

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



ESTUDIO DE COMPROBACIÓN DE LA SOLDABILIDAD DE
BARRAS CORRUGADAS DE 1 PULGADA DE DIÁMETRO GRADO
60, FABRICADAS POR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO
TÉRMICO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Trabajo de graduación presentado por Daniel Enrique Serrano Cerón para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología
Industrial.

Guatemala,

2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



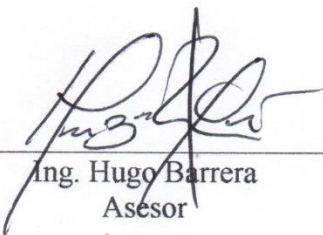
ESTUDIO DE COMPROBACIÓN DE LA SOLDABILIDAD DE
BARRAS CORRUGADAS DE 1 PULGADA DE DIÁMETRO GRADO
60, FABRICADAS POR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO
TÉRMICO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Trabajo de graduación presentado por Daniel Enrique Serrano Cerón para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Tecnología
Industrial.

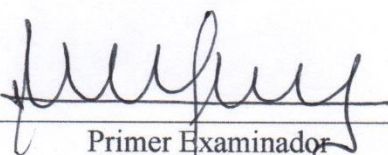
Guatemala,

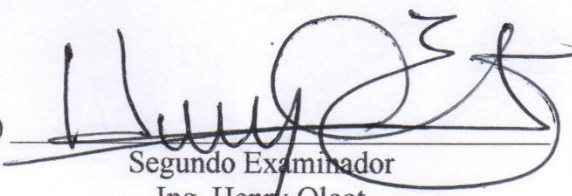
2020

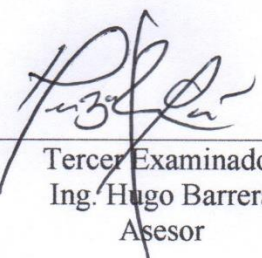
Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Hugo Barrera
Asesor

Tribunal Examinador

(f) 
Primer Examinador
Ing. Hector Alfonso Monzón
Director Facultad de Ingeniería Industrial

(f) 
Segundo Examinador
Ing. Henry Olcot
Catedrático

(f) 
Tercer Examinador
Ing. Hugo Barrera
Asesor

Fecha de aprobación:

Guatemala 10 de diciembre de 2019

PREFACIO

La elaboración de la presente tesis surgió debido a la falta de pruebas justificadas que las barras fabricadas por un proceso de termotratado generan una variación en las propiedades mecánicas al unir por soldadura de arco eléctrico dos barras. Durante el periodo de prácticas supervisadas que realicé en la Corporación que fabrica estas barras, comencé a tomar cierto interés sobre el tema, era un caso que no había sido comprobado para demostrar al cliente que era seguro soldar dos barras termotratadas. El impacto que generaría el realizar este estudio era de mucho beneficio a la Corporación debido a que se tendría un documento comprobado por medio de pruebas mecánicas y químicas que se realizarían. Así comencé el reto de este estudio.

La necesidad de poder realizar este estudio fue confiada a mi persona por el gerente de Control de Calidad de la Corporación, el ingeniero Estuardo Caballeros, una persona con quien conté siempre de su apoyo con la disponibilidad de ensayos y documentos que se requerían. Fui instruido y aconsejado por el ingeniero de área Hugo Barrera que siempre estuvo asesorándome y aconsejándome en la ejecución del estudio, así mismo agradezco a la ingeniera Mayra Méndez y al ingeniero Eriberto Fuentes por los consejos y apoyo brindado para la elaboración de este estudio.

Haber realizado este estudio para la Corporación fue muy reconfortante, debido a que se aplicaron métodos y ensayos que su teoría es aprendida en la universidad pero que ponerlo en práctica trae costos muy elevados, por lo tanto, estoy muy agradecido con la Corporación por facilitarme las herramientas teóricas y ensayos, herramientas que si hubiese sido financiada por mi persona hubiera sido muy costoso realizar el estudio. Al mismo tiempo agradezco a los ingenieros de área que siempre estuvieron apoyándome y asesorándome.

Por último agradezco a mi familia que fueron el pilar importante durante este trayecto, siempre han confiado y brindado su ayuda incondicional a mi persona.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	ix
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS	2
III JUSTIFICACIÓN.....	3
IV MARCO TEÓRICO.....	4
A. BARRAS DE ACERO CORRUGADO	4
1. Definición	4
2. Aplicaciones.....	4
3. Componentes químicos de la barra de acero corrugado	5
a. Mineral de Hierro.....	5
b. Carbón.....	5
c. Manganeso	5
d. Fósforo.....	5
e. Azufre.....	5
f. Silicio	5
4. Tipos de procesos para dar el grado de las barras de acero	6
a. Acero microaleado	6
b. Acero termotratado	6
B. NORMAS TÉCNICAS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS BARRAS DE ACERO CORRUGADA	6
1. Norma ASTM A706/A706M-16.....	6
a. Objetivo.....	6
b. Terminología	6
1) Barra deformada.....	6
a) Deformaciones.....	6

c.	Especificaciones físicas.....	7
d.	Elementos químicos que componen la barra de acero.....	7
e.	Requisitos de tracción	7
f.	Requisitos prueba de doblado	8
g.	Muestreo	8
2.	Norma ASTM A615/A615M-08.....	8
a.	Objetivo.....	8
b.	Terminología	9
1)	Barra deformada.....	9
a)	Deformaciones.....	9
c.	Especificaciones físicas.....	9
d.	Elementos químicos que componen la barra de acero.....	9
e.	Requisitos de tracción	10
f.	Requisitos prueba de doblado	10
g.	Muestreo	11
C.	NORMA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES DETALLADAS QUE SE DEBEN SEGUIR PARA SOLDAR BARRAS CORRUGADAS	11
1.	AWS D1.4/D1.4M-2018 “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”	11
a.	Objetivo.....	11
b.	Alcance	11
c.	Soldadura SMAW	12
d.	Electrodos SMAW.....	12
1)	Periodos de tiempo atmosféricos aprobados de los electrodos.....	12
2)	Tipo de electrodo utilizado	13
e.	Detalles estructurales.....	14
1)	Unión directa a tope	14
D.	NORMAS TÉCNICAS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS SOLDADURAS Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE SOLDADURAS	14
1.	Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras AWS B4.0.2007	14

a.	Ensayo de resistencia a la tensión	14
1)	Objetivo.....	14
2)	Importancia	14
3)	Herramientas	15
4)	Resultados	15
a)	Los datos obtenidos de los ensayos de tracción pueden incluir:	15
b)	Informe del ensayo.....	15
b.	Prueba de doblado	16
1)	Objetivo.....	16
2)	Importante.....	16
3)	Herramientas	16
4)	Probetas transversales	17
5)	Informe del ensayo.....	18
2.	Guía para el ensayo no destructivo de soldaduras AWS 1.10M/B1.10:2009	19
a.	Examen visual (VT)	19
1)	Objetivo.....	19
2)	Herramientas	19
3)	Ventajas.....	19
4)	Desventajas	19
5)	Soldadura mal aplicada.....	20
6)	Áreas que deben inspeccionarse en el proceso de soldadura de dos piezas..	20
a)	Examen visual y actividades de comprobación previa a la soldadura.....	20
b)	Examen visual y actividades de comprobación durante la soldadura	21
c)	Examen visual y actividades de comprobación posteriores a la soldadura	21
b.	Radiográfico (RT).....	21
1)	Objetivo.....	22
2)	Elementos esenciales	22
3)	Ventajas.....	22
4)	Desventajas	22
5)	Tipos de fuente de radiación.....	22

a) Rayos x	23
b) Isotopos radiactivos.....	23
6) Procedimiento básico de ensayo radiográfico.....	23
7) Discontinuidades de soldadura y macro secciones que se pueden encontrar en una Radiografía.....	24
V METODOLOGÍA.....	26
A. PROCESOS Y MÉTODOS	26
1. Análisis de información	26
2. Obtención del recurso	26
3. Preparación del recurso.....	27
a. Características de las barras de acero corrugado.....	30
4. Procedimiento realizado en la unión de barras por soldadura SMAW	30
a. Características importantes de cada tipo de barra soldada.....	32
1) Datos de la soldadura de la barra por composición química	32
2) Datos de la soldadura de la barra por tratamiento térmico	34
5. Ensayos realizados a las barras soldadas	36
a. Inspección de calidad en la soldadura	36
1) Ensayos de resistencia a la tensión	36
a) Preparación de las muestras	36
b) Procedimiento de ensayo.....	38
c) Cálculo de diferencias significativas por el método estadístico de Hipótesis Nula y T student	39
2) Prueba de doblado a la barra.....	45
a) Preparación de muestras para prueba de doblado	45
b) Procedimiento realizado en el ensayo de prueba de doblado	46
3) Macroataque.....	47
a) Procedimiento realizado en el ensayo por Macroataque	47
4) Radiografía.....	49
VI RESULTADOS.....	50
A. RESULTADOS DE ENSAYOS.....	50
1. Ensayos practicados a las muestras soldadas.....	50

a.	Ensayo de tensión.....	50
1)	Resultados de ensayos de tensión de la barra ASTM A706/A706M.....	50
2)	Resultados de ensayos de tensión de la barra ASTM A615/A615M.....	52
3)	Resultado del método estadístico de Hipótesis Nula y T student	53
b.	Prueba de doblado.....	53
1)	Resultados de prueba de doblado, barra A615.....	53
2)	Resultados de prueba de doblado, barra A706.....	54
3)	Comparación de resultados y criterio de aceptación.....	56
c.	Ensayo de radiografía.....	56
1)	Resultados de ensayos de radiografías, barras A615	56
2)	Resultados de ensayos de radiografías, barra A706.....	57
3)	Reporte de radiografías	58
d.	Inspecciones visuales	58
1)	Ensayo de macroataque.....	58
2)	Inspección visual.....	59
VII	ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
A.	RESULTADOS DE ENSAYOS.....	60
1.	Análisis de resultados de ensayo de tensión	60
2.	Análisis de resultados de ensayo de radiografía	60
3.	Inspecciones visuales	60
4.	Análisis de resultados de prueba de doblado	60
VIII	CONCLUSIONES	61
IX	RECOMENDACIONES.....	62
X	BIBLIOGRAFÍA	63
XI	ANEXOS	64
XII	GLOSARIO	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones físicas, A706.....	7
Cuadro 2. Composición química, A706.....	7
Cuadro 3. Propiedades mecánicas, A706.....	8
Cuadro 4. Requisito de prueba de doblado, A706	8
Cuadro 5. Especificaciones físicas, A615.....	9
Cuadro 6. Composición química, A615.....	10
Cuadro 7. Propiedades mecánicas, A615.....	10
Cuadro 8. Requisitos de prueba de doblado, A615.....	11
Cuadro 9. Proceso de fabricación de barras de acero corrugado (Termotratado).....	27
Cuadro 10. Proceso de unión de barras por soldadura SMAW	30
Cuadro 11. Datos importantes para la unión por soldadura, barra A615.....	32
Cuadro 12. Datos Importantes para la unión por soldadura, barra A706	34
Cuadro 13. Preparación de muestra, ensayo de resistencia a la tensión	36
Cuadro 14. Ejecución de ensayo de resistencia a la tensión.....	38
Cuadro 15. Operaciones desviación estándar A615	41
Cuadro 16. Operaciones desviación estándar A706	42
Cuadro 17. Preparación de muestra, prueba de doblado.....	45
Cuadro 18. Ejecución de prueba de doblado	46
Cuadro 19. Ejecución de ensayo por macroataque	47
Cuadro 20. Resultados de ensayos de tensión de barras termo tratadas A706	50
Cuadro 21. Promedios y porcentajes de resultados ensayos de tensión de barra A706....	51
Cuadro 22. Resultados de ensayos de tensión de barras por composición química A615...52	
Cuadro 23. Promedios y porcentajes de resultados de ensayos de tensión de barra A615	52
Cuadro 24. Reporte de ensayos de radiografía	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Barra corrugada	4
Figura 2. Posición para soldar barras en 3G (vertical).....	12
Figura 3. Período de tiempo, electrodo SMAW	13
Figura 4. Tipo de electrodo según el tipo de material base y norma	13
Figura 5. Unión directa a tope, posición 3G (Vertical), con soldadura de ranura de bisel simple.....	14
Figura 6. Probeta de tracción	16
Figura 7. Embolo y espesor de la probeta.....	17
Figura 8. Dimensiones e interpretación de prueba de doblado	18
Figura 9. Soldadura mal aplicada.....	20
Figura 10. Interpretación de un ensayo de radiografía	23
Figura 11. Penetración incompleta	24
Figura 12. Acople alto-bajo	24
Figura 13. Grieta transversal.....	25
Figura 14. Porosidad	25
Figura 15. Escoria	25
Figura 16. Barras de acero	26
Figura 17. Detalles del electrodo E9018 B3	33
Figura 18. Detalles del electrodo E8018 B2	35
Figura 19. Nivel de significación.....	44
Figura 20. Radiografía	49
Figura 21. Medición de grados de dobléz, barra A615 (1).....	53
Figura 22. Medición de grados de dobléz, barra A615 (2).....	53
Figura 23. Libras fuerza, barra A615.....	54
Figura 24. Medición de grados de dobléz, barra A706 (1).....	54

Figura 25. Medición de grados de dobléz, barra A706 (2)	55
Figura 26. Libras fuerza, barra A706.....	55
Figura 27. Resultados de grados de dobléz.....	56
Figura 28. Placas de radiografía, muestra 1 barra A615.....	56
Figura 29. Placas de radiografía, muestra 2 barra A615.....	57
Figura 30. Placas de radiografía, muestra 1 barra A706.....	57
Figura 31. Placas de radiografía, muestra 2 barra A706.....	57
Figura 32. Medición de ángulo de bisel, ensayo macroataque	58
Figura 33. Inspección visual	59

RESUMEN

Es un estudio de soldabilidad y cumplimiento de características físicas y propiedades mecánicas de muestras soldadas de barras corrugadas de acero termotratado comparado con muestras soldadas de barras corrugadas por composición química, ambas barras de grado 60 con un diámetro de 1 pulgada.

Estudio realizado por la ausencia de pruebas justificadas por el consumidor que asume que el calentamiento previo que obtuvo en su fabricación la barra termotratada, genera una variación de las propiedades mecánicas al unir por soldadura de arco eléctrico dos barras.

Se realizaron ensayos mecánicos y físicos para justificar y comprobar que no existan diferencias significativas entre las dos barras y que la adherencia de la soldadura en el material base (barras) sea aprobada. Se siguieron los pasos y características a tomar en cuenta para soldar las barras indicados por la norma AWS D1.4/D1.4M-18 “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”.

Los resultados de las pruebas realizadas dejaron evidencia que no existe diferencia significativa en la comparación de resultados de límite de fluencia de las muestras utilizadas de barra termotratada estandarizada por la norma ASTM A706/A706M con la barra por composición química estandarizada por la norma ASTM A615/A615M. Se utilizó el método de Hipótesis Nula y T student para llegar a la conclusión. Las barras son soldables y aprueban satisfactoriamente la mayoría de pruebas realizadas dejando como única prueba sin cumplir la prueba de doblado, se deja como recomendación no doblar la barra soldada a más de 20° y sin pasar de 6,000 lb_f.

I INTRODUCCIÓN

Las barras de acero de refuerzo para la construcción son fabricadas a base de aditivos como: hierro, carbón, silicio, manganeso, azufre, entre otros, laminadas en caliente a una temperatura aproximada de 927°C. Las barras son utilizadas como elementos de construcción en estructuras como edificios, casa, muros, puentes, entre otros. Estas barras pueden aumentar su grado de resistencia y límite de fluencia por medio de dos procesos, por un choque térmico que, al sufrir un enfriamiento brusco, sus moléculas se alinean haciendo que su estructura molecular eleve la resistencia. Otro proceso es el de composición química final, en la colada de hierro fundido se agregan la cantidad de elementos químicos necesarios para el grado que se desea obtener.

Las barras termotratadas tienen la característica que obtuvo un calentamiento previo en su fabricación para elevar el grado, dejando como una hipótesis que el calentamiento previo genera una variación de las propiedades mecánicas al unir por soldadura por arco eléctrico dos barras. Dejando como objetivo comprobar si es soldable la barra termotratada y si existe diferencias significativas en el límite de fluencia comparada con la barra por composición química.

Se realizarán ensayos mecánicos como prueba de tensión y prueba de doblado, ensayos físicos no destructivos como radiografía e inspección visual en muestras de barras soldadas de los dos procesos de fabricación. Los resultados de las pruebas mecánicas serán comprobados mediante las normas ASTM A706/A706M (barra termotratada) y ASTM A615/A615M (barra por composición química). Los resultados de los ensayos no destructivos serán comparados por la norma AWS 1.10M/B1.10:2009 “Guía para el ensayo no destructivo de soldaduras”. El proceso de soldadura y características a seguir para realizar una correcta soldadura en las muestras, será especificado por la norma AWS D1.4/D1.4M-18 “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”.

Utilizando el método estadístico de Hipótesis Nula y T student se comprobará si existen diferencias significativas en los resultados de límite de fluencia que se obtendrán de los ensayos de tensión. La correcta adherencia de la soldadura se podrá observar por medio de radiografías y ensayo de macroataque. Resultados de ensayos que justificarán la conclusión final.

II OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Comprobar la soldabilidad, aspectos físicos, radiográficos y determinar las diferencias significativas respecto al límite de fluencia de barras corrugadas fabricadas por medio de dos procesos, tratamiento térmico y por composición química final.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la continuidad de la soldadura en las barras y su calidad de adherencia al material.
2. Realizar ensayos mecánicos destructivos, que permitan observar el comportamiento de límite de fluencia de barras corrugadas fabricadas por procesos de tratamiento térmico y composición química.
3. Registrar variaciones físicas en el punto de soldadura de las barras termo tratadas y por composición química.

III JUSTIFICACIÓN

El estudio se llevó a cabo debido a la ausencia de pruebas que justifiquen la óptima soldabilidad de una barra corrugada que ha sido modificada en su estructura cristalina por medio de tratamiento térmico. La ausencia del estudio sobre la soldabilidad ha creado en el consumidor incertidumbre sobre la confiabilidad en la unión de la barra a través de la soldadura por arco eléctrico.

Los costos del proceso por medio del tratamiento térmico son considerablemente más bajos en comparación con los costos del tratamiento químico, siendo este un factor a favor del análisis de la factibilidad del proceso. Ambos procesos anteriormente descritos tienen resultados ligeramente diferentes, sin embargo, a través del estudio se comprobará la efectividad de los resultados obtenidos en la barra termo tratada. De esta forma se garantizará que el producto cumpla con los requerimientos según norma ASTM A706/A706M en cuanto a la unión de barras mediante soldadura al arco eléctrico.

Una barra corrugada de una pulgada está expuesta a 80,000 libras fuerza máximas de tensión en condiciones normales, la barra es expuesta a variaciones de tensión a través de cargas cinéticas, es por esta razón que se realizará un estudio de esfuerzo-deformación, para determinar la cantidad de tensión que resiste la barra soldada antes de su ruptura, garantizando que cumpla con el requerimiento de la norma.

IV MARCO TEÓRICO

A. BARRAS DE ACERO CORRUGADO

1. Definición

Barras de acero laminadas en caliente con marcas resaltadas en su superficie que facilita la adherencia del concreto en la construcción de estructuras.



Figura 1. Barra corrugada

Fuente: Siderúrgica Guatemalteca

2. Aplicaciones

Utilizadas como refuerzo en construcciones de estructuras con recubrimiento de concreto dando una estabilidad y resistencia.

Su aplicación en columnas, edificaciones, puentes, casas, etc. Dan una resistencia y elasticidad adecuada, reduce la posibilidad de su derrumbe teniendo como factores el peso, movimientos sísmicos, deterioro, grado de inclinación.

3. Componentes químicos de la barra de acero corrugado

a. Mineral de Hierro

Es la materia prima principal en la fabricación del acero, extraído en rocas del suelo y montañas.

b. Carbón

Elemento químico agregado a la colada de hierro fundido, dando una mayor resistencia a la tensión al producto terminado, aumenta el índice de fragilidad en frío, disminuye la ductilidad y tenacidad.

c. Manganeso

Elemento químico agregado como parte de la receta de la fabricación de las barras de acero corrugado que tiene como función remover el exceso de oxígeno, previniendo la oxidación y corrosión. Aumenta la dureza de la superficie al disminuir puntos de transformación.

d. Fósforo

En cantidades por debajo del 4% disuelto en la colada de hierro fundido, aumenta ligeramente la resistencia a la tensión y la dureza del producto final.

e. Azufre

Este elemento mejora el manejo de los materiales y facilita el corte del producto final con una sierra o una máquina de corte, propiedad que provee el azufre que evita el desgaste de las herramientas.

f. Silicio

Metaloides agregados a la colada aumentando la resistencia a la tensión del acero sin disminuir en cantidad considerable la ductilidad. El acero líquido sufre una desoxidación a través de la formación de dióxido de silicio.

4. Tipos de procesos para dar el grado de las barras de acero

a. Acero microaleado

En este proceso se agregan composiciones químicas al acero que permiten mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión. Los elementos aleados que se agregan al acero son: carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio.

b. Acero termotratado

El templeado del acero es un tratamiento térmico utilizado para elevar las propiedades mecánicas, consiste en calentar el acero en temperaturas muy elevadas para luego ser enfriado rápidamente, lo que produce un ordenamiento de moléculas que reduce la cristalización y aumenta la resistencia del acero.

B. NORMAS TÉCNICAS DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS BARRAS DE ACERO CORRUGADA

1. Norma ASTM A706/A706M-16

a. Objetivo

Estandarizar las especificaciones mecánicas y químicas que debe cumplir la barra corrugada de acero para la construcción, que su función es soportar cargas. Barra diferenciada con la letra W.

b. Terminología

1) Barra deformada

Barra de acero con resaltes en la superficie que tiene como objetivo usarse como refuerzo en estructuras de concreto.

a) Deformaciones

Resalto o protuberancia longitudinal en la superficie de la barra.

c. Especificaciones físicas

Las barras corrugadas de 1 pulgada certificadas por la norma ASTM A706/A706M-16 deben cumplir con las especificaciones del Cuadro 1.

Cuadro 1. Especificaciones físicas, A706

Designación de Barra No.	Masa Nominal Lb/ft [kg/m]	Diámetro In [mm]	Corte-transversal área In ² [mm ²]	Perímetro In [mm]	Promedio máximo espaciado In [mm]	Promedio mínimo altura In [mm]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.00 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.70 [17.8]	0.050 [1.27]

Fuente: Norma ASTM A706/A706M-16

d. Elementos químicos que componen la barra de acero

En la fabricación de las barras de acero se añaden elementos químicos con parámetros máximos indicados por norma, que definen la calidad y el grado mínimo de límite de fluencia, especificado en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición química, A706

Elemento	Porcentaje máximo
Carbón	0.33%
Manganeso	1.56%
Fósforo	0.043%
Azufre	0.053%
Silicio	0.55%

Fuente: Norma ASTM A706/A706M-16

e. Requisitos de tracción

Las barras de acero corrugado deben cumplir con los parámetros de resistencia mínima y elongación, especificados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Propiedades mecánicas, A706

Elemento	Valor
Resistencia a la tensión (mín.)	80000 psi
Límite de Fluencia (mín.)	60000 psi
Límite de Fluencia (máx.)	78000 psi
Elongación	12%

Fuente: Norma ASTM A706/A706M-16

f. Requisitos prueba de doblado

Prueba llega a los 180° como mínimo, especificado en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Requisito de prueba de doblado, A706

Prueba de doblado	
No. de designación de barra (según norma)	Diámetro de Pin para test de doblado
	Grade 60 [420MPa]
8 [25]	4d

d = diámetro nominal de la muestra

Fuente: Norma ASTM A706/A706M-16

g. Muestreo

La toma de muestras para realizar el ensayo de tensión, límite de fluencia, inspecciones físicas y dimensionales de la barra, debe realizarse de acuerdo a los criterios que toma la planta de producción.

2. Norma ASTM A615/A615M-08

a. Objetivo

Estandarizar las especificaciones mecánicas y químicas que debe cumplir la barra corrugada de acero al carbono para la construcción, que su función es soportar cargas.

b. Terminología

1) Barra deformada

Barra de acero con resaltos en la superficie que tiene como objetivo usarse como refuerzo en estructuras de concreto.

La superficie de la barra contiene corrugas sobre saltadas que impiden el movimiento longitudinal de la barra relativa al concreto que rodea la barra en tal construcción. Los resaltos o protuberancias se ajustan a las disposiciones de esta especificación.

a) Deformaciones

Resalto o protuberancia longitudinal en la superficie de la barra.

c. Especificaciones físicas

Las barras corrugadas de 1 pulgada certificadas por la norma ASTM A615/A615M-08 deben cumplir con las especificaciones del Cuadro 5.

Cuadro 5. Especificaciones físicas, A615

Designación de barra No.	Masa Nominal Lb/ft [kg/m]	Diámetro In [mm]	Corte-transversal área In ² [mm ²]	Perímetro In [mm]	Promedio máximo espaciado In [mm]	Promedio mínimo altura In [mm]
8	2.670 [3.973]	1.00 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.70 [17.8]	0.050 [1.27]

Fuente: Norma ASTM A615/A615M-08

d. Elementos químicos que componen la barra de acero

En la fabricación de las barras de acero se añaden elementos químicos con parámetros máximos indicados por normas, que definen la calidad y el grado mínimo de límite de fluencia, especificado en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Composición química, A615

Elemento	Porcentaje máximo
Carbón	0.43%
Manganeso	1%
Fosforo	0.06%
Azufre	0.05%
Silicio	0.2%

Fuente: Norma ASTM A615/A615M-08

e. Requisitos de tracción

Las barras de acero corrugado deben cumplir con los parámetros de resistencia mínima y elongación, especificados en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Propiedades mecánicas, A615

Elemento	Mínimo
Resistencia a la tensión (mín.)	90000 psi
Límite de fluencia (mín.)	60000 psi
Elongación	8%

Fuente: ASTM A615/A615M-08

f. Requisitos prueba de doblado

Prueba llega a los 180° como mínimo, especificado en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Requisitos de Prueba de doblado, A615

Prueba de doblado	
No. de designación de barra (según norma)	Diámetro de Pin para test de doblado
	Grade 60 [420 MPa]
8	5d

d = diámetro nominal de la muestra

Fuente: Norma ASTM A615/A615M-08

g. Muestreo

La toma de muestras para realizar el ensayo de tensión, límite de fluencia, inspecciones físicas y dimensionales de la barra, debe realizarse de acuerdo a los criterios que toma la planta de producción.

C. NORMA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES DETALLADAS QUE SE DEBEN SEGUIR PARA SOLDAR BARRAS CORRUGADAS

1. AWS D1.4/D1.4M-2018 “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”

a. Objetivo

Establecer el método, material de aporte, preparación de muestra y condiciones que se deben seguir para poder soldar barras corrugadas de refuerzo.

b. Alcance

Este código se aplicará a la soldadura de los siguientes materiales:

- 1) Barra de refuerzo de acero
- 2) Barra de refuerzo de acero al carbono o acero de baja aleación

c. Soldadura SMAW

La soldadura por arco eléctrico es una de las más utilizadas, existen diversas técnicas pueden utilizarse en este tipo de soldadura. Una de esas técnicas es la “Soldadura por arco con electrodo metálico revestido” (SMAW por sus siglas en ingles). La técnica SMAW genera calor en la soldadura por un arco eléctrico entre la pieza a soldar (metal base) y un electrodo metálico consumible (metal de aporte) recubierto con materiales químicos que varían dependiendo el tipo o código de electrodo que este indicara para material puede ser usado.

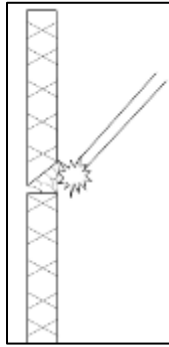


Figura 2. Posición para soldar barras en 3G (vertical)

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

d. Electrodo SMAW

Los electrodos para soldadura SMAW (soldadura de arco eléctrico) deben cumplir con los requisitos de la especificación AWS A5.1/A5.1 “Especificación de electrodos para acero al carbono por electrodos de soldadura de arco para metal protegido”, o con los requisitos de la especificación AWS A5.5/A5.5M “Especificación de electrodos para acero de baja aleación por soldadura de arco metálico protegido”.

1) Periodos de tiempo atmosféricos aprobados de los electrodos

“Después de abrir el recipiente sellado herméticamente, después de retirar los electrodos de los hornos de cocción o almacenamiento, la exposición de los electrodos a la atmósfera no deberá exceder los valores mostrados en la Figura 3, para la clasificación correspondiente de los electrodos.” (AWS D1.4/D1.4M, 2018).

Table 7.3
Permissible Atmospheric Exposure of Low-Hydrogen Electrodes
(see 7.9.2 and 7.9.3)

<u>AWS A5 Electrode Specification</u>	<u>Electrode</u>	<u>Column A (hours)</u>	<u>Column B (hours)</u>
A5.1/A5.1M	E70XX	4 max	
	E70XXR	9 max	
	E70XXHZR	9 max	Over 4 to 10 max
	E7018M	9 max	
	E70XX-X	4 max	Over 4 to 10 max
A5.5/A5.5M	E80XX-X	2 max	Over 2 to 10 max
	E90XX-X	1 max	Over 1 to 5 max
	E100XX-X	1/2 max	Over 1/2 to 4 max
	E110XX-X	1/2 max	Over 1/2 to 4 max

Figura 3. Período de tiempo, electrodo SMAW

Fuente: Norma AWS D1.4/D1.4M-2018

2) Tipo de electrodo utilizado

El electrodo utilizado es seleccionado según el grado de la barra y la norma de calidad que lo certifica. Es importante saber las características del material base para no alterar sus propiedades mecánicas con un electrodo incorrecto. El tipo de electrodo para cada tipo de barra es indicado en la Figura 4, por la norma AWS D1.4/D1.4M “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero” y las características de cada electrodo para soldadura de arco eléctrico en barras de acero corrugado son indicadas por las normas AWS A5.1/A5.1 “Especificación de electrodos para acero al carbono por electrodos de soldadura de arco para metal protegido” y AWS A5.5/A5.5M “Especificación de electrodos para acero de baja aleación por soldadura de arco metálico protegido”.

Table 7.1 (Continued) Matching Filler Metal Requirements (see 7.1)					
Material Group	Steel Specification	Welding Process	AWS A5 Electrode Specification Electrode Classifications^a		
II	ASTM A706 Grade 60 ASTM A706M Grade 420	SMAW	A5.5/A5.5M E8015-X, E8016-X, E8018-X		
			A5.28/A5.28M ER80S-XXX; E80C-XXX		
		GMAW	A5.36/A5.36M ^b Low Alloy Open Classifications ^d E8XTX-XAX-X		
			GTAW A5.28/A5.28M ER80S-XXX, E80C-XXX		
		FCAW	A5.29/A5.29M E8XTX-X, E8XTX-XC, E8XTX-XM		
			Low Alloy Open Classifications ^d E8XTX-C1AX-X, E8XTX-M21AX-X, E8XTX-XAX-X, E8XTX-AX-X		
			SMAW	A5.5/A5.5M E9015-X, E9016-X, E9018-X, E9018M	
				A5.28/A5.28M ER90S-XXX; E90C-XXX	
		III	ASTM 615 Grade 60 ASTM A615M Grade 420	GMAW	A5.36/A5.36M ^b Low Alloy Open Classifications ^d E9XTX-XAX-X
					GTAW A5.28/A5.28M ER90S-XXX, E90C-XXX
FCAW	A5.29/A5.29M E9XTX-X, E9XTX-XC, E9XTX-XM				
	Low Alloy Open Classifications ^d E9XTX-C1AX-X, E9XTX-M21AX-X, E9XTX-XAX-X, E9XTX-AX-X				
	A5.36/A5.36M				

Figura 4. Tipo de electrodo según el tipo de material base y norma

Fuente: Norma AWS D1.4/D1.4M-2018

e. Detalles estructurales

1) Unión directa a tope

Figura 5, describe el tipo de juntas soldadas que requiere. “Para barras de tamaño 8 o menor, se recomienda la soldadura de bisel simple.” (AWS D1.4/D1.4M, 2018)

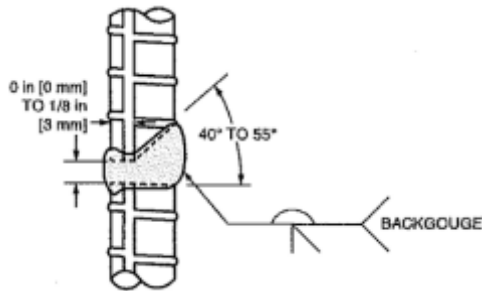


Figura 5. Unión directa a tope, posición 3G (vertical), con soldadura de ranura de bisel simple

Fuente: Norma AWS D1.4/D1.4M-20118

D. NORMAS TÉCNICAS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS DE LAS SOLDADURAS Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE SOLDADURAS

1. Métodos estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras AWS B4.0.2007

a. Ensayo de resistencia a la tensión

1) Objetivo

Tiene como objetivo establecer el método y los pasos a seguir para determinar la calidad y resistencia de tracción en las muestras de barras de juntas soldadas.

2) Importancia

“Proporcionan información sobre las capacidades de soporte carga, el diseño de las juntas y la ductilidad de las juntas soldadas.” (AWS B4.0 , 2007)

3) Herramientas

- a) Vernier
- b) Cinta métrica
- c) Balanza con capacidad de 15.1 kg y aproximación de ± 0.2 gramos
- d) Máquina para ensayo de tracción

4) Resultados

Los ensayos de tracción proporcionan información sobre las capacidades de soportar carga, el diseño de juntas y la ductilidad de las juntas soldadas.

a) Los datos obtenidos de los ensayos de tracción pueden incluir:

- Máxima resistencia a la tracción
- Carga de fluencia
- Punto de fluencia, si se produce
- Porcentaje de elongación
- Porcentaje de reducción de área
- Diagrama de tensión-deformación
- Ubicación y modo de fractura

b) Informe del ensayo

“El informe debe incluir los siguientes datos que validan el resultado y la conclusión tomada.”

- a) *Especificación de metal base.*
- b) *Especificación del metal de aporte.*
- c) *Procedimiento de soldadura y parámetros que se debieron seguir para realizar una correcta soldadura.*
- d) *Tipo de probeta.*
- e) *Geometría de la junta.*
- f) *Ubicación de fractura y tipo de falla determinando si es dúctil o frágil.*
- g) *Resistencia a la tracción.*
- h) *Carga de fluencia en el desplazamiento especificado.*
- i) *Punto de fluencia, si se produce.*
- j) *Porcentaje de elongación.*

k) *Porcentaje de reducción de área.*

(AWS B4.0 , 2007)

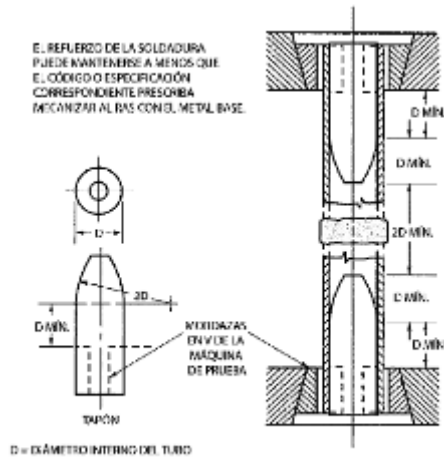


Figura 4.5—Probeta de tracción de sección completa para conducto

Figura 6. Probeta de tracción

Fuente: AWS B4.0:2007

b. Prueba de doblado

1) Objetivo

Tiene como objetivo detectar fusión incompleta, desgarró, micro discontinuidades y el efecto de la configuración del cordón.

2) Importante

“La ductilidad de la junta soldada, según lo evidenciado por su capacidad de resistir al desgarró y a la presencia de defectos en la superficie de la tensión, se determina en una prueba de doblado guiado.” (AWS B4.0 , 2007)

3) Herramientas

- a) Vernier
- b) Cinta métrica
- c) Balanza con capacidad de 15.1 kg y aproximación de ± 0.2 gramos
- d) Máquina para ensayo

- e) Accesorio de máquina, mandril con un rodillo envolvente o soportes en el extremo con un émbolo

4) Probetas transversales

“El procedimiento siguiente es aplicable a la prueba de doblado guiado de probetas transversales:”

- a) “Coloque el lado de la tracción hacia abajo en la superficie de apoyo del accesorio de doblado mostrado en la Figura 7 y Figura 8. La soldadura debe estar centrada en el accesorio con la línea central de la soldadura dentro de 1/16 pulgadas (1.6 mm) del centro del accesorio.” (AWS B4.0, 2007)
- b) “En el caso de accesorios de doblado con un radio en la parte inferior (Figura 8), el émbolo debe forzar la probeta hacia la matriz hasta que la probeta alcance la parte inferior del accesorio.” (AWS B4.0, 2007)

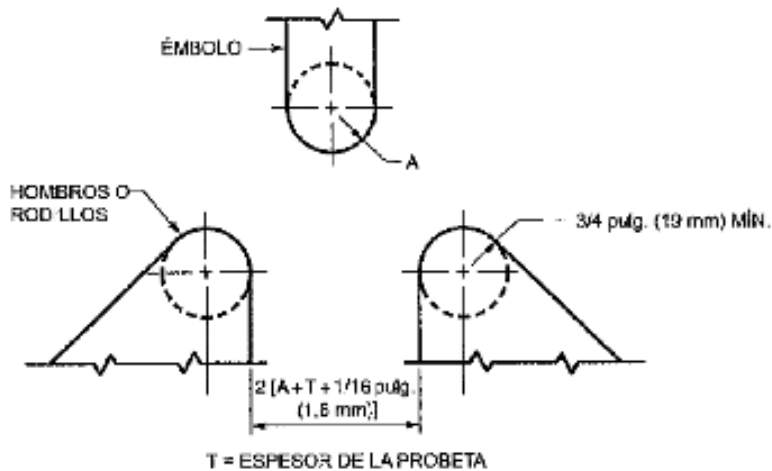
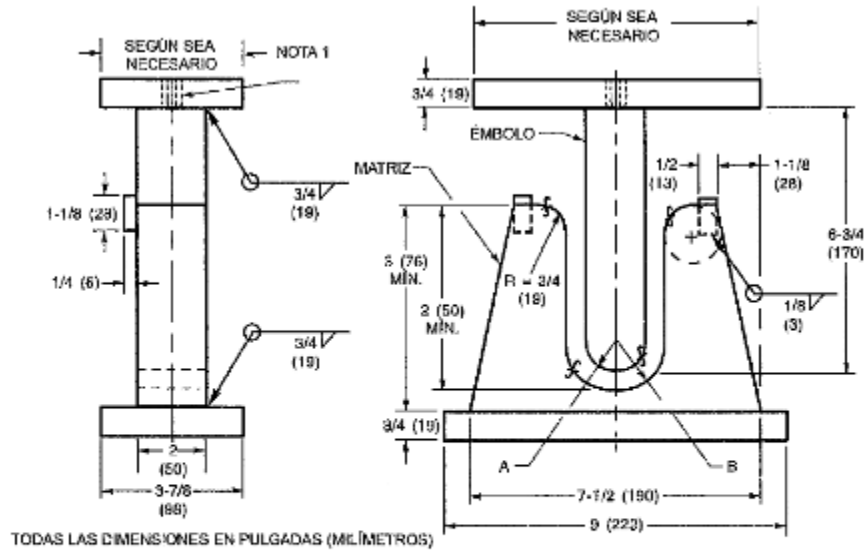


Figura 7. Embolo y espesor de la probeta

Fuente: AWS B4.0:2007



Dimensiones del accesorio para elongación de 20 % de la soldadura		
Espesor de probeta, T pulg. (mm)	Radio del émbolo, A pulg. (mm)	Radio de la matriz, B pulg. (mm)
3/8 (10)	3/4 (19)	1-3/16 (32)
T	2"	A + T + 1/16 (1.6)

Figura 8. Dimensiones e interpretación de prueba de doblado

Fuente: AWS B4.0:2007

5) Informe del ensayo

“El informe debe incluir los siguientes datos que validan el resultado y la conclusión tomada.”

a) Identificación de los materiales:

- Especificación de metal base.
- Especificación del metal de aporte

b) Espesor y ancho de la probeta.

c) Tipo de junta soldada o soldadura de recubrimiento.

d) Números de registro de las especificaciones del procedimiento de soldadura y de la calificación del procedimiento.

e) Pruebas específicas realizadas.

f) Radio de doblado.

g) Temperatura de la prueba.

- h) Número de pruebas por condición o lote.*
 - i) Información adicional: número, tipo, tamaño y ubicación de defectos si existen.*
 - j) Ángulo de doblado, también indicar si la probeta se fractura antes de 180°*
 - k) Cualquier observación de características inusuales de las probetas o del procedimiento.*
- (AWS B4.0 , 2007)

2. Guía para el ensayo no destructivo de soldaduras AWS 1.10M/B1.10:2009

a. Examen Visual (VT)

Es la primera inspección que se realiza a la soldadura, no se necesita un equipo especial para realizarla y es considerado una parte importante y practica del control de calidad.

1) Objetivo

Detectar defectos superficiales en la soldadura y comprobar la limpieza, alineación y dimensiones de la pieza soldada.

2) Herramientas

- a) Vernier
- b) Cinta métrica
- c) Goniómetro

3) Ventajas

- a) Método económico y rápido
- b) Requiere poco equipo

4) Desventajas

- a) Necesidad de una persona experimentada que tenga conocimientos amplios y actualizados
- b) Se limita a condiciones superficiales

5) Soldadura mal aplicada

Se muestran ejemplos de soldadura mal aplicada en las barras en la Figura 9, esto puede generar variación en su resistencia de tracción y discontinuidades en el material de aporte, debe soldarse con la técnica adecuada para evitar estos fallos y que la soldadura sea rechazada.

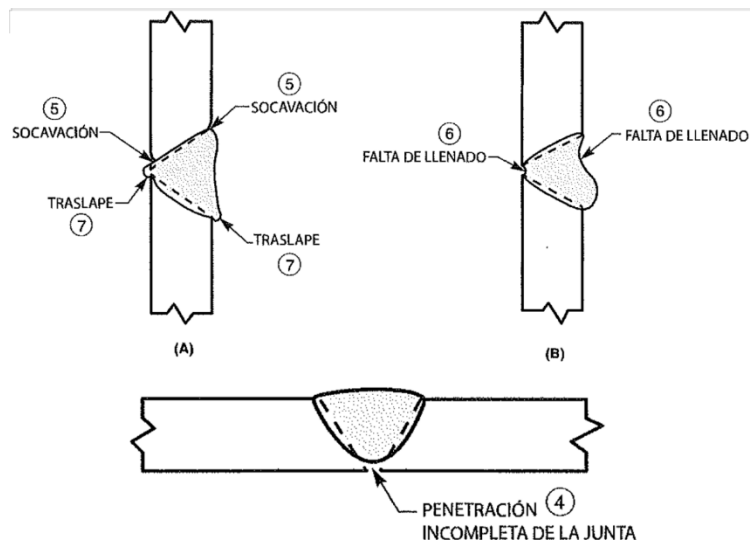


Figura 9. Soldadura mal aplicada

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

6) Áreas que deben inspeccionarse en el proceso de soldadura de dos piezas

“Esta inspección puede evitar discontinuidades que, de otra forma, aparecerían en los ensayos no destructivos posteriores.”

a) Examen visual y actividades de comprobación previa a la soldadura

- Comprobación de los materiales correctos mediante verificación de los registros
- Comprobación de la preparación de los bordes, dimensiones y acabado especificados
- Comprobación de la alineación y el acoplamiento de las piezas
- Comprobación de las dimensiones de la holgura de las tiras de apoyo, los anillos de respaldo y los insertos consumibles
- Comprobación de la limpieza y estado de la soldadura de punteado
- Comprobación del precalentamiento correcto, cuando fuera necesario
- Comprobación del almacenamiento y manipulación correcto de los materiales de aporte

b) *Examen visual y actividades de comprobación durante la soldadura*

- *Proceso de la soldadura y condiciones del sitio*
- *Variables de soldadura y su conformidad con los procedimientos de soldadura*
- *Metal de aporte*
- *Fundente y gases de protección*
- *Temperaturas de precalentamiento y entre pasadas*
- *Secuencia de la soldadura para el control de distorsiones*
- *Preparación del primer lado de la raíz de la soldadura antes soldar el segundo lado*
- *Descascarillado, esmerilado o ranurado entre pasadas*
- *Intervalos de examen (tiempo o secuencia)*
- *Estado adecuado del equipo de soldadura y ubicación de los cables de soldadura*

c) *Examen visual y actividades de comprobación posteriores a la soldadura*

- *Precisión dimensional del conjunto soldado terminado*
- *Terminación de la soldadura*
- *Tamaño de las soldaduras*
- *Contorno, refuerzo y acabado superficial de las soldaduras*
- *Grado de falta de llenado, socavación y traslape*
- *Salpicaduras de soldadura, grietas en el cráter, marcas de impresiones, rayones, ranurado y golpes de arco*
- *Daño por manejo*
- *Terminación del tratamiento térmico posterior a la soldadura*
- *Ensayos no destructivos y resultados*
- *Preparación y mantenimiento de los registros de inspección*

(AWS 1.10M/B1.10, 2009)

b. Radiográfico (RT)

Es un ensayo no destructivo que utiliza radiación para penetrar la soldadura y poder observar en el punto de unión con soldadura y determinar si existe discontinuidad o porosidad que altere la resistencia a la tensión del material.

1) Objetivo

Revelar información esencial acerca de las condiciones internas y externas de la soldadura.

2) Elementos esenciales

“Los elementos esenciales para realizar el ensayo son:”

- a) *Una fuente de radiación*
- b) *Una soldadura a radiografiar*
- c) *Marcadores de identificación de la soldadura, marcadores de estación e indicadores de la calidad de la imagen (IQI)*
- d) *Una película de rayos X en un soporte de película opaco*
- e) *Una persona capacitada capaz de producir una película expuesta*
- f) *Un medio para procesar químicamente la película expuesta*
- g) *Una persona capacitada capaz de interpretar y evaluar las imágenes radiográficas*

(AWS 1.10M/B1.10, 2009)

3) Ventajas

- a) No tiene restricciones en cuanto al material o estructura del grano
- b) Detecta discontinuidades en la superficie y sub superficie
- c) Proporciona un registro permanente para revisiones posteriores

4) Desventajas

- a) Alto costo inicial del equipo
- b) La radiación supone un riesgo potencial para el personal
- c) Se requiere acceso desde ambos lados de la soldadura
- d) Tiempo relativamente largo entre el proceso de exposición y la disponibilidad de resultados

5) Tipos de fuente de radiación

Los dos tipos de fuente de radiación utilizados para los ensayos de soldadura son aparatos de rayos x e isotopos radiactivos.

a) Rayos x

“Es producida mediante energía radiante en forma de rayos x, que varían según la intensidad de energía permitiendo ver objetos visualmente opacos, teniendo como capacidad máxima de alcance radiográfico la visualización de soldaduras gruesas de hasta 20 pulgadas (500 mm) de espesor.” (AWS 1.10M/B1.10, 2009)

b) Isotopos radiactivos

“Emiten radiación gamma, los isotopos más utilizados son iridio 192, penetra efectivamente en la pieza a ensayar hasta 3 pulgadas (75 mm), el cobalto 60 teniendo como capacidad máxima de alcance radiográfico 5 pulgadas (125 mm).” (AWS 1.10M/B1.10, 2009)

6) Procedimiento básico de ensayo radiográfico

- a) Paso 1: La toma de la radiografía
- b) Paso 2: Interpretación

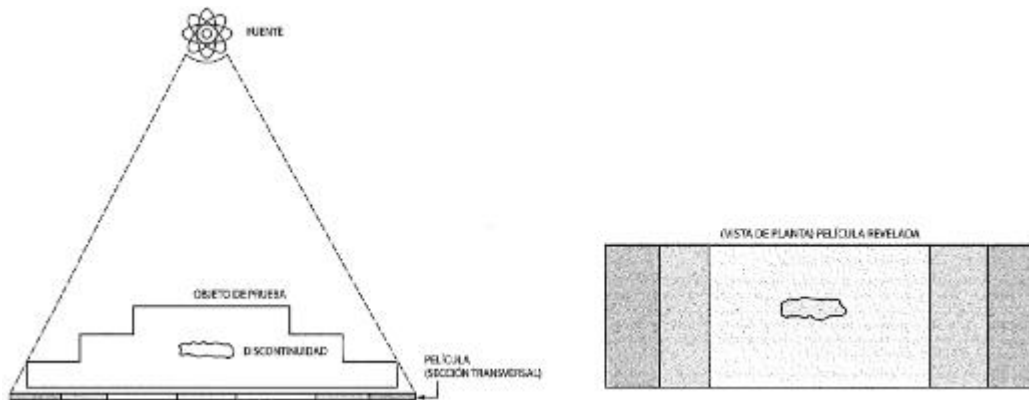


Figura 10. Interpretación de un ensayo de radiografía

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

7) Discontinuidades de soldadura y macro secciones que se pueden encontrar en una Radiografía

- a) *“Una penetración incompleta se puede observar mediante una línea recta aguda. Es una línea recta porque es el borde de corte original que inicia desde la raíz de la muestra.”*
(AWS 1.10M/B1.10, 2009)



Figura 11. Penetración incompleta

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

- b) *“Penetración incompleta debido a la deficiente unión de las barras, también se le denomina acople alto-bajo”* (AWS 1.10M/B1.10, 2009)

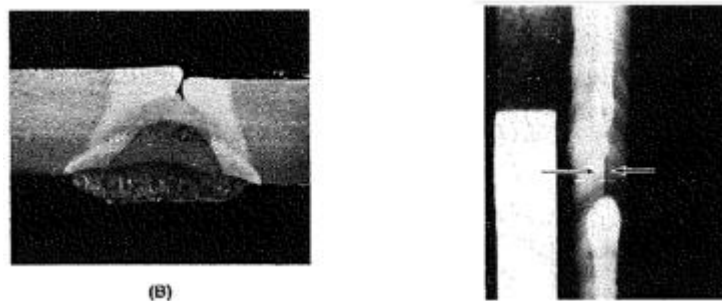
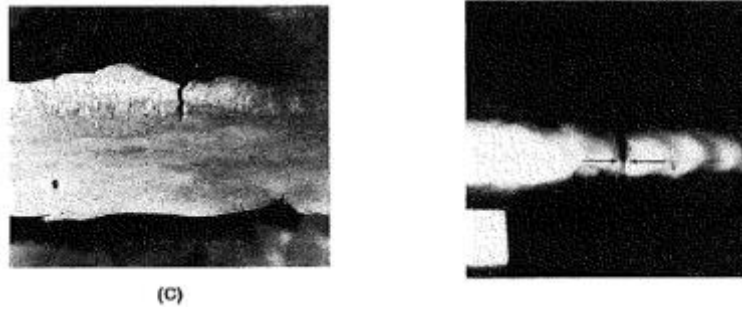


Figura 12. Acople alto-bajo

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

- c) *“Grieta transversal en el material de soldadura, se puede detectar mediante inspección visual, ensayos magnéticos y líquido penetrante.” (AWS 1.10M/B1.10, 2009)*



(C)

Figura 13. Grieta transversal

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

- d) *“Porosidad, se indica mediante óvalos oscuros en el material de aporte de la soldadura.” (AWS 1.10M/B1.10, 2009)*

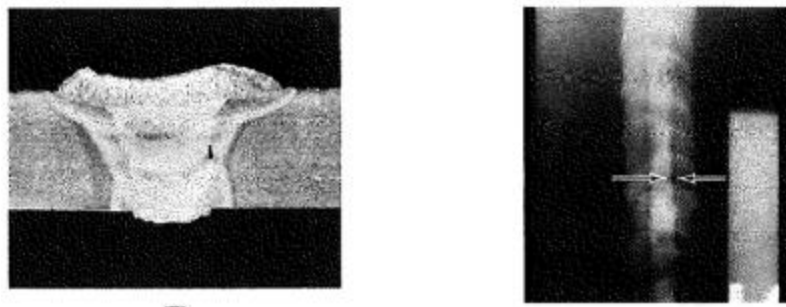


(D)

Figura 14. Porosidad

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

- e) *“Inclusión de escoria alargada.” (AWS 1.10M/B1.10, 2009)*



(E)

Figura 15. Escoria

Fuente: AWS 1.10M/B1.10:2009

V METODOLOGÍA

A. PROCESOS Y MÉTODOS

1. Análisis de información

Se analizan y detallan los procesos de fabricación de las barras, aplicación de soldadura, pasos para realizar los ensayos mecánicos y ensayos físicos practicados que se utilizaron para establecer el proceso detallado a seguir durante el desarrollo experimental basándose en normas y ensayos a nivel de campo, con el fin de concluir y mostrar si existen diferencias significativas del límite de fluencia entre las barras soldadas termotratadas y barras soldadas por composición química y si se generaron discontinuidades al momento de soldar las barras.

2. Obtención del recurso

Se realizó una investigación de campo sobre la comparación de la soldabilidad de barras de acero para la construcción que se fabrican en una Siderúrgica Guatemalteca; esta investigación detalla dos métodos que permiten obtener el cumplimiento respecto a propiedades mecánicas la resistencia a la tensión del acero, por tratamiento térmico y por composición química. La barra que más se comercializa en Guatemala es la que se fabrica bajo la norma de calidad ASTM A615/A615M (por composición química).

Como resultado de la investigación se obtuvo información acerca de la barra que se fabrica bajo la norma de calidad ASTM A706/A706M (tratamiento térmico) que se quiere comercializar con el mismo impacto que tiene la barra A615, la obtención de recursos como ensayos, muestras de los dos tipos de barras y normas en las que se basa el estudio con características técnicas requeridas según el producto fueron proporcionados por la siderúrgica.



Figura 16. Barras de acero

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

3. Preparación del recurso

La preparación del recurso lleva un proceso determinado para su fabricación, en la planta de acería de una siderúrgica de Guatemala se fabrican bajo estándares de calidad las barras de acero que se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Proceso de fabricación de barras de acero corrugado (Termotratado)

Pasos	Como	Anexo
Preparar palanquilla	Se prepara la palanquilla con las especificaciones según el grado de barra que se fabrica	
Ingresa palanquilla al horno	La fabricación de la barra corrugada comienza en calentar la palanquilla a una temperatura de 1,100 °C aproximadamente, para facilitar la reducción de área y el formado.	
Desbastado fase 1	Luego de ser calentada la palanquilla pasa al primer proceso de reducción de área, 3 rodillos ejercen presión sobre la palanquilla permitiendo estirar y reducir	 

Pasos	Como	Anexo
Desbastado fase 2	La palanquilla pasa por una segunda fase de desbaste, pasando por 3 rodillos o cajas de laminación que reducen aún más el área	
Desbastado final	La palanquilla es separada en hilos según el diámetro de barra que se fabrica, pasa por cajas de laminación que detallan el diámetro final de la barra.	
Acabado	Ingresa a una caja laminadora que detalla y ajusta imperfecciones que pueda llevar la barra, agrega las corrugas en la superficie de las barras y especificaciones (grado, marca, número que define el diámetro y el país donde se fabricó)	
Tratamiento térmico	La barra pasa por un tratamiento térmico que eleva el grado de límite de fluencia y resistencia a la tensión	

Pasos	Como	Anexo
Cizalla	La barra es cortada con la longitud que tiene la cama de enfriamiento.	
Enfriamiento	Las barras se enfrían a temperatura ambiente mientras llegan a la banda transportadora de corte.	
Cizalla	Son cortadas a la longitud que requiere el cliente: 6, 9, 12 y 15 metros.	
Empaquetado	Se conforman los paquetes a estándares internos para luego distribuirlos.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019



a. Características de las barras de acero corrugado

De acuerdo con las necesidades en la construcción se fabrican distintos grados, diámetros y longitudes de barras, los factores que definen el diámetro y el grado a utilizar es la resistencia a la tensión y límite de fluencia mínima que se necesite en la estructura que se encuentre en construcción, otro factor es la elasticidad o elongación que debe tener la barra para evitar fracturas en la estructura por algún movimiento brusco que pueda sufrir. Debido a estas propiedades características que tienen las barras se utilizan siempre como bases o soporte en estructuras que llevan hormigón para darle firmeza.

4. Procedimiento realizado en la unión de barras por soldadura SMAW

Cuadro 10, Se detalla el procedimiento para aplicación de soldadura al arco eléctrico basándose en las especificaciones de la norma AWS D1.4/D1.4M-2018 “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero” utilizando dos tipos de electrodos según el tipo de barra, el tipo de electrodo a utilizar es especificado por la norma AWS A5.5/A5.5M. La técnica de bisel seleccionada es junta directa a tope en la posición 3G.

Cuadro 10. Proceso de unión de barras por soldadura SMAW

Qué	Como	Anexo
Cortar muestra	Se cortaron muestras de barras de 35 cm. aproximadamente para luego unir las con soldadura y formar una muestra de 70 cm.	
Bisel	Se corta el bisel en la barra a 40° donde el material de aporte será añadido para unir la barra	

Qué	Como	Anexo
Calentamiento de material base	Se calienta previamente a soldar el material base para eliminar humedad y que el material de aporte se adhiera correctamente.	
Soldar barra	Se suelda en el bisel uniendo con la otra punta de la barra con pequeños cordones hasta llenar toda el área.	
Limpiar escoria	Se limpia la escoria con un cepillo de alambre y un martillo pica escoria cada vez que se finalice un cordón.	
Cepillar soldadura terminada	Se cepilla el área en el que fue unida la barra con soldadura.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

a. Características importantes de cada tipo de barra soldada

1) Datos de la soldadura de la barra por composición química

Datos del procedimiento de soldadura para unión directa a tope en posición 3G de las barras corrugadas certificadas por la Norma ASTM A615/A615M, se muestra en el Cuadro 11 y detalles de la composición química e información característica del electrodo 9018 B3 según Norma AWS A5.5/A5.5M utilizado para soldar la barra, se muestra en la Figura 17.

Cuadro 11. Datos importantes para la unión por soldadura, barra A615

Norma de soldadura de referencia	AWS D1.4/D1.4M-2018, “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”
Norma de especificación de barra	ASTM A615/A615M
Diámetro de barra	No. 8 (Ø 1")
Proceso de soldadura	SMAW
Proceso de electrodo revestido	Manual
Posición de soldadura	3G
Especificación de material de aporte	AWS A5.5/A5.5M
Clase de material de aporte	E9018 B3
Técnica cordón	Recta y pase múltiple
Técnica de arco	Simple
Corriente de soldadura	Continua
Polaridad	Corriente alterna
Tratamiento de la raíz	BACKGOUGE (Soldadura de respaldo)
Limpieza	Cepillo con cerdas de alambre. Pulidora, para limpiar escoria y soldadura de respaldo.

Fuente: Norma AWS D1.4/D1.4M-2018

E9018-B3					
AWS A5.5 Clase E9018-B3					
DESCRIPCIÓN					
El USA 9018-B3 es un electrodo para todas las posiciones, de polvo de hierro y bajo hidrógeno, desarrollado para soldar acero de 2 – ¼% Cr – 1% Mo, que está sujeto a temperaturas elevadas tales como las que se encuentran en las tuberías de electricidad y las industrias de calderas. Este electrodo tiene una eficiencia extremadamente alta de deposición, produciendo depósitos de soldadura de calidad de rayos X con propiedades mecánicas que cumplen o sobrepasan los requisitos de AWS-ASTM. Los electrodos USA 9018-B3 rinden un arco estable y poca salpicadura. Se puede utilizar corriente alterna o directa (polaridad invertida).					
PRECALENTAMIENTO Y POSCALENTAMIENTO					
Se requerirá precalentamiento a una temperatura entre 400-650°F y poscalentamiento a 1250-130°F (por una hora), dependiendo del grosor y las características de endurecido o endurecimiento de la pieza de trabajo.					
APLICACIONES TÍPICAS					
El USA 9018-B3 se utiliza con aceros de tuberías (A335-P22), tubos de acero para calderas y tubos de intercambiador de calor (A199-722, A200-T22, A213-T22), aceros laminados (A387-D), aceros fundidos (A217-C) y aceros forjados (A182-F22, 36-F22).					
QUÍMICA TÍPICA DEL METAL DE SOLDADURA (%)					
C 0.080	Mn 0.770	Si 0.500	Cr 2.250		
P 0.014	Mo 1.020	S 0.010			
PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS DEL DEPÓSITO DE LA SOLDADURA (desestresados)					
Límite elástico (psi).....	99,000				
Resistencia a la tensión (psi).....	110,000				
Alargamiento a 2" (%)	21				
Prueba Charpy con muesca en V, a 75° F (pies por libra)	85				
TAMAÑOS DISPONIBLES Y CORRIENTES RECOMENDADAS (AC o DC+)					
Diám. (pulg.)	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Longitud (pulg.)	14	14	14	14	18
Amps: F	55-85	90-130	135-185	190-250	250-320
V & O	50-80	80-120	110-170	---	---

Figura 17. Detalles del electrodo E9018 B3

Fuente: Norma AWS A5.5

2) Datos de la soldadura de la barra por tratamiento térmico

Datos del Procedimiento de soldadura para unión directa a tope en posición 3G de las barras corrugadas certificadas por la Norma ASTM A706/A706M, se muestra en el Cuadro 12 y detalles de la composición química e información característica del electrodo 9018 B3 según Norma AWS A5.5/A5.5M utilizado para soldar la barra, se muestra en la Figura 18.

Cuadro 12. Datos importantes para la unión por soldadura, barra A706

Norma de soldadura de referencia	AWS D1.4/D1.4M-2018, “Código de soldadura estructural para barras de refuerzo de acero”
Norma de especificación de barra	ASTM A706/A706M
Diámetro de barra	No. 8 (Ø 1")
Proceso de soldadura	SMAW
Carbón equivalente	0.55% máx.
Proceso de electrodo revestido	Manual
Posición de soldadura	2G
Especificación de material de aporte	AWS A5.5/A5.5M
Clase de material de aporte	E8018 B2
Técnica cordón	Recta y pase múltiple
Técnica de arco	Simple
Corriente de soldadura	Continua
Polaridad	Corriente alterna
Tratamiento de la raíz	BACKGOUGE (Soldadura de respaldo)
Limpieza	Cepillo con cerdas de alambre. Pulidora, para limpiar escoria y soldadura de respaldo.

Fuente: Norma AWS D1.4/D1.4M-2018

E8018-B2

AWS A5.5 Clase E8018-B2

DESCRIPCIÓN

El USA 8018-B2 es un electrodo de polvo de hierro y bajo hidrógeno, diseñado para soldar aceros de aleación de 1/2 – 1 ¼ de cromo y ½% de molibdeno que están expuestos a presiones y temperaturas altas. Este electrodo tiene una alta eficiencia de deposición, y produce depósitos de soldadura de calidad de rayos X que cumplen o sobrepasan los requisitos de la prueba de impacto Charpy con muesca en V de la AWS/ASTM. Los electrodos USA 8018-B2 brindan un arco uniforme con poca salpicadura, una apariencia fina del cordón de soldadura y propiedades mecánicas excepcionales. El USA 8018-B2 puede utilizarse con corriente directa o corriente alterna (polaridad invertida).

PRECALENTAMIENTO Y POSCALENTAMIENTO

Dependiendo del grosor y las características de endurecido de la pieza de trabajo, se requiere el precalentamiento a una temperatura entre 300-500°F, y un poscalentamiento a 1250-1350°F (por 1 hora).

APLICACIONES TÍPICAS

El USA 8018-B2 puede utilizarse para muchas especificaciones de la ASTM. Las aplicaciones más comunes incluirían tuberías de vapor de calderas para plantas de energía eléctrica, el equipo que se encuentra en la industria de refinerías, las plantas de sintéticos químicos, y los barcos. (A335-P2, P11, P12, A119-T11, A301-B, A217-WC6, A182-F11)

QUÍMICA TÍPICA DEL METAL DE SOLDADURA (%)

C 0.060 Mn 0.700 Si 0.610 Cr 1.320

P 0.011 Mo 0.550 S 0.010

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS de DEPOSICIÓN

DE LA SOLDADURA (desestresada)

Límite elástico (psi) 85,000
Resistencia a la tensión (psi)..... 97,000
Alargamiento a 2" (%) 25
Prueba Charpy con muesca en V, a 72°F (pies por libra)..... 44
Reducción del área (%) 62

TAMAÑOS DISPONIBLES Y CORRIENTES

RECOMENDADAS (DC+)

Diám. (pulg.)	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Longitud (pulg.)	14	14	14	14	18
Amps: F	60-100	90-130	130-190	190-250	250-300
V&O	60-90	80-120	110-170	—	—

Figura 18. Detalles del electrodo E8018 B2

Fuente: Norma AWS A5.5

5. Ensayos realizados a las barras soldadas

a. Inspección de calidad en la soldadura

Las pruebas de control de calidad de las barras de acero corrugadas soldadas se realizaron en la planta de producción de la Siderúrgica y en un laboratorio externo. Las pruebas que se realizaron para la inspección y control de calidad fueron:

1) Ensayos de resistencia a la tensión





Se realizó un ensayo de tensión para verificar si cumple la resistencia a la tensión, límite de fluencia y elongación que indican las normas las cuales están certificadas las barras. Este ensayo se practicó según los pasos que especifica la norma ASTM A370/A370M-14 “Métodos de pruebas estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero”.

a) Preparación de las muestras

Debe evitarse cortes profundos que puedan invalidar los resultados del ensayo, como realizar la preparación de muestras se detalla en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Preparación de muestra, ensayo de resistencia a la tensión

Qué	Como	Anexo
Preparación de muestra	Muestras a 70 cm.	
Peso de muestra	Se determinó la masa de la barra por medio de una balanza.	


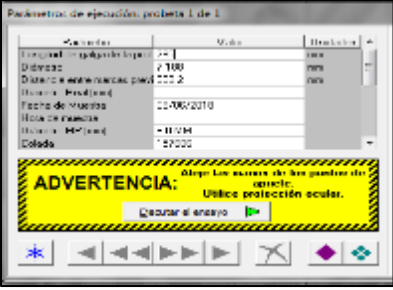


Qué	Como	Anexo
Marcaje de muestra	Se marcó la muestra a cada 2 pulgadas.	
Medición de altura de corruga	Se midió la corruga utilizando vernier y el medidor de profundidad puente, una vez en cada extremo y en cada hilo, 6 medidas. El promedio es la medición final	
Medición de espaciamiento de corruga	Utilizando vernier se midieron 8 pulgadas o 5 marcas, luego se contaron cuantas corrugas quedan de por medio, el total de la división fue el espaciamiento de corruga.	
Medición de ancho de ribete	Utilizando vernier se midieron de los dos lados de la barra el ribete o vena.	


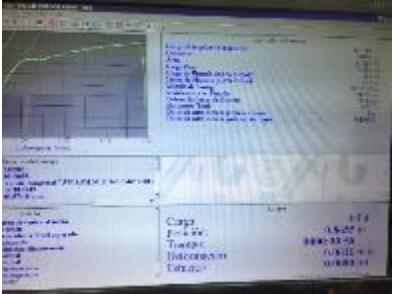
Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

b) Procedimiento de ensayo

Los pasos detallados del proceso de ejecución del ensayo de tensión se detallan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Ejecución de ensayo de resistencia a la tensión

Qué	Como	Anexo
Preparación de máquina	Se colocaron las alzas en la máquina, sujetan la barra en el ensayo, se determina la medida de alza según la medida de barra a ensayar.	
Ingreso de datos al software	Se ingresaron los datos que solicita el software	
Iniciación de ensayo	Luego de haber ingresado los datos anteriores al software de la máquina se procedió a iniciar el ensayo.	
Retiro de muestra	Se retiró la muestra de la máquina de ensayos	

Qué	Como	Anexo
Medición de elongación	Utilizando vernier se midieron 8 pulgadas o 5 marcas dejando la ruptura de por medio, el resultado en milímetros se resta a 203.2 (8pulgadas), se divide por 203.2 y se multiplica por 100. Teniendo como resultado el porcentaje de elongación.	
Resultados	Se analizaron e interpretaron los resultados.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

c) Cálculo de diferencias significativas por el método estadístico de Hipótesis Nula y T student

Se utilizó el método estadístico Hipótesis Nula y T student para determinar si existe diferencias significativas entre los resultados de las barras ensayadas, se utilizaron los resultados del Límite de Fluencia debido a que es el único parámetro que comparten las normas que certifican a las barras.

a) Hipótesis

Sea μ_A : Límite de fluencia de barras bajo norma ASTM A615/A615M, soldadas

μ_B : Límite de fluencia de barras bajo norma ASTM A706/A706M, soldadas

✓ $H_0 = \mu_A = \mu_B$

✓ $H_1 = \mu_A \neq \mu_B$

b) Datos de límite de fluencia de muestras ensayadas

Datos utilizados para el cálculo de diferencias significativas por el método Hipótesis Nula y T student se encuentran en el Cuadro 20 con 13 datos y Cuadro 22 con 10 datos, título en el cuadro de los datos “límite de fluencia”.

c) Cálculo de media

Fórmula de la Media = \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

- Media de resultados A615 = \bar{X}_1

Datos

- ✓ Suma de resultados de muestras ensayadas (X_j): 735,994
- ✓ Número de muestras (n): 11

$$\bar{X} = \frac{735,994}{11}$$

$$\bar{X} = 66,908.55$$

- Media de resultados A706 = \bar{X}_2

Datos

- ✓ Suma de resultados de muestras ensayadas (X_j): 954,878
- ✓ Número de muestras (n): 13

$$\bar{X} = \frac{954,878}{13}$$

$$\bar{X} = 73,452.15$$

d) Desviación estándar

Fórmula de la Desviación Estándar = S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- Desviación Estándar de resultados A615 = S₁

Datos

- ✓ X_j: Resultado de límite de fluencia de cada muestra
- ✓ \bar{X} : 66,908.55
- ✓ n: 11

Cuadro 15. Operaciones desviación estándar A615

No.	x _i - x _i	(x _i - x _i) ²	∑ (x _i - x _i) ²	n - 1	S (desviación estándar)
1	-560.55	314,211.21	9,934,104.73	10	996.70
2	547.45	299,706.48			
3	101.45	10,293.02			
4	2,610.45	6,814,472.93			
5	280.45	78,654.75			
6	-763.55	583,001.66			
7	-954.55	911,157.02			
8	-891.55	794,853.30			
9	-292.55	85,582.84			
10	101.45	10,293.02			
11	-178.55	31,878.48			

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

- Desviación Estándar de muestras A706 = S₂

Datos

- ✓ X_j: Resultado de tensión de cada muestra
- ✓ \bar{X} : 73,452.15
- ✓ n: 13

Cuadro 16. Operaciones desviación estándar A706

No.	x _i - x _j	(x _i - x _j) ²	∑ (x _i - x _j) ²	n - 1	S (desviación estándar)
1	-546.15	298,284.02	3,497,969.69	12	539.91
2	89.85	8,072.33			
3	-330.15	109,001.56			
4	675.85	456,768.02			
5	-661.15	437,124.41			
6	-101.15	10,232.10			
7	-228.15	52,054.18			
8	-699.15	488,816.10			
9	102.85	10,577.33			
10	38.85	1,509.02			
11	51.85	2,688.02			
12	1,210.85	1,466,148.41			
13	395.85	156,694.18			

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

e) Diferencia significativa por prueba de hipótesis para la diferencia de medias

Fórmula

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s^1}{n_1} + \frac{s^2}{n_2}}}$$

- ✓ Sub índice 1: 615
- ✓ Sub índice 2: 706

Datos

$$\checkmark \bar{X}_1 = 66,908.55$$

$$\checkmark n_1 = 11$$

$$\checkmark \bar{X}_2 = 73,452.15$$

$$\checkmark n_2 = 13$$

$$\checkmark \mu_1 = 0$$

$$\checkmark s_1 = 996.70$$

$$\checkmark \mu_2 = 0$$

$$\checkmark s_2 = 539.91$$

$$t_c = \frac{(66,908.55 - 73,452.00) - (0 - 0)}{\sqrt{\frac{996.70}{11} + \frac{539.91}{13}}}$$

$$t_c = \frac{-6,543.61}{\sqrt{90.61 + 41.53}}$$

$$t_c = \frac{6,088.73}{\sqrt{132.14}}$$

$$t_c = \frac{6,088.73}{11.50}$$

$$t_c = -569.25$$

- Regla de decisión

Fórmula

Grado de libertad = $(n_1 + n_2) - 2$ (Grado de libertad, constituye el número de formas en que los datos pueden variar libremente)

Datos

✓ $n_1 = 11$

✓ $n_2 = 13$

$$\text{Grado de libertad} = (11 + 13) - 2$$

$$\text{Grado de libertad} = 22$$

El valor obtenido deberá estar dentro del rango de mayor probabilidad (95%), debido a que es un número positivo.

Nivel de Significación

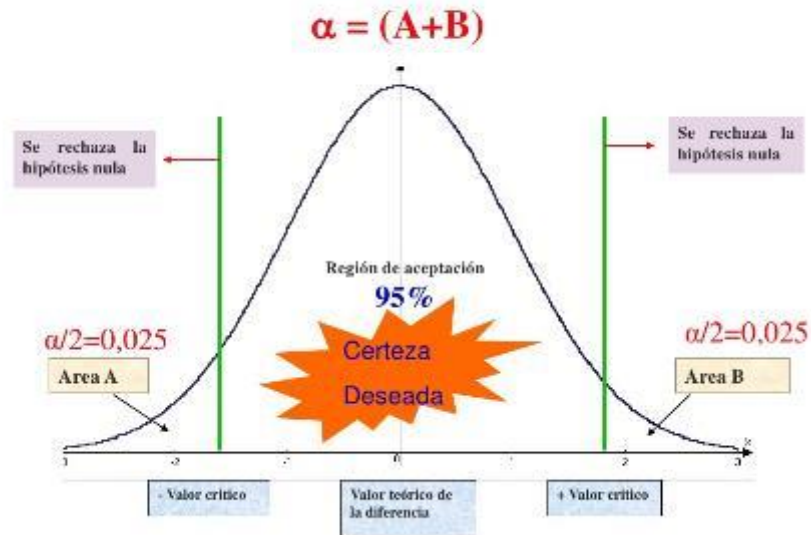


Figura 19. Nivel de significación

Fuente: <https://es.slideshare.net/jab2801/t-de-student-para-dos-muestras-independientes-9249928>

$$\alpha = 0.025$$

Grado de libertad= 22

✓ Valor crítico en la Tabla: $2.074 = t_{\text{crítico}}$ (Dato obtenido utilizando la tabla del anexo 1, página 66)

Si $|t_{\text{obtenido}}| \geq |t_{\text{crítico}}| =$ se rechaza la H_0

Según el criterio: $-569.25 < 2.074 = |t_{\text{obtenido}}| \leq |t_{\text{crítico}}| =$ No existe Diferencia, $H_0 =$ ACEPTADA


2) Prueba de doblado a la barra

Se practicó la prueba de doblado en muestras de barras de acero soldadas para determinar el cumplimiento con la elasticidad y el grado de dobléz que indica la norma aplicada. Este ensayo se practicó según los pasos que especifica de la norma ASTM A370/A370M-14 “Métodos de pruebas estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero”.

a) Preparación de muestras para prueba de doblado

Para una correcta prueba de doblado se siguieron los siguientes pasos en la preparación de la muestra, se detalla en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Preparación de muestra, prueba de doblado

Qué	Como	Anexo
Corte de muestra	Se cortaron muestras a 40 cm, dejando el punto de soldadura en el medio de las muestras.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

b) Procedimiento realizado en el ensayo de prueba de doblado

Los pasos que se siguieron para una correcta prueba de doblado y manipulación de la máquina, se detalla en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Ejecución de prueba de doblado

Qué	Como	Anexo
Preparación de máquina	Colocó el pin de doblado según la medida de barra a ensayar, especificado en la Norma ASTM A706/A706M y ASTM A615/A615M.	
Iniciación de prueba	Se inició la prueba de doblado, el pin ejerció la fuerza sobre la muestra, teniendo como medida mínima de aprobación 180° de ángulo.	
Retiro de muestra	Se retiró la muestra de la máquina de ensayos	
Resultados	Se analizaron e interpretaron los resultados.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019



3) Macroataque




Método destructivo de inspección a la soldadura que tiene como finalidad visualizar la microestructura del material de aporte y el material base, la fusión entre materiales y su correcta aplicación. También permite evaluar la pieza soldada, medir e inspeccionar el punto de fusión de la soldadura y sus dimensiones.

a) Procedimiento realizado en el ensayo por macroataque

Para una correcta inspección a la soldadura por el método macroataque, se siguieron los siguientes pasos en la ejecución de la prueba, se detalla en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Ejecución de ensayo por macroataque

Qué	Como	Anexo
Corte de muestra	Se cortó una muestra de 15 cm dejando la soldadura en el medio.	
Preparación de muestra	Se tomó la muestra del paso anterior y se cortó por la mitad, dejando visible la cara interna de la barra para que se pueda apreciar el área rellenada por soldadura.	

Qué	Como	Anexo
Iniciar ensayo	Se tomó la muestra con una pinza y se sumergió en ácido clorhídrico entre el 4 y 9% de concentración, dejándolo reposar dentro de una campana de extracción, se observa la aparición de burbujas (por el hidrógeno formado) cuando ya no se observó ninguna burbuja se procedió a retirar la muestra, aproximadamente 30 minutos.	
Extracción de muestra	Con una pinza se retiró la muestra del recipiente con ácido (dentro de la campana de extracción) luego se lavó y secó la muestra	
Resultados	Se analizaron e interpretaron los resultados.	

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

4) Radiografía

Ensayo realizado en un laboratorio externo, trató de la toma de radiografías en el punto de soldadura de las barras, esto con el objetivo de ver si se produjo una discontinuidad interna o externa en la soldadura o incorrecta adherencia entre el material de aporte y material base. Fueron utilizadas 8 placas de que permiten visualizar internamente la muestra, tomándose en 2 posiciones distintas de 4 muestras de barras corrugadas soldadas. Se muestra en la Figura 18 una placa de radiografía de una muestra.



Figura 20. Radiografía

Fuente: Laboratorio "ENCONTROL S. A."

VI RESULTADOS

A. RESULTADOS DE ENSAYOS

1. Ensayos practicados a las muestras soldadas

Se detallan los resultados de los ensayos mecánicos y físicos realizados en las muestras soldadas de las barras A706/706M comparados con los resultados de las muestras soldadas de barras A615/A615M.

a. Ensayo de tensión

Se determinaron las propiedades mecánicas de las muestras de barras soldadas por medio de ensayo de tensión a 13 muestras de barras corrugadas A706 (termotratada) y 11 muestras de barras corrugadas A615 (Por composición química).

1) Resultados de ensayos de tensión de la barra ASTM A706/A706M

Cuadro 20. Resultados de ensayos de tensión de barras termo tratadas A706

No.	Masa unitaria (lb/ft)	Espaciamento promedio entre corrugas (in)	Altura promedio de corruga (in)	Ancho de vena promedio (in)	Límite de fluencia (psi)	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación en 8 in (%)	Rupturas en la soldadura
1	2.657	0.511	0.076	0.169	72,906	95,404	16.16	No
2	2.681	0.511	0.076	0.169	73,542	92,704	9.34	Sí
3	2.665	0.511	0.076	0.169	73,122	95,429	11.86	No
4	2.615	0.511	0.076	0.169	74,128	96,015	12.81	Sí
5	2.659	0.511	0.076	0.169	72,791	92,513	8.48	Sí
6	2.628	0.511	0.076	0.169	73,351	95,671	9.88	Sí
7	2.667	0.511	0.076	0.169	73,224	96,359	16.94	No
8	2.651	0.511	0.076	0.169	72,753	93,545	10.08	Sí
9	2.690	0.511	0.076	0.169	73,555	86,071	7.39	Sí
10	2.644	0.511	0.076	0.169	73,491	89,152	4.78	Sí

No.	Masa unitaria (lb/ft)	Espaciamiento promedio entre corrugas (in)	Altura promedio de corruga (in)	Ancho de vena promedio (in)	Límite de fluencia (psi)	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación en 8 in (%)	Rupturas en la soldadura
11	2.687	0.511	0.076	0.169	73,504	91,151	5.71	Sí
12	2.702	0.511	0.076	0.169	74,663	94,652	7.89	Sí
13	2.658	0.511	0.076	0.169	73,848	96,613	12.26	Sí

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

Cuadro 21. Promedios y porcentajes de resultados ensayos de tensión de barra A706

	Masa unitaria (lb/ft)	Espaciamiento promedio entre corrugas (in)	Altura promedio de corruga (in)	Ancho de vena promedio (in)	Límite de fluencia (psi)	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación en 8 in (%)	Rupturas en la soldadura
Promedio	2.662	0.511	0.076	0.169	73,419	93,222	10.11	
Desviación estándar	0.026	0	0	0	550	3,136	3.78	
Porcentaje de Barras que superaron el ensayo					100%	100%	72.73%	30.77%

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica y Daniel Serrano

2) Resultados de ensayos de tensión de la barra ASTM A615/A615M

Cuadro 22. Resultados de ensayos de tensión de barras por composición química A615

No.	Masa unitaria (lb/ft)	Espaciamento promedio entre corrugas (in)	Altura promedio de corruga (in)	Ancho de vena promedio (in)	Límite de fluencia (psi)	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación en 8 in (%)	Rupturas en la soldadura
1	2.601	0.471	0.054	0.125	66,348	98,103	4.85	No
2	2.665	0.471	0.059	0.126	67,456	100,968	7.23	No
4	2.621	0.471	0.064	0.125	67,010	102,215	13.17	No
5	2.602	0.471	0.063	0.131	69,519	101,184	10.14	No
6	2.649	0.471	0.058	0.125	67,189	100,917	8.89	No
7	2.599	0.471	0.057	0.139	66,145	101,413	15.54	No
8	2.567	0.471	0.056	0.128	65,954	85,307	3.48	Sí
9	2.574	0.471	0.055	0.121	66,017	100,726	11.06	No
10	2.628	0.471	0.061	0.128	66,616	102,075	14.03	No
11	2.595	0.471	0.057	0.122	67,010	101,006	8.25	No

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

Cuadro 23. Promedios y porcentajes de resultados de ensayos de tensión de barra A615

	Masa unitaria (lb/ft)	Espaciamento promedio entre corrugas (in)	Altura promedio de corruga (in)	Ancho de vena promedio (in)	Límite de fluencia (psi)	Resistencia a la tensión (psi)	Elongación en 8 in (%)	Rupturas en la soldadura
Promedio	2.612	0.471	0.059	0.127	71,664	98,718	9.62	
Desviación estándar	0.028	0	0.003	0.005	11,405	5,502	4.28	
Porcentaje de barras que superaron el ensayo					100%	90.91%	72.73%	90.91%

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica y Daniel Serrano

3) Resultado del método estadístico de Hipótesis Nula y T student

No existe Diferencia, $H_0 =$ ACEPTADA

b. Prueba de doblado

Se determinó por medio de la prueba de doblado el grado de doblez que soportaron 2 muestras de barras soldadas, 1 muestra de barra corrugada A706 (termotratada) y 1 muestra de barra corrugada A615 (por composición química). Su resultado fue comparado con el grado mínimo que indican las normas, 180° .

1) Resultados de prueba de doblado, barra A615



Figura 21. Medición de grados de doblez, barra A615 (1)

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

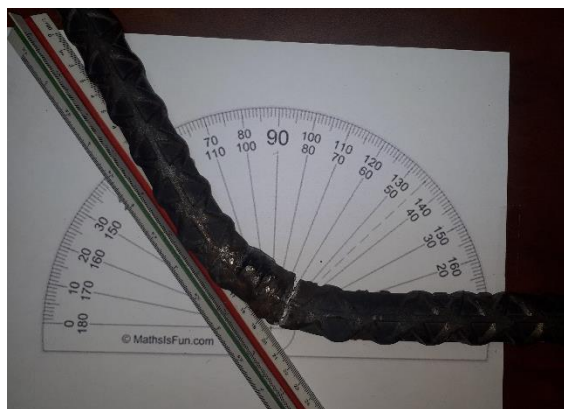


Figura 22. Medición de grados de doblez, barra A615 (2)

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

a) Punto máximo de carga = 7,910 lbf.

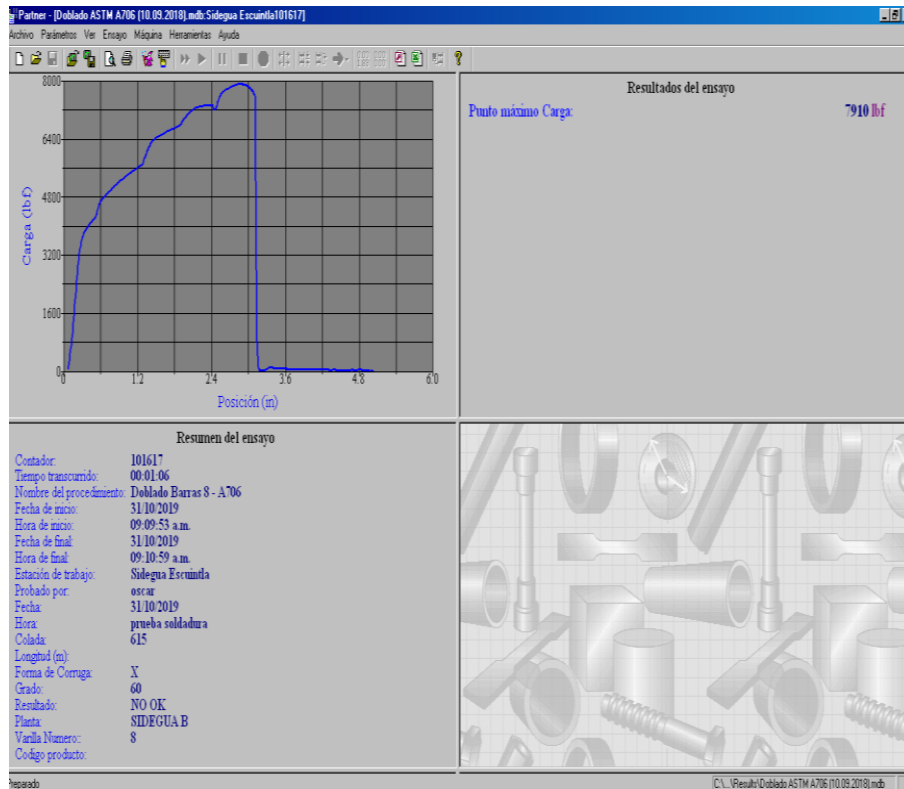


Figura 23. Libras fuerza, barra A615

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

2) Resultados de prueba de doblado, barra A706

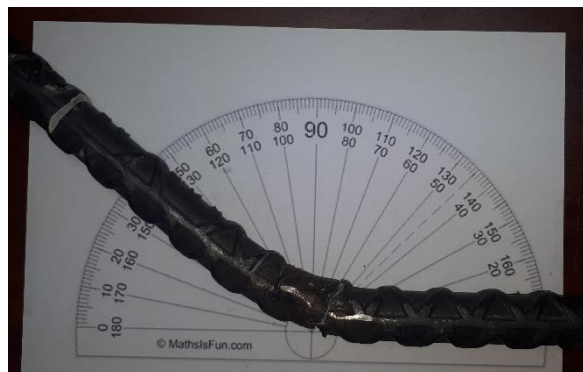


Figura 24. Medición de grados de doblado, barra A706 (1)

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

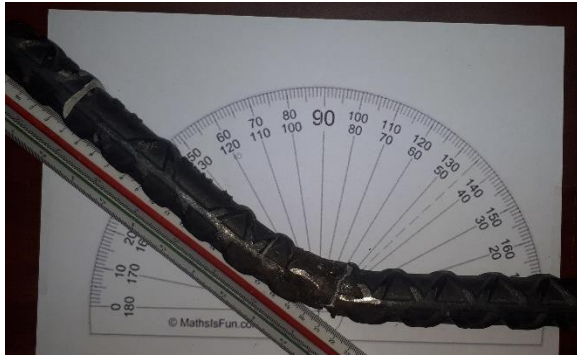


Figura 25. Medición de grados de doblez, barra A706 (2)

Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

b) Punto máximo de carga= 6,710 lb_f.

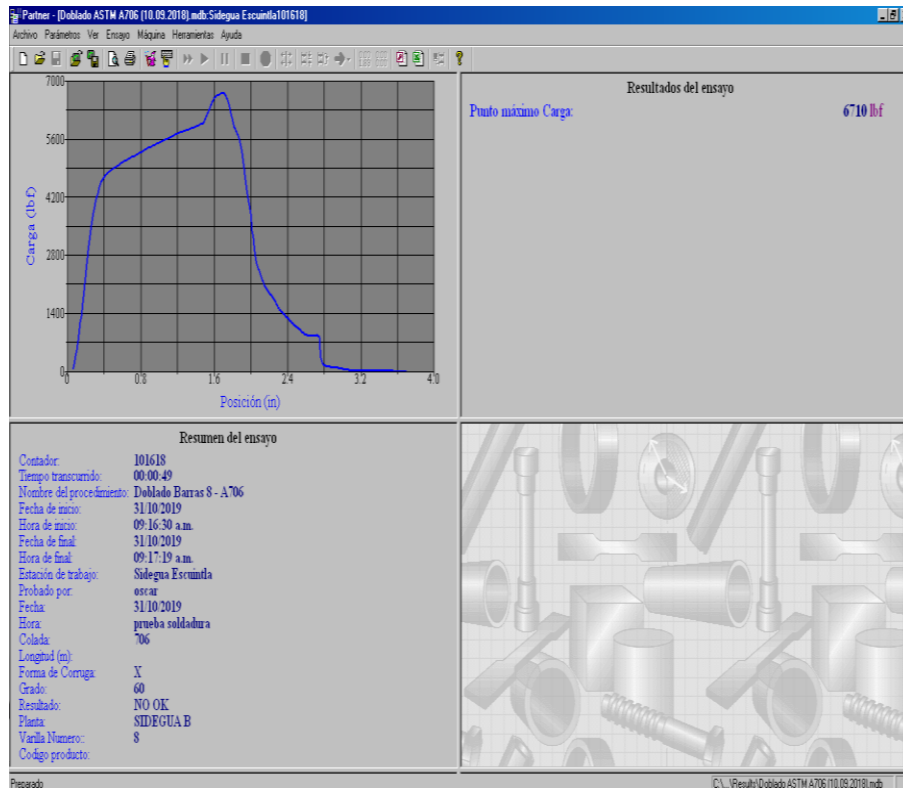


Figura 26. Libras fuerza, barra A706

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

3) Comparación de resultados y criterio de aceptación

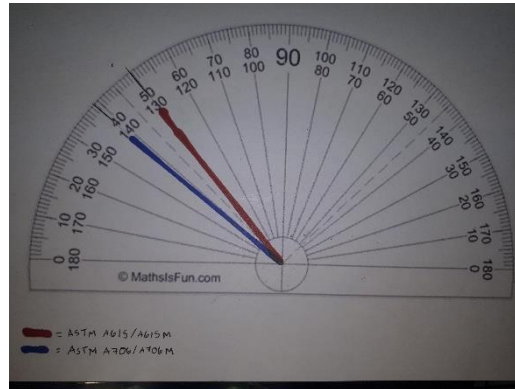


Figura 27. Resultados de grados de doblado
Fuente: Daniel Serrano, informe de tesis, UVG, 2019

Barra termotratada A706 asignada con color azul: 39°
Barra por composición química A615 asignada con color rojo: 50°
No pasa la prueba de doblado ya que el grado mínimo de doblado es de 180°

c. Ensayo de radiografía

Se observó por medio del ensayo de radiografía si existe discontinuidades en la soldadura o falta de penetración del material de aporte, se ensayaron 4 muestras, 2 muestras de barras corrugadas A706 (termotratada) y 2 muestras de barras corrugadas A615 (por composición química). Se muestran 2 radiografías de 2 lados diferentes por cada muestra.

1) Resultados de ensayos de radiografías, barras A615

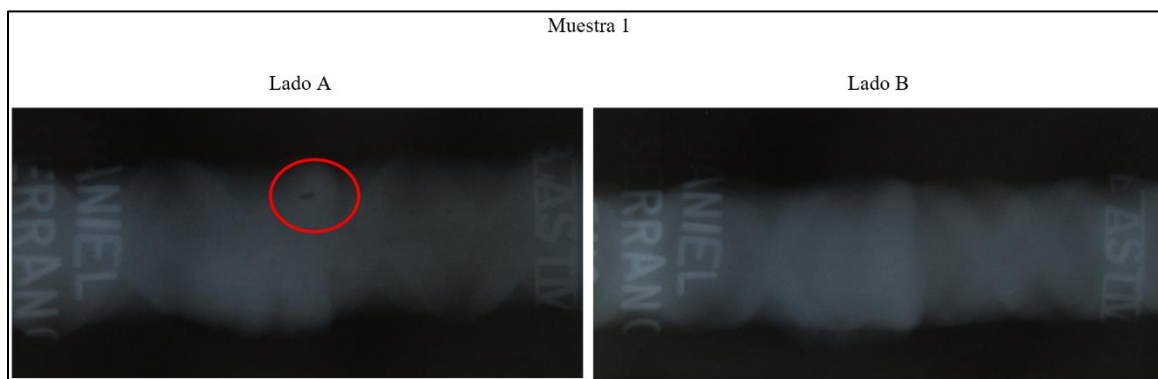


Figura 28. Placas de radiografía, muestra 1 barra A615

Fuente: Laboratorio "ENCONTROL S. A."

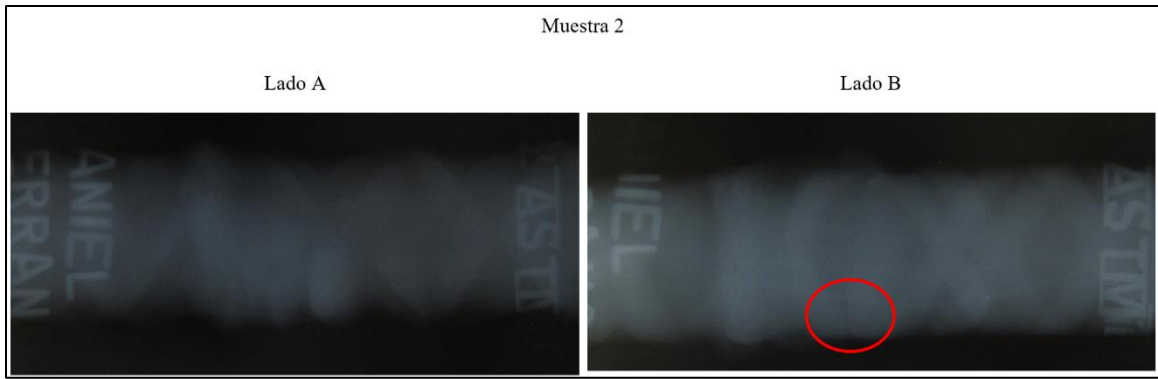


Figura 29. Placas de radiografía, muestra 2 barra A615

Fuente: Laboratorio "ENCONTROL S. A."

2) Resultados de ensayos de radiografías, barra A706

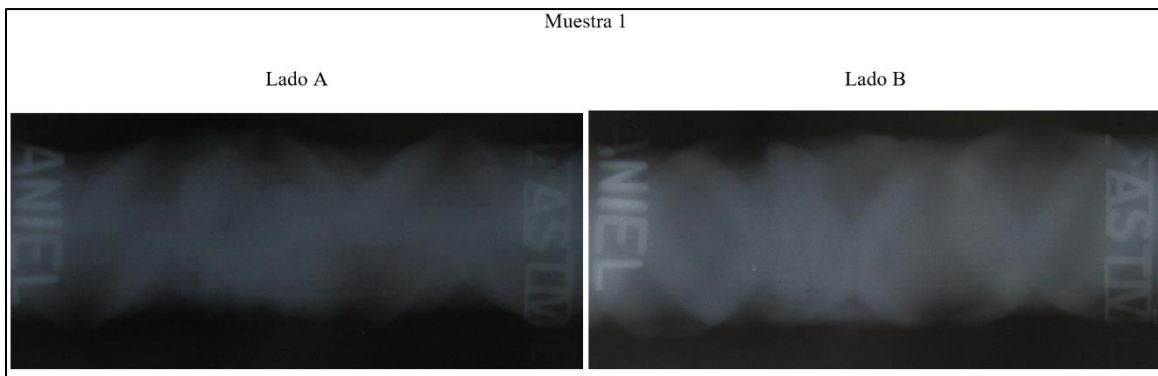


Figura 30. Placas de radiografía, muestra 1 barra A706

Fuente: Laboratorio "ENCONTROL S. A."

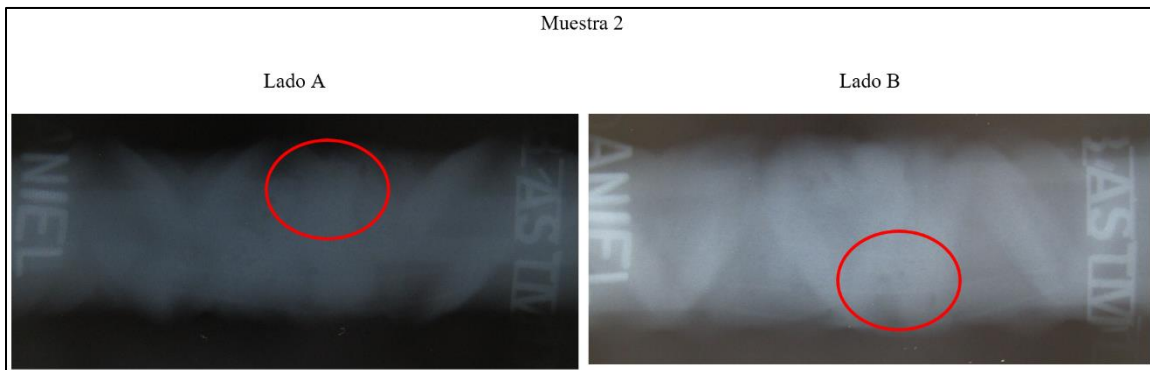


Figura 31. Placas de radiografía, muestra 2 barra A706

Fuente: Laboratorio "ENCONTROL S. A."

3) Reporte de Radiografías

El reporte de la evaluación de los ensayos de radiografías proporcionado por el laboratorio “ENCONTROL S. A.” detalla que:

Cuadro 24. Reporte de ensayos de radiografía

No.	Identificación de radiografía	% Tomado	Resultado		Discontinuidades observadas
			Acepta	Rechaza	
1	A615-E9018-B3 Muestra 1	100	●		Poros en grupo
2	A615-E9018-B3 Muestra 2	100		●	Falta de penetración
3	A706-E8018-B2 Muestra 1	100	●		
4	A706-E8018-B2 Muestra 2	100	●		Porosidad aislada

Fuente: Laboratorio “ENCONTROL S. A.”

d. Inspecciones visuales

Se inspeccionó visualmente las muestras soldadas y se practicó un ensayo de macroataque a 2 muestras de barras para poder apreciar la correcta adherencia de la soldadura en la barra, ángulo de bisel y si existían discontinuidades.

1) Ensayo de macroataque



Figura 32. Medición de ángulo de bisel, ensayo macroataque

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

2) Inspección visual

Cambio en su estructura molecular por un diferencial de temperatura, barra A615.



Figura 33. Inspección visual

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de la Siderúrgica

VII ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. RESULTADOS DE ENSAYOS

Se presenta el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestras de barras soldadas, se realiza con un cálculo estadístico de Hipótesis nula y T student, promedios, porcentaje de aceptación, comparaciones visuales y comparaciones de resultados con normas AWS y ASTM aplicadas en este estudio.

1. Análisis de resultados de ensayo de tensión

Los resultados de todas las barras ensayadas obtenidos en las pruebas de límite de fluencia superaron el valor mínimo indicado por los Cuadros 3 y 7. Esto indica que no existe diferencia significativa que afecte el límite de fluencia, al soldar barras A615 por composición química y barras A706 termotradas

2. Análisis de resultados de Ensayo de Radiografía

Según los resultados mostrados en las Figuras 28 a 31, páginas 56 y 57. Comparado con el criterio de aceptación que indica la norma en el inciso 7 páginas 24 y 25 se determina que el 75% de las muestras ensayadas de las barras termotradas y de las barras endurecidas por composición química están dentro de los parámetros de aceptación. Teniendo como constancia el informe del laboratorio.

3. Inspecciones visuales

Según los resultados de los ensayos de macroataque mostrados en la Figura 32, página 58, ninguna de las barras ensayadas (termotradas y endurecidas por composición química), presentaron alteración o porosidad. Se verificó el ángulo deseable del bisel realizado por el soldador previo a la aplicación de la soldadura, el cual cumplió con el parámetro deseado que se indica la Figura 5, página 14.

4. Análisis de resultados de prueba de doblado

En los resultados de los ensayos mostrados en las Figuras 24 y 25, páginas 54 y 55, se muestra que ninguna de las barras ensayadas superó el grado mínimo de doblaje que se indica en el inciso “f” página 8 e inciso “f” página 10.

VIII CONCLUSIONES

1. La barra A706 termotratada es soldable siguiendo la norma AWS D1.4/D1.4M-2018, según el análisis estadístico de diferencias significativas de los resultados del límite de fluencia de los dos tipos de barra donde se obtuvo una t de -569.25 que es menor a la t crítica de 2.074, utilizando la regla de decisión del método estadístico que indica que no existe diferencia significativa entre las dos barras. La calidad de la soldadura determinada por ensayos radiográficos y ensayos de tensión se obtuvo un resultado aprobado en la adherencia de la soldadura con el material, por lo que se determina que las barras fabricadas por la norma ASTM A706 termotratadas, son soldables.
2. Se observó una discontinuidad y porosidades muy leves en las muestras ensayadas, las discontinuidades encontradas no se consideran factor que afecte las propiedades mecánicas teniendo como prueba el ensayo de tensión, el resultado supero satisfactoriamente los criterios de normas ASTM. Las discontinuidades en una soldadura dependen de la técnica utilizada por el soldador y el seguimiento de los pasos que indican las normas de soldadura AWS.
3. Los 24 ensayos de tensión de los dos tipos de barras soldadas muestran el cumplimiento de los resultados del límite de fluencia comparados con criterios de norma ASTM A615/A615M y ASTM A706/A706M.
4. Se observó una oxidación en las barras por composición química en el punto de soldadura debido a la elevación de temperatura, en las barras termotratadas el 70% de las barras ensayadas por resistencia a la tracción sufrieron fractura en la soldadura, siendo éste el punto más débil de la barra.

IX RECOMENDACIONES

1. Calcular y determinar una temperatura y velocidad estándar para soldar las barras.
2. No se recomienda doblar a más de 20° la barra soldada, debido el punto de soldadura no soporta más de 6,000 lb_f.
3. Utilizar otros tipos de electrodos para cada tipo de barra indicados en la norma AWS D1.4/D1.4M y verificar si existen variaciones.
4. Realizar pruebas con barras microaleadas A706.
5. Los laboratorios donde se realicen los ensayos sean certificados, así como los laboratorios que se observan en este estudio.

X BIBLIOGRAFÍA

1. AB, J. *T de Student para dos muestras independientes*. Obtenido de Slide Share : <https://es.slideshare.net/jab2801/t-de-student-para-dos-muestras-independientes-9249928> [05 de Noviembre de 2019]
2. Comité Técnico Responsable ASTM International. (2014). *ASTM A370, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. Estados Unidos. ASTM International. 50 págs.
3. Comité Técnico Responsable ASTM International. (2008). *ASTM A615/A615M, Structural Welding Code-Steel Reinforcing Bars*. Estados Unidos. ASTM International. 6 págs.
4. Comité Técnico Responsable ASTM International. (2016). *ASTM A706/A706M, Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement*. Estados Unidos. ASTM International. 7 págs.
5. Comité B1 de Métodos de inspección de la American Welding Society. (2009). *AWS 1.10M/B1.10, Guía para el ensayo no destructivo de soldaduras*. Miami, Estados Unidos. American Welding Society. 68 págs.
6. Comité B4 de Ensayos Mecánicos de las Soldaduras de la AWS. (2007). *AWS B4.0, Métodos Estándar para los ensayos mecánicos de las soldaduras*. Miami, Estados Unidos. American Welding Society. 154 págs.
7. Comité D1 en Soldadura Estructural American Welding Society. (2018). *AWS D1.4/D1.4M-2018 Structural Welding Code-Steel Reinforcing Bars*. Miami, Estados Unidos. American Welding Society. 98 págs.

XI ANEXOS

Anexo 1. Distribución T de student

Puntos porcentuales $t_{\alpha,v}$ de la distribución *t de student*

$\alpha \backslash v$									
	.40	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213
4	.271	.714	1.533	2.132	2.766	3.747	4.604	5.598	7.173
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646
18	.257	.688	1.330	1.734	1.101	2.552	2.878	3.197	3.610
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090

v = grados de libertad

Fuente: <https://es.slideshare.net/jab2801/t-de-student-para-dos-muestras-independientes-9249928>

Anexo 2. Informe de resultados de las pruebas mecánicas realizadas en el laboratorio de Control de Calidad de la empresa siderúrgica.

Ensayo No.	Fecha de Ingreso	Vin. No.	Número de Cuchillo	Fecha de Muestra	Hora	Long. Var. (cm)	Hélices (mm)	Masa (kg)	Construcción (kg)	Limites de Tensión (kgf al tiro)	Fluencia (0,1% Ultrag)	Resistencia a la Tracción (kgf/cm ²)	Elongación en 8 PE (%)
Planta de Producción: SIDEQUA B													
Fecha de Muestra: 24/07/2019													
Turno: 1													
98858	24/07/2019	0	1,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,901	0,471 0,054 X 0,126	66,448	477,0	77,080,0	98,103
98859	24/07/2019	0	2,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,965	0,471 0,059 X 0,126	67,604	410,0	76,380,0	100,368
98857	24/07/2019	0	3,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,916	0,471 0,057 X 0,126	107,439	330,0	76,870,0	104,430
98856	24/07/2019	0	4,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,927	0,471 0,054 X 0,126	67,619	351,0	80,280,0	102,316
98855	24/07/2019	0	5,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,880	0,471 0,053 X 0,131	68,319	464,0	79,310,0	101,194
98854	24/07/2019	0	6,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,940	0,471 0,053 X 0,126	67,169	377,0	79,240,0	100,917
98853	24/07/2019	0	7,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,998	0,471 0,057 X 0,126	68,148	301,0	79,000,0	101,473
98852	24/07/2019	0	8,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,987	0,471 0,066 X 0,129	65,944	428,0	87,000,0	85,307
98851	24/07/2019	0	9,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,974	0,471 0,065 X 0,129	66,017	318,0	79,110,0	106,726
98850	24/07/2019	0	10,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,938	0,471 0,061 X 0,128	66,616	308,0	80,170,0	102,879
98849	24/07/2019	0	11,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,985	0,471 0,057 X 0,122	67,619	355,0	79,330,0	101,499
98848	24/07/2019	0	12,000	24/07/2019	08:30	0	1,000	2,924	0,471 0,058 X 0,126	66,307	422,0	79,110,0	86,287
Estadísticas													
Promedio: 1,000 2,912 0,471 0,059 3,107													
Desviación estándar: 0,000 0,008 0,000 0,000 0,008 0,005													
Temperatura:	26,7	Máquina de ensayos:		200 HVL	X								
Humedad:	26,1			300 HVL									
Comentarios:	prueba de Soldadura												
Elaborado por: <i>[Firma]</i> Nombre y Firma: <i>[Firma]</i> Analista de Calidad													
Revisado por: <i>[Firma]</i> Nombre y Firma: <i>[Firma]</i> Jefe C.C./Ingeniero-Ed													
Fecha y hora de impresión: Miércoles, 24 de Julio de 2019 13:55													

Continuación del Anexo 2.

Ensayo No.	Fecha de Ingreso	Var. No.	Número de Celdas	Fecha de Muestra	Hora	Long. Var.	Diametro (mm)	Masa (g)	Construcción (h)	Turno	Límite de Flujo (psi)	Fluencia (0.2% Offset) Carga (kN)	Esfuerzo (psi)	Modulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo (psi)	Fluencia (0.2% Offset) Carga (kN)	Esfuerzo (psi)	Fluencia (0.2% Offset) Carga (kN)	
Planta de Producción: SIDEQUA B Solid Fecha de Muestra: 14/10/2018 Turno: 2																			
100025	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 11	0	1.000	2.557	0.511	0.076	X	0.169	73,504	71,860.0	81,161	71,860.0	81,161	71,860.0	81,161
100026	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 01	0	1.000	2.091	0.511	0.076	X	0.169	72,408	74,050.0	85,404	74,050.0	85,404	74,050.0	85,404
100027	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 05	0	1.000	2.658	0.511	0.076	X	0.169	72,763	73,470.0	81,545	73,470.0	81,545	73,470.0	81,545
100028	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 12	0	1.000	2.615	0.511	0.076	X	0.169	74,953	74,300.0	84,662	74,300.0	84,662	74,300.0	84,662
100029	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 06	0	1.000	2.659	0.511	0.076	X	0.169	73,555	87,900.0	89,071	87,900.0	89,071	87,900.0	89,071
100030	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 10	0	1.000	2.628	0.511	0.076	X	0.169	73,491	70,300.0	89,162	70,300.0	89,162	70,300.0	89,162
100031	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 07	0	1.000	2.077	0.511	0.076	X	0.169	73,234	75,890.0	86,289	75,890.0	86,289	75,890.0	86,289
100032	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 02	0	1.000	2.851	0.511	0.076	X	0.169	73,542	81,500.0	82,704	81,500.0	82,704	81,500.0	82,704
100033	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 04	0	1.000	2.853	0.511	0.076	X	0.169	74,128	74,000.0	86,016	74,000.0	86,016	74,000.0	86,016
100034	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 03	0	1.000	2.844	0.511	0.076	X	0.169	73,122	84,100.0	86,429	84,100.0	86,429	84,100.0	86,429
100035	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 05	0	1.000	2.957	0.511	0.076	X	0.169	72,791	82,300.0	82,813	82,300.0	82,813	82,300.0	82,813
100036	14/10/2018	5	0.000	14/10/2018	var. 05	0	1.000	2.702	0.511	0.076	X	0.169	73,351	85,100.0	85,071	85,100.0	85,071	85,100.0	85,071
Estadísticas																			
Promedio: 1.000 2.862 0.511 0.076 0.169																			
Desviación estándar: 0.000 0.008 0.000 0.000 0.000																			
Temperatura: 23.6 °C	Máquina de ensayos: 300 HVL																		
Humedad: 31.1 %	300 HVL																		
Comentarios: pruebas de soldadura																			
Elaborado por: <u>Wenceslao Rojas</u> Nombre y Firma Analista de Calidad																			
Revisado por: <u>R. Pardo</u> Nombre y Firma Jefe C.C. / Ingeniero de																			

Fecha y hora de impresión: Miércoles, 23 de Octubre de 2018 15:25

Continuación del Anexo 2.

Ensayo No.	Fecha de Empeño	Var. No.	Número de Colada	Fecha de Amuesa	Hora	Long. Var. (m)	Disacero (Boaño)	Masa (lib)	Mostrador (lib)	Espac. Altura (lib)	Cuentaportes (lib)	Tubo de Placas (lib)	Placas (lib)	Placas (lib) Oficio	Resolución a la Tensión (kg/cm²)	Elongación (%)	
Planta de Producción: SIDEGUAB Fecha de Muestra: 31/10/2019																	
10-95	31/10/2019	8	0050	31/10/2019	11M	6	1.000	2.887	0.471	0.002	X	66,720	379.0	483	79,020.0	161,378	13.81
10-92	31/10/2019	8	0020	31/10/2019	3T14	6	1.000	2.658	0.471	0.079	X	78,848	431.0	511	75,850.0	99,419	12.28
Estadísticas																	
Promedio: 1.000 2.023 0.471 0.070 0.143																	
Desviación estándar: 0.000 0.050 0.000 0.011 0.009																	
Temperatura:	25 °C		Máquina de ensayos:		300 HVL												
Humedad:	0 %																
Comentarios:	Bautas de soldadura. ASTM A615 y ASTM A306																
Elaborado por:	Cesar Collares																
Revisado por:	David S. R.																
Nombre y Firma: Jefe C.C. / Ingeniero de																	

Continuación del Anexo 2.

Número de ensayo	Fecha de ensayo	Medida (R)	Fecha de muestreo	Hora	Número de colada	Grado	Long. de varilla (m)	Forma de corrosión	Resultado de la prueba
Planta: SIDEGUA B									
101617	31/10/2019	8	31/10/2019	ueba soldad	615	80	0	X	NO OK
101618	31/10/2019	8	31/10/2019	ueba soldad	705	80	0	X	NO OK

Fuerza sobre la vena:

Fuerza sobre la corrosión:

Elaborado por: Osca Orrellana
Nombre y Firma
Analista de Calidad

Comentarios: Se replicó la prueba sobre la soldadura

Revisado por: Josefina Chang
Nombre y Firma
Jefe C.C / Ingeniero de proceso


Métodos y equipo de ensayo conforme a las especificaciones de las Normas ASTM A706/A706M y ASTM A570

Jueves, 31 de Octubre de 2019

Anexo 2. Ensayo de radiografía en el laboratorio ENCONTROL S. A.

CLAVE INTERPRETACIÓN DE DISCONTINUIDADES FF -FALTA DE FUSIÓN FP -FALTA DE PENETRACIÓN FP(HL) -FALTA DE PENETRACIÓN POR H2O PE -PENETRACIÓN EXCESIVA FFB -FALTA DE FUSIÓN EN EL BORDE GT -GRIETA TRANSVERSAL GL -GRIETA LONGITUDINAL GMB -GRIETA METAL BASE O -QUEMADA A TRAVÉS DE LA RAÍZ CR -CONCAVIDAD DE LA RAÍZ PT -PORO TUNEL PG -POROS EN GRUPO P -POROSIDAD AISLADA PR -POROSIDAD ALINEADA EN LA RAÍZ IE -INCLUSIONES DE ESCORIA LE -LÍNEA DE ESCORIA DL(E) -DOBLE LÍNEA DE ESCORIA IT -INCLUSIONES DE TUNGSTENO SI -SOCAVADO INTERNO SE -SOCAVADO EXTERNO SC -SOCAVADO ENTRE CORDONES RI -REFUERZO INSUFICIENTE (CORONA BAJA) ER -EXCESO DE REFUERZO DS -DESALINEAMIENTO DE LA SOLDADURA DP -DESALINEAMIENTO DE LAS PLACAS DT -DESALINEAMIENTO DE LOS TUBOS CI -CORDÓN IRREGULAR	ENCONTROL S.A. Ensayos no destructivos y más... X-RAY Tel.: (502) 2435-4300 Telefax: (502) 2435-3700 E-mail: info@encontrol.com.gt REPORTE DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA	- RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL - INSPECCIÓN DE SOLDADURA AWS - CALIFICACIÓN DE SOLDADORES - ULTRASONIDO - PARTICULAS MAGNÉTICAS - LÍQUIDOS PENETRANTES - INSPECCIÓN DE TANQUES - INSPECCIÓN DE TUBERÍAS - MEDICIÓN DE DUREZA
PROYECTO: <u>Barras Grado 60</u>	HDA: <u>01</u> DE <u>01</u>	FECHA DE EJECUCIÓN: <u>29.10.2019</u>
LUGAR: <u>Taller ENCONTROL S.A.</u>	No. DE CONTRATO / OFERTA:	
EQUIPO INSPECCIONADO: <u>Barras 1</u>	NORMA DE INTERPRETACIÓN: <u>AWS D1.4</u>	
ORGANIZACIÓN MATERIAL: <u>ASTM A615 - A706</u>	No. PENETRIMETRO: <u>ASTM B71 B</u>	ALAMBRE No. <u>5</u>
ESPESOR DEL MATERIAL: <u>1"</u>	TIPO Y MARCA DE PELÍCULA: <u>AGFA D7</u>	DISTANCIA FUENTE PELÍCULA: <u>8"</u>
PERIMETRO GEOMÉTRICO:	PANTALLAS REFORZADORAS DE PLOMO:	DEMANDA PELÍCULA: <u>24.3.4</u>
TÉCNICA:	PANTALLAS REFORZADORAS DE PLOMO:	ANTERIOR: <u>0.010"</u>
<input checked="" type="checkbox"/> DOBLE PARED SIMPLE IMAGEN	<input type="checkbox"/> DOBLE PARED DOBLE IMAGEN	POSTERIOR: <u>3.91"</u>
PROCEDIMIENTO ENCONTROL S.A. No.	OTRO:	

No.	Identificación de Radiografía	% TOMADO	RESULTADO		Discontinuidades Observadas (ver clave de Interpretación)	LONGITUD DE ZONAS DEFECTUOSAS
			Accepta	Rechaza		
1	A615-E90-18-B3 1 A	100	✓		PG.	
2	B	100	✓			
3	A615-E90-18-B3 2 A	100		X	FP.	
4	B	100		X	FP.	
5	A706-E80-18-B2 1 A	100	✓			
6	B	100	✓			
7	A706-E80-18-B2 2 A	100	✓		P.	
8	B	100	✓		P.	
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						


 TÉCNICO DE ENCONTROL S.A.

29, 10, 2019

DÍA MES AÑO

Daniel Serrano

NOMBRE Y FIRMA POR EL CLIENTE

(NORMA APLICADA) API - 1104 - Oleoductos e instalaciones relacionadas; API - 651 - Tanques soldados de acero para almacenamiento de hidrocarburos; API 653 - Inspección, Reparación y cambio de servicio de Tanques de Almacenamiento; ANSI/ASME B31.1 - Código para sistemas de tuberías de plantas de potencia y de servicios auxiliares en plantas de vapor; ANSI/ASME B31.2 - Código para sistemas de tuberías de gas combustible; ANSI/ASME B31.3 - Código para sistemas de tuberías de plantas químicas y refinerías de petróleo; ASME 1 - Código para sistemas de potencia; ASME VIII - Código para recipientes a presión; ASME IX - Calificación de soldaduras y procedimiento de soldadura; AWS D1.1 - Estructuras y Estructuras de Acero soldado; AWS D1.4 - Puertas Soldadas; AWS D100, Tanques para almacenamiento de Agua, sobre suelo y elevados.

Informe 18 - TEL: 2435-4300

No. 003303

Continuación del Anexo 2.

ENCONTROL S.A. Ensayos no destructivos y más... X-RAY Ensayos y Control de Calidad de Centromérica, S. A. 48 Ave. 14ª 5-51 zona 2, Mixco, Molino de las Flores II Guatemala, Tel.: (502) 2435-4300 Telefax: (502) 2435-3708 www.encontrol.com.gt • info@encontrol.com.gt		<ul style="list-style-type: none"> • Radiografía Industrial • Ultrasonido Industrial • Inspección de Soldadura Certificada CWI AWS • Partículas Magnéticas • Líquidos Penetrantes • Certificación de Soldadores • Inspección de Tanques • Inspección de Tuberías • Medición de Espesores por Ultrasonido 	FACTURA SERIE "A" Nº 001694 NIT.: 2451335-0
Lugar y Fecha: <u>Guatemala 29 de octubre de 2019</u>			
Cliente: <u>Daniel Serrano</u>			
Dirección: <u>Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla</u>			
		Tel.:	Nit.: <u>92275050</u>
DESCRIPCIÓN		VALOR	
Placa radiografica 10" en laboratorio		Q2,000.04	
SUJETO A RETENCIÓN DEFINITIVA		TOTAL:	Q2,000.04
VALOR EN LETRAS: Dos mil con 04/100 quetzales			
<small>Imprenta WQ • N.L.: 9332768-0 T.U. 5526-3424 Aut. según Dec. RAT. 2016-1-01-142041 del 1.031 al 1.800 de fecha 05-01-2010. Vigencia hasta el 04-01-2025 ORIGINAL • EMISOR • DUPLICADO • CONTABILIDAD • TRIPPLICADO • ARCHIVO</small>			


Anexo 3. Factura de compra de electrodos 8018-B2 3/32"

CAD01962


CORPORACION LA SIRENA
SOLUCIONES INTEGRALES EN SOLDADURA



180015757













8:46 AM

CORPORACION LA SIRENA, SOCIEDAD ANONIMA
42 CALLE 22-17 ZONA 12 INDUSTRIAL SANTA ROSA TODCA E. GUATEMALA, GUATEMALA P.O. BOX: 2388-0000
www.corporacionlasirena.com

NIT: 448737-0 PATENTE DE COMERCIO No. 055412

FECHA: 30/07/2019	CONTADO	CREDITO	FACTURA CAMBIARIA SERIE AA (LIBRE DE PROTESTO) No. 23757
NOMBRE: MARCO TULIO CERON MEJIA			NIT: 204709-B
DIRECCION: CIUDAD			

CODIGO	CANTIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
01220010	25.000	ELECTRODO EXCALIBUR 8018-B2 MR 3/32" x 12"	32.00	800.00
 <p>NO SE ACEPTAN CAMBIOS NI DEVOLUCIONES CORPORACION LA SIRENA, S. A. ENTREGADO</p>				
TOTAL EN LETRAS: Ochocientos Quetzales			TOTAL	QTZ 800.00

A: SE DESLIGAN A UNOS DÍAS POR ESTA ÚNICA FACTURA CAMBIARIA LIBRE DE PROTESTO A OPCIÓN DEL COMPRADOR DE CORPORACION LA SIRENA, S.A. EL VALOR TOTAL POR Q800.00. EN CANTIDAD DE 25.000 UNIDADES DE ELECTRODO EXCALIBUR 8018-B2 MR 3/32" X 12". EL VALOR RECIBIDO QUE ENTREGAN A UNOS DÍAS DEBEN SER DE ACUERDO A NUESTRO AVISO Y SI EL COMPRADOR INCURRE EN EL ATRASO DEL PAGO ACEPTA EL PAGAR EL INTERÉS DEL 20% MENSUAL, POR DOMICILIO DE MORSA.

ESTÁ FACTURA NO SE CONSIDERA CANCELADA SIN SU RESPECTIVO RECIBO DE CAJA.

SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES



Vendedor: **SALVADORA ESPINOSA**

CORPORACION LA SIRENA, S.A. P.O. BOX: 2429-9900 - NIT: 133227-4306 - 01/21/19 DEL NO. M-20-201 AL NO. M-24-2021

ORIGINAL CLIENTE + DUPLICADO CONTABILIDAD

XII GLOSARIO

- 1) Laminado: Proceso industrial por medio el cual se produce el espesor de una lámina de metal o de materiales semejantes con la aplicación de presión mediante el uso de distintos procesos, como la laminación de anillos o el laminado de perfiles.
- 2) Soldabilidad: Es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o diferente naturaleza para ser unidos de forma permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones.
- 3) Lb_f: Libra fuerza, en física es una unidad de fuerza. Una libra es aproximadamente igual a la fuerza gravitacional ejercida sobre una masa de una masa de una libra sobre una idealizada superficie de la Tierra.
- 4) Adherencia: Es la fuerza que se opone a la separación de dos cuerpos puestos en contacto íntimo y se debe a la atracción mutua de las moléculas.
- 5) Elasticidad: Propiedad de la cual un cuerpo se deforma de manera proporcional a la carga aplicada y recupera su forma original una vez ha cesado la acción de la carga.
- 6) Ductilidad: Propiedad que presentan algunos materiales, los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse.
- 7) Electrodo Revestido: Varilla de aleaciones recubierta de material revestido que proporciona el material de aporte al fundirse con el calor del arco eléctrico, esta puede unir dos metales.
- 8) Bisel: Borde que está cortado oblicuamente, el ángulo no es recto.