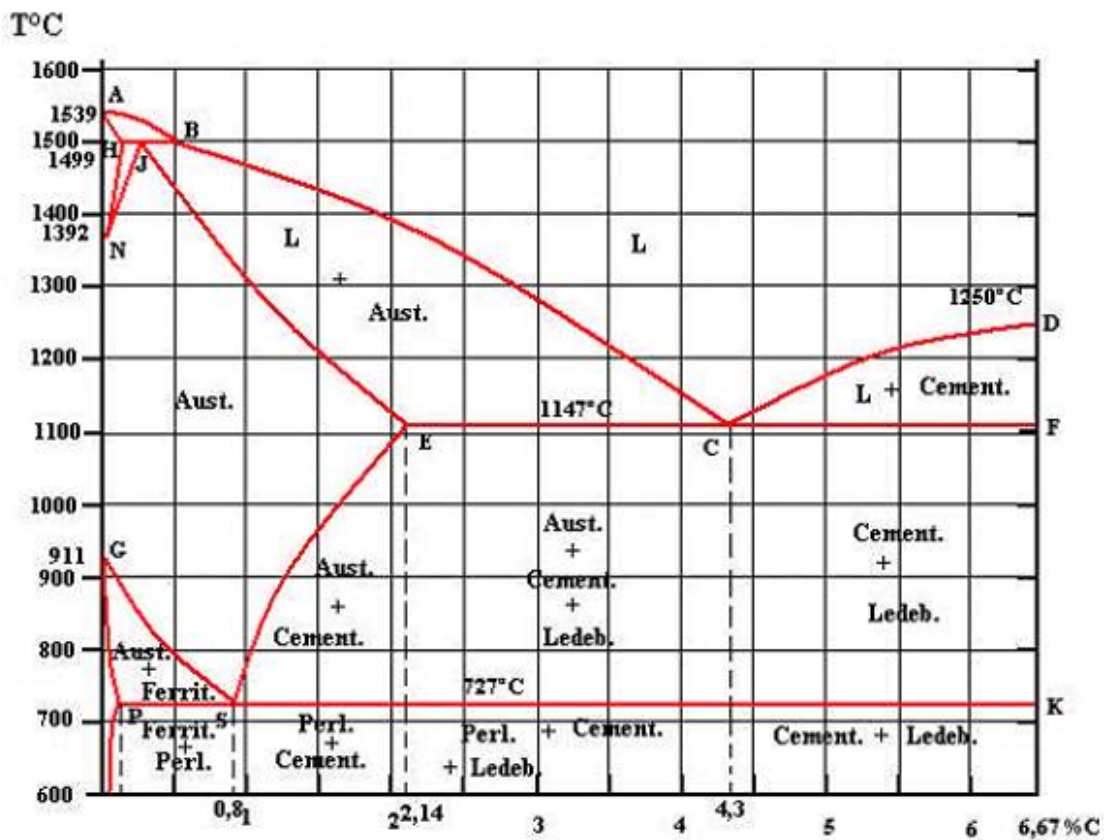


Figura 16: Diagrama hierro-carbono.
 Fuente: Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2004)

Tras este proceso se pueden aplicar tratamientos térmicos (templado, recocido, revenido) para alcanzar las propiedades mecánicas y químicas deseadas. El acero más empleado en la construcción es el laminado. Askeland y Phule (2.007).

Elementos de Aleación

Carbono: Es el elemento que tiene más influencia en el comportamiento del acero; al aumentar el porcentaje de carbono, mejora la resistencia mecánica, la Templabilidad y disminuye la ductilidad.

Boro: El Boro que se encuentra en el acero proviene exclusivamente de las adiciones voluntarias de este elemento en el curso de su fabricación. Ejerce una gran influencia sobre

la templabilidad del acero, bastando porcentajes muy pequeños, a partir de 0.0004%, para aumentarla notablemente.

Azufre: Aumenta la maquinabilidad, ya que forma inclusiones no metálicas llamadas sulfuros de magnesio, discontinuidades en la matriz metálica que favorecen la formación de viruta corta.

Cromo: Es un gran formador de carburos, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, y solo reduce la ductilidad. Mejora la resistencia a la alta temperatura y a la formación de cascarilla. En cantidades mayores al 12%, hace al acero resistente a la corrosión.

Fósforo: Incrementa la resistencia y reduce la ductilidad de la ferrita. Aumenta la brillantez. Este elemento, en cantidades superiores al 0.004%, disminuye todas las propiedades mecánicas del acero.

Molibdeno: Formador de carburos, reduce el crecimiento del grano, mejora la resistencia al desgaste y la capacidad de conservar la dureza a temperaturas altas.

Cobalto: Elemento que desplaza las curvas TTT hacia la izquierda, aumentando la velocidad crítica y disminuyendo la templabilidad. Aumenta la dureza, y asociado al níquel o al cromo, forman aceros de débil coeficiente de dilatación, cercano al vidrio. Aumenta la velocidad crítica de enfriamiento y en los aceros para trabajo en caliente y rápidos incrementa la disipación de temperatura.

Manganeso: Mejora la resistencia a la tracción y al desgaste, tiene buena influencia en la forja, la soldadura y la profundidad de temple. Facilita el mecanizado. Askeland y Phule (2.007).

2.2.7.1 Clasificación de los aceros.

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

Aceros aleados.

Estos aceros están compuestos por una proporción de determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre

que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.

Aceros de baja aleación ultra resistentes.

Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación.

Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificio.

Aceros inoxidables.

Estos aceros contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidables son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se utiliza para la fabricación de utensilios de cocina.

Aceros de herramientas.

Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas. Contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

Aceros al carbono.

El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de aceros se fabrican máquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, etc. El acero al carbono es el más común barato y apreciable de los metales

que se emplean en la industria. Tienen una ductilidad excelente, lo que permite que se utilice en muchas operaciones de formado en frío. El acero también se puede soldar con facilidad.

Los grados de acero que se emplean comúnmente en la industria de procesos químicos tienen una resistencia a la tracción de 245 MPa a 480 MPa (50.000 a 70.000) con buena ductilidad. Es posible alcanzar niveles de resistencia todavía más altos con trabajo en frío, con aleaciones y con tratamiento térmico. Los aceros de alta resistencia se utilizan mucho en proyectos de ingeniería civil. Los aceros pueden clasificarse con base en su composición o según la forma en que han sido procesados. Los aceros al carbono contienen hasta 2% C. Estos aceros también pueden contener otros elementos como, por ejemplo, silicio (máximo 0,6%), cobre (hasta 0,6%) y manganeso (hasta 1,65%). Los aceros de ultra-bajo carbono contienen un máximo de 0,03% C, también contienen niveles muy reducidos de otros elementos, como silicio (Si) y manganeso (Mn). Los aceros de bajo carbono contienen de 0,04 a 0,15% en peso. Estos aceros de bajo carbono se utilizan para fabricar carrocerías automotrices y cientos de otras aplicaciones. Los aceros dulces (suaves) contienen de 0,15 a 0,3% de carbono. Este acero se utiliza en edificios, puentes, tuberías, etc. Los aceros de medio carbono contienen de 0,3 a 0,6% en peso. Estos se utilizan en la construcción de maquinaria, tractores y equipos para minas, etc. Los aceros de alto carbono contienen más de 0,6% en peso, se utilizan en la fabricación de muelles, ruedas para carros de ferrocarril y similares. (Ver Figura 17). Aguilera y Estrada (2015)

Soldabilidad de aceros al carbono.

Comprender el fenómeno químico y físico que ocurre en la soldadura, es necesario para soldar los aceros modernos. Por lo tanto, la influencia de parámetros operacionales, ciclos térmicos y factores metalúrgicos sobre las transformaciones del metal soldado y la susceptibilidad de agrietamiento en frío y en caliente son de importancia para obtener uniones soldadas resistentes. Los aceros de bajo carbono son principalmente usados en aplicaciones estructurales. Aceros al carbono que contienen menos de 0,30% en peso de C

y 0,05 % en peso pueden soldarse generalmente por la mayoría de los métodos con poca atención en mediciones especiales para prevenir grietas en la unión.

NOMBRE COMÚN	%C	USOS	SOLDABILIDAD
Aceros de bajo contenido de carbono	0,15% máximo	Electrodos para soldadura, laminas y chapas	Excelente
Aceros suaves	0,15 a 0,30%	Perfiles y barras estructurales laminadas	Buena
Acero de medio carbono	0,30 a 0,50%	Partes de maquinaria	Poca (precalentar y postcalentar)
Aceros de alto contenido de carbono	0,50 a 1%	Resortes, troqueles, rieles de ferrocarril	Poca (difícil soldar sino se precalienta y postcalienta adecuadamente)

Figura 17: Clasificación de los aceros al carbono

Fuente: Aguilera y Estrada (2.015)

El proceso de soldadura en secciones mayores a 25 mm (1pulg) de espesor particularmente si el contenido de carbono del metal base excede de 0.22% en peso, puede requerir que el acero sea precalentado hasta aproximadamente 40°C (100°F) y un relevado de esfuerzos a 525 a 675°C (1000 a 1250°F). Tradicionalmente, han sido desarrolladas ecuaciones empíricas para expresar la soldabilidad. El carbono equivalente (CE) es una de esas expresiones, ésta se desarrolló para estimar la susceptibilidad al agrietamiento durante

el proceso de soldadura y determinar si el acero necesita pre y pos calentamiento y así evitarlo.

El Instituto Internacional de Soldadura (IIW) presenta esta ecuación de CE:

$$CE = C + Mn/6 + Ni/15 + Cu/15 + Cr/5 + Mo/5 + V/5$$

Donde la concentración de los elementos aleantes está dada en porcentaje en peso. Aceros con valores de CE bajos generalmente presentan buena soldabilidad. Cuando el CE de un acero es menor a 0.45 % en peso, es imposible que haya agrietamiento en la soldadura y no se requiere un tratamiento de calentamiento. Cuando el CE está entre 0.45 y 0.60 % en peso, el agrietamiento en la soldadura es posible y se recomienda un calentamiento en el intervalo de 95 a 400°C, (200 a 750°F). Cuando el CE de un acero es mayor que 0.60 % en peso. Hay una alta probabilidad de agrietamiento en la soldadura y ambos tratamientos de precalentamiento y post-calentamiento son requeridos para obtener una soldadura de calidad.

Acero estructural 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. La composición química de una colada de acero AISI 1010 puede verse en la Figura 18.

Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el AISI 1010 tiene una densidad de 7.85 g/cm^3 , el acero AISI 1010 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores a 20,32 cm (8 pulg) tiene un límite de fluencia mínimo de 300 MPa (44 ksi), un límite de rotura mínimo de 370 MPa (53 ksi) y con una dureza Brinell de 105 HB.

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 ArcWelding), Soldadura con Arco Metálico y Gas (GMAW, Gas Metal ArcWelding), y soldadura oxiacetilénica. El acero AISI 1010 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales: edificios, puentes, torres, etc.

Composición Química	Comp									
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Nb	
AISI										
1010	,08	,34	,008	,003	,005					

Figura 18: Composición química de la colada del acero AISI 1010.
Fuente: SUMINSE (2.017)

2.2.8 Ensayos mecánicos

2.2.8.1 Ensayo de tracción

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo.

Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta. En este ensayo se coloca la probeta en una máquina especial, (ver Figura 19), 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.



Figura 19: Máquina para el Ensayo de Tracción
Fuente: Laboratorio Trexa, C.A. (2017)

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. 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.

Con los resultados de la elongación de la probeta, se puede graficar una curva de carga contra alargamiento, que generalmente se registran como valores de esfuerzo y deformación unitarios, y son independientes de la geometría de la probeta (ver figura 20).

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

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{F}{EA} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ec. 4}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec.5}$$

$$\text{Ec.6}$$

Dónde:

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| = Deformación Real (mm) | = Área inicial (mm^2) |
| = Esfuerzo de Ingeniería (MPa) | = Longitud inicial (mm) |
| = Esfuerzo Real (MPa) | = Longitud final (mm) |
| = Deformación de Ingeniería (mm/mm) | = Área instantánea (mm^2) |
| = Carga (N) | = Carga instantánea (N) |

Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica. Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica,

esto es, no recuperable. En otras palabras, el material no recupera su longitud inicial si se elimina la carga aplicada.

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de resistencia máxima a la tensión. En este valor de esfuerzo, se forma en la probeta una estricción o cuello, la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior.

Una vez formado este cuello, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la probeta se rompe. Una curva Esfuerzo Vs Deformación típica puede observarse en la gráfica de la Figura 20.

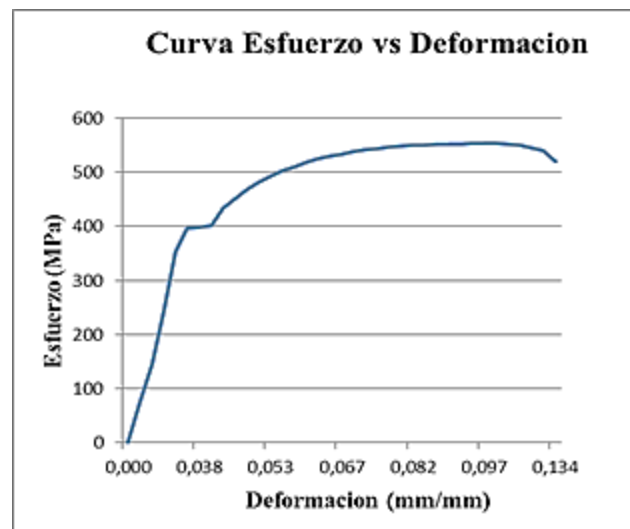


Figura 20: Grafico esfuerzo vs deformación

Fuente: Laboratorio de Materiales

Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo

2.2.8.2 Ensayo de doblado

Este ensayo sirve para obtener una idea aproximada sobre el comportamiento del acero a la flexión o esfuerzo de doblado. Se comienza el ensayo, colocando la pieza sobre dos apoyos, cuya separación está normalizada. Se aplica luego, una fuerza controlada y que aumenta paulatinamente hasta que la probeta se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas. El ensayo se utiliza para medir la capacidad de deformación

de la soldadura su una probeta al flexionarla alrededor de un punzón, ocasionalmente se toma el alargamiento de la fibra exterior para evaluar la capacidad de deformación (ver Figura 21 y figura 22).



Figura 21: Ensayo de doblado

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.016)

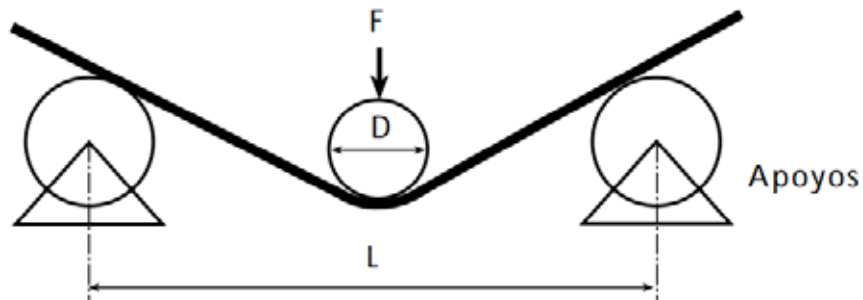


Figura 22: Esquema matriz de doblado

Fuente: Fajardo J y Santo G. (.2016)

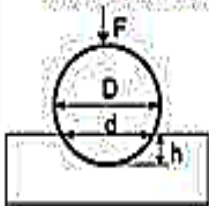
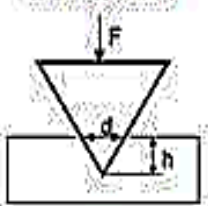
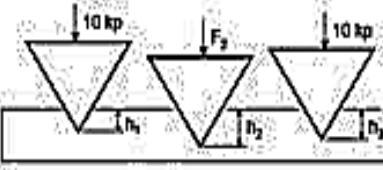
2.2.8.3 Ensayo de dureza

La dureza de un metal se mide forzando la indentación de un penetrador en la superficie del metal. El penetrador, que normalmente es una bola, pirámide o cono, está fabricado con un material mucho más duro que el material a ensayar. En la mayoría de los ensayos de

dureza normalizados se aplica lentamente una carga conocida, que presiona el penetrador contra la superficie del metal a ensayar y perpendicularmente a ésta.

Después de producir la indentación, se retira el penetrador. Se lee en un dial un número empírico de dureza basado en el área del corte transversal de la huella producida.

En la Figura 23 se muestran los distintos tipos de ensayos de dureza.

TIPO DE ENSAYO	BRINELL HB	VICKERS HV	ROCKWELL	
			HRB	HRC
Tipo de material	no muy duros	muy duros	blandos	duros
Penetrador	Bola de acero templado	pirámide regular de diamante	bola de acero	cono de acero con punta de diamante
Medida	superficie de la huella	superficie de la huella	profundidad de la huella	
Valor de dureza (resultado del ensayo)	$HB = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = \pi D h = \pi D \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$ Valor dureza igual sólo si $F = K \cdot D^2$	$HV = F/S \text{ (Kp/mm}^2\text{)}$  $S = 4 \cdot \frac{d \cos 45^\circ \cdot h}{2} = \frac{d^2}{2 \tan 68}$	$HRB = 130 - e$	$HRC = 100 - e$  $e = \frac{h_2 - h_1}{0.002}$ (h_1 y h_2 en mm)
Ventajas e inconvenientes	Válido para la mayoría de los aceros. Si las deformaciones son pequeñas el margen de error es grande. Hay que medir con un microscopio la diagonal de la huella	Es más exacto que Brinell pero más caro.	es el ensayo más rápido y sencillo pero también el menos preciso (no mide superficie de la huella, sólo su profundidad). El aparato de medida suele dar ya el resultado (no hace falta medir profundidades)	

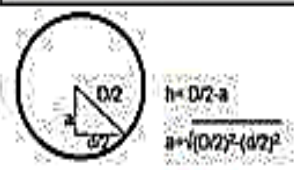


Figura 23: Tipos de ensayos de dureza.

Fuente: Fernández A. (2010)

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

- i) Ensayo Brinell (Dureza Brinell- HB).
- ii) Ensayo Rockwell (Dureza Rockwell- HR).
- iii) 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. 7

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 pirámide 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).

2.2.9 Ensayos Metalográficos

La metalografía es la parte de la metalurgia que estudia las características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones, para relacionarlas con las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos. La importancia del examen metalográfico radica en que, aunque con ciertas limitaciones, es capaz de revelar la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material.

A través de este estudio se pueden determinar características como el tamaño de grano, distribución de las fases que componen la aleación, inclusiones no metálicas como sopladuras, micro cavidades de contracción, escorias, etc., que pueden modificar las propiedades mecánicas del metal. En general a partir de un examen metalográfico bien practicado es posible obtener un diagnóstico y/o un pronóstico.

2.2.9.1 Macroscopía

Es la forma más sencilla de realizar un estudio, este consta en examinar la superficie metálica a simple vista, pudiendo determinar de esta forma las características macroscópicas, del cual se puede obtener datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material (es decir se puede determinar si el material fue trefilado, laminado, forjado, etc.) o determinar la distribución de defectos (grietas superficiales, rechupes, porosidades, partes soldadas, etc.). Guzmán F. (2.016).

2.2.9.2 Microscopia.

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 en dicho proceso. Guzmán F. (2016).

2.2.10 Ensayo de Varesstraint.

Es el ensayo más comúnmente utilizado para evaluar la sensibilidad al agrietamiento en caliente de un cordón de soldadura. El ensayo es llevado a cabo mediante el depósito de un cordón de soldadura en una probeta montada en un voladizo, la soldadura inicia desde el borde libre, y continúa hasta que el arco alcanza un punto cercano al punto de tangencia entre la parte en voladizo y el radio de curvatura ubicado debajo del voladizo. La sección en voladizo es entonces curvada mediante aplicación de fuerza neumática o manual adoptando la forma del radio de curvatura.

La evaluación de este ensayo se basa en uno o más de los siguientes puntos:

La mínima deformación aplicada (determinada a partir del espesor de la probeta, y del radio utilizado) capaz de provocar el fisuramiento.

La fisura de mayor longitud como indicativo de la susceptibilidad de la zona de fusión al fisuramiento en caliente.

La longitud total de fisura, obtenida por la suma de las fisuras observadas en la zona de fusión y en la zona afectada por el cordón. Una muestra de este ensayo se observa en la Figura 24. Osorio V. (2016).

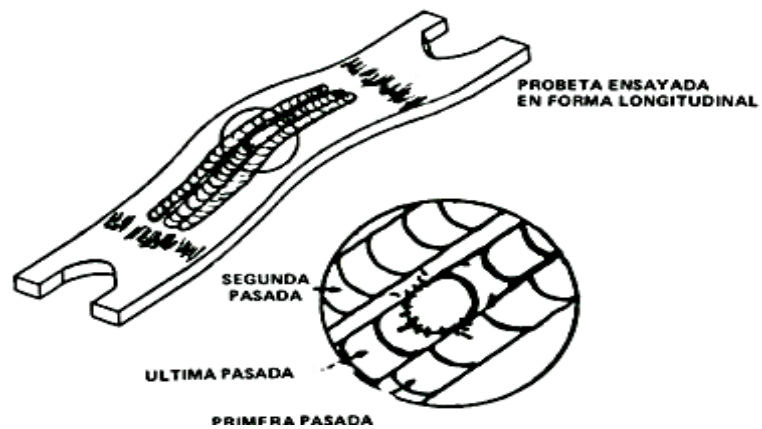


Figura 24: Probeta ensayada del ensayo de Varestaint de forma longitudinal, Técnica de multi-pasada.

Fuente: Osorio V. (2.016)

Debido a la geometría del sistema, el valor nominal del aumento en la deformación se podrá calcular con la siguiente ecuación:

Aumento en la deformación —Ec. 8

Dónde:

Deformación.

Espesor de la probeta (mm)

Radio de curvatura de la superficie circular (mm)

2.3 Definición de Términos Básicos

ASTM: American Society for testing and Materials.

AWS: American Welding Society.

SAE: Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores (Society of Automotive Engineers).

SMAW: Shield Metal ArcWelding (Soldadura por arco con electrodo revestido)

Hv: Dureza Vickers

mm: Milímetros

kN: Kilo Newton

Amp: Amperios

MPa: Mega Pascal

Cs: Cordón de soldadura

Mb: Material base

ZAC: Zona afectada por el cordón de soldadura

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 conocimiento”. 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.

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 electrodos buscando verificar el comportamiento mecánico de dichos electrodos con el material base.

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, 2012, 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 5 mm de espesor. Las muestras fueron conformadas por conjuntos soldados por placas de acero AISI 1010.

De esas placas soldadas se obtendrán las cantidades de probetas que se muestran en la Tabla 1.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Arias (2012) 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.”

Tabla 1: Cantidad de probetas a ensayar.

ENSAYO	PROBETAS MATERIAL BASE	PROBETAS POR ENSAYO SOLDADAS	INTENSIDAD DE CORRIENTE	CANTIDAD ELECTRODOS	TOTAL =Pss+Pe+Ic+e
Tracción	5	5	3	3	50
Dobla do	-	3	3	3	27
Micro dureza	1	1	3	3	10
Macro scopía	1	1	3	3	10
Micro scopía	1	1	3	3	10
Ensayo	Radio de curvatura	Electrodos	Intensidad de corriente	Probetas por ensayo	Total =Rc+e+Ic+Pe
Varest raint	2	3	3	2	36

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.016)

NOTA: Para las probetas de los electrodos E-6010 y E-6013 se utilizara la intensidad de corriente de 80 Amp, 100 Amp y 120 Amp. Sin embargo para el electrodo E-7018 se utilizara la intensidad de corriente de 90 Amp, 120 Amp y 150 Amp.

Los instrumentos que se utilizaron para recoger y almacenar la información son: el microscopio, proyector de imagen, fotografías, el durómetro.

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.

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 material base (acero AISI 1010) en función de ensayos de doblado, de tracción, microscopía y microdureza.

Inicialmente se tomó una lámina de acero AISI 1010 con las medidas que se registran en la Tabla 2.

Tabla 2: Características de la lámina inicial

Tipo de material	Dimensiones (mm)	
AISI 1010	1200	2400
	5	

Fuente: Santo, G. y Fajardo J. (2016)

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 5 mm de espesor. Las propiedades químicas fueron suministradas por la empresa SUMIMSE C.A, quien suministró el material. El material posee su certificado de calidad y se certificará experimentalmente con los ensayos de tracción, microdureza y microscopía.

De la lámina inicial se cortaran 18 láminas de 300mm por 110 mm para formar 9 pares de láminas, los cuales fueron cortados por una guillotina, para ser soldadas por SMAW. Aparte se cortarán 36 láminas de 220x50mm para ser utilizadas en el ensayo de Varestraint.

Para el material de aporte serán utilizados electrodos E-6013, E-6010, E-7018 para soldar las láminas de acero estructural AISI 1010, previamente cortadas. En la Figura 25 se presenta la composición química de los electrodos.

Para el diseño de las juntas se formarán pares de láminas de 300x110 mm, siendo las mismas soldadas perpendicularmente al sentido del laminado que refiere al lado más largo en este caso 300 mm, la soldadura se realizará a tope con un biselado a 60°, tal como se muestra en la Figura 26.

Composición Química	C %	Mn %	Si %	Resistencia a la tracción	Límite elástico
6010	0,10	0,60	0,30	(72,86-84,36)ksi	(60-70)ksi
6013	0,10	0,50-0,80	0,30	(72,86-81,45)ksi	(58,60-66,98)ksi
7018	0,08	1,40	0,3-0,60	(77,14-88,73)ksi	(62,7-72,86)ksi

Figura 25: Composición química de los electrodos.
Fuente: Lincoln Electric (2.016)

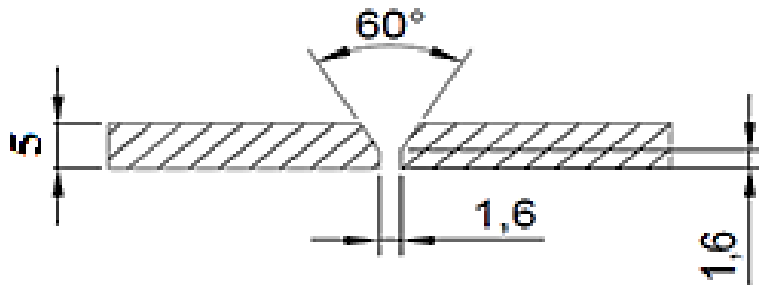


Figura 26: Junta soldada.
Fuente: Santo, G. y Fajardo J. (2.016)

Los parámetros que serán utilizados en el proceso SMAW para el Acero AISI 1010 según los electrodos a utilizar se muestran en la Figura 27.

Electrodos	Intensidades de Corriente
------------	---------------------------

Rutilico (E-6013)	80-100-120 Amp
Celulósico (E-6010)	80-100-120 Amp
Bajo en Hidrogeno (E-7018)	90-120-150 Amp

Figura 27: Intensidades de corriente según el electrodo.

Fuente: Lincoln Electric (2.016)

Ensayo de Doblado.

El ensayo consta en colocar la probeta sobre dos rodillos, con la finalidad de aplicarle una carga vertical con un tercer rodillo o punzón para con esto examinar la ductilidad que posee el cordón de soldadura, la separación que deben tener estos dos rodillos debe ser la del diámetro del rodillo del punzón más dos veces el espesor de la lámina, para éste caso la distancia fue de 43 mm. Se debe garantizar que el cordón de soldadura quede en la mitad de dicha distancia para aplicarle la fuerza con el tercer rodillo situado encima de la probeta.

Para dicho ensayo se evaluarán tres probetas por cada intensidad de corriente, dando un total de probetas a ensayar de 27 unidades.

Se realiza el doblado con ayuda de la prensa hidráulica ubicada en el laboratorio de procesos de fabricación y con la matriz de doblado de tres puntas. La Figura 28 muestra un esquema de la matriz de tres puntas.

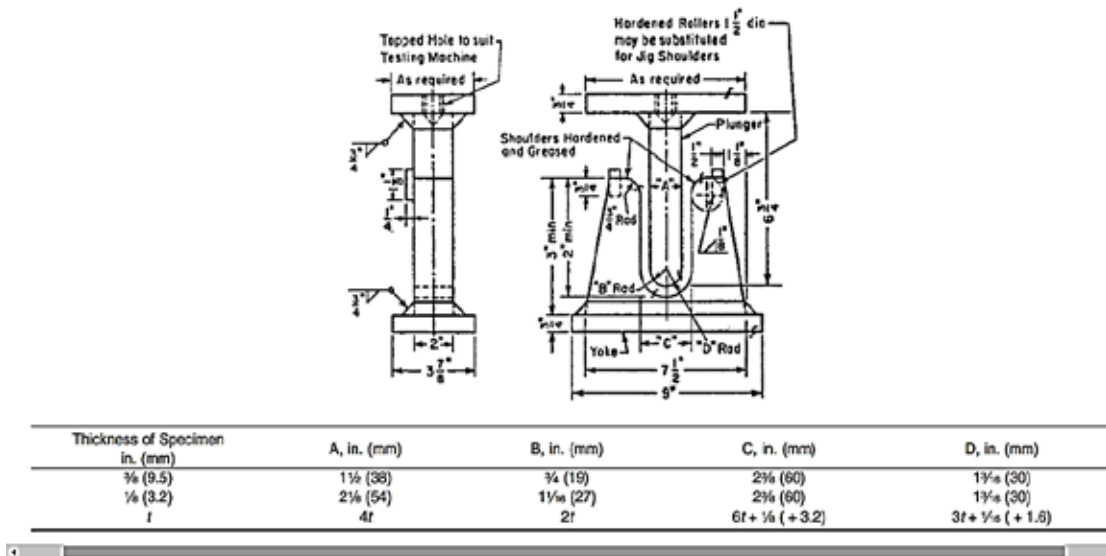


Figura 28: Matriz de doblado de tres puntas.

Fuente: ASTM E-190 (2.016)

Luego de iniciado el ensayo este debe detenerse al momento justo que la probeta ensayada toma la forma del punzón, en este trabajo se utiliza doblado en “U”.

Ensayo de tracción

Es el ensayo destructivo más importante, y el que nos da a conocer la resistencia que tiene el cordón de soldadura, que es lo que permite saber si el cordón de soldadura puede o no resistir condiciones de trabajo iguales o mayores que los metales bases.

El ensayo consiste en someter a la probeta de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente, según se va incrementando la fuerza también se va midiendo los correspondiente a alargamientos de la probeta, mediciones que nos permiten obtener la curva característica de la probeta, mediante la curva esfuerzo deformación.

La cantidad de probetas a ensayar son cinco (5) por cada variación de parámetros, dando un total de cuarenta y cinco probetas (45) y cinco probetas para caracterizar el material base. Se elaborarán según lo establecido en la norma ASTM E-8M. Se realizarán los ensayos en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. El modelo y especificaciones de las probetas utilizadas se muestran en la Figura 29 y se elaborarán según lo establecido en la norma ASTM E-8M.

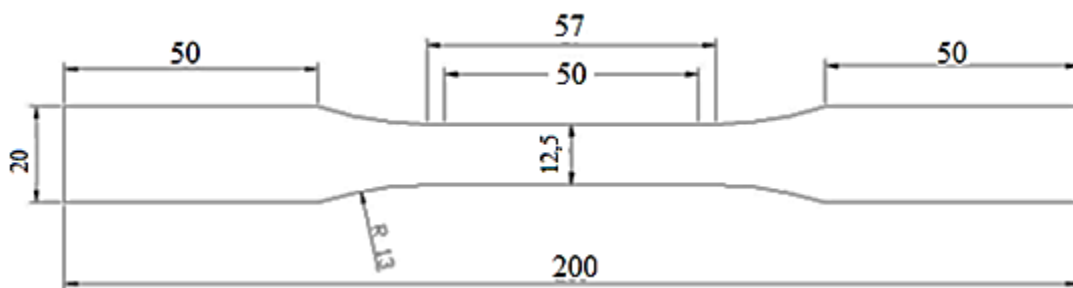


Figura 29: Medidas de probetas de tracción.
Fuente: Norma ASTM E-8M (2.004)

Ensayo de Microscopía.

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 ponen en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura).

Para llevar a cabo este ensayo es necesario primeramente la preparación de las probetas, que consiste en:

- Desbaste grueso, llevado a cabo con una cinta de desbaste de granulometría 80, papeles de lijas de distintos tamaños (120, 240, 360, 600, 1200) girando la muestra 90° cada vez que se cambie de papel, este cambio se realiza cuando las líneas dejadas por el desbaste anterior desaparezcan.

- Pulido, realizado en el banco de pulido con paños de piel de durazno, alúmina de 1 micrones (pulido grueso) y alúmina de 0,5 micrones (pulido fino), esto se realiza por 5 minutos para cada tipo de pulido.
- Ataque químico, elaborado con nital al 2% durante unos 5 segundos aproximadamente.
- Se procede a colocar la pieza en agua y aplicarle etanol, para interrumpir de esta forma el ataque químico, y se seca con aire caliente.
- Se toma fotografías con ayuda del microscopio óptico y sus lentes de 200, 400, 1000 micrómetros, para visualizar la zona afectada por el ataque químico.

Se elaborará una (1) probeta por cada intensidad de corriente y electrodo revestido, para un total de nueve (9) probetas a estudiar. El estudio consiste en observar la penetración alcanzada por el cordón de soldadura en sus diversos parámetros. El microscopio a utilizar se puede observar en la figura 30.

Fase II: Determinar el comportamiento mecánico en tracción, flexión y dureza en uniones soldadas de acero AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

Los ensayos de tracción y flexión (doblado) se realizaron en las probetas soldadas de igual manera que con las de material base, mientras que el de dureza se realizó mediante la norma ASTM E384-99 la cual especifica que, debe realizarse mediante el método de Vickers o Knoop.



Figura 30: Microscopio.
Fuente: Laboratorio de materiales
Escuela Ingeniería Mecánica UC (2.017)

Ensayo microdureza Vickers (HV): El método Vickers se deriva directamente del método Brinell. Se emplea mucho en laboratorio y en particular para piezas delgadas y templadas, con espesores mínimos hasta de 0,2 mm. Se utiliza como penetradora una punta piramidal de base cuadrangular y ángulo en el vértice entre caras de 136° . Este ángulo se eligió para que la bola Brinell quedase circunscrita al cono en el borde de la huella.

Se elaborará una (1) probeta por cada intensidad de corriente y electrodo revestido, y una para caracterizar el material base, para un total de diez (10) probetas a estudiar. El estudio consta en realizar dos identaciones en cada zona de interés para un total de quince (15) identaciones.

La distribución de las identaciones en cada zona se muestra en la figura 31 y el equipo utilizado puede verse en la figura 32.

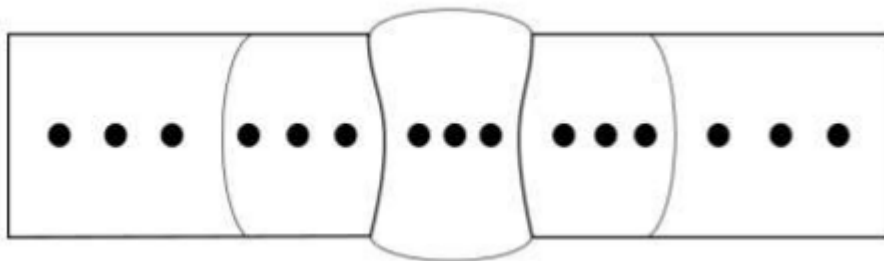


Figura 31: Identaciones realizadas a cada probeta
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.016)



Figura 32: Micro durómetro Vickers.
Fuente: Laboratorio de materiales
Escuela Ingeniería Mecánica UC (2.017)

Fase III: Estudiar el comportamiento microestructural de las uniones soldadas de acero estructural AISI 1010 mediante evaluación macroscópica y microscópica en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

Ensayo de Macroscopía.

El análisis macroscópico es aquel que se puede realizar a simple vista, es decir sin necesidad de microscopio. El rango de tamaño inicia en 10^{-3} m e n adelante. Este análisis se puede usar en:

- Líneas de flujo en materiales forjados.
- Capas en herramientas endurecidas por medio de tratamiento térmico.
- Zonas resultado del proceso de soldadura.
- Granos en algunos materiales con tamaño de grano visible.
- Marcas de maquinado.
- Grietas y ralladuras.
- Orientación de la fractura en fallas.
- Permite determinar la existencia de tratamientos térmicos en la superficie.

Para llevar a cabo este ensayo es necesario primeramente la preparación de las probetas, que consiste en:

- Desbaste grueso, llevado a cabo con una cinta de desbaste de granulometría 80, papeles de lijas de distintos tamaños (120, 240, 360, 600, 1200) girando la muestra 90° cada vez que se cambie de papel, este cambio se realiza cuando las líneas dejadas por el desbaste anterior desaparezcan.
- Ataque químico, elaborado con yodo en yoduro de potasio al 10% durante unos 15 segundos aproximadamente.
- Se procede a colocar la pieza en agua y aplicarle etanol, para interrumpir de esta forma el ataque químico, y se seca con aire caliente.
- Se toman fotografías con una cámara digital para visualizar la zona afectada por el ataque químico.

Se elaboró una (1) probeta por cada intensidad de corriente y electrodo revestido, para un total de nueve (9) probetas a estudiar. El estudio consiste en observar la penetración alcanzada por el cordón de soldadura en sus diversos parámetros.

El ensayo de microscopía se llevó a cabo en las probetas de las uniones soldadas igual a como se realizara en el material base.

Fase IV: Evaluar mediante el ensayo de Varestraint el agrietamiento por deformación en caliente en uniones soldadas de acero estructural AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

Ensayo de Varestraint

Para evaluar el agrietamiento en caliente de los cordones de soldadura con los diferentes tipos de electrodos a estudiar se realiza el ensayo de Varestraint el cual permite estudiar el fisuramiento o agrietamiento a las probetas en estudio. Las dimensiones de las probetas utilizadas en dicho ensayo se ven reflejadas en la Figura 33.

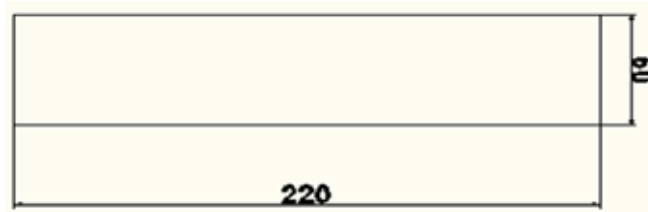


Figura 33: Dimensiones de probeta ensayo Varestraint.

Fuente: Osorio V. (2,016)

Se elaboraron dos (2) probetas por cada variación de parámetros, dando un total de treinta y seis (36) probetas a ensayar. Cada probeta fue fijada en un extremo en voladizo, luego se procedió a realizar el cordón de soldadura utilizando el proceso de soldadura SMAW, comenzando por el extremo libre en dirección longitudinal hacia el extremo fijo. Cuando el recorrido del electrodo se acercó al extremo fijo, estas fueron dobladas con una fuerza a flexión amoldándolas al radio de curvatura de la superficie circular, siendo estos radios de 40 mm y 88 mm. Al aplicar esta fuerza de doblado se permite producir una deformación aumentada en el cordón de soldadura contenido en la probeta. En la Figura 34 se muestra un esquema del procedimiento a seguir.

La deformación que se obtendrá, es independiente de los parámetros de soldadura (voltaje, amperaje y velocidad), del efecto del proceso de la soldadura, de la composición de la soldadura, de otros parámetros que influyen las características microestructurales del conjunto soldado y también puede ser aislado del efecto mecánico de elemento de sujeción.

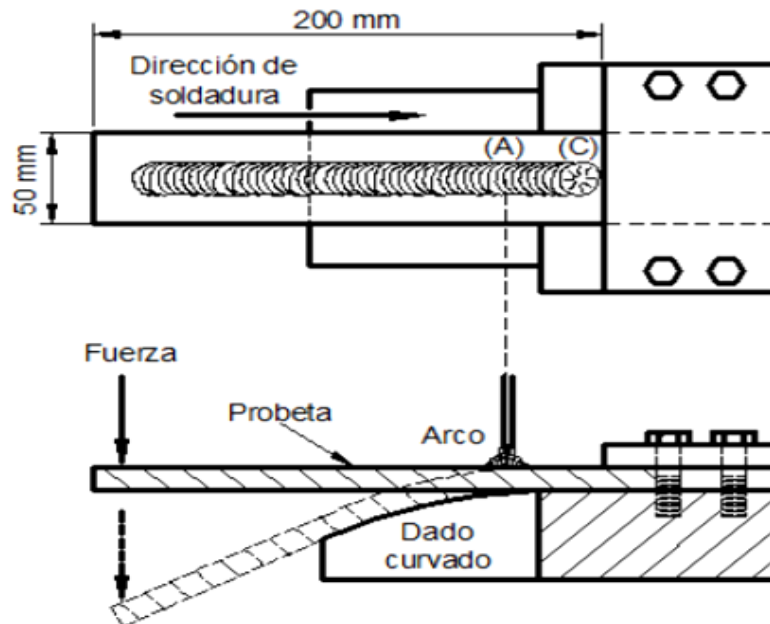


Figura 34: Esquema del procedimiento de Varestraint.
Fuente: Osorio V. (2.016)

La evaluación de las probetas se realizó al momento de aplicarse la deformación y posteriormente mediante la ayuda del microscopio óptico usando un lente de 400x.

Fase V: Determinar cuál revestimiento de electrodo ofrece la menor sensibilidad al agrietamiento.

Una vez realizados todos los ensayos y habiendo hecho la comparación de cada comportamiento de los electrodos utilizados, se podrá observar cual es menos sensible al agrietamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos en los diversos ensayos tanto destructivos como no destructivos (tracción, microdureza, doblado, Varestraint, microscopía y macroscopía, Con el fin de comprobar si las uniones soldadas presentan algún tipo de defecto y de esta manera determinar cuál de los electrodos objeto de estudio y sus diversas intensidades de corrientes exponen la menor sensibilidad al agrietamiento respecto al acero AISI 1010.

4.1 Caracterizar el material base (acero AISI 1010) en función de ensayos de doblado, de tracción, microscopía y microdureza.

A continuación se presenta en las dos fotos de la Figura 35 la microestructura del material base AISI 1010.

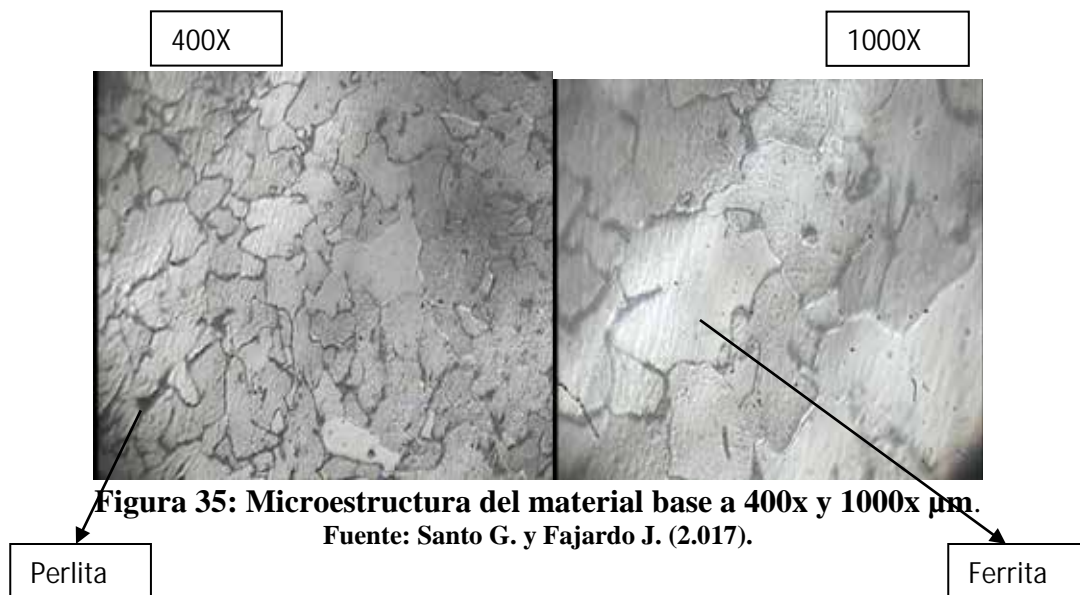


Figura 35: Microestructura del material base a 400x y 1000x μm .

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: En las fotos de la figura se puede observar una estructura que presenta zonas que contienen perlita (zona oscura) y zonas que contienen ferrita (zona clara).

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 3.

Tabla 3: Comparación de la microdureza del material base ensayado con el TEÓRICO.

Material AISI 1010	Dureza Vickers (Hv)
1	124
2	128
3	126
4	127
5	125
Promedio	126
AISI 1010 (teórico)	125

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Ensayo de doblado para caracterizar el material.



Figura 36: Doblado de la probeta sin soldar (Metal Base).

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en la probeta de material base. Esfuerzo: 250Psi

Ensayo de Tracción para caracterizar el material.

Para realizar comparaciones entre las propiedades mecánicas del material base y las obtenidas por las probetas soldadas en sus distintas variaciones de corriente con sus distintos electrodos, se realizó el ensayo de tracción al material de estudio utilizándose para ello cinco (5) probetas de acero AISI 1010.

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. En la Figura 37 se muestra la maquina empleada para la realización de dicho ensayo. Los ensayos se muestran en la Tabla 4.



Figura 37: Máquina para ensayo de tracción FRANK.
Fuente: Laboratorio de Materiales Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 11: Caracterización de material base.

Material	Probeta	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
AISI 1010	1	266,74	323,23	238,50
	2	241,64	323,23	232,22
	3	257,33	321,66	229,08
	4	258,75	321,23	230,54
	5	253,70	323,90	236,65
	Promedio	255,24	322,71	233,27

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

En la Figura 38 se observa el gráfico de la probeta del material base, como muestra del ensayo realizado por Gilberto Santo y Javier Fajardo.

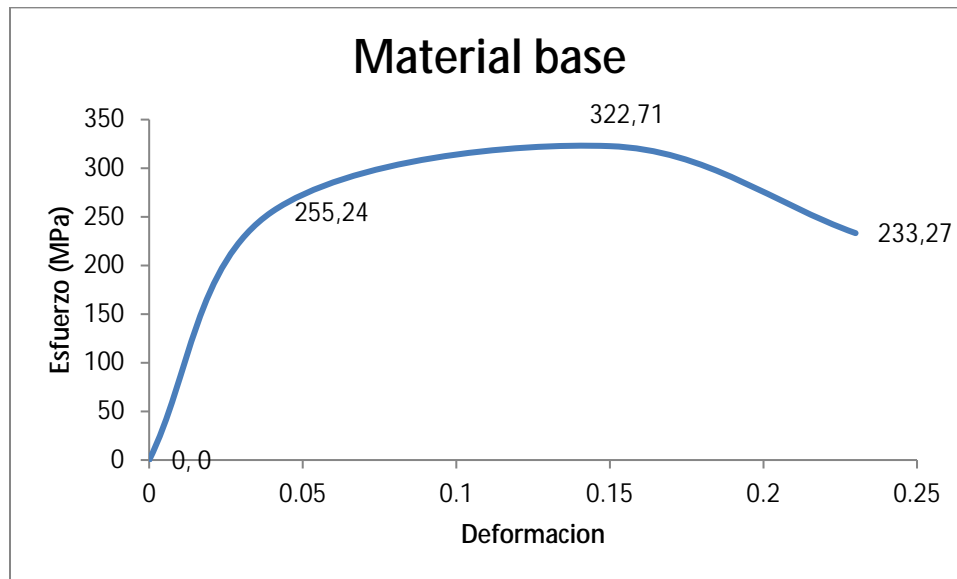


Figura 38: Gráfico esfuerzo vs deformación material base, ensayo de tracción.

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

4.2 Determinar el comportamiento mecánico en tracción, flexión y dureza en uniones soldadas de acero al carbono AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

4.2.1 Ensayos de tracción.

El ensayo fue realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Electrodos E-6010

En las Tablas 5, 6 y 7 se presentan los datos obtenidos a través del ensayo de tracción para las diferentes condiciones estudiadas.

Tabla 5: Probeta E-6010 - 80 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6010 80 Amp	1	238,50	310,68	235,36
	2	251,05	315,38	241,64
	3	235,36	329,50	251,05
	4	240,89	315,90	240,70
	5	243,12	321,78	244,36
	Promedio	241,64	318,52	242,68

**Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)**

En la Figura 39 se observa el gráfico de la probeta E-6010 – 80 Amp, como muestra del ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo

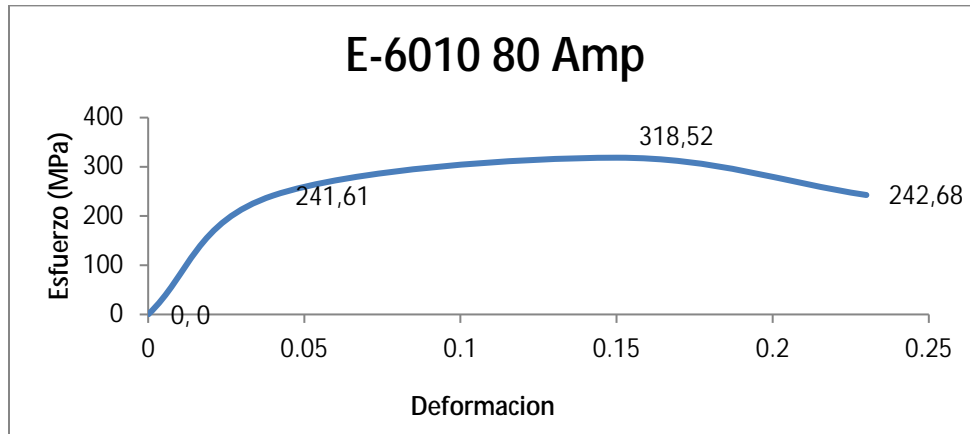


Figura 39: Gráfico esfuerzo vs deformación E-6010 - 80 Amp, ensayo de tracción.
Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 6. Probeta E-6010 - 100 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6010 100 Amp	1	269,88	345,19	251,05
	2	279,29	342,06	251,05
	3	257,33	323,23	235,36
	4	270,43	338,90	250,90
	5	266,70	336,24	240,10
	Promedio	268,83	336,83	245,82

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).
Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo (2.017)

En la Figura 40 se observa el gráfico de la probeta E-6010 – 100 Amp, como muestra del ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

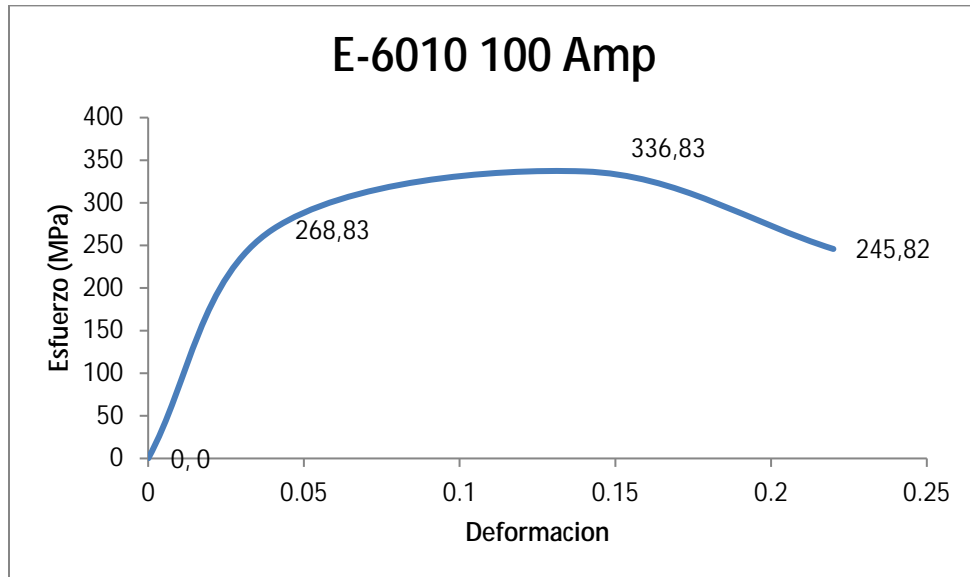


Figura 40: Gráfico esfuerzo vs deformación E-6010-100 Amp, ensayo de tracción.
Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo (2.017)

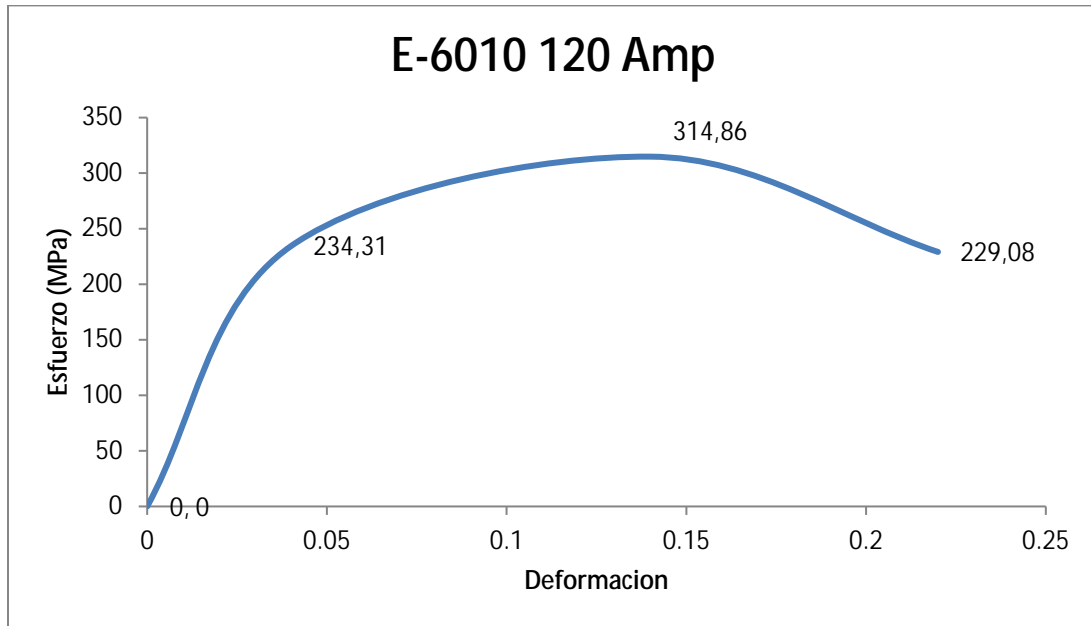
Tabla 7: Probeta E-6010 - 120 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6010 120 Amp	1	219,67	285,57	203,98
	2	241,64	326,27	241,63
	3	241,63	332,64	241,63
	4	237,41	317,98	230,90
	5	231,50	310,90	228,10
	Promedio	234,31	314,86	229,08

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería

Universidad de Carabobo (2.017)

En la Figura 41 se observa el gráfico de la probeta E-6010 – 120 Amp, como muestra del ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.



**Figura 41: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-6010-120 Amp, ensayo de tracción.**
Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Electrodos E-6013

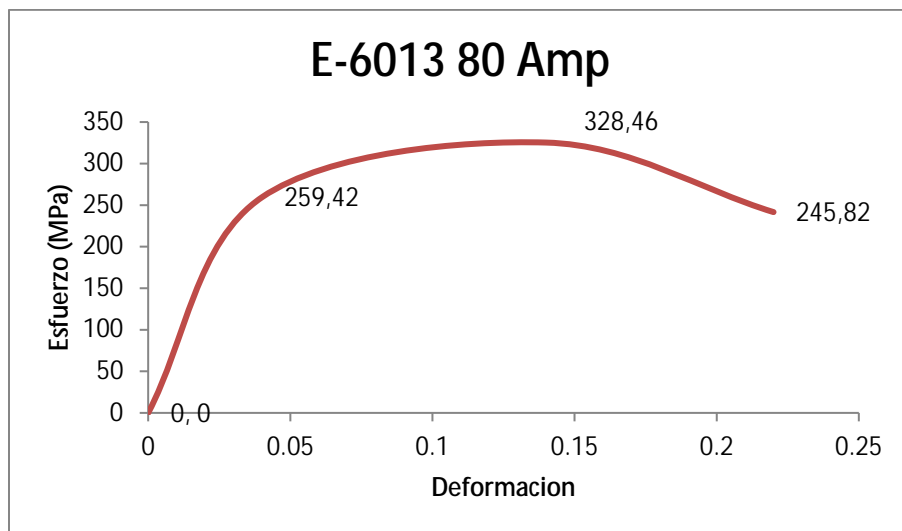
En las Tablas 8, 9 y 10 se presentan los datos obtenidos a través del ensayo de tracción para las diferentes condiciones estudiadas

Tabla 8: Probeta E-6013 - 80 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6013 80 Amp	1	285,57	323,23	251,05
	2	235,36	332,64	235,36
	3	257,32	329,50	251,05
	4	260,69	329,50	247,90
	5	258,34	328,10	243,58
	Promedio	259,42	328,46	245,82

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

En la Figura 42 se observa el gráfico de la probeta E-6013 80 Amp, como muestra del ensayo realizado en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.



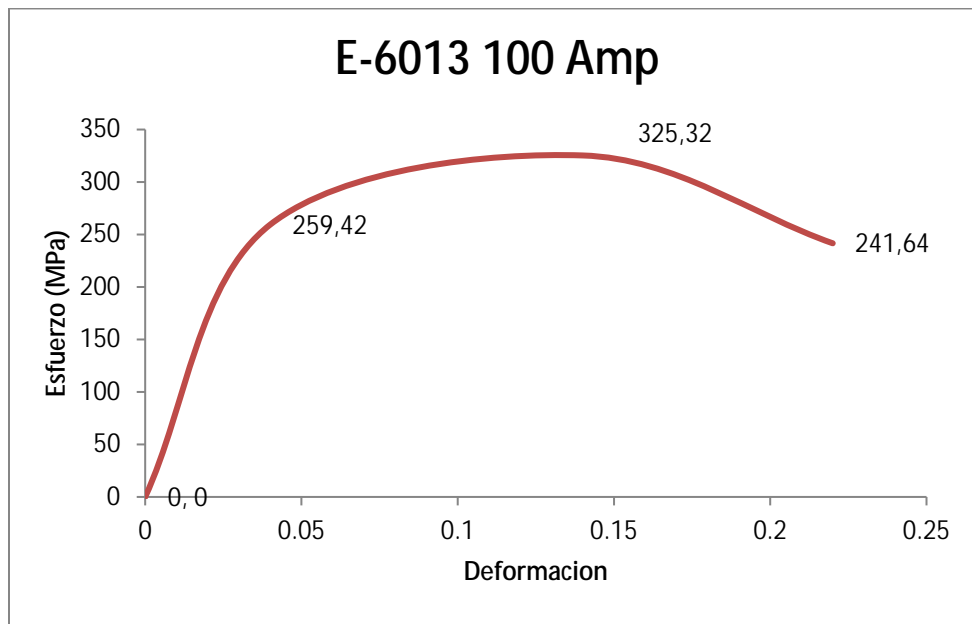
**Figura 42: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-6013 -80 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 9: Probeta E-6013 - 100 Amp

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6013 100 Amp	1	241,64	316,95	232,22
	2	254,19	329,50	251,05
	3	282,43	329,50	241,64
	4	262,54	325,10	245,80
	5	256,32	325,70	237,64
	Promedio	259,42	325,32	241,64

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)



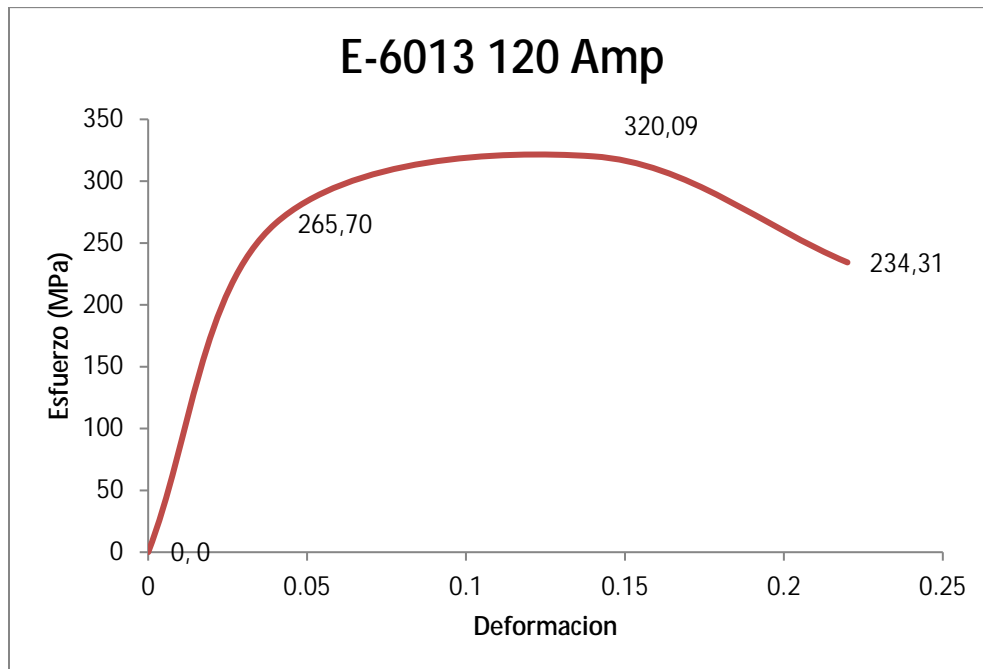
**Figura 43: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-6013 -100 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 10: Probeta E-6013 - 120 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-6013 120 Amp	1	288,71	326,37	247,91
	2	257,32	323,23	235,36
	3	251,05	310,67	219,67
	4	260,45	315,68	230,50
	5	270,89	325,43	229,23
	Promedio	265,70	320,09	234,31

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)



**Figura 44: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-6013 - 120 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

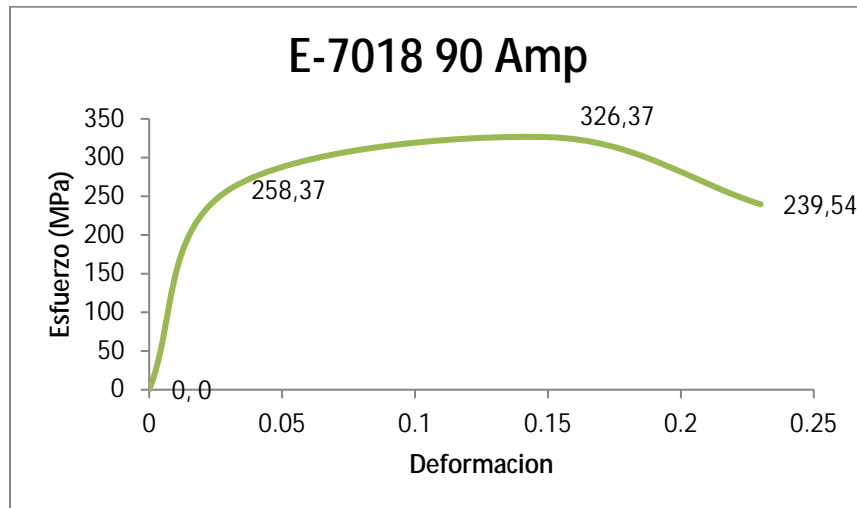
Electrodos E-7018

En las Tablas 11, 12 y 13 se presentan los datos obtenidos a través del ensayo de tracción para las diferentes condiciones estudiadas.

Tabla 11: Probeta E-7018 - 90 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-7018 90 Amp	1	251,05	326,37	235,36
	2	260,47	335,78	251,05
	3	263,60	316,95	232,22
	4	260,45	330,54	240,50
	5	256,32	322,90	240,10
	Promedio	258,37	326,37	239,54

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)



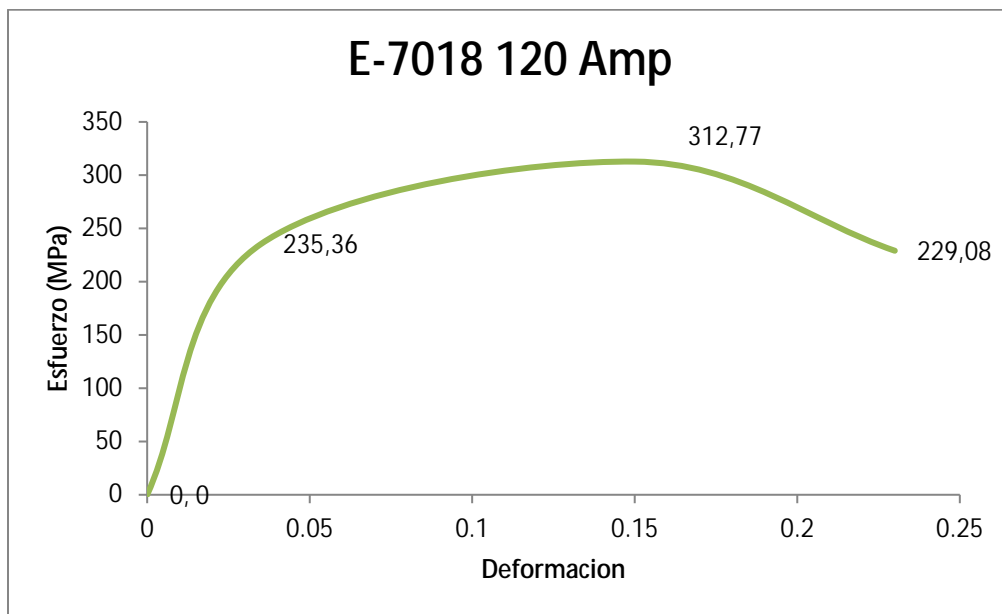
**Figura 45: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-7018 - 90 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 12: Probeta E-7018 -120 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-7018 120 Amp	1	219,67	301,26	219,67
	2	241,63	316,95	232,22
	3	244,77	320,09	235,36
	4	238,76	310,89	230,30
	5	233,10	315,10	229,10
	promedio	235,36	312,77	229,08

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)



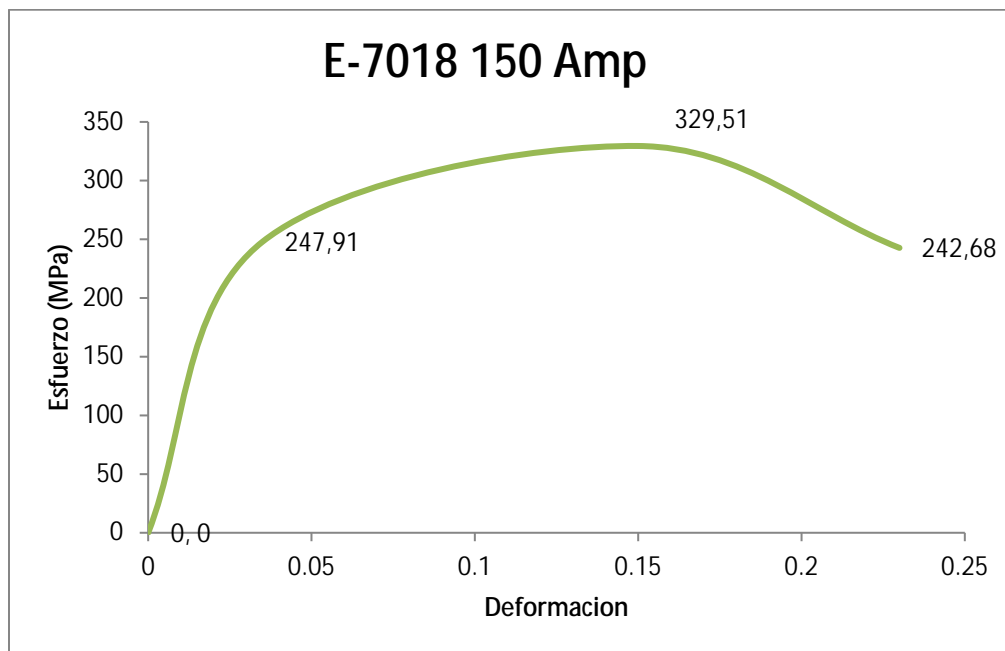
**Figura 46: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-7018 -120 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Tabla 13: Probeta E-7018 - 150 Amp.

Probeta	Probetas	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)
E-7018 150 Amp	1	235,37	320,09	235,36
	2	254,19	332,64	241,63
	3	254,19	335,78	251,05
	4	250,90	330,89	240,80
	5	244,90	328,30	244,50
	Promedio	247,91	329,51	242,68

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)



**Figura 47: Gráfico esfuerzo vs deformación
E-7018 - 150 Amp, ensayo de tracción.**

Fuente: Laboratorio de Materiales Facultad de Ingeniería
Universidad de Carabobo (2.017)

Se puede observar en los ensayos realizados para el Acero AISI 1010 que los valores obtenidos para el esfuerzo de fluencia y esfuerzo máximo (esfuerzo de ruptura) cumplen con lo establecido en los valores teóricos de la norma ASTM A 1010/A 1010M lo cual son como mínimos,

Tabla 14: Ensayo tracción

Intensidades de corriente (Amp)	6010 80 Amp	6010 100 Amp	6010 120 Amp	6013 80 Amp	6013 100 Amp	6013 120 Amp	7018 90 Amp	7018 120 Amp	7018 150 Amp
Esf. Fluencia (MPa)	241,6	268,8	234,3	259,4	259,4	265,7	258,4	235,3	247,5
Esf. Máximo (MPa)	318,5	336,8	314,8	328,5	325,3	320,0	326,3	312,7	329,5
Esf. Rótura (MPa)	242,6	245,4	229,0	245,8	241,6	234,3	239,5	229,0	242,6

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Para los diferentes parámetros de soldadura estudiados se pudo observar que los valores arrojados para los esfuerzos tales como, esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y de ruptura, fueron similares a los arrojados por los ensayos realizados al material base, lo que nos indica que la soldadura en sus diversos parámetros no fue influyente al momento de realizar el ensayo de tracción.

4.2.2 Ensayos de doblado: a continuación se presentan los ensayos de doblado, en el cual se realizaron doblado de cara y doblado de raíz a las diferentes probetas ya soldadas.



Figura 48: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 80Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi



Figura 49: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 100Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi



Figura 50: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 120Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No observó agrietamiento en la zona afectada por el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi

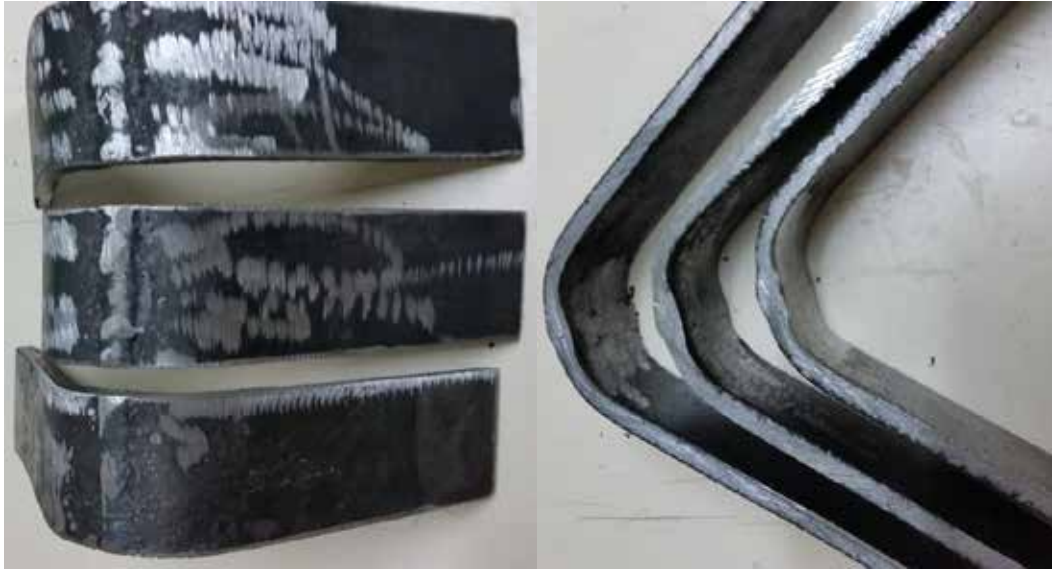


Figura 51: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 80Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi



Figura 52: Doblado de la probeta soldada con electrodo E- 6013 a 100Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250Psi

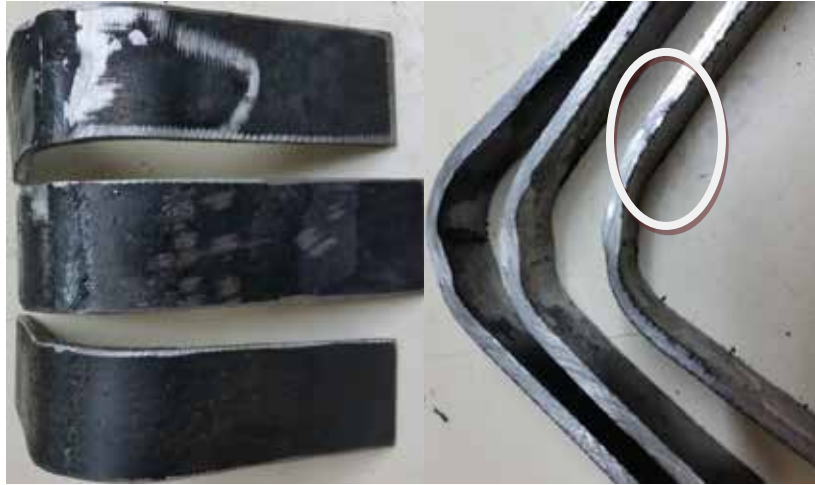


Figura 53: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 120Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: Se observó agrietamiento en la zona afectada por el calor de la soldadura.
Esfuerzo: 250 Psi



Figura 54: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 90Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi



Figura 55: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 120Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: No se observó agrietamiento en el cordón de soldadura. Esfuerzo: 250 Psi



Figura 56: Doblado de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 150Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: Se observó agrietamiento en la zona afectada por el cordón de soldadura.
Esfuerzo: 250 Psi

Con estos resultados se observó que para las intensidades de corriente más altas el calor generado por dichas corrientes provocó fisuras o pequeñas grietas en la parte de la zona

afectada por el calor (ZAC), mas no así en el cordón de soldadura (CS), ya que en este no ocurrió ningún tipo de defecto para ninguno de los casos ensayados.

4.2.3 Microdureza Vickers: a continuación se presentan los ensayos de dureza en las probetas soldadas.

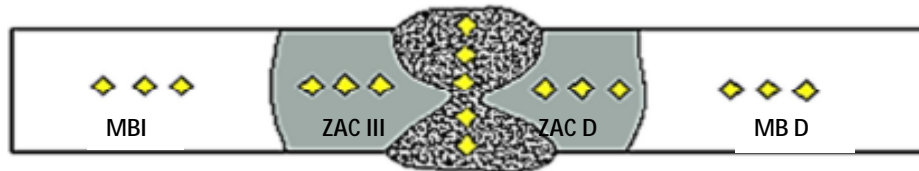


Tabla 15: Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E-6010.

Intensidades de corriente (Amp)	MB I (Hv)	ZA I (Hv)	CS1 (Hv)	CS2 (Hv)	ZA D (Hv)	MB D (Hv)
80	127	154	160	164	154	128
100	133	145	155	157	142	124
120	130	141	157	160	138	133

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

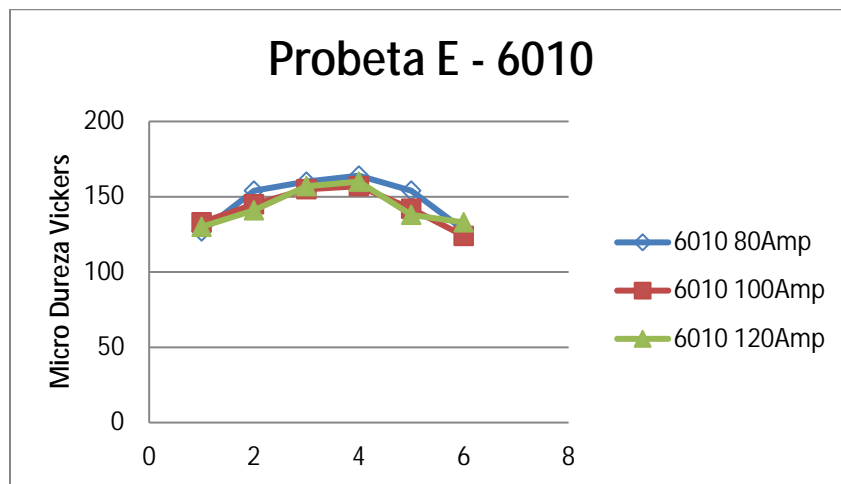


Figura 57: Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E- 6010.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: Se observó que en la zona cercana al cordón de soldadura la dureza del material aumenta.

Tabla 16: Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E-6013.

Intensidades de corriente (Amp)	MB I (Hv)	ZA I (Hv)	CS1 (Hv)	CS2 (Hv)	ZA D (Hv)	MB D (Hv)
---------------------------------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------

80	120,3	136,3	164	162	131,3	120,6
100	126	128,6	166	170	129,3	123,3
120	124,6	166	187,6	189	166	124

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

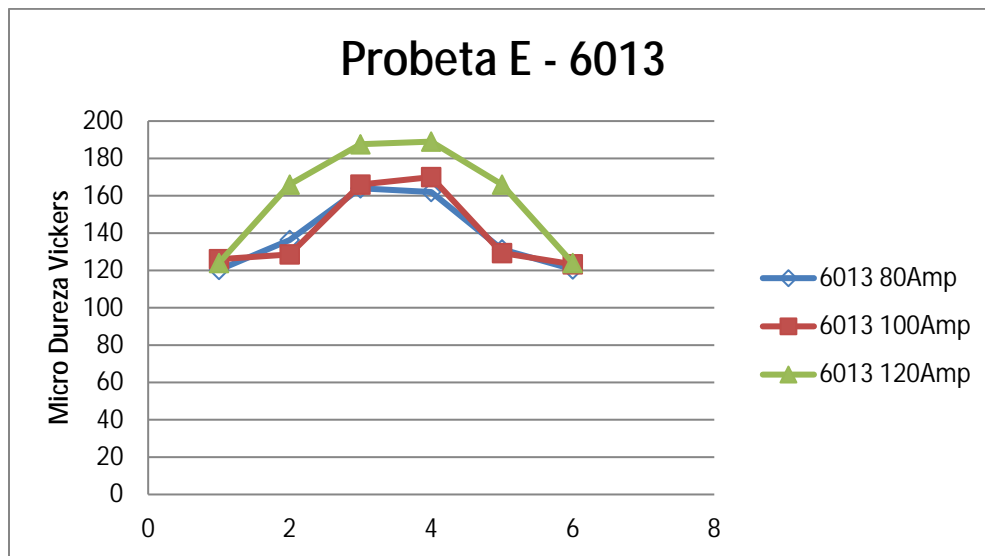


Figura 58: Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E-6013.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: Se observó que en la zona cercana al cordón de soldadura la dureza del material aumenta.

Tabla 17: Ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E-7018.

Intensidades de corriente (Amp)	MB I (Hv)	ZA I (Hv)	CS1 (Hv)	CS2 (Hv)	ZA D (Hv)	MB D (Hv)
---------------------------------	-----------	-----------	----------	----------	-----------	-----------

90	129,3	150,6	194	193	147,6	130
120	127	159	195,6	195	154,3	124
150	129	180,6	201,6	202	173,6	129,6

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

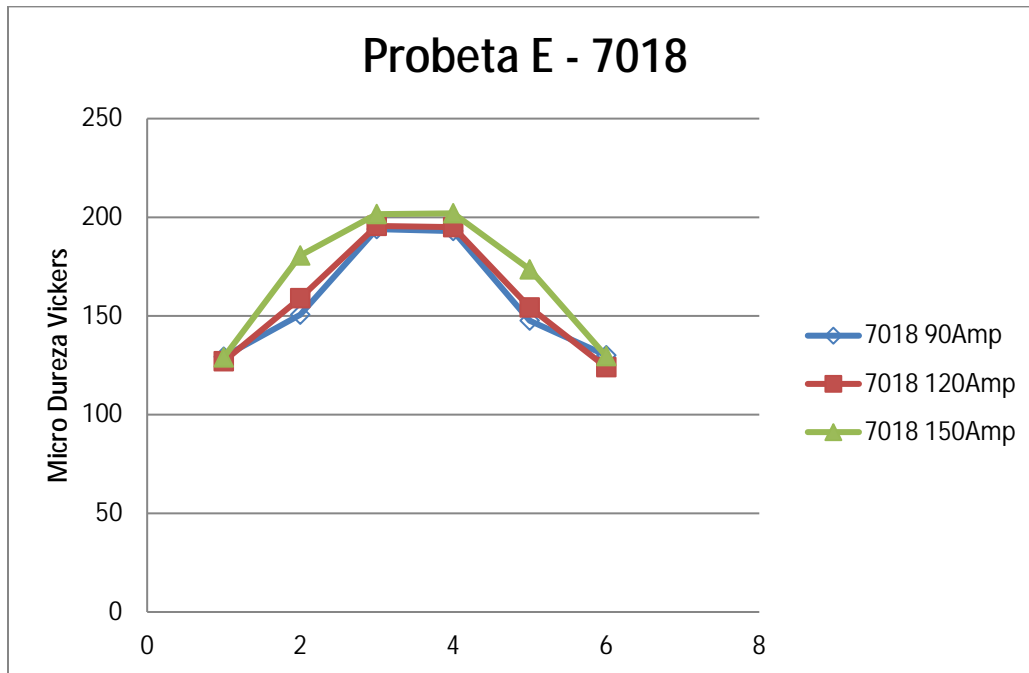


Figura 59: Gráfico ensayo de microdureza Vickers para probetas con electrodo E-7018.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Observación: Se observó que en la zona cercana al cordón de soldadura la dureza del material aumenta.

Análisis del Ensayo de Microdureza Vickers.

Realizado el ensayo se pudo observar claramente que la mayor dureza se localiza en el cordón de soldadura para las tres intensidades de corriente en los tres distintos electrodos.

En todas las muestras se observó que a medida que se alejaban las indentaciones del cordón de soldadura se obtenían valores de dureza menores, debido a la influencia del calor generado por el proceso SMAW.

4.3 Estudiar el comportamiento microestructural de las uniones soldadas de acero AISI 1010 mediante evaluación macroscópica y microscópica en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

En las siguientes figuras se observan las distintas probetas soldadas, para la evaluación macroscópica.



Figura 60: Probeta soldada con E-6010 a 80 Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión completa entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.



Figura 61: Probeta soldada con E-6010 a 100 Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión incompleta entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.



Figura 62: Probeta soldada con E-6010 a 120 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión incompleta entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.



Figura 63: Probeta soldada con E-6013 a 80 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión incompleta entre el material base y el cordón de la soldadura y sin presencia de discontinuidades.



Figura 64: Probeta soldada con E-6013 a 100 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión incompleta entre el material base y el cordón de la soldadura y sin presencia de discontinuidades.



Figura 65: Probeta soldada con E-6013 a 120 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión incompleta entre el material base y el cordón de la soldadura y sin presencia de discontinuidades.



Figura 66: Probeta soldada con E-7018 a 90 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión completa entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.



Figura 67: Probeta soldada con E-7018 a 120 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión completa entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.



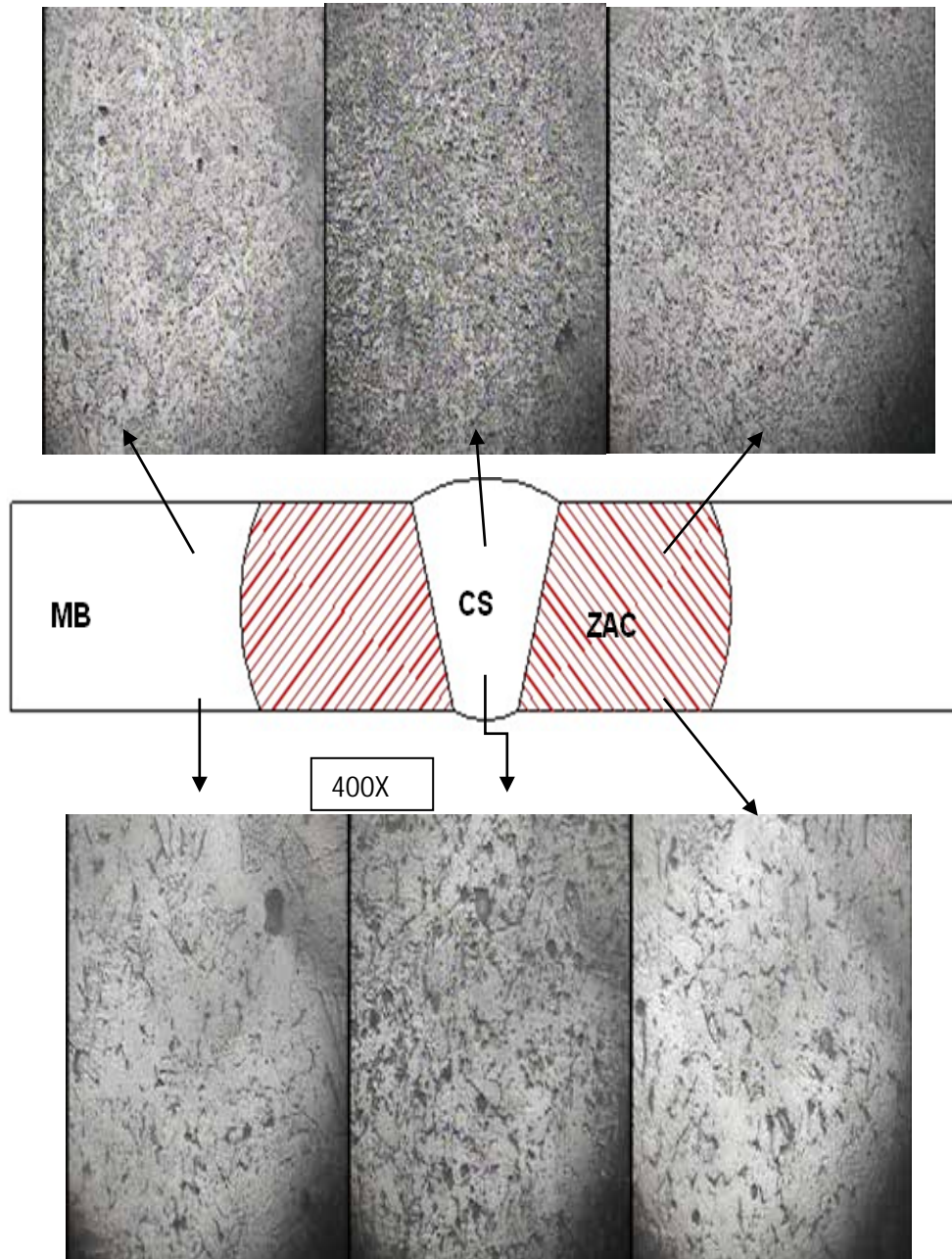
Figura 68: Probeta soldada con E-7018 a 150 Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se visualiza un cordón de soldadura con fusión completa entre el material base, el cordón de la soldadura, sin presencia de discontinuidades y no presenta grietas.

A continuación el estudio microscópico:

100X



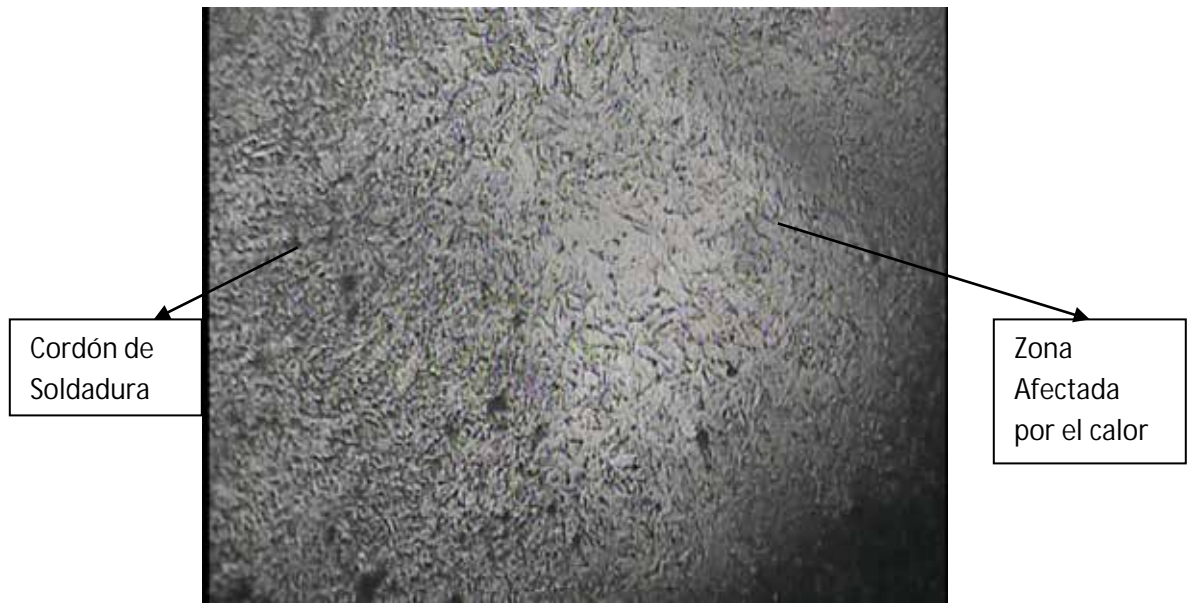
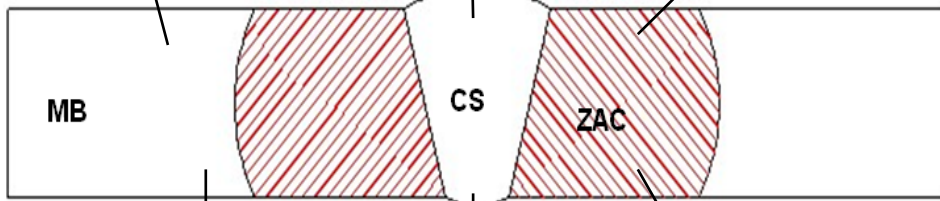
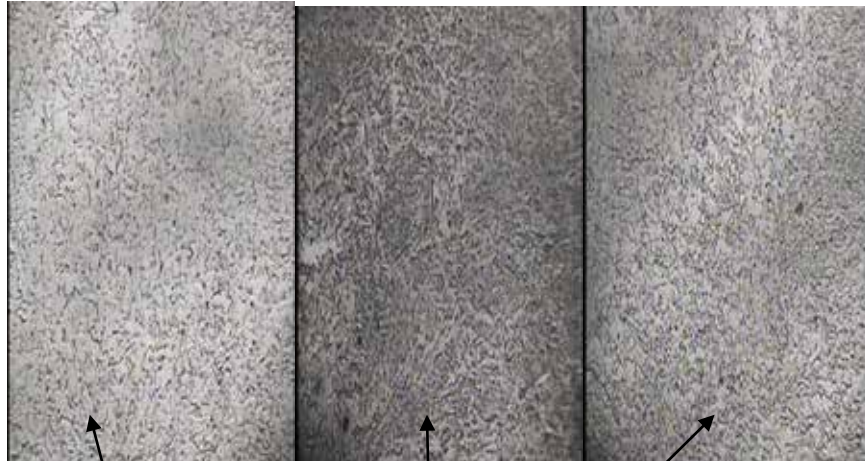


Figura 69: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 80Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita. Se alcanza a observar que los granos de ferrita varían gradualmente de tamaño, siendo los que están más cercanos a la zona de fusión los de mayor tamaño y los del material base corresponden a los de menor tamaño. Es una estructura acicular, grosera, típica de los aceros en bruto de colada; proporciona fragilidad y, por lo tanto es indeseable. La perlita aparece en los bordes de los granos y a partir de ella se desarrollan las agujas o ramificaciones características de la Widmanstätten (ferrita acicular).

100X



400X

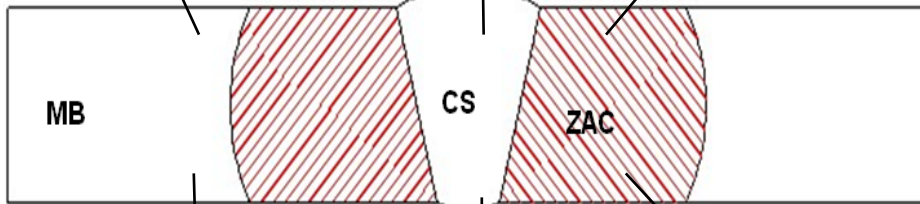
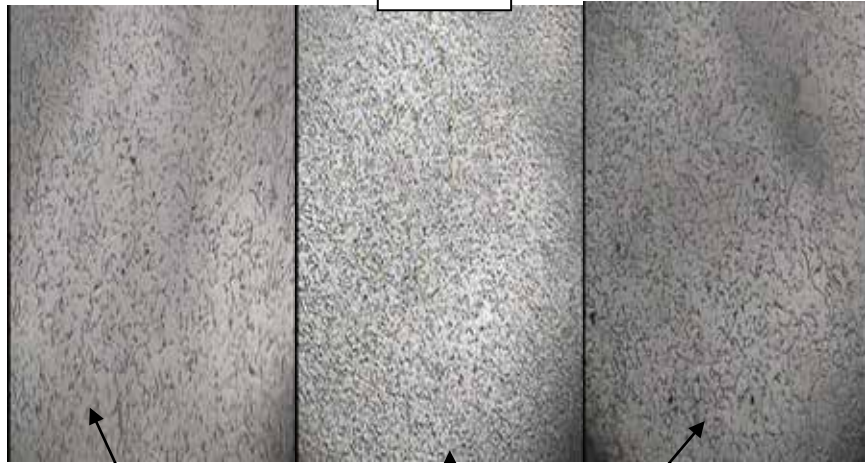




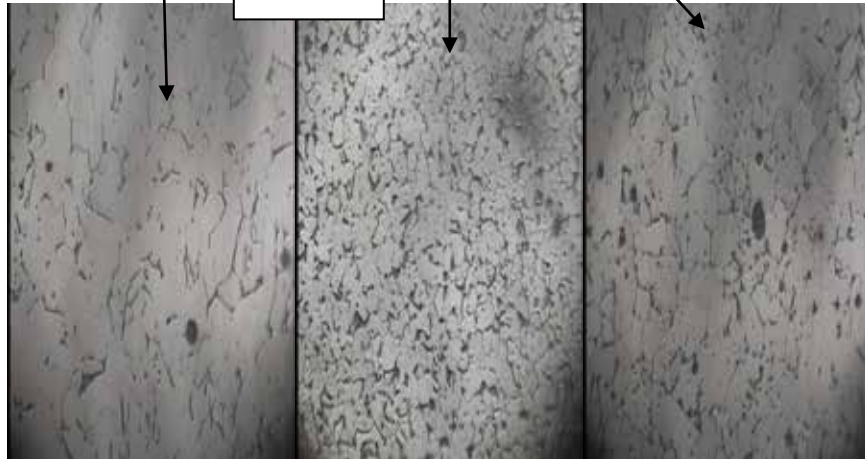
Figura 70: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 100Amp
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor se puede observar el agrandamiento de la ferrita por acción de la elevación de la temperatura y se observan algunas zonas con porosidades. En el cordón de soldadura se observa presencia de Widmanstätten (ferrita acicular) y algo de perlita. Además se visualiza porosidad y una grieta bien pronunciada.

100X



400X





**Figura 71: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6010 a 120Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)**

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor se puede observar mas perlita que ferrita originada por el calor producido al momento de soldar al igual que en el cordón de soldadura donde también se evidencia Widmanstatten (ferrita acicular).

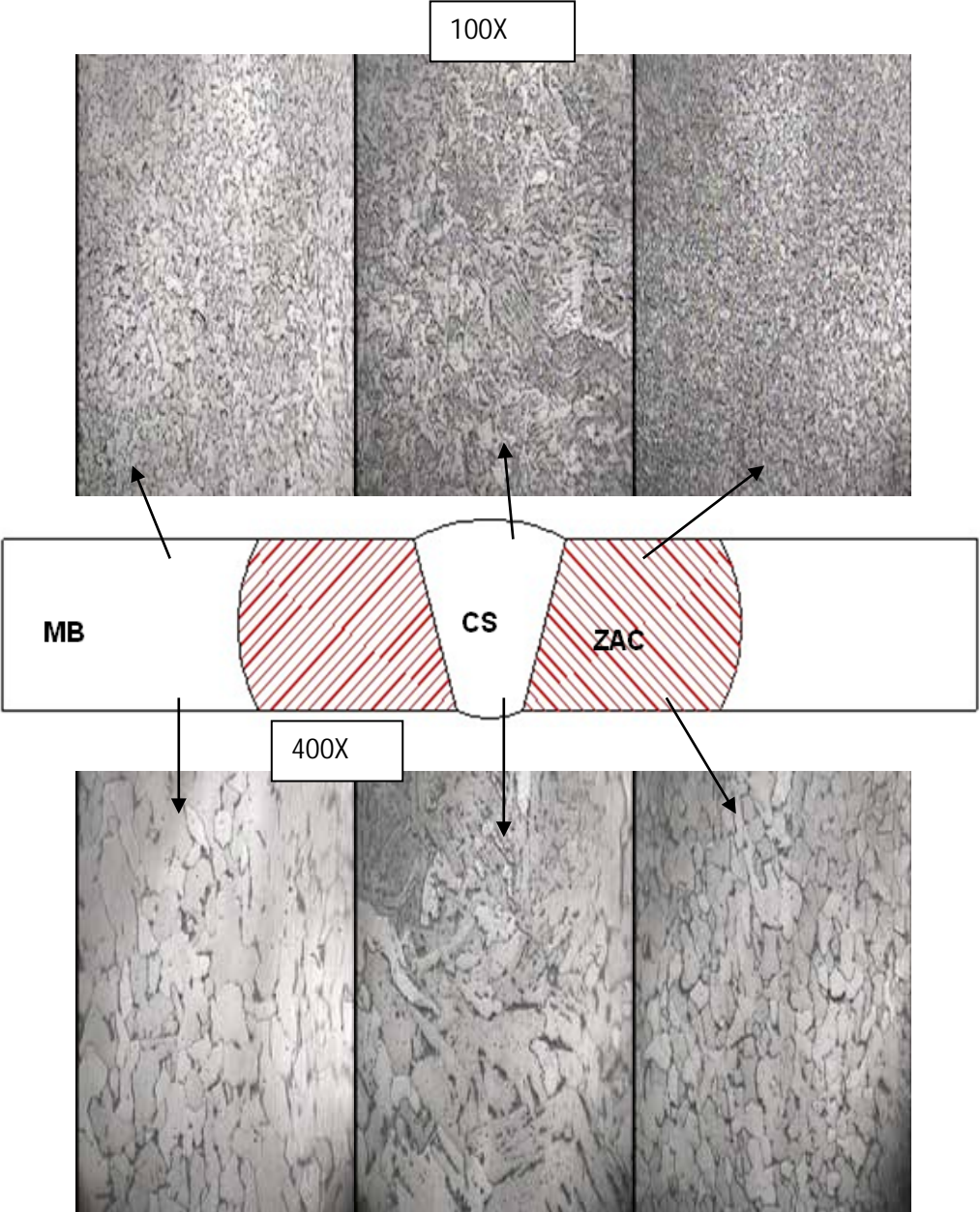
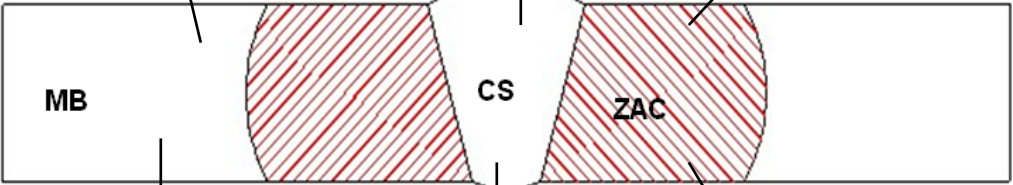
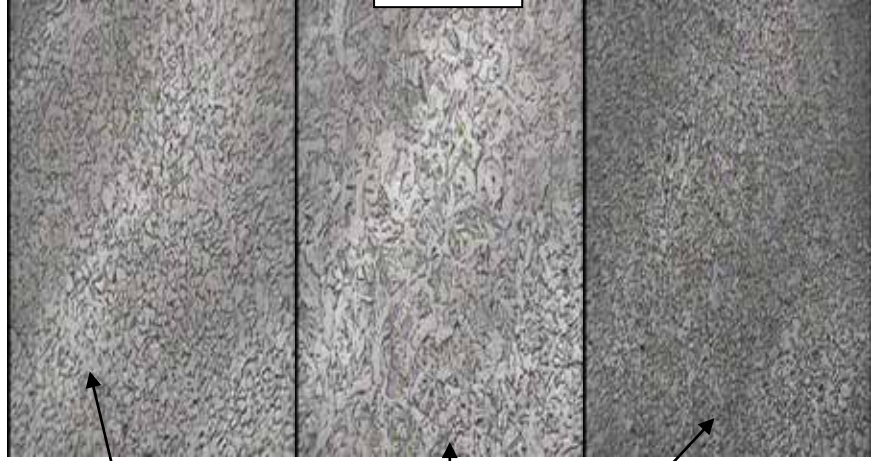




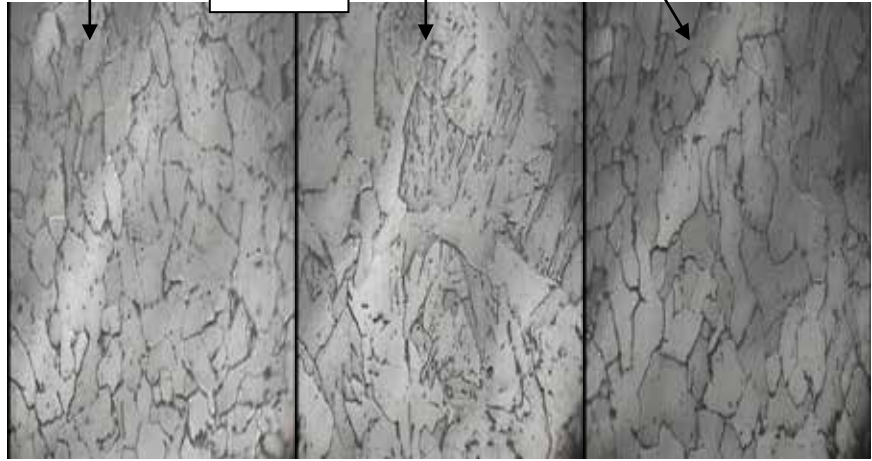
Figura 72: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 80Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor se puede observar que los granos de ferrita son de mayor tamaño que los de perlita y en el cordón de soldadura se visualiza la estructura Widmanstatten (ferrita acicular) originada por el calor producido al momento de soldar y además se observa algunas zonas con porosidades y crecimiento del grano ferrítico.

100X



400X



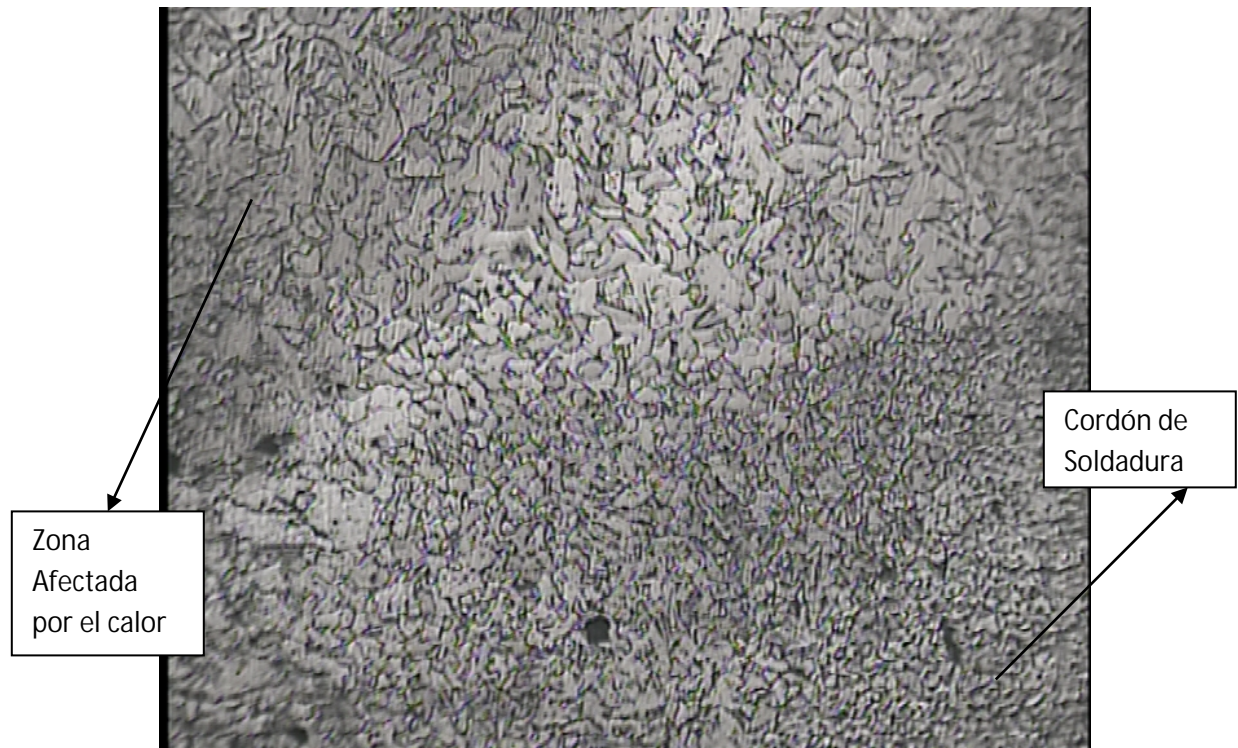
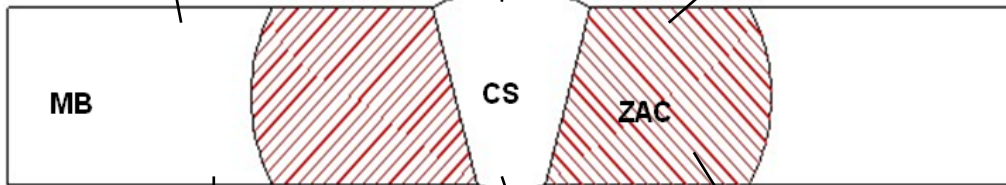
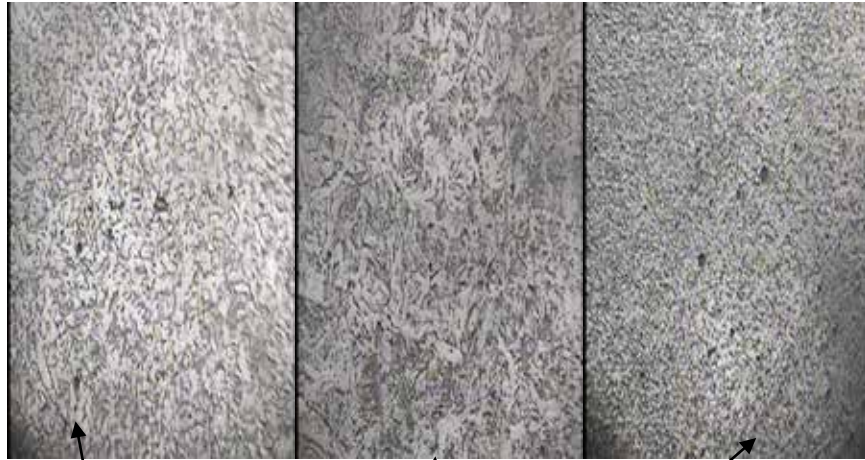


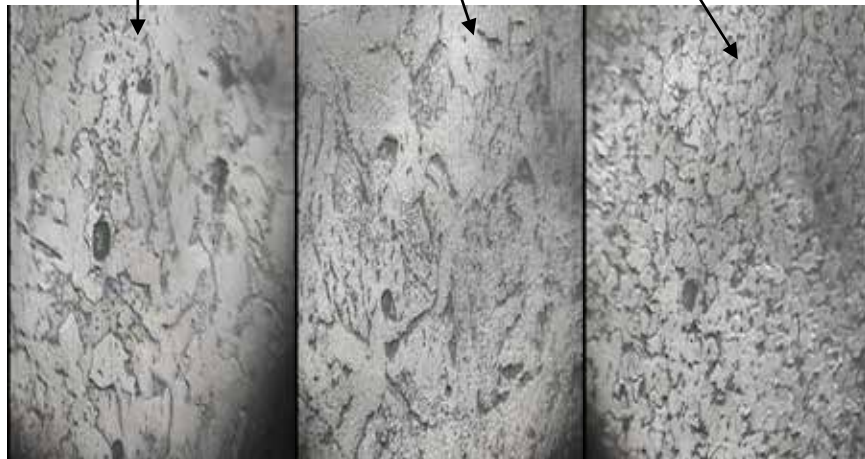
Figura 73: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E- 6013 a 100Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor se puede observar la estructura Widmanstatten (ferrita acicular) y crecimiento del grano ferrítico, al igual que en el cordón de soldadura con un tamaño de grano fino, originada por el calor producido al momento de soldar y además se observa algunas zonas con porosidades en cordón de soldadura.

100X



400X



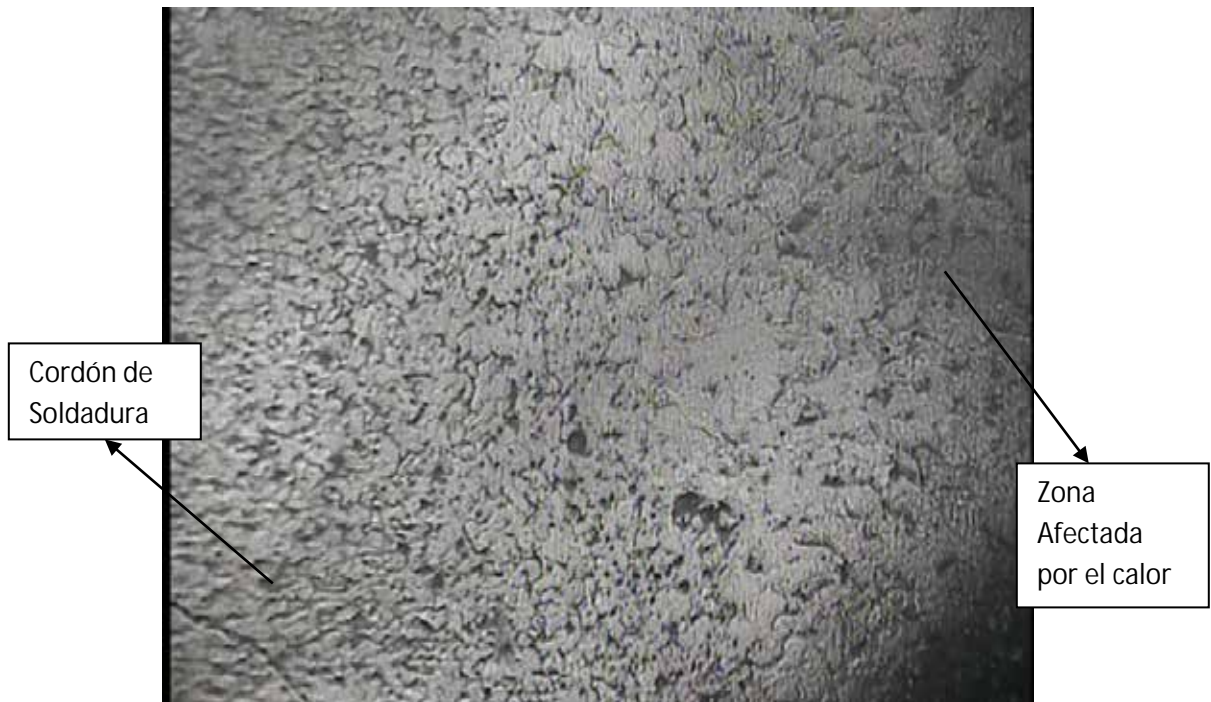
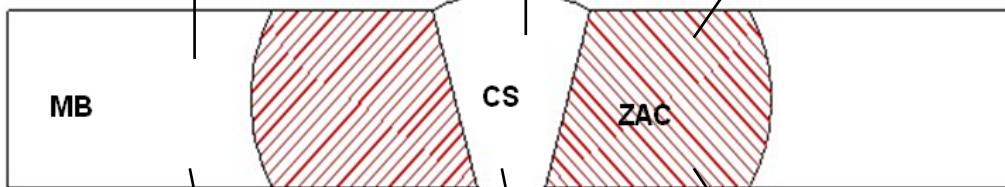


Figura 74: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-6013 a 120Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor se puede observar ferrita de mayor tamaño producto del calor producido por la soldadura, en el cordón de soldadura presenta un poco la estructura Widmanstätten (ferrita acicular), debido al calor producido al momento de soldar, también se logra observar varias porosidades en la zona de transición.

100X

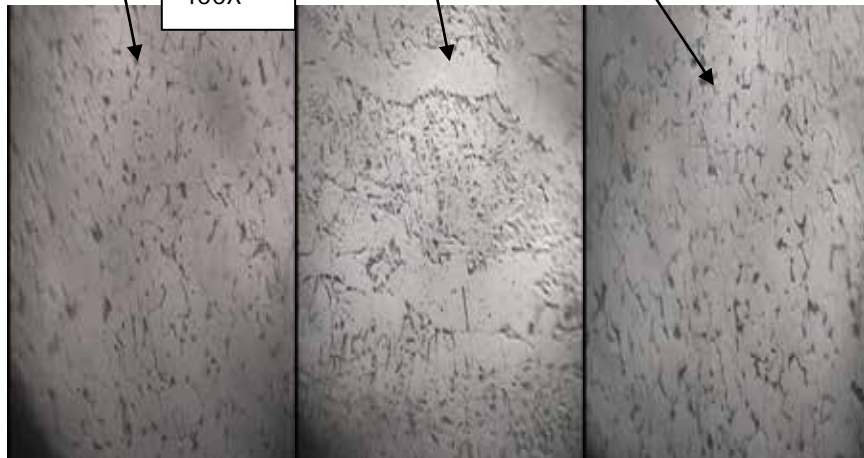


MB

CS

ZAC

400X



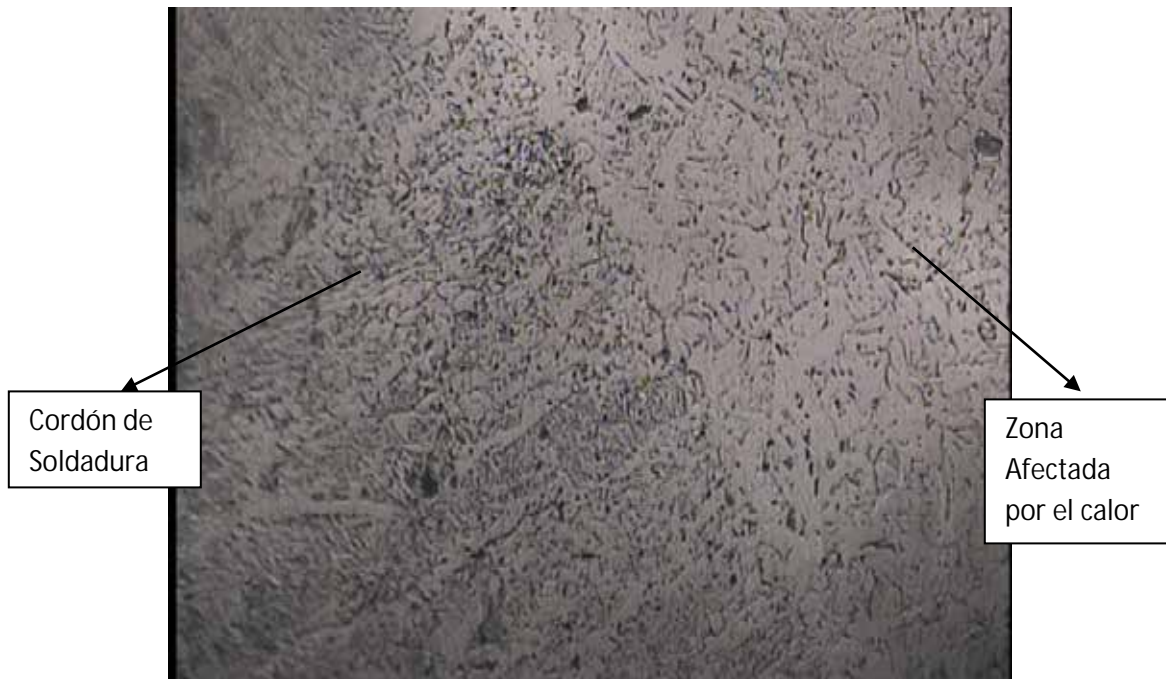
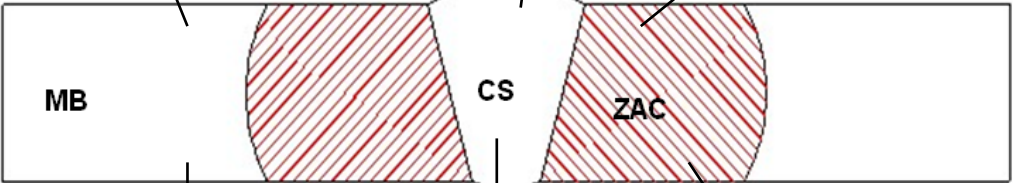
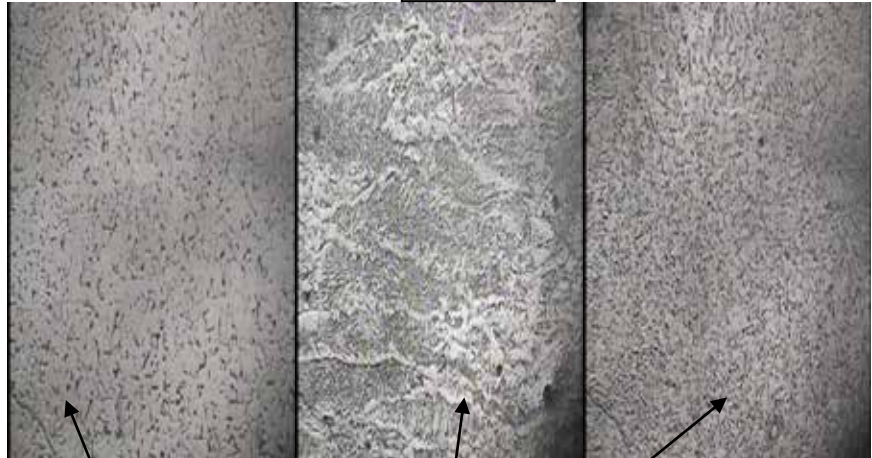


Figura 75: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 90Amp

.Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor presenta la estructura Widmanstätten (ferrita acicular) al igual que en el cordón de soldadura, esto debido al calor producido al momento de soldar.

100X

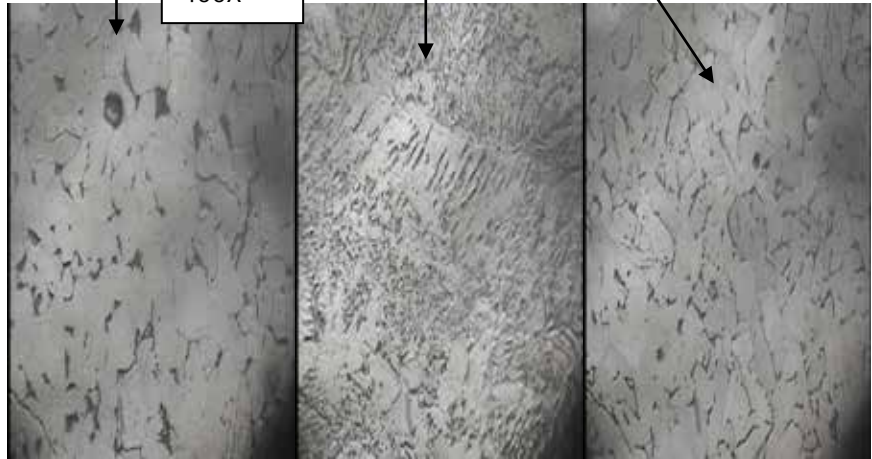


MB

CS

ZAC

400X



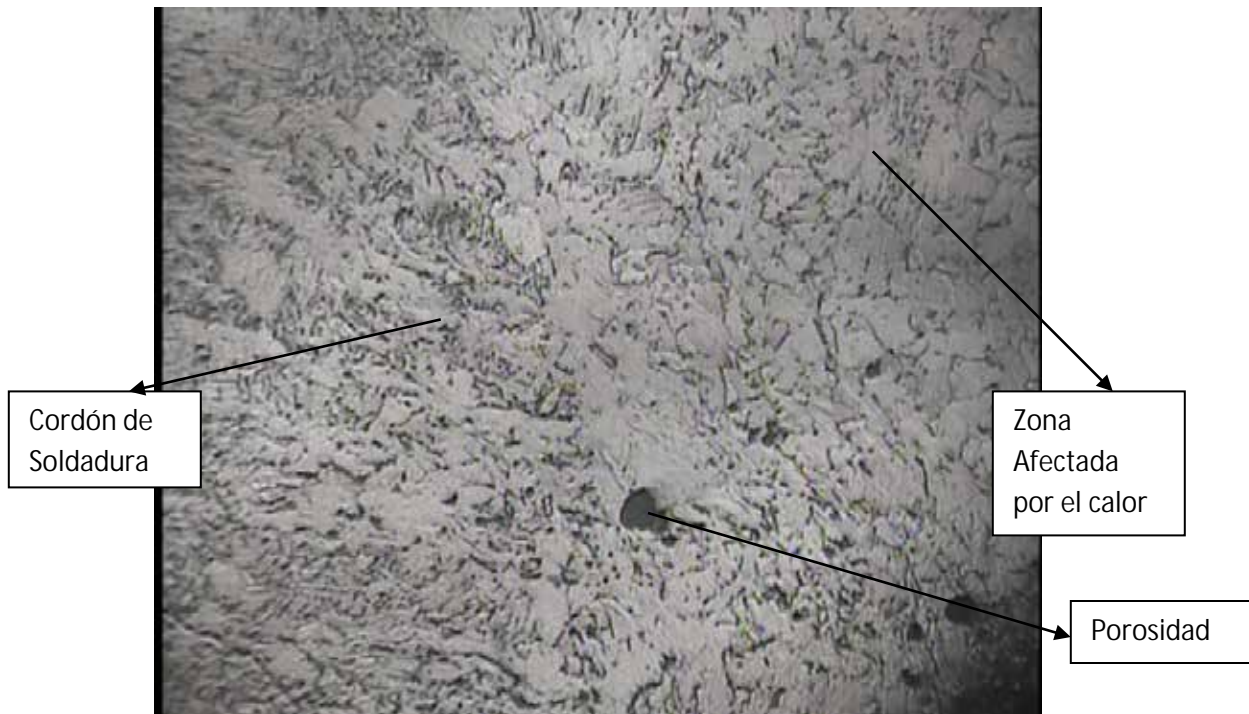
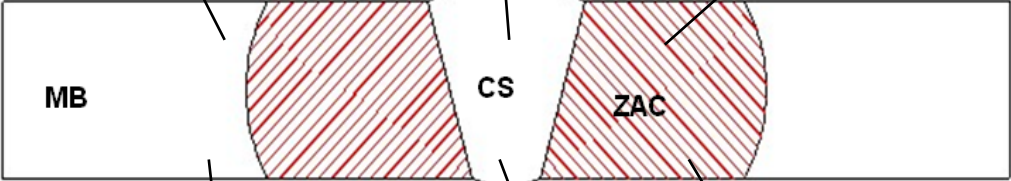
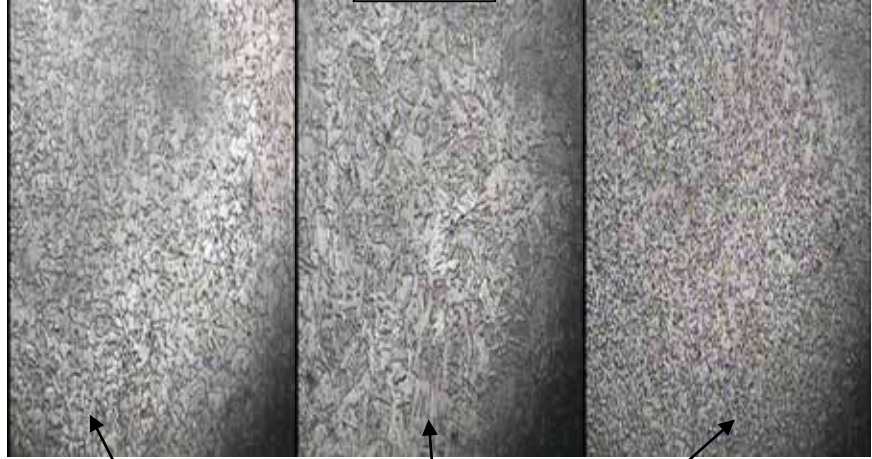


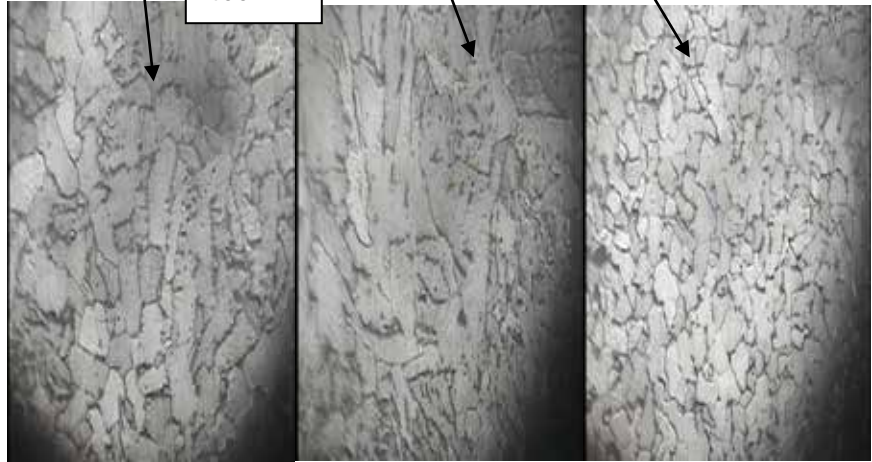
Figura 76: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 120Amp.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor presenta la estructura Widmanstatten (ferrita acicular) al igual que en el cordón de soldadura, esto debido al calor producido al momento de soldar. Se alcanza a observar en la zona afectada que los granos de ferrita varían de tamaño, siendo estos los de mayor tamaño que lo granos de Widmanstatten (ferrita acicular). Sin embargo en la zona de transición se logra observar porosidad y existe un proceso de decarburización donde la perlita se dispersa.

100X



400X



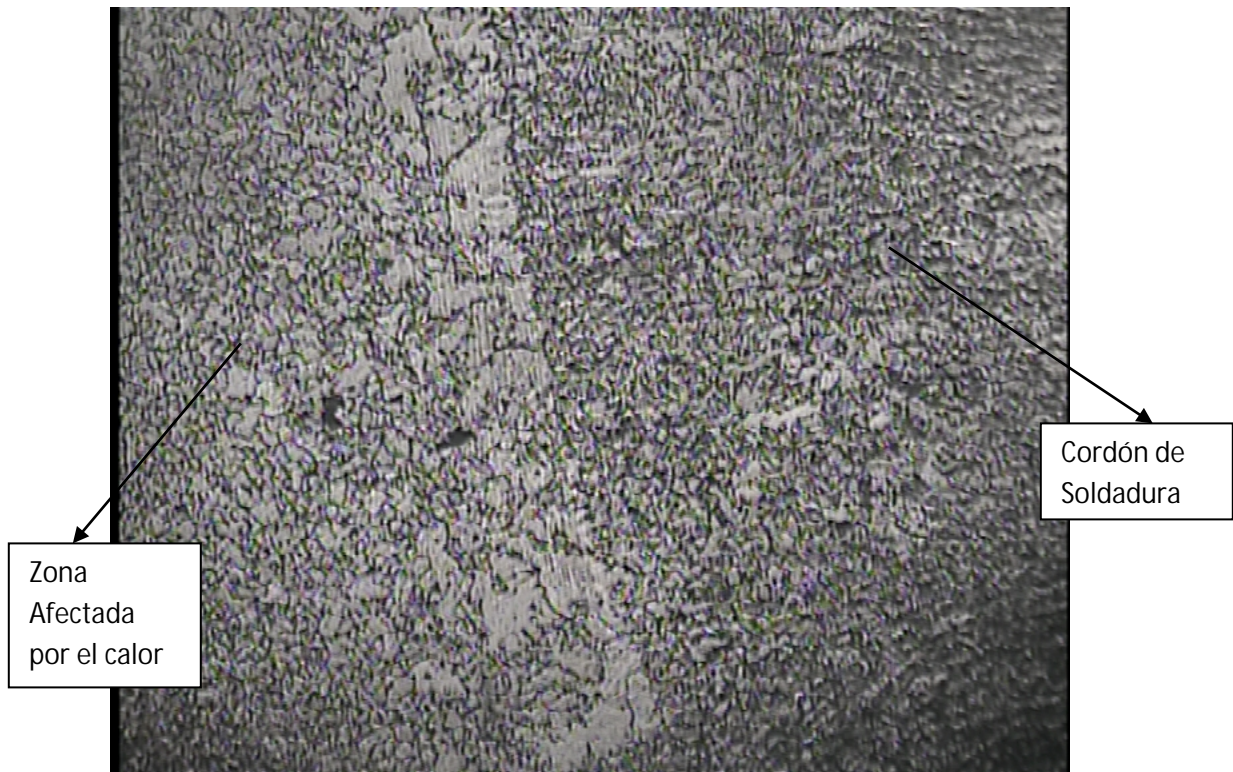


Figura 77: Microestructura de la probeta soldada con electrodo E-7018 a 150Amp.

Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017)

Observación: se observa que en la microestructura del material base está presente la estructura perlita-ferrita, en la zona afectada por el calor presenta ferrita de mayor tamaño y el grano de perlita alargado, en el cordón se puede observar la estructura Widmanstatten (ferrita acicular) esto debido al calor producido al momento de soldar.

Análisis del Ensayo de Microscopia.



Se visualizó, con la ayuda del microscopio, que en el material base de Acero AISI 1010, una estructura que presenta zonas que contienen perlita (zona oscura) y zonas que contienen ferrita (zona clara) la cual está presente en mayor cantidad de granos. La presencia de ferrita en el material le da ductilidad y la presencia de perlita proporciona tenacidad y resistencia.







Se observó por otro lado que el cordón de soldadura para los distintos parámetros posee una estructura llamada Widmanstätten (ferrita acicular), dicha estructura se encuentra específicamente en el cordón debido al calor que se generó al momento de soldar, y en algunas ocasiones se vio en la zona afectada por el calor (ZAC) por la gran cantidad de calor generado.


Se advirtió que en la mayoría de los casos la zona afectada por el calor (ZAC) hubo un recrecimiento de la perlita, lo que le da mayor dureza y por ende mayor fragilidad a esa parte del material.

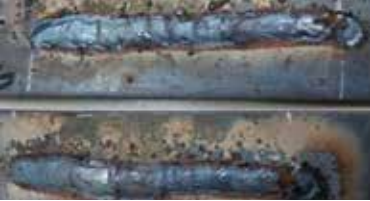


4.4 Evaluar mediante el ensayo de Varestraint el agrietamiento por deformación en caliente en uniones soldadas de acero AISI 1010 en función de la intensidad de corriente y el voltaje.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados para el ensayo de Varestraint. Cabe resaltar que se realizaron, para cada variación de parámetro, dos probetas a ensayar.

Nombre Probeta	Figura	Observación
6010-R40-80(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6010-R40-100 (Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.

Nombre Probeta	Figura	Observación
6010-R40-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6010-R88-80(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6010-R88-100(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6010-R88-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6013-R40-80(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6013-R40-100(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.

Nombre Probeta	Figura	Observación
6013-R40-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6013-R88-80(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6013-R88-100(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
6013-R88-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
7018-R40-100(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
7018-R40-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
7018-R40-150(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.

Nombre Probeta	Figura	Observación
7018-R88-100(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
7018-R88-120(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.
7018-R88-150(Amp)		No se observó ninguna grieta ni fisura de forma visual en los cordones.

Cuadro 1: Ensayo Varestraint.











Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2017).

Debido a que a simple vista no se observaron grietas ni fisuras con los distintos parámetros, se procedió a realizar el ensayo de microscopia para una mejor observación de los defectos posibles en el cordón de soldadura a nivel microscópico. Para realizar el ensayo de microscopia a las probetas de Varestraint se procedió a realizar un corte en el cual quedaron expuestos los dobleces producidos por el radio de curvatura y su microscopia se observa en la Cuadro 2 a continuación.

Calculo del aumento de la deformación para Varestraint. Utilizando la Ec. 8 para los dos radios de trabajo, se tiene que:

Para el radio de 40 (mm):

Para el radio de 88 (mm):

Nombre Probeta	Figura a 200x	Figura a 400x	Observación
E-6010-R40 80(Amp)			No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.
E-6010-R40 100 (Amp)			No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.
E-6010-R40 120(Amp)			Se observó micro grieta o micro fisura en la primera probeta
E-6010-R88 80(Amp)			No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.
E-6010-R88 100(Amp)			No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.

E-6010-R88
120(Amp)



Se observó micro grieta o micro fisura en la primera imagen

E-6013-R40
80(Amp)



No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.

E-6013-R40
100(Amp)



No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.

6013-R40
120(Amp)



No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.

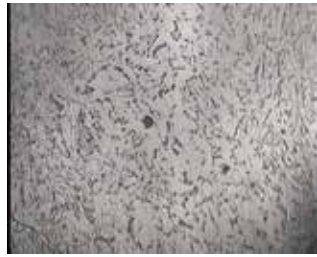
6013-R88
80(Amp)



No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.

E-6013-R88

100(Amp)



No se observó
ninguna
micro grieta
ni micro
fisura.

**6013-R88-
120(Amp)**



No se observó
ninguna
micro grieta
ni micro
fisura.

E-7018-R40

100(Amp)



No se
observó
ninguna
micro grieta
ni micro
fisura.

E-7018-R40

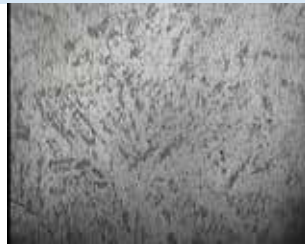
120(Amp)









No se
observó
ninguna
micro grieta
ni micro
fisura.

E-7018-R40

150(Amp)



No se observó
ninguna micro
grieta ni micro
fisura.

<p>7018-R88 90(Amp)</p>			<p>No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.</p>
<p>E-7018-R88 120(Amp)</p>			<p>No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.</p>
<p>E-7018-R88 150(Amp)</p>			<p>No se observó ninguna micro grieta ni micro fisura.</p>

Cuadro 2: Microscopia de Varestraint.
Fuente: Santo G. y Fajardo J. (2.017).

4.5 Determinar cuál revestimiento de electrodo ofrece la menor sensibilidad al agrietamiento.

El material de aporte más susceptible al agrietamiento en caliente fue el del electrodo E-6010 a una intensidad de corriente de 120 Amperios, esto es debido a que estas probetas presentaron micro-grietas en la zona afectada por el calor, esto se pudo observar al momento de realizar el ensayo de Varestraint.

Igualmente los electrodos E-6010 y E-6013 presentaron fisuras en la zona afectada por el cordón de soldadura en el ensayo de doblado a 120 Amperios. El electrodo E-7018 a 150 Amperios también presentó fisuras en la zona afectada por el cordón de soldadura.

En conclusión el revestimiento del electrodo E-7018 es el que ofrece la menor sensibilidad al agrietamiento en caliente de la soldadura.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

El electrodo menos sensible al agrietamiento en caliente (ensayo Varestraint) para el acero AISI 1010 es el E – 7018 (bajo hidrogeno), debido a las propiedades mecánicas aportadas y la que menos defectos le aporta al material base.

El ensayo de Varestraint demostró que la soldadura tiene buena penetración y buena fusión con el material base, por lo tanto no se detectó susceptibilidad al agrietamiento en caliente de la soldadura.

Se observó que en las mayorías de las partes afectadas por el calor genero un crecimiento en el grano de la ferrita, donde también se pudo observar la estructura Widmanstatten (ferrita acicular) el cual se genera por el calor generado en el proceso de soldadura.

Observamos que el electrodo E – 6013 tiene un comportamiento favorable cuando se trabaja con un amperaje bajo, pero al ir aumentado su intensidad de corriente, esta va perdiendo penetración y fusión con el material base, aumentando la sensibilidad al agrietamiento.

Se determinó que el procedimiento de soldadura SMAW, se debe de tomar en cuenta los gases de protección, para disminuir la presencia de poros en el cordón de soldadura, ya que las mismas se observan reflejadas en la microscopia del cordón de soldadura.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar otros tipos de ensayos de fisuramiento en caliente como lo son el ensayo Finger, ensayo Houldcroft y ensayo Battelle con el fin de buscar la menor sensibilidad al agrietamiento.

Sujetar las láminas del material antes y después de realizar el proceso de soldadura para evitar el pandeo por la acción del calor y garantizar una superficie nivelada.

Se recomienda realizar otros tipos de ensayos mecánicos tales como fatiga y charpy para evaluar el comportamiento de las juntas con este proceso.

Comparar los resultados obtenidos con los resultados de otras investigaciones en la cual se hayan usado otros procesos de soldadura.

Realizar la inspección de las probetas mediante el ensayo de inspección radiográfico con el fin de buscar grietas internas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera J. Estrada H. (2015). “
Valencia, Venezuela. . Universidad de Carabobo,
- Arias, F (2012). “
6ª Edición. Caracas: Episteme.
- Aponte Z Juan J. (2010). “
Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Askeland, Donald R. and Phule, Pradeep P. (2004).
Editorial Thomson. 4ta Edición. D.F. México. Pág. 231-497.
- ASME. BPVC, . Section IX, (2010).
pág. 178. Visto en <https://law.resource.org/pub/us/code/ibr/asme.bpvc.ix.2010.pdf>
10/10/2016.
- ASTM (2004). Volume 01.03 Steel--Plate , Sheet, Strip, Wire_ Stainless Steel BarA 1010 _
A 1010M _ 01 ;QTEWMTAVQTEWMTBN.
- ASTM E-190. Visto en
<http://www.beisteelgroup.com/en/uploads/soft/20140403/1396501654.pdf> 20/10/2016.
- ASTM E-8M. ”. ASTM International. Visto en
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id...> 20/10/2016.
- ASTM E-384-99.
ASTM E-384-99. Technical report. ASTM International. Visto en
<http://wenku.baidu.com/view/f2b50436eefdc8d376ee3296.html?from=search> 20/10/2016.
- ASTM 407-7. “

Calle G. y Henao E. . Universidad Tecnológica de Pereira.
Colombia. Visto en <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAVICKERS.pdf> el día
10/10/2016.

Cevallos M. y Diego M. (2013) . Escuela Politécnica
Nacional. Quito. Ecuador.

Compendio de normas para productos de acero (2000).GERDAU AZA. Tercera edición.

Del Gatto L.Titulado E
Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
(2011). Tesis vista de la página <http://159.90.80.55/tesis/000153491.pdf> el día
10/10/2016.

Easterling, Kenneth, (1.990) . Editorial
Butterworths Heinemann. Segunda edición.

Ensayos Mecánicos. Disponible: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgbUAAE/ensaios-mecanicos>. Visto el 08/10/2016.

Estructura del acero. Disponible: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/5-_Estructuras_del_acero_v2.pdf

Fernández A. (2010). La Importancia de la Inspección de Soldadura en la Fabricación y Montaje de Estructuras Metálicas”. Universidad Veracruzana. Coatzacoalcos, México.). Visto en <https://core.ac.uk/download/files/605/16296707.pdf> 11/10/2016.

Gere, J. (2.006). . Editorial Thomson, 6ta Edición. D.F. México.

García M. (2004). 4to curso de ciencias químicas.
Universidad de Málaga. Málaga, España. Visto en http://webdeptos.uma.es/qicm/Doc_docencia/Prog_CCMM_04_05.pdf el 11/10/2016.

Gonzales Y. (2.008).

Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela .

Groover, M. P. (2.007) McGrawHill.
Interamericana de México. 4ta Edición. D.F. México.

- Guzmán F. (2013). . Instituto Politécnico Nacional. D.F. México. Visto en <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12065/ANALISISACERO.pdf?sequence=1> el 10/10/2016.
- I.E.S Cristobal de Monroy. Dpto Tecnologia . Visto en http://www.academia.edu/13443657/Procedimientos_de_uni%C3%B3n_Soldadura 14/10/2016.
- Lincoln Electric. (2015). . San Vicente 1, Edo. Aragua Venezuela. Visto en <https://www.lincolnelectric.com.ve> 07/10/2016.
- Osorio Victor.(2015). . Remetallica. Visto en <http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/remetallica/article/viewFile/1760/1639> 11/10/2016.
- Pérez C. (2010). . Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Tesis vista en la página <http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/6580/1/TESIS.pdf> 08/10/2016.
- Pérez C. y Pullas L. (2009). . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador, Quito. Tesis vista en la página <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf> 09/10/2016.
- Pérez J., Terán J., Alonso E. y Martínez W. (2014). . Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, México. Visto en <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt395.pdf> 02/10/2016.
- Sánchez D. y Santoya A. (2015). . Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Soldadura Protocolo. (2008). . 1era Edición. Colombia.
- Suarez Saa L. . Revista científica Escuela Industrial Ernesto Bertelsen Temple, Universidad Catolica Andrés Bello. Enlace web: <http://slideplayer.es /slide /5460826/>. Revisada el 08/10/2016.

Villegas L. (2.009).

. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Tesis vista en la página <http://159.90.80.55/tesis/000145799.pdf> el día 27/11/2014 el 07/10/2.016



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

D.1.2 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).

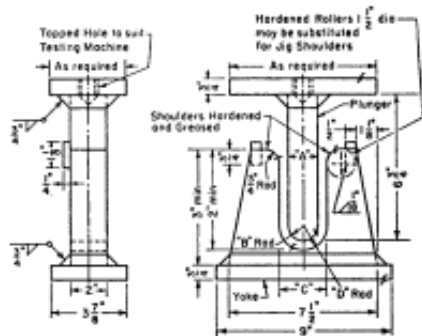
7.1.4 *Longitudinal Face Bend*—The weld is parallel to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the weld-face surface becomes the convex surface of the bent specimen (Fig. 5).

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/E0190-92R08.

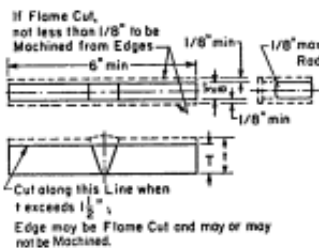
² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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)
3/8 (9.5)	1 1/8 (28)	3/4 (19)	2 1/4 (50)	1 1/4 (30)
1/2 (12.7)	2 1/4 (54)	1 1/4 (27)	2 3/4 (60)	1 3/4 (38)
<i>t</i>	<i>4t</i>	<i>2t</i>	<i>6t + 1/8 (+ 3.2)</i>	<i>3t + 1/4 (+ 1.8)</i>

FIG. 1 Guided Bend Test Jig



<i>t</i> , in. (mm)	<i>T</i> , in.
3/8 to 1 1/2 (9.5 to 38)	<i>t</i>
> 1 1/2 (38)	See Note

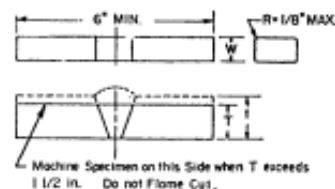
Note 1—For plates over 1 1/2 in. (38 mm) thick, cut specimen into approximately equal strips between 3/8 and 1 1/2 in. (19 and 38 mm) wide and test each strip.

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.



<i>t</i> , in. (mm)	<i>T</i> , in.
3/8 to 1 1/2 (9.5 to 38)	<i>t</i>
> 1 1/2	See Note

Note 1—For plates over 1 1/2 in. (38 mm) thick, cut specimen into approximately equal strips between 3/8 and 1 1/2 in. (19 and 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 3/8-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.



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 superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use in conjunction with 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 “Peyghoff 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 D04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee D04.01 on Specimen Preparation.

Current edition approved May 1, 2007; published May 2007. Originally approved in 1995. Last previous edition approved in 1999 as E 407-99.

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 Document 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 website¹.

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)².

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

¹ <http://www.epa.gov/m/air/air/hell/chromium.html>

² The **boldface** numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

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)



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

Esta norma se basa en el estándar de los números siguientes indican el año de adopción inicial; en el caso de la revisión se indica con un número entre paréntesis la última aprobación. Una @pilon superíndice (e), expresado desde la última edición. 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 de prueba y métodos de calibración de los bloques de referencia dureza.

1.2 Métodos de ensayo incluyen el uso de Vickers y Brinell. El método de 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: Este Comité Técnico centra metales, sin embargo, el método de ensayo descrito es aplicable también a otros materiales.

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

2. Referencias normativas

2.1 ASTM estándar:

C 1326 Método de prueba estándar Advanced Ceramics

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

E 83 preparación de muestras metalográficas

E 77 Términos y Metalografía relacionados

E 102 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 Rockwell. Las relaciones entre)

E término 175 microscopio

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

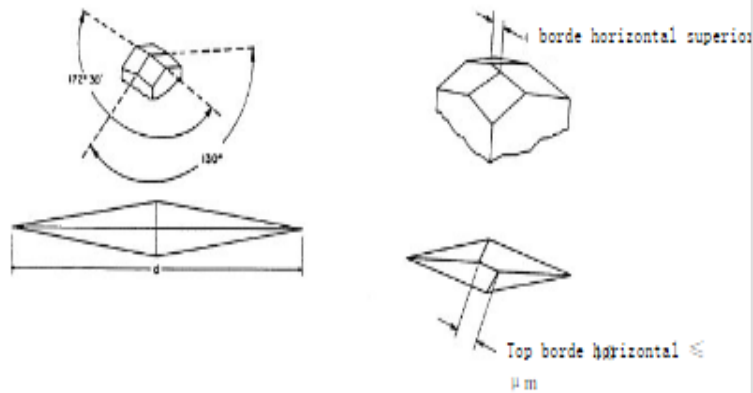
E 766 calibrado de aumento de la SEM

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:

- 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
 $A = 172^\circ 30'$ y 130° $\angle B = 0'$ (ver Fig.
- 3.2.4 micro dureza de penetración de ensayo, n. El uso de un probador predeterminada 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
3.2.6 términos de valor, la fuerza de ensayo de dureza Vickers Vickers --- penetrador de
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 vértice 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 diam
Afectar el cálculo de la dureza del material. Los valores de error de estos parámetros es

No se discuten.

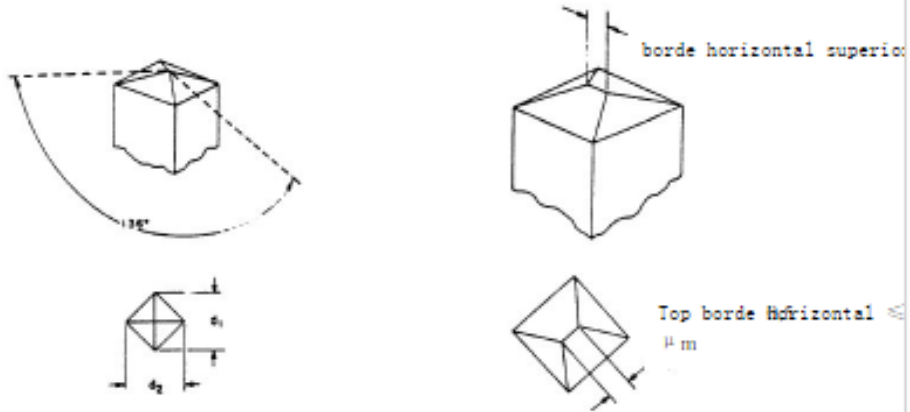
3.3.1 Para la prueba de dureza Knoop, de hecho, la fuerza de ensayo es en gramos - fuerza. Representado, valor de dureza Knoop se calcula como sigue:

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

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

$\angle A$ = ángulo en el vértice entre la dirección longitudinal del borde, $172^\circ 30'$,

$\angle B$ = ángulo en el vértice entre los bordes en la dirección de anchura, $130^\circ 0'$ (ver Fig. 2)

c_p = Constant, y el área proyectada de la indentación y la longitud de diagonal larga de $9801-gf$ ($9.8 \times 10^3 N$) en virtud de la fórmula de cálculo de dureza Knoop. Cuando se desea como resultado de la medición de fuerza de $9801-gf$ ($9.8 \times 10^3 N$) y la fuerza Knoop correspondiente determinaron multiplicador

3.3.2 En kgf / \bar{H} Knoop fórmula de cálculo de dureza es como sigue:

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

donde:

好文档, 让好朋友也看到 X