

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572
GRADO 50 CON PROCESO SMAW**

YODY MARICELA HERNÁNDEZ PARRA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE METALURGIA
TUNJA
2018**

**ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572
GRADO 50 CON PROCESO SMAW**

YODY MARICELA HERNÁNDEZ PARRA

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de:
Ingeniera Metalúrgica**

**Director:
ERNESTO CAMARGO SUAREZ
Ingeniero metalúrgico, Especialista en Ensayos No Destructivos**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE METALURGIA
TUNJA
2018**

Nota de aceptación:

Presidente jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, 26 de octubre de 2018

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo el amor, cariño y respeto a mi Madre quien hizo de mí una persona luchadora, fuerte, quien con valores y principios me enseñó un buen camino para alcanzar metas. A mis hermanos que día a día fueron construyendo junto a mí un sueño. A toda mi familia quien siempre estuvo allí apoyándome y dando un buen consejo para continuar y nunca desfallecer.

A una de las mejores personas que Dios puso en mi camino Diana Carolina Cruz, quien en sus pensamientos tenía que yo en algún momento podría llegar a ser la ingeniera que un día en un salón de clases soñábamos.

A Viviana Aguilar quien me enseñó que la vida es una sola, que las oportunidades se presentan solo una vez y que hay que saberlas aprovecharlas al máximo, quien con su carisma y corazón hizo de mí la persona que soy hoy.

A todos aquellos amigos que hicieron parte de este tan anhelado paso por la universidad donde íbamos construyendo sueños que con el pasar de los años se veían cumplidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios todo poderoso por acompañarme día a día, por darme la fuerza incondicional y el valor suficiente de no decaer y continuar para culminar esta etapa de mi vida. Agradezco a mi madre, que con sus consejos me ayudaba a afrontar los retos y dificultades que se me iban presentando. Quien además me respaldó en los momentos más difíciles que se me presentaban al pasar por esta alma mater y estaba allí siempre poniéndome un hombro donde llorar para continuar con este sueño y nunca desfallecer. A mis hermanas(o) porque sin su apoyo no hubiese sido posible llegar hasta donde he llegado. Ustedes son lo más bello que Dios ha puesto en mi camino.

A Viviana Aguilar quien hizo parte importante para que este sueño se hiciese realidad, con quien estoy inmensamente agradecida. A mi director de tesis Ernesto Camargo que por su dedicación, esfuerzo, paciencia y experiencia me acompañó en la terminación de esta etapa de mi vida de manera exitosa. Agradezco de manera especial a Diana Carolina Cruz, Leonardo Bohórquez, Cindy Garzón, Pedro Jaimes, por su colaboración y disposición en el desarrollo de la fase experimental.

Al Ingeniero Ernesto Camargo Suarez por su dedicación, esfuerzo y entera confianza puesta en este proyecto para lograr llevar a cabo ver un sueño cumplido, donde aportó un granito de arena para lograrlo, gracias a todo el conocimiento que ha obtenido durante su experiencia profesional.

A Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia (UPTC), por la oportunidad de ingresar y culminar una carrera, a todos los profesores que día a día me regalaron un poquito de su conocimiento para ser la profesional que soy, pero sobre todo por enseñarme a crecer como persona por todo ello y más hoy solo me resta decir GRACIAS.

Gracias a todas las personitas que hicieron parte de este sueño, no saben lo agradecida que me siento, gracias porque sin esperar nada a cambio metieron sus manos al fuego por mí para así poder lograrlo, por cada voz de aliento que me daban cuando sentía que no podía más. Solo me resta decir GRACIAS TOTALES.

RESUMEN

El trabajo presenta el estudio de la soldabilidad en los diferentes tipos de bisel, (V sencilla, V doble, U, J y en escuadra), en un acero estructural ASTM A572 grado 50, las uniones para los diferentes biseles se harán mediante el proceso de soldadura SMAW en platinas de ½ pulgada con electrodos E6010 y E7018, bajo código estructural D1.1.

El diseño de la junta a soldar en cualquier proceso de soldadura tiene como función obtener una unión entre dos o más objetos que forman parte de una estructura, el diseño correcto de la junta es una parte vital de cualquier proceso de soldadura. la seguridad y la vida útil de una estructura soldada depende de la eficiencia de la junta.

El estudio de la soldabilidad fue realizado de manera cuantitativa, evaluando mediante el ensayo de tracción la resistencia del material, a una fuerza estática o aplicada lentamente. Mediante el análisis de composición química, dureza, y metalografía se estudian las propiedades del metal base y las que se obtienen luego de la aplicación de la soldadura. Se describen técnicas para el análisis de la calidad de las uniones soldadas como lo son ensayos no destructivos (END) y destructivos, y mediante códigos y normas se aplicaron criterios de aceptación o rechazo.

Palabras Clave: soldadura, SMAW, microestructuras, tipos de bisel, propiedades mecánicas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. JUSTIFICACIÓN	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 GENERAL	17
2.2 ESPECÍFICOS	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1 GENERALIDADES	18
3.1.1 Acero Estructural.	18
3.2.1 Composición Química.....	18
3.2.2 Propiedades mecánicas de la lámina de acero ASTM A572.	19
3.2.3 Aplicaciones.....	20
3.3 PROCESOS DE SOLDADURA	20
3.3.1 Proceso Smaw (Shielded Metal Arc Welding).....	21
3.4 TIPOS DE ELECTRODOS	24
3.4.1 Electrodo 6010.....	24
3.4.1.1 Descripción	24
3.4.2 Electrodo 70 18.....	26
3.4.2.1 Características Sobresalientes.....	26
3.4.2.2 Recomendaciones para su aplicación.....	26
3.5 PROCESO DE SOLDADURA SEGÚN LA NORMA AWS A3.0M/A3.0:2010	27
3.5.1 Términos y definiciones según la norma AWS a3.0m/a3.0:2010	27
3.5.1.1 Junta.....	27
3.5.1.2 Junta a tope	27
3.5.1.3 Otros tipos de juntas.	28
3.6 SOLDADURA DE RANURA	28
3.7 BISELADO DE ELEMENTOS A SOLDAR	28
3.8 BISEL	28
3.8.1 Nomenclatura de las partes de las juntas	29
3.8.1.2 Soldadura de Bisel en “escuadra”	29
3.8.1.3 Soldadura de Bisel en “V SENCILLA”	29
3.8.1.4 Soldadura de Bisel en “V doble”.....	30
3.8.1.5 soldaduras de Bisel en “U”	30
3.8.1.6 Soldaduras de Bisel en “J”	31

3.9 INSTRUCCIONES Y PROCEDIMIENTO	31
3.10 SOLDABILIDAD.....	32
3.11 CALIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	33
3.11.1 Especificación de Procedimiento de Soldar (WPS).....	33
3.11.2 Registro de Calificación de Procedimiento (PQR).....	33
3.12 ENSAYOS MECÁNICOS DE LA SOLDADURA.	34
3.12.1 Ensayo de tracción.	34
3.12.2 Ensayo de dureza.	34
3.13 METALOGRAFÍA.....	35
3.13.1 Micrografía.....	35
3.13.2 Macrografía.....	35
3.14 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	36
3.14.1 Inspección visual.....	36
3.14.2 Tintas penetrantes	36
3.14.3 Radiografía industrial.	37
4. DISEÑO METODOLÓGICO	38
4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	38
4.2 PROCEDIMIENTO PREVIO A LA APLICACIÓN DE SOLDADURA.....	40
4.2.1 Composición química.....	40
4.2.2 SOLDABILIDAD.....	41
4.2.3 Análisis metalográfico.	41
4.2.4 Ensayo de Dureza.	42
4.2.5 Límite de elasticidad.....	42
4.2.6 Resistencia a la tracción.	43
4.3 TÉCNICA DE LA SOLDADURA.....	43
4.3.1 Proceso de soldadura	43
4.3.2 Evaluar y seleccionar la geometría de las juntas del material a soldar.....	43
4.3.3 Preparación de la junta.	44
4.3.4 Elección del tipo de electrodo a usar.	44
4.3.5 Características eléctricas.	44
4.3.6 Desarrollo de la soldadura.	44
4.3.7 Corte y preparación de las juntas.....	45
4.4 PROCEDIMIENTO DURANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA.....	46
4.4.1 Equipo de soldadura a utilizar	46
4.4.2 Procedimientos durante la aplicación de la soldadura.....	47

4.4.3 Control durante la soldadura	48
4.5 PROCEDIMIENTOS POSTERIORES A LA SOLDADURA DE LA JUNTA....	49
4.5.1 Ensayos no destructivos	49
4.5.1.1 INSPECCIÓN VISUAL (IV).....	49
4.5.1.2 Inspección con tintas penetrantes (TP)	49
4.5.1.3 Radiografía industrial (RI)	50
4.5.3 Pruebas físicas.	52
4.5.3.1 Corte en frio.	52
4.5.3.1 Macroataque	52
4.5.3.2 Microataque.	53
4.5.4 Pruebas mecánicas.	55
4.5.4.1 Ensayo de dureza (HT)	55
4.5.4.2 Ensayo de tracción.	56
5. ANÁLISIS DE RESULTADO	59
5.1 ANÁLISIS DE MATERIALES A UTILIZAR	59
5.1.1 Material base.	59
5.1.1.1 Composición química.....	59
5.1.1.2 Análisis metalográfico metal base.	60
5.1.1.3 Ensayo de Dureza (HT)	62
5.1.2 Diseño de la junta.	63
5.1.3 Material de aporte.	63
5.2 PROCEDIMIENTO DURANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA.....	63
5.2.1 Equipo a utilizar.	63
5.2.2 Inspección de la aplicación, limpieza y precalentamiento de los cordones de soldadura.....	63
5.3 PROCEDIMIENTO POSTERIOR A LA SOLDADURA	63
5.3.1 Ensayos no destructivos END.....	63
5.3.1.1 Inspección visual.....	63
5.3.1.2 Radiografía industrial.	64
5.3.1.3 Líquidos Penetrantes	66
5.4 Ensayos destructivos ED	66
5.4.1 Análisis metalográfico de los diferentes tipos de bisel.....	66
5.4.1.1 Micrografías metal base.	66
5.4.1.2 Micrografías de la soldadura.	68
5.4.1.3 Micrografías de la interfase (ZAC).	69
5.4.1.3.1 Bisel en U	69
5.4.1.3.1 Bisel en V.....	70
5.4.1.3.1 Bisel en J	70
5.4.1.3.1 Bisel en V doble	70
5.4.2 Ensayo de tracción	71

5.4.2.1 Bisel en U	71
5.4.2.2 Bisel en V.....	72
3.4.2.3 Bisel en J.	73
5.4.2.4 Bisel en V doble.	74
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tensión Vs deformación.	19
Figura 2. Equipo de soldadura SMAW.	23
Figura 3. Fusión del electrodo.	23
Figura 4. Junta a tope.	27
Figura 5. Soldadura de Bisel en I.	29
Figura 6. Soldadura de Bisel en V sencilla.	30
Figura 7. Soldadura de Bisel en V doble.	30
Figura 8. Soldadura de Bisel en U.	31
Figura 9. Soldadura de Bisel en J.	31
Figura 10. Zonas de la unión de la junta.	33
Figura 11. Diagrama de flujo.	39
Figura 12. Platinas de acero ASTM A572 gr 50.	40
Figura 13. Regiones presentes en la soldadura.	41
Figura 14. Durómetro Rockwell.	42
Figura 15. Formato WPS.	45
Figura 16. Preparación de las diferentes juntas.	46
Figura 17. Juntas terminadas.	46
Figura 18. Equipo de soldadura multipropósito POWER MIG 350.	47
Figura 19. (A) Alineación y posicionamiento de las platinas (B) Aplicación de la soldadura.	48
Figura 20. Limpieza entre pases de la soldadura.	48
Figura 21. Kit de tintas penetrantes marca CRC.	49
Figura 22. Aplicación del penetrante.	50
Figura 23. Aplicación del revelador.	50
Figura 24. A) Fijación de la película y el indicador de calidad, B) Montaje radiográfico.	52
Figura 25. Probetas macroataque.	53
Figura 26. Probeta atacada químicamente Nital 3%.	55
Figura 27. Durómetro Rockwell.	55
Figura 28. Probetas para ensayo de dureza.	56
Figura 29. Maquina universal de ensayos UPTC.	56
Figura 30. Probetas para ensayo de tracción.	57
Figura 31. Posicionamiento de la probeta ensayo de tracción.	57
Figura 32. Fractura probetas de tracción.	58
Figura 33. Diagrama Hierro- Carbono para el acero A572 gr 50.	60
Figura 34. Micrografía del acero estructural A572 gr 50 a 100X.	61
Figura 35. Micrografía acero estructural A572 gr 50 a 500X.	61
Figura 36. Radiografía en bisel en J.	64
Figura 37. Radiografía en el bisel en V doble.	65
Figura 38. Radiografía en el bisel en U.	65
Figura 39. Radiografía en el bisel en V.	65
Figura 40. Micrografías del metal base, A) micrografías a 100X y B)	

micrografías a 500X.	66
Figura 41. Micrografías del metal base, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	66
Figura 42. Micrografías del metal base, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	67
Figura 43. Micrografías del metal base, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografía 500X.	67
Figura 44. Micrografías de la soldadura, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	68
Figura 45. Micrografías de las soldaduras, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	68
Figura 46. Micrografías de la soldadura, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	68
Figura 47. Micrografías de la soldadura, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografías a 500X.	69
Figura 48. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	69
Figura 49. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.	70
Figura 50. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografías a 500X.	70
Figura 51. Micrografías de la interfase, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografía a 500X.	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A572 gr 50.	19
Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero A572 gr 50.	20
Tabla 3. Propiedades mecánicas típicas del metal depositado.	25
Tabla 4. Composición química del electrodo E6010.	25
Tabla 5. Amperaje según diámetro del electrodo.	25
Tabla 6. Propiedades mecánicas típicas del metal depositado.	26
Tabla 7. Composición química típica del metal depositado.	27
Tabla 8. Amperaje según diámetro del electrodo.	27
Tabla 9. Diferentes tipos de bisel y su proceso.	38
Tabla 10. Composición química del acero A572 gr 50.	40
Tabla 11. Límite de elasticidad y espesor máximo.	43
Tabla 12. Calibrado para rayos X.	51
Tabla 13. Método de preparación metalográfico.	53
Tabla 14. Reactivos de ataque para acero.	54
Tabla 15. Composición del material base.	59
Tabla 16. Resultados del ensayo de dureza acero A572 gr 50.	62
Tabla 17. Conversión de dureza - resistencia a la tracción.	62
Tabla 18 Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base y B) Ensayo de tracción en bisel en U.	71
Tabla 19. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base y B) Ensayo de tracción en el bisel en V.	72
Tabla 20. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base Y B) Ensayo de tracción bisel en J.	73
Tabla 21. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción en bisel en V doble y B) Ensayo de tracción en metal base.	74
Tabla 22. Diagrama de barras para los diferentes tipos de bisel.	75

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 1	81
Anexo 2 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 2	82
Anexo 3 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 3	83
Anexo 4 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 4	84
Anexo 5 Formatos de Tintas Penetrantes	85
Anexo 6 Continuación Formato Tintas Penetrantes	86
Anexo 7 Certificación Soldador.....	87

INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción de estructuras soldadas el diseño de la junta es un factor determinante en la calidad de estas, con el crecimiento del tal sector en el país, los aceros estructurales se han convertido en materiales imprescindibles, por su bajo peso, fácil montaje, rápida instalación y gran resistencia. Las cargas en un diseño de acero soldado se transfieren de un miembro a otro a través de las soldaduras colocados en juntas. Tanto el tipo de junta y el tipo de soldadura se especifican por el diseñador.

La soldadura es un proceso de unión de materiales, en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más partes mediante la aplicación de calor o presión, es un proceso importante en la industria porque proporciona una unión permanente y las partes soldadas se vuelven una sola unidad. La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales si se usa un material de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los metales originales y se aplican las técnicas correctas de soldar ya que es una de las formas más económicas para unir componentes.

En la construcción de estructuras metálicas, entre los estándares más usados son el AWS D1.1:2015 el cual ofrece parámetros referenciales relacionados principalmente con las técnicas y procedimientos para evaluar la calidad de las juntas soldadas en estructuras metálicas. Por otro lado, es bien conocido que las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su macro y microestructura, que están en función de la composición del material y de las transformaciones de fase que se producen durante la solidificación y posterior enfriamiento hasta llegar a la temperatura ambiente y luego hasta la del trabajo.

Este trabajo busca evaluar la influencia del diseño de junta en las propiedades mecánicas de una soldadura tipo SMAW (Shielded Metal Arc Welding), en platinas de $\frac{1}{2}$ " de un acero estructural para construcción ASTM A572 grado 50.

1. JUSTIFICACIÓN

En este trabajo de investigación se pretende analizar los diferentes tipos de diseño de junta (U, V sencilla, V doble, J y en escuadra), y su influencia en las propiedades físicas y mecánicas de una construcción soldada por medio de la resistencia mecánica, tamaño de grano y fases presentes.

En el proceso de soldadura se generan esfuerzos residuales que se pueden disipar con la geometría del bisel, si no son tratados estos esfuerzos se puede concluir en una falla súbita del material por la soldadura cuando la estructura está en funcionamiento.

Las juntas que van a ser sometidas a erosión y corrosión tienen que ser diseñadas de tal forma que el ensamble quede libre de irregularidades y hendiduras, para efectos de protegerla de cualquiera de estas formas de ataque hay que considerar la manera de cómo se aplican los esfuerzos durante el servicio, losa que se pueda presentar en forma de tensión, compresión, corte, doblado y torsión. Ciertos diseños de junta son apropiados únicamente para soportar esfuerzos en una dirección mientras que otros son apropiados para utilizarlos cuando los esfuerzos son variables e impredecibles.

Se requieren diferentes diseños dependiendo de que la carga sea estática o dinámica y más aún cuando hay que tener en cuenta el cambio paulatino de las propiedades mecánicas del material que ocurren con el servicio a través del tiempo (fatiga), otro factor que afecta el diseño de junta es la eficiencia requerida.

Hay tres tipos de ensambles o juntas soldadas: con chaflán, en filete y una combinación de las dos anteriores.

2. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Evaluar la soldabilidad de un acero estructural ASTM 572 Gr 50 soldado con proceso SMAW en los diferentes diseños de junta.

2.2 ESPECÍFICOS

- Implementar los diferentes diseños de juntas aplicables a la construcción de estructuras metálicas siguiendo el código AWS D1.1
- Evaluar la microestructura de la zona afectada por el calor.
- Analizar el tipo de junta que presenta las mejores propiedades físicas y mecánicas en la soldadura del acero estructural ASTM A572 grado 50.
- Comparar los resultados obtenidos en propiedades físicas y mecánicas siguiendo el código (AWS D1.1)

3. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERALIDADES

3.1.1 Acero Estructural. Se define como acero estructural a lo que se obtiene al combinar el hierro, carbono y pequeñas proporciones de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le contribuyen un conjunto de propiedades determinadas, tales como alta resistencia mecánica, soldabilidad, buena resistencia a la corrosión y ductilidad a temperatura ambiente, aunque a altas temperaturas estas propiedades se ven afectadas.

Los aceros estructurales son un material básico de uso de construcción de estructuras como edificios y muelles que emplean perfiles estructurales de secciones L, U, T, H, I, además de cables y tirantes en el caso de los puentes; varillas y mallas para hormigón reforzado y láminas plegadas usadas en techos y pisos¹.

3.2 ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 gr 50

Las placas de acero de alta resistencia / baja aleación posee mayor resistencia que las placas tradicionales de acero al carbono, además de contar con gran ductilidad, facilidad de rolado y soldado, dureza y resistencia a la fatiga. Estas placas de acero pueden reducir sustancialmente los costos de producción al dotar la resistencia requerida con un peso mucho menor.

La lamina A572 GR 50 es una Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio. Este acero es utilizado en aplicaciones, tales como construcción electrosoldada de estructuras en general o puentes, donde la tenacidad en las entalladuras es importante, los requisitos asociados con esta propiedad debido a la variedad de grados que contempla este tipo de acero deben ser especificados entre el comprador y el productor. Disponible con un nivel mínimo de resistencia de 50000 psi. Las características de esta placa son su alta resistencia, buen manejo y facilidad de soldado a precios moderados.

3.2.1 Composición Química. Con la adición de Microaleantes (Niobio o Vanadio) se desarrollaron estos aceros de alta resistencia, haciéndolos más seguros en su comportamiento mecánico y lográndose una reducción en el consumo específico desde el punto de vista estructural.

¹ DURAN, Fabián, SEPULVEDA, Eduardo y VIDAL, Maribell. Estudio de aceros estructurales y de construcción soldados. Trabajo de grado en la modalidad Ingeniero metalúrgico. Universidad Santiago de Chile, Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería, 2016.

El tipo de acero que abarca esta especificación normalizada se considera cinco grados de acero estructural de alta resistencia y de baja aleación en perfiles, placas, tablestacado, y barras. Los Grados 42 [290], 50 [345], y 55 [380] están previstos para estructuras remachadas, atornilladas o electrosoldadas. Los Grados 60 [415] y 65 [450] están previstos para construcción remachada o atornillada de puentes, o para construcción remachada, atornillada o electrosoldada. La composición química se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A572 gr 50.

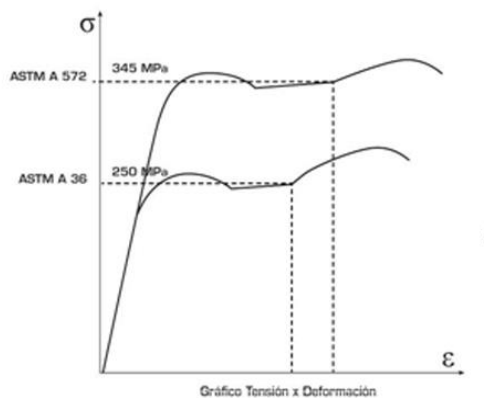
Grado	%C máx.	%Mn máx.	%P máx.	%S máx.	%Si máx.
42	0,21	1,35	0,04	0,05	0,4
50	0,23	1,35	0,04	0,05	0,4
60	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4
65	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4

	Elemento	Contenido
TIPO 1	Columbio (Niobio)	0,005 – 0,05
TIPO 2	Vanadio	0,01 – 0,15
TIPO 3	Niobio (0,05% máx.) más Vanadio	0,02 – 0,15

Fuente. Soluciones con el acero S.A.S. ASTM A572 Gr 50. Edición 1. Medellín. 1 de enero de 2017.

3.2.2 Propiedades mecánicas de la lámina de acero ASTM A572.

Figura 1. Tensión Vs deformación.



Fuente. Soluciones con el acero S.A.S. ASTM A572 Gr 50. Edición 1. Medellín. 1 de enero de 2017.

En la figura 2 se observa la curva de deformación que se obtiene al someter el acero ASTM A572 Gr 50 a un ensayo de tracción.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero A572 gr 50.

Grado	Límite de Fluencia (mín.)		Resistencia a la Tracción (mín.)		Elongación Min. % En 200mm (8in)
	MPa	PSI	MPa	PSI	
42	290	42000	415	60000	20
50	345	50000	450	65000	18
60	415	60000	520	75000	16
65	450	65000	550	80000	15

Fuente. Soluciones con el acero S.A.S. ASTM A572 Gr 50. Edición 1. Medellín. 1 de enero de 2017.

En la tabla 2 se observa las propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A572 Gr 50. Dando como resultado un límite de fluencia de 345 MPa, una resistencia a la tracción de 65000 Psi y un % de elongación del 18%.

3.2.3 Aplicaciones. Principalmente estructuras soldadas, soportes, chasis, plataformas para la industria petrolera, plataformas marinas, construcción de puentes cumpliendo con los requerimientos exigentes a la entalla. No es recomendada en la construcción de calderas o tanques de alta presión. La selección de espesores debe ser calculada y seleccionados por el autor del diseño. Especial para la fabricación de vigas no comerciales o especialmente diseñadas, apto para el uso a bajas temperaturas² 20°C.

3.3 PROCESOS DE SOLDADURA

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos. Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y unas ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. Para que el

metal de aportación pueda realizar correctamente la soldadura es necesario que (moje) a los metales que se van a unir, lo cual se verificará siempre que las fuerzas de adherencia entre el metal de aportación y las piezas que se van a soldar sean mayores que las fuerzas de cohesión entre los átomos del material añadido. Los efectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada. Deben evitarse porosidades y grietas añadiendo elementos de aleación al metal de aportación, y sujetando firmemente las piezas que se quieren soldar para evitar deformaciones. También puede suceder que la zona afectada por el calor quede dura y quebradiza. Para evitar estos efectos indeseables, a veces se realizan precalentamientos o tratamientos térmicos posteriores. Por otra parte, el calor de la soldadura causa distorsiones que pueden reducirse al mínimo eligiendo de modo adecuado los elementos de sujeción y estudiando previamente la secuencia de la soldadura.

Existen diversos procesos de soldadura, entre los cuales están: OFW (Oxi Fuel Welding. Soldadura Oxi Combustible), FCAW (Flux Cored Arc Welding. Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con núcleo Fundente), SMAW (Shielded Metal Arc Welding. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido), SAW (Submerged Arc Welding. Soldadura por Arco Sumergido), GMAW (Gas Metal Arc Welding. Soldadura por Arco con protección gaseosa), GTAW (Gas Tungsten Arc Welding. Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Gas Protector), PAW (Plasma Arc Welding. Soldadura por Arco de Plasma), ESW (Electro Slag Welding. Soldadura por Electro Escoria), EGW (Electro Gas Welding. Soldadura por Electro Gas), SW (Strud Welding. Soldadura por Espárragos), ICDF (Inertia and Continuous Drive Friction Welding. Soldadura por Fricción e Inercia); entre otros².

3.3.1 Proceso Smaw (Shielded Metal Arc Welding). La soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido es la forma más común de soldadura. El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso, en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

El material de aporte se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente solidifica. Los electrodos usualmente son de acero de bajo carbono, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera protectora que evita que se oxide el metal fundido y favorece la operación de soldeo. El soldeo por arco con electrodo revestido puede realizarse tanto en corriente alterna (AC) como en corriente continua (DC). La elección del tipo de corriente dependerá del tipo de equipo disponible, del electrodo a utilizar y del

²Tecnología fuente nueva. Soldadura.pdf

material a ser soldado. La polaridad de la corriente eléctrica afecta la transferencia de calor a las piezas unidas. Normalmente el polo positivo (+) se conecta al electrodo, aunque, para soldar materiales muy delgados se conecta al electrodo el polo negativo (-) de una fuente de corriente continua³.

En la figura 2 se observa el equipo que se utiliza en el proceso de soldadura SMAW donde una fuente de energía modifica los parámetros necesarios para que el electrodo funda correcta y homogéneamente; las partes más importantes de un equipo de soldadura SMAW son:

– **Fuente de alimentación:** dependiendo del tipo de electrodo y del tipo y la posición de la pieza de trabajo, la fuente puede ser de corriente continua o corriente alterna. Si es de corriente continua, y nuevamente en función del tipo de electrodo y la naturaleza de la soldadura que se desea obtener, la conexión del electrodo a la fuente se puede efectuar de dos maneras:

▪ **Conexión al terminal negativo:** en este caso se habla de un electrodo negativo o polaridad directa (DCEN, por sus siglas en inglés). Se utiliza cuando se desean lograr altas tasas de deposición y una baja penetración.

▪ **Conexión al terminal positivo:** en este caso se habla de un electrodo positivo o polaridad inversa (DCEP, por sus siglas en inglés). Se utiliza cuando se desea lograr una penetración profunda.

– **Porta electrodo:** se conecta al cable de soldadura y conduce la corriente de soldadura hasta el electrodo. El mango aislado se utiliza para guiar el electrodo sobre la junta de soldadura y alimentar electrodo en el charco a medida que se consume. Los portaelectrodos están disponibles en diversos tamaños y se clasifican según su capacidad para transportar la corriente.

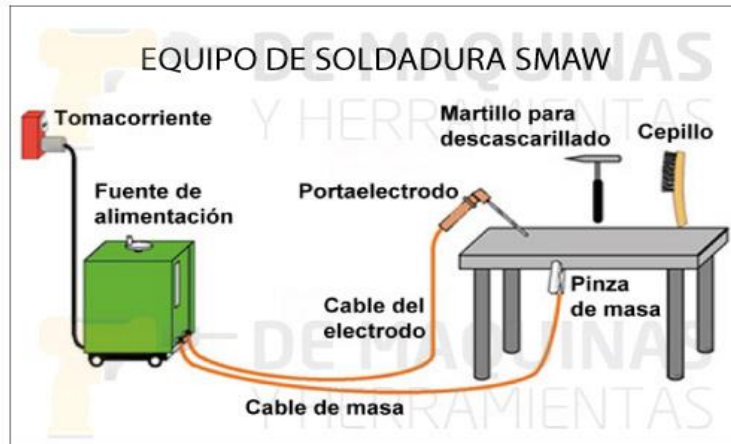
– **Cable del electrodo y cable de masa:** ambos son una parte importante del circuito de soldadura. Deben ser sumamente flexibles y tener un aislamiento resistente al calor. Las conexiones al portaelectrodo, la pinza de masa y los terminales de la fuente de alimentación deben estar soldadas o perfectamente efectuadas para garantizar una baja resistencia eléctrica. El área de la sección transversal de estos cables debe ser de tamaño suficiente para transportar la corriente de soldadura con un mínimo de caída de voltaje. Cuanto mayor sea la longitud del cable, mayor debe ser su diámetro, a fin de reducir la resistencia y la caída de voltaje.

– **Pinza de masa:** se utiliza para conectar el cable de masa a la pieza de trabajo. Se puede conectar directamente a la pieza, a la mesa o al portapieza. Como parte del circuito de soldadura, la pinza de masa debe ser capaz de transportar la

³SOLDEXA, Manual de soldadura, Proceso SMAW, 7 ed. Lima Perú, 295 p.

corriente de soldadura sin riesgo de sobrecalentamiento debido a la resistencia eléctrica.

Figura 2. Equipo de soldadura SMAW.



Fuente. Máquinas y herramientas/proceso SMAW.

Se trata de una técnica en la cual el calor de soldadura es generado por un arco eléctrico entre la pieza de trabajo (metal base) y un electrodo metálico consumible (metal de aporte) recubierto con materiales químicos en una composición adecuada (fundente). Podemos visualizar el proceso en la figura 3:

Figura 3. Fusión del electrodo.



Fuente. Máquinas y herramientas/proceso SMAW.

Todos los elementos que participan en la soldadura SMAW cumplen una función importante. Veamos por qué:

- **El arco:** el comienzo de todo proceso de soldadura por arco es precisamente la formación del arco. Una vez que este se establece, el metal de aporte y el fundente que lo recubre empiezan a consumirse. La fuerza del arco proporciona la

acción de excavar el metal base para lograr la penetración deseada. Este proceso continúa a medida que la soldadura se ensancha y el electrodo avanza a lo largo de la pieza de trabajo.

– **El metal de aporte:** al derretirse, forma gotas que se depositan sobre la pieza de trabajo dando lugar al charco de soldadura, que llena el espacio de soldadura y une las piezas en lo que se denomina una junta de soldadura.

– **El fundente:** se derrite junto con el metal de aporte formando un gas y una capa de escoria, que protegen el arco y el charco de soldadura. El fundente limpia la superficie metálica, suministra algunos elementos de aleación a la soldadura, protege el metal fundido contra la oxidación y estabiliza el arco. La escoria se retira después de la solidificación⁴.

3.4 TIPOS DE ELECTRODOS

3.4.1 Electrodo 6010.

IDENTIFICACIÓN: WEST ARCO E6010

CLASIFICACIÓN: AWS E6010

ESPECIFICACIÓN: AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1

3.4.1.1 Descripción. El electrodo 6010 es un electrodo de revestimiento a base de celulosa, con sodio, que cumple los requisitos de la clasificación E6010, de la norma AWS A5.1 y se emplea para la soldadura de aceros al carbono de resistencia a la tensión hasta 60.000 psi. Trabaja con corriente continua, polaridad invertida. Trabaja en todas las posiciones. Especialmente indicado para pases de raíz⁵.

En las tablas 3, 4, 5 se observa las propiedades mecánicas, composición química y amperaje del E6010.

⁴ Máquinas y herramientas. Soldadura - SMAW.

⁵ LINCOLNELECTRIC.COM. Características Principales. Disponible en Lincolnelectric.com [en línea] URL: Lincolnelectric.sets/global/Products/Consumable_StickElectrodes-MildandLowAlloy_Steels-Structure-Structure6010/Structure_6010_es-mx.pdf.

Tabla 3. Propiedades mecánicas típicas del metal depositado.

	Resistencia a la cedencia Mpa (ksi)	Resistencia a la tensión Mpa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J(ft*lbft) @ -20°C (-30°F)
Requerimiento AWS E6010	330 (48) mín.	430 (60) mín.	22 mín.	20
Resultados Típicos. Tal como se soldó, Diámetro del Electrodo 1/8" (3.2 mm)	560 (80)	620(90)	25	30

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

Tabla 4. Composición química del electrodo E6010.

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requerimiento AWS E6010	0.20 máx.	1.20 máx.	1.00 máx.	0.30 máx.	0.20 máx.
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.14	0.35	0.17	0.03	0.02
	%Mo	%V	%P	%S	
Requerimiento AWS E6010	0.30 máx.	0.08 máx.	No especificado	No especificado	
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.00	0.008	0.012		0.010

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

Tabla 5. Amperaje según diámetro del electrodo.

DIMENSION	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32")	50 – 80 A
3.2 X 350 mm (1/8")	70 – 115 A
4.0 X 350 mm (5/32")	90 – 160 A

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

3.4.2 Electrodo 70 18.

IDENTIFICACIÓN: WEST ARCO E7018 S

CLASIFICACIÓN: AWS E7018

ESPECIFICACIÓN: AWS A5.1, NTC 2191, ASME SFA5.1

APROBADO: ABS (Grado 3H10, 3Y) Lloyd's (3Ym)

3.4.2.1 Características Sobresalientes. El E7018 es un electrodo cuyo revestimiento es de tipo básico, bajo hidrógeno, para ser utilizado con corriente directa, polaridad positiva (+) o con corriente alterna (78 OCV mínimo). Debido al polvo de hierro, tiene una alta tasa de deposición y bajas pérdidas por salpicaduras. Su extremo de arco gratificado le da un excelente encendido. El Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70.000 lbs/pulg² de resistencia a la tensión, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril, etc.

3.4.2.2 Recomendaciones para su aplicación. Al soldar con E7018 se debe mantener un arco corto, evitando Movimientos bruscos del electrodo. Al usar corriente alterna, el Transformador debe tener por lo menos 78V en vacío. En posiciones diferentes a la plana deben utilizarse electrodos de 5/32" (4mm) o de menor diámetro⁶.

En las tablas 6, 7, 8 se observa las propiedades mecánicas, composición química y amperaje del E7018.

Tabla 6. Propiedades mecánicas típicas del metal depositado.

	Resistencia a la cedencia Mpa (ksi)	Resistencia a la tensión Mpa (ksi)	Elongación %	Charpy V-Notch J(ft*lb) @ -20°C (-30°F)
Requerimiento AWS E7018	400 (58) min.	483 (70) mín.	22 mín.	20
Resultados Típicos (3). Tal como se soldó, Diámetro del Electrodo 1/8" (3.2 mm)	543 (79)	600(87)	34	130

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

⁶Lincolnelectric.sets/global/Products/Consumable_StickElectrodes-MildandLowAlloySteels-Lincoln-Lincoln7018-1/Lincoln_7018-1_ES-MX.pdf

Tabla 7. Composición química típica del metal depositado.

	%C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr
Requerimiento AWS 7018	0.15 máx.	1.60 máx.	0.75 máx.	0.30 máx.	0.20 máx.
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.,045	0.97	0.32	0.03	0.03
	%Mo	%V			
Requerimiento AWS E7018	0.30 máx.	0.08 máx.			
Resultados Típicos ⁽³⁾ .	0.01	0.009			

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

Tabla 8. Amperaje según diámetro del electrodo.

DIMENSION	AMPERAJES RECOMENDADOS
2.4 X 300 mm (3/32")	70 – 100 A
3.2 X 350 mm (1/8")	100 – 145 A
4.0 X 350 mm (5/32")	135 – 200 A
4.8 X 350 mm (3/16")	170 – 270 A
6.4 X 450 mm (1/4")	240 – 400 A

Fuente. Lincoln electric. Soldadura de Colombia. Electrodo 6010. Bogotá. Derechos reservados de Copyright. 2006.

3.5 PROCESO DE SOLDADURA SEGÚN LA NORMA AWS A3.0M/A3.0:2010

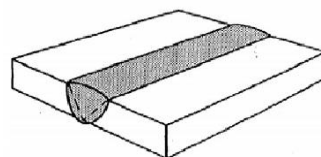
3.5.1 Términos y definiciones según la norma AWS a3.0m/a3.0:2010

3.5.1.1 Junta. Ensamble de miembros o los bordes de los miembros que se han unido o deben ser unidos.

3.5.1.2 Junta a tope. Una junta entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.

En la Figura 4, se da a conocer un dibujo esquemático de una junta a Tope.

Figura 4. Junta a tope.



SOLDADURA A TOPE (GROOVE WELD)

Fuente. (AWS, 2001).

3.5.1.3 Otros tipos de juntas. Otros tipos de juntas que deben ser tenidos en cuenta para procedimientos de soldadura son las siguientes⁷:

- Junta en esquina
- Junta en T
- Junta en traslape
- Junta de borde
- Junta en pestaña
- Junta empalmada

3.6 SOLDADURA DE RANURA

En la soldadura con ranura, se requiere dar forma en las orillas de las partes en forma de surco para facilitar la penetración de la soldadura. Las formas con surco incluyen una ranura como: en escuadra, V sencilla, V doble, U y J en este caso se usa material de relleno para saturar la unión, por lo general se utiliza para soldaduras con arco eléctrico o soldadura de oxígeno y gas combustible. Con frecuencia se preparan los bordes de las partes más allá de un encuadrado básico, aunque se requiera de un procedimiento adicional, para aumentar la firmeza de la unión soldada o donde se van a soldar partes más gruesas. Aunque se asocia más con el tipo de unión empalmada, este tipo de soldadura se usa en todos los tipos de uniones exceptuando la unión superpuesta⁸.

3.7 BISELADO DE ELEMENTOS A SOLDAR

En la actividad de soldadura la preparación de los metales de base como la limpieza y el biselado con los ángulos de inclinación adecuados son el factor primordial para la obtención de un producto de acuerdo a las normas y los códigos que rigen la soldadura, las uniones a tope son las más utilizadas en la industria y su preparación depende del espesor de los metales a trabajar.

3.8 BISEL

Es un corte inclinado en el borde de una platina, una lámina o un tubo con el fin de realizar una soldadura pasante que cumpla con las especificaciones y los códigos, este biselado se hace normalmente con la ayuda de la pulidora o del esmeril, antes del biselado la pieza debe ser sujeta correctamente con el fin de evitar un accidente.

⁷ GALLEGO, Ricardo. Elaboración de WPS, PQR Y WPQ para la empresa chía Peñalosa ingeniería, Trabajo de grado especialista en Soldadura. Bogotá D.C: Universidad Libre. Instituto de Posgrados, 2014.

⁸[Slideshare.net/nurrego/generalidades-de-soldadura-y-diseo-de-juntas](https://www.slideshare.net/nurrego/generalidades-de-soldadura-y-diseo-de-juntas).

3.8.1 Nomenclatura de las partes de las juntas

S Espesor del material base.

A Angulo de abertura de la junta. (Ambos flancos)

α Angulo de ranura.

B Separación entre bordes o talones.

C Altura de talón.

H Altura de bisel.

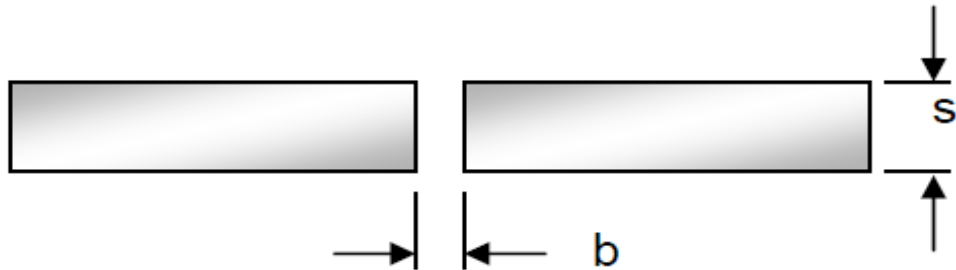
F Profundidad de contra raíz.

3.8.1.2 Soldadura de Bisel en “escuadra”. Dependiendo de la facilidad de acceso y sobre todo del espesor de plancha, se puede tener una unión a tope con la junta en “I” para espesores de hasta cuatro milímetros. Cuando se trata de soldar espesores mayores habrá falta de penetración, sin embargo, al soldar por ambos lados se podrá unir planchas de hasta 8 mm (0.31 in). Con suficiente penetración. Ver figura 5.

$S < 4$ mm (0.15 in). Soldadura por un solo lado.

$S < 8$ mm (0.31 in). Soldadura por ambos lados.

Figura 5. Soldadura de Bisel en I.



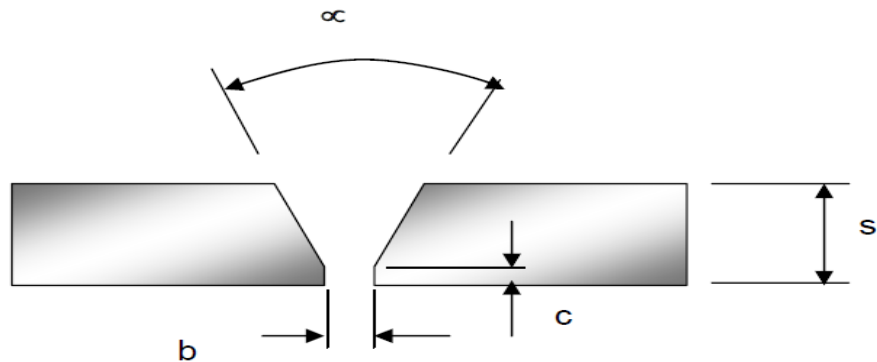
Fuente. Autor.

3.8.1.3 Soldadura de Bisel en “V SENCILLA”. La junta en “V” debe tener una abertura de un ángulo de 60° para los procesos E, G, y TIG, para el proceso MAG este ángulo puede ser de 50° . Así se ahorra material de aporte, evitando además un excesivo calentamiento que afecta al material produciendo las contradicciones, las deformaciones y las tensiones residuales. Ver figura 6

$\alpha = 60^\circ$ E, TIG, G.

$\alpha = 50^\circ$ MAG / MIG.

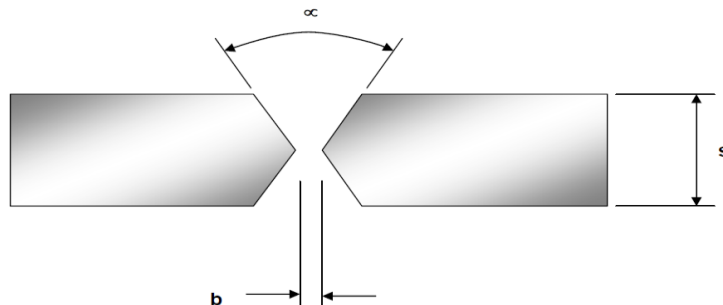
Figura 6. Soldadura de Bisel en V sencilla.



Fuente. Autor.

3.8.1.4 Soldadura de Bisel en “V doble”. Las planchas de espesores mayores a 10 mm (0.39 in). Deberán soldarse con la junta en “X” o de doble “V”, pero para ello deberá proveerse la facilidad de acceso por ambos lados de la plancha. Ver figura 7.

Figura 7. Soldadura de Bisel en V doble.

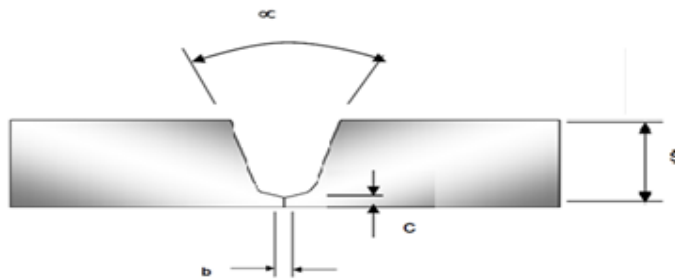


Fuente. Autor.

3.8.1.5 soldaduras de Bisel en “U”. Unión en “U”; esta junta es muy usada en materiales gruesos como tuberías de vapor de alta presión. En el caso de haber facilidad de acceso por ambos lados de la costura, puede soldarse sin separación entre los bordes para luego biselar y soldar la contra raíz. En otros casos no hay facilidad de acceso, y se debe hacer la combinación “U” + “V” con la raíz en “V” que se suelda en el proceso TIG. Ver figura 8.

- Se usa para espesores mayores a 20 mm (0.78 in).
- En construcción de calderas y tubos de vapor de alta presión se hace un pase de raíz con el proceso TIG para soldar luego los pases de relleno y acabado con electrodos revestidos.
- En planchas de espesores mayores a 40 mm (1.57 in) se suelda por ambos lados.

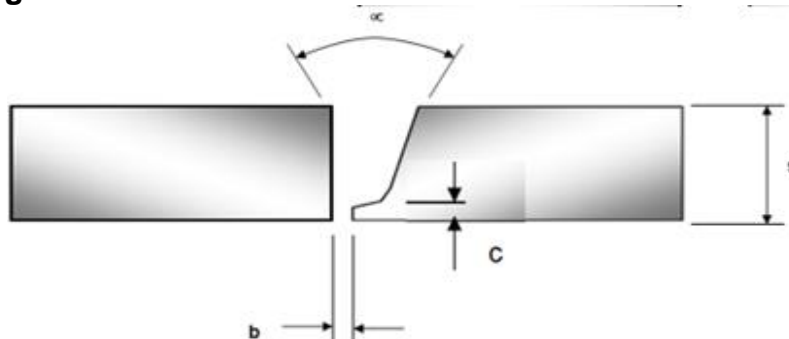
Figura 8. Soldadura de Bisel en U.



Fuente. Autor.

3.8.1.6 Soldaduras de Bisel en “J”. unión en “J” es un tipo de junta que distribuye el calor en forma desigual, en consecuencia, se produce una diferencia de penetración en los flancos, es propensa a presentar falta de fusión en el flanco recto. se requiere mucha practica para lograr una costura buena y en lo posible es mejor evitarlas⁹. Ver figura 9.

Figura 9. Soldadura de Bisel en J.



Fuente. Autor.

3.9 INSTRUCCIONES Y PROCEDIMIENTO

Para obtener los mejores resultados es esencial que la junta haya sido adecuadamente preparada. Deben removerse o limpiarse todas las materias extrañas, tales como óxido, grasa y aceites. Especialmente las partes que se han

⁹ RODRIGUEZ, Héctor. Metalurgia de la Soldadura. Diseño de juntas, Editorial Universitaria, 2013. 196 p.

impregnado de aceite, agua u otros agentes pueden requerir un precalentamiento a una temperatura suficientemente alta (600 a 700°F) para evaporar los contaminantes antes de la soldadura.

Las juntas deben ser preparadas y biseladas por medios mecánicos como esmeriles, discos, limas o con chaflanarco. En este último caso la pieza debe precalentarse a la temperatura a la cual se va a soldar la pieza antes de hacer el bisel. El biselado se recomienda aún para secciones delgadas, manteniéndolo siempre al mínimo práctico para evitar los esfuerzos residuales provenientes de la contracción. Como regla general el ángulo total del bisel debe ser aproximadamente 90° para secciones de 6 mm de espesor o menos, y de 60°, 90° para secciones de mayor espesor¹⁰

3.10 SOLDABILIDAD

La soldabilidad es la capacidad que tienen los materiales, de la misma o de diferente naturaleza, para ser unidos de manera permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales perjudiciales, tensiones o deformaciones que puedan ocasionar alabeos¹¹. La soldabilidad de un material constituye una propiedad muy compleja y en muchas ocasiones queda condicionada a variaciones metalúrgicas y sus propiedades. Esto significa que un material puede tener buena soldabilidad, cuando se puede lograr una unión soldada con propiedades mecánicas y físico-químicas adecuadas, por cualquiera de los procesos de soldadura y sin necesidad de utilizar técnicas auxiliares.

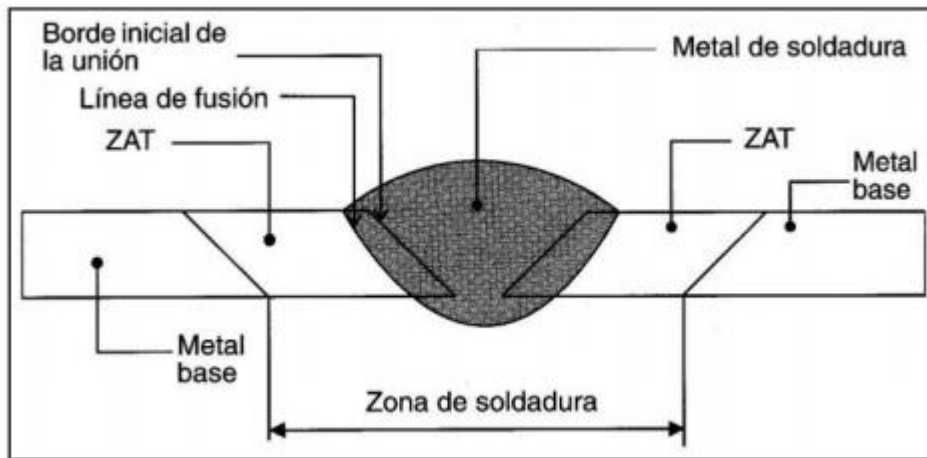
En un proceso de soldeo por fusión se pueden distinguir tres zonas claras en la unión soldada (ver figura 10). Estas zonas son:

- **Metal de soldadura**, o cordón de soldadura, que es la zona formada por el metal base y el metal de aporte.
- **Zona afectada térmicamente (ZAT)**, es la zona adyacente a la soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero que no funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas, pudiendo ser muy propensa a desarrollar grietas o condiciones desfavorables.
- **Metal base** es el que no ha sufrido ninguna transformación en el proceso de soldadura.

¹⁰ WESTARCO. Catálogo general de productos. 2018. Disponible en west arco. [en línea] URL: <https://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-general-de-productos-westarco.pdf>. página 107

¹¹ Alabeo: Deformación de una superficie plana de cualquier material, por acción del calor, humedad, etc., de manera que no pueda coincidir con un plano.

Figura 10. Zonas de la unión de la junta.



3.11 CALIFICACIONES DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

3.11.1 Especificación de Procedimiento de Soldar (WPS). Un WPS es un procedimiento de soldadura calificado y escrito preparado para proveer dirección para hacer soldaduras de producción en conformidad con requerimientos de Código. La WPS u otros documentos se pueden usar para proveer dirección al soldador o al operario de soldadura para asegurar cumplimiento con los requerimientos del Código contenido de la WPS. La WPS terminada describirá todas las variables esenciales, no esenciales, y, cuando se requiera, las variables esenciales suplementarias para cada uno de los procesos de soldadura usados en la WPS.

Se elaboró el WPS con base en un formato suministrado por la norma AMERICAN WELDING SOCIETY. Structural Welding Code-Steel. AWS D1.1/D1.1M:2015

3.11.2 Registro de Calificación de Procedimiento (PQR). Un PQR es un registro de los datos de soldadura usados para soldar una muestra de prueba. EL PQR es un registro de variables registradas durante la soldadura de las muestras de prueba. Contiene también los resultados de las pruebas de los especímenes probados. Las variables registradas caen normalmente dentro de una serie pequeña de las variables reales que se usarán en soldadura de producción.

Se elaboró el PQR con base en un formato suministrado por la norma AMERICAN WELDING SOCIETY. Structural Welding Code-Steel. AWS D1.1/D1.1M:2015¹².

3.12 ENSAYOS MECÁNICOS DE LA SOLDADURA.

Los ensayos destructivos son pruebas que se realizan en los materiales, tanto ferrosos como no ferrosos; esto con el objetivo de comprobar o determinar sus propiedades físicas y mecánicas principalmente. Se denominan ensayos destructivos debido a que estos producen una transformación irreversible del material en el que se realizan las pruebas, estas transformaciones se presentan en la composición química, mecánica o de la geometría dimensional de dicho material

Ventajas de los ensayos destructivos

- Permiten identificar de una forma aproximada las propiedades mecánicas del material (resistencia a la fractura, ductilidad, módulo de elasticidad).
- Definición de las propiedades mecánicas del material en función de los diferentes tipos de esfuerzos a los que se somete, esfuerzos como tensión, compresión, corte, esfuerzos dinámicos, de impacto, etc.
- El costo de los equipos para la realización de ensayos destructivos son más económicos que los equipos utilizados en los ensayos no destructivos.

Desventajas de los ensayos destructivos

- No permiten identificar defectos internos (burbujas, delaminaciones, espesor incorrecto) del material.
- Se necesitan realizar probetas simulando el mismo proceso (preparación superficial, condiciones ambientales), las cuales no se pueden volver a reutilizar una vez ensayadas.

3.12.1 Ensayo de tracción. El ensayo de tracción es uno de los más importantes para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. El ensayo consiste en someter una pieza de forma cilíndrica o prismática de dimensiones normalizadas (estándar) a un esfuerzo de tracción continuo (tendencia a estirar el material). Esta pieza se llama probeta¹¹.

3.12.2 Ensayo de dureza. La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador

¹² Ibid., código parte B numeral 4.9.3.6

de dureza se emplea la deformación permanente (plástica). En algunos casos, es necesario determinar las características mecánicas de los materiales sin llegar a su destrucción. También podemos determinar la dureza conseguida mediante un tratamiento de dureza¹³.

3.13 METALOGRAFÍA

Es la rama de la metalurgia que estudia la estructura de un metal-aleación y la relaciona con la composición química, con las propiedades mecánicas y físicas. Este estudio es llevado a cabo con la aplicación de diversas y variadas técnicas especiales. En los comienzos de la metalurgia, se utilizaron para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, los análisis químicos y los ensayos mecánicos.

Con estos métodos no quedaba definido completamente el metal o la aleación, con la aparición de la metalografía comenzó una información muy valiosa que se refiere a la forma y tamaño del grano, conformación de los constituyentes capaces de ejercer gran influencia sobre la dureza, resistencia a la tracción resiliencia, fatiga, etc., los cuales pueden ser modificados por los tratamientos térmicos o conformación mecánica¹⁴.

3.13.1 Micrografía. Este análisis tiene como objetivo estudiar las características microestructurales de un metal y aleantes. Con la ayuda de un microscopio, se puede establecer el tamaño de grano como la estructura que puedan presentar. Las aleaciones ferrosas (fundiciones y aceros), se atacan con nital cuya composición química es la siguiente:

Ácido nítrico..... 5 c.c.

Alcohol etílico o metílico (95% o absoluto)... 100 c.c.

El tiempo de ataque puede ser unos pocos segundos hasta 1 minuto, para todos los aceros al carbono y de baja aleación.

3.13.2 Macrografía. El ensayo de macro-ataque es usado para revelar la heterogeneidad de metales y aleaciones, por otro lado, proporcionará información en variaciones de estructura, tal como tamaño de grano, estructura de columnas, dendritas, variaciones en la composición química como la evidencia de segregación de carburos y la ferrita, el corte, las inclusiones y la profundidad de la carburación o descaburación. La información proporcionada sobre las variaciones en la composición química es estrictamente cualitativa, pero se mostrará la ubicación de los extremos en segregación, también mostrará la presencia de discontinuidades y vacíos, tales como costuras, porosidad, ráfagas, ruptura por extrusión, grietas, entre otros¹⁵.

3.14 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos tienen como objetivo detectar discontinuidades superficiales e internas de los materiales. Los ensayos no destructivos (END) son herramientas fundamentales en el control de calidad o garantía de calidad de materiales, soldaduras, equipos, piezas o partes. La mayor parte de los END se diseñan para encontrar discontinuidades. Los END son aplicables en conjunto para detectar todos los tipos de discontinuidades, eso quiere decir que el uso de un ensayo no excluye el uso de otros. Los END más comunes utilizados en la industria, se clasifican de acuerdo con el alcance que estos tengan para la detección de discontinuidades como sigue:

Discontinuidades Superficiales:

- Inspección visual.
- Ensayo de líquidos penetrantes.
- Ensayo por partículas magnéticas.

Discontinuidades Internas:

- Ensayo ultrasónico.
- Ensayo radiográfico.

3.14.1 Inspección visual. La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos No Destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo. En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición. Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás Ensayos No Destructivos, ya que menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual.

No se requiere de un gran entrenamiento para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia del inspector, y de los conocimientos que éste tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de falla que el objeto pueda presentar. Aunque no es regla general, algunas normas como las ASME y las AWS, exigen una calificación y certificación del personal que realiza la prueba de Inspección Visual, en donde se tienen muy en cuenta las horas de experiencia del individuo a certificar y la agudeza visual (corregida o natural) que éste pueda certificar¹⁷.

3.14.2 Tintas penetrantes. La inspección por líquidos penetrantes es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados. Generalmente se emplea en aleaciones no ferrosas, aunque también se puede utilizar para la inspección de

materiales ferrosos cuando la inspección por partículas magnéticas es difícil de aplicar. En algunos casos se puede utilizar en materiales no metálicos. El procedimiento consiste en aplicar un líquido coloreado o fluorescente a la superficie en estudio, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. Después de un determinado tiempo se elimina el exceso de líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que ha penetrado en las discontinuidades y sobre la capa del revelador se delinea el contorno de éstas.

3.14.3 Radiografía industrial. Es un método de inspección que sirve para detectar defectos internos en los materiales de piezas metálicas de fundición, forjas, partes maquinadas, recipientes a presión, estructuras de puentes, edificios, industria petroquímica e industria alimenticia.

El método consiste en colocar películas radiográficas en los materiales a inspeccionar haciendo pasar a través de ellos algún tipo de radiación. Si existen defectos, estos serán detectados en las películas radiográficas una vez sean reveladas¹².

¹² AWS, AWS D1.1-Código de Soldadura Estructural-Acero, American W. Miami, USA: 2015, 2015

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Inicialmente se acordó realizar el análisis de la unión soldada en los diferentes tipos de bisel (a tope, V sencilla, V doble, J y U) del acero estructural ASTM A572 gr 50, mediante el proceso de soldadura SMAW. Como materiales de estudio se utilizaron platinas de 1/2". Para el proceso SMAW: en todos los biseles, se usó el electrodo E6010 de 1/8" de diámetro y E7018 de 1/8" de diámetro.

Para el desarrollo de las uniones soldadas, las cuales se especificaron en los WPS (ver anexo 1) en que se basaron los soldadores para aplicar la soldadura; finalmente resultaron 12 platinas soldadas de donde se obtuvieron las probetas para las diferentes pruebas realizadas, como fueron ensayos no destructivos (visual, tintas penetrantes y radiografía), mecánicos (ensayo de tracción), y análisis metalográfico. Ver tabla 9.

Tabla 9. Diferentes tipos de bisel y su proceso

TIPO DE JUNTA	PROCESO	TIPO DE ELECTRODO	PROBETA N°
BISEL EN V	SMAW	E 6010 Y E 7018	1
	SMAW		2
	SMAW		3
BISEL EN V DOBLE	SMAW	E 6010 Y E 7018	4
	SMAW		5
	SMAW		6
BISEL EN J	SMAW	E 6010 Y E 7018	7
	SMAW		8
	SMAW		9
BISEL EN U	SMAW	E 6010 Y E 7018	10
	SMAW		11
	SMAW		12

Fuente. Autor.

Se realizó una mecanización de las platinas mediante un disco de pulidora dejando estas con geometría y medidas precisas para el proceso de soldadura. Se soldaron las platinas mediante proceso SMAW (shielded metal arc welding) empleándose electrodos de alta penetración y de presentación siguiendo especificaciones de la AWS A5.1 de dos clases como son E6010 y E7018.

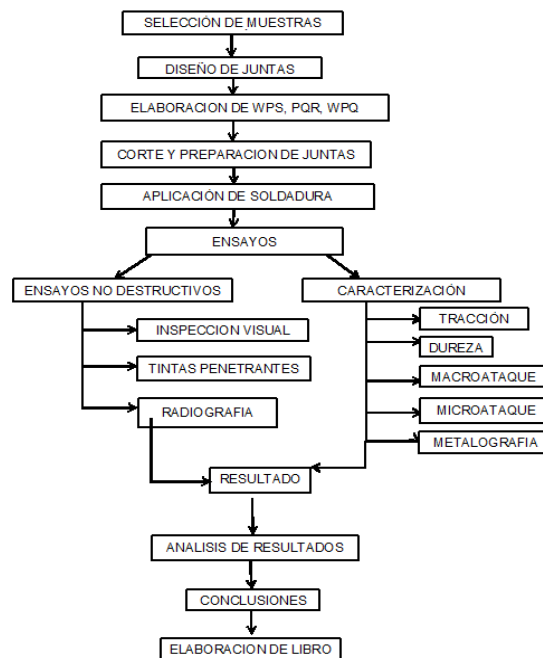
Se tiene en cuenta la especificación del procedimiento de soldadura WPS (Welding Procedure specification) por medio del código D1.1:2015 que es un documento en el cual se determinan todas las variables esenciales y no esenciales de soldadura requeridas para la ejecución del proceso de soldadura; de igual forma se realizó el registro de calificación del procedimiento PQR (Procedure Qualification Record), documento que contiene las variables reales utilizadas durante el proceso de soldadura, así como los resultados obtenidos sobre ensayos no destructivos(ENd) y destructivos(ED) realizados.

A las juntas soldadas se les realizó una inspección visual (IV) para determinar la sanidad de las soldaduras, se evaluaron mediante la utilización de galgas de medición y se realizó ensayo de tintas penetrantes (TP) y radiografía industrial (RI) para observar las posibles discontinuidades superficiales e internas que pudieran tener las soldaduras.

La preparación de las probetas se realizó mediante el código D1.1:2015 para los ensayos de tracción (código parte B numeral 4.9.3.6). A dichas probetas además se les hizo ensayos de dureza (código capítulo 3 numeral 3.5.2.1), macroataque (código parte B numeral 4.9.4) para la determinación de la ZAC y microataque (ASTM E-407) para determinación de tamaño de grano y fases presentes en las piezas soldadas.

Todas las etapas que se llevarán a cabo se presentan en el siguiente diagrama de flujo mediante un diagrama de flujo:

Figura 11. Diagrama de flujo.



4.2 PROCEDIMIENTO PREVIO A LA APLICACIÓN DE SOLDADURA

Se utilizaron platinas de acero estructural ASTM A572 grado 50 cuyo espesor es de ½ pulgada por ser este del material requerido para llevar a cabo de forma adecuada y sencilla el proceso de soldadura, además de ser muy utilizados en la industria lo cual nos da una solución a problemas cotidianos de la vida real. Ver figura 12.

Figura 12. Platinas de acero ASTM A572 gr 50.



Fuente. Autor.

4.2.1 Composición química. La composición química del metal base se determinó por medio de un equipo de espectrometría de emisión óptica por chispa mediante la elaboración de probetas de tamaño y geometría adecuadas. Ver tabla 10

Tabla 10. Composición química del acero A572 gr 50.

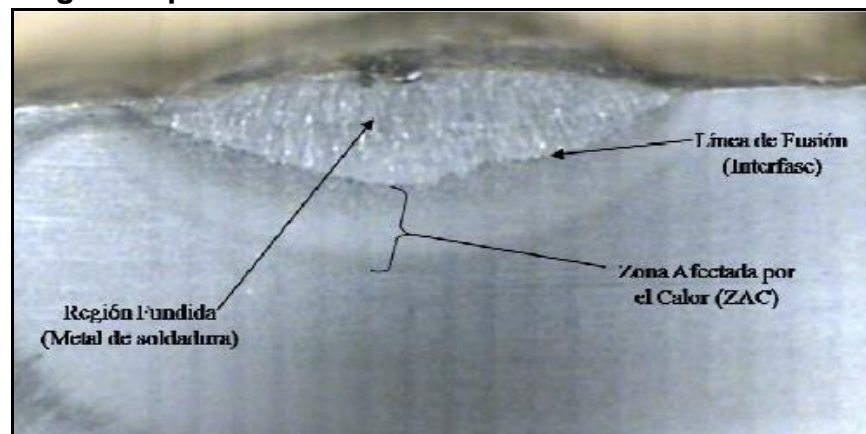
COMPOSICION QUIMICA	
% C	0,145
% Mn	0,98
% Si	0,18
% P	0,0139
% S	0,0389
% V	0,015
% Nb	0,0235
% Cr	0,00384
% Mo	0,01
% Co	0,0102

Fuente. Autor.

4.2.2 Soldabilidad. Es la mayor o menor facilidad con que un metal permite que se obtengan soldaduras sanas y homogéneas, que respondan a las necesidades para las que fueron concebidas incluyendo códigos de fabricación. Ver figura 13.

Desde el punto de vista metalúrgico durante la soldadura en estado líquido en una región muy pequeña el material a ser soldado alcanza el estado líquido y luego solidifica. El aporte térmico suministrado se utiliza para fundir el metal de aporte (si existe), fundir parcialmente el metal base y el resto se transfiere a través del metal de soldadura modificando la microestructura (y propiedades mecánicas) inicialmente presentes.

Figura 13. Regiones presentes en la soldadura.



Fuente. ASM handbook. Welding, Brazing and Soldering, ASM International, 1994, vol. 6.

4.2.2.1 Concepto de Carbono Equivalente. Un parámetro útil para evaluar la soldabilidad de los aceros es el concepto de CARBONO EQUIVALENTE (CEQ). Este consiste en una ecuación que relaciona la composición química del material. El Código API 1104- A B presenta la ecuación desarrollada por el Instituto Internacional de Soldadura, y cuya expresión es la siguiente¹³:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left(\frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right)$$

4.2.3 Análisis metalográfico. El ensayo metalográfico aplicado a una soldadura también es llamado ensayo de macro fusión, debido a que sirve para analizar la

¹³ Ferrocortes. ASTM A572 gr 50.

correcta fusión entre metal de aporte y las paredes del metal base, así como entre las capas del metal base.

Para efectuar este ensayo se debe extraer una muestra del metal soldado y procurarle una superficie plana. Luego, se tienen que esmerilar los bordes cortantes y se prepara la superficie a examinar, de tal manera que se obtenga primero un pulido grueso con lijado sucesivo en lijas de números: 180, 220, 360, 400, 600 y mil; posteriormente, se procede a realizar un pulido fino con alúmina (Al_2O_3), sobre un paño giratorio en una maquina especial.

Una vez obtenido el acabado de pulido fino deseado, se realiza el ataque químico a la superficie de la muestra con el compuesto químico respectivo, dependiendo del tipo de material a ensayar. En este caso como es acero se empleó Nital al 3% diluido en agua. Finalmente, se observa la superficie de la muestra en un microscopio de ensayo metalográfico, el cual a su vez puede proporcionar fotografías de la muestra¹⁴.

4.2.4 Ensayo de Dureza. (HT). Se determinó mediante ensayos físicos de dureza tomados con un durómetro Rockwell en escala B con bola de acero y una carga de 100 Kgf. Ver figura 14.

Figura 14. Durómetro Rockwell.



Fuente. Autor.

4.2.5 Límite de elasticidad. Se define como una propiedad mecánica que posee un material para resistir cargas de tensión máxima sin sufrir algún tipo de deformación permanente. Siendo no mayor la carga, al límite de elasticidad, sobre un material, este regresará a su forma original. Ver tabla 11.

¹⁴ ASTM E3-95 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.

Tabla 11. Límite de elasticidad y espesor máximo.

Grade	Yield Point, min		Tensile Strength, min		Minimum Elongation, % ^{B,C,D}	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	in 8 in. [200 mm]	in 2 in. [50 mm]
42 [290]	42	[290]	60	[415]	20	24
50 [345]	50	[345]	65	[450]	18	21
55 [380]	55	[380]	70	[485]	17	20
60 [415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65 [450]	65	[450]	80	[550]	15	17

^A See specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.
^B Elongation not required to be determined for floor plate.
^C For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % minimum applies.
^D For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points for Grades 42, 50, and 55 [290, 345, and 380], and three percentage points for Grades 60 and 65 [415 and 450]. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

Fuente: norma ASTM A572.

4.2.6 Resistencia a la tracción. Es el punto máximo de carga que puede soportar un material antes de llegar a una deformación permanente. Cuando dicho objeto supera los valores de resistencia a la tracción, este trabaja bajo un comportamiento plástico¹⁵.

4.3 TÉCNICA DE LA SOLDADURA

4.3.1 Proceso de soldadura. El proceso de soldadura seleccionado para llevar a cabo las uniones de las juntas es de tipo SMAW (shielded metal arc welded) por ser un proceso sencillo, de amplia aplicación y de costos relativamente bajos. Las propiedades obtenidas en las soldaduras dependen de variables tales como amperaje, voltaje y polaridad los cuales pueden ser regulados fácilmente dependiendo de las necesidades del metal a soldar, así como de la pericia del soldador.

4.3.2 Evaluar y seleccionar la geometría de las juntas del material a soldar. Para el diseño de junta de esta investigación se tomó como referencia, las juntas parametrizadas en el código AWS D1.1:2015, el cual estipula las condiciones de medidas para ensayos de junta en diferentes biseles y unión a tope, para cualquier material o proceso de soldadura e indica los parámetros que el equipo de soldadura requiere.

¹⁵ ASTM, "ASTM A-572/572M-04: standard specification for high-strength lowalloy columbium-vanadium structural steel." United States of America, 2004.

En esta etapa se definirán las variables que permitan asegurar la compatibilidad entre el material base y el equipo de soldadura, asegurando la calidad del producto acorde a las especificaciones del código de soldadura estructural AWS D1.1:2015, entre las variables de soldadura se pueden identificar: voltaje, amperaje, alimentación, fuerza de arco, tiempo y velocidad de depósito entre otras, las cuales son registradas en el WPS.

4.3.3 Preparación de la junta. Después de comparar la composición química y teórica del material base, se debe trazar en material acorde a los parámetros (según código AWS D1.1:2015), luego se procede al corte que puede ser mecánico o térmico, por tanto, se debe: preparar y limpiar los bordes, clave en el procedimiento de la soldadura, preparar los bordes de la pieza acorde al diseño y tipo de junta, además se deben retirar impurezas, contaminantes y todo aquello que impida que la soldadura tenga una buena penetración. Para el ensamble de junta a tope, se debe tener en cuenta que esta debe estar alineada para que la unión sea uniforme, por lo que se recomienda que los bordes estén rectos.

La posición para soldar será la posición 1G por ser la más adecuada y sencilla además de presentar un mayor rendimiento en el depósito de metal y una mejor presentación del cordón ya que el soldador se encontrará con mayor facilidad para mover el electrodo y realizar un buen trabajo.



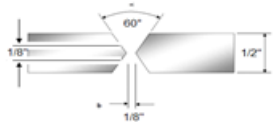
4.3.4 Elección del tipo de electrodo a usar. Para la elección del electrodo se debe tener en cuenta variables como la composición química del metal base, propiedades mecánicas de la estructura, posición a soldar, requerimientos de servicio de la junta soldada, requisitos de penetración, costo de operación de la soldadura, diseño de la junta, corriente de soldadura entre otros. Teniendo en cuenta esto se seleccionaron dos tipos de electrodos según la clasificación de la AWS A5.1 y mediante especificaciones de los fabricantes de electrodos.

4.3.5 Características eléctricas. Las diversas variables eléctricas que pueden ser usadas en la ejecución del proceso de soldadura esta detallada según el tipo de electrodo a usar, la AWS A5.1 presenta los rangos aceptables que se pueden emplear en cuanto a la polaridad (directa o inversa), tipo de corriente (AC o DC) y voltaje (V) según el tipo de electrodo y sus características. cada fabricante usa estos parámetros dentro de las especificaciones del uso de los electrodos y presenta un límite máximo y mínimo para la aplicación de estas variables, así como otras variables posibles a usar, en nuestro caso se tomaron los límites máximos y mínimos para cada tipo de electrodo y se eligió la polaridad y voltaje sugeridas por el fabricante.

4.3.6 Desarrollo de la soldadura. Se procede a realizar las aplicaciones al diseño de junta, bajo los procesos y parámetros de soldadura específicos en WPS preliminar (Welding, Procedure Specification) y PQR preliminar (Procedure Qualification Record). A continuación, en la figura 15 se encuentra el formato

desarrollado para el WPS:

Figura 15. Formato WPS.

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO SMAW																																			
		ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																																	
		PRECALENTAMIENTO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																	
		CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																	
		PREREGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																	
IDENTIFICACION <u>WPS 2</u>		REVISION N° _____ FECHA _____ CONDUCTIDO POR <u>I</u>						PQR SOPORTE DE LA CALIFICACION N° (S) _____																											
PROCESO DE SOLDADURA <u>SMAW</u>		TIPO <u>MANUAL</u>																																	
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLES DE LA JUNTA																															
DISEÑO DE JUNTA <u>B-U3B</u> SIMPLE <input type="checkbox"/> SOLDADURA DOBLE <input checked="" type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DE RESPALDO <u>N.A.</u> ABERTURA DE RAIZ <u>1/8"</u> DIMENSION DE CARA DE RAIZ <u>1/8"</u> ANGULO DE BISEL <u>60°</u> RADIO(J,U) <u>N.A.</u> SANEADO DE RAIZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>																																			
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PASE N°</th> <th rowspan="2">PROCESO</th> <th colspan="2">METAL DE APORTE</th> <th colspan="2">CORRIENTE</th> <th rowspan="2">VOLTAJE</th> <th rowspan="2">VELOCIDAD DE AVANCE</th> </tr> <tr> <th>CLASIFICACION</th> <th>DIAMETRO</th> <th>TIPO Y POLARIDAD</th> <th>W F S</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>SMAW</td> <td>E 6010</td> <td>1/8"</td> <td>DC - EP</td> <td>70 - 115</td> <td>20 - 25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>SMAW</td> <td>E 7018</td> <td>1/8"</td> <td>DC - EP</td> <td>100 - 145</td> <td>20 - 25</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PASE N°	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE	CLASIFICACION	DIAMETRO	TIPO Y POLARIDAD	W F S	1	SMAW	E 6010	1/8"	DC - EP	70 - 115	20 - 25		2	SMAW	E 7018	1/8"	DC - EP	100 - 145	20 - 25					
PASE N°	PROCESO	METAL DE APORTE				CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE																										
		CLASIFICACION	DIAMETRO	TIPO Y POLARIDAD	W F S																														
1	SMAW	E 6010	1/8"	DC - EP	70 - 115	20 - 25																													
2	SMAW	E 7018	1/8"	DC - EP	100 - 145	20 - 25																													
METAL BASE ESPECIFICACION DEL MATERIAL <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A572</u> ESPESOR RANURA _____ FILETE _____ DIAMETRO _____ ESPESOR (PLANCHA) <u>1/2"</u>		POSICION DE BISEL <u>1G</u> FILETE <u>-</u> PROGRESION VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESENDENTE</u> <input type="checkbox"/>																																	
METAL DE APORTE ESPECIFICACION AWS <u>A5.1</u> CLASIFICACION AWS <u>E6010, E7018</u>		CARACTERISTICAS ELECTRICAS TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW) CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE <u>AC</u> <input type="checkbox"/> <u>DCEP</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DCEN</u> <input type="checkbox"/>																																	
PROTECCION FUNDENTE <u>N.A.</u> GAS <u>N.A.</u> COMPOSICION <u>N.A.</u> CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A.</u>		TECNICA CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/> MULTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) SIMPLE <input type="checkbox"/> MULTIPLE <input checked="" type="checkbox"/> NUMERO DE ELECTRODOS <u>N.A.</u> DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS LONGITUDINAL <u>N.A.</u> LATERAL <u>N.A.</u> ANGULO <u>N.A.</u> MARTILLO <u>NO</u> LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECANICA</u>																																	
PRECALENTAMIENTO TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MINIMA <u>23°C</u> TEMPERATURA ENTRE PASES MINIMA <u>131°C</u> MAXIMA <u>151°C</u>		Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1:2010, CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL																																	
AUTORIZADO POR _____ FECHA _____ FIRMA _____		CONDUCTIDO POR <u>I</u> FECHA _____ FIRMA _____																																	
Este procedimiento puede variar a la secuencia de fabricacion, composicion, tamaño d'el pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANS/AWS D1.1. Structural Welding Code.																																			

Fuente. Autor.

4.3.7 Corte y preparación de las juntas. Las superficies para soldar deberán estar lisas, uniformes, libres de rebabas, grietas u otros defectos los cuales pueden afectar adversamente la calidad o resistencia de la soldadura. Las superficies a ser soldadas y superficies adyacentes al cordón de soldadura también deben estar libres de escamas sueltas o gruesas, escoria, herrumbre, humedad, grasa, revestimientos epóxicos u otro material extraño que impida obtener una soldadura adecuada o produzca humos perjudiciales. Las

especificaciones para la preparación de las juntas están especificadas mediante el WPS 1, WPS 2, WPS 3, WPS 4, respectivamente (ver anexo 1).

Las platinas fueron maquinadas y dejadas con la geometría y medidas requeridos por medio de un proceso de corte en frio y además utilizando disco de pulidora para el diseño de las juntas. Ver figuras 16 y 17.

Figura 16. Preparación de las diferentes juntas.



Fuente. Autor.

Figura 17. Juntas terminadas.



Fuente. Autor.

4.4 PROCEDIMIENTO DURANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA

4.4.1 Equipo de soldadura a utilizar. Para el proceso de soldadura se utilizará un equipo de soldadura multiproceso POWER MIG 350 de la Lincoln electric pudiendo obtener soldaduras de alta calidad con un control preciso sobre el arco

eléctrico, permitiendo soldar MIG, alambre tubular/ FCAW, electrodo revestido/stick, TIG, MIG pulsado y procesos avanzados de control de onda, como: pulso a pulso/ pulse on pulse y Mode power. Esto la convierte en una maquina altamente flexible para soldar desde aceros al carbono, de baja aleación, aceros inoxidable y aluminios, permitiendo elegir el proceso de soldadura más adecuado para su aplicación. Ver figura 18.

Figura 18. Equipo de soldadura multipropósito POWER MIG 350.



Fuente. Autor.

4.4.2 Procedimientos durante la aplicación de la soldadura. Para llevar a cabo la aplicación de la soldadura se contó con la ayuda de un soldador certificado el cual es recomendado para llevar de la mejor manera la aplicación de la soldadura y obtener trabajos de calidad. Mediante los WPS el soldador llevo a cabo el procedimiento de soldadura siguiendo cada una de las especificaciones allí dadas. La soldadura se aplicó mediante proceso SMAW, con material de aporte de 1/8" de diámetro para todas las soldaduras. Las piezas a soldar se limpiaron y se eliminó de ellas óxidos, grasas o aceites dejando superficies aptas y listas para la realización del proceso de soldadura.

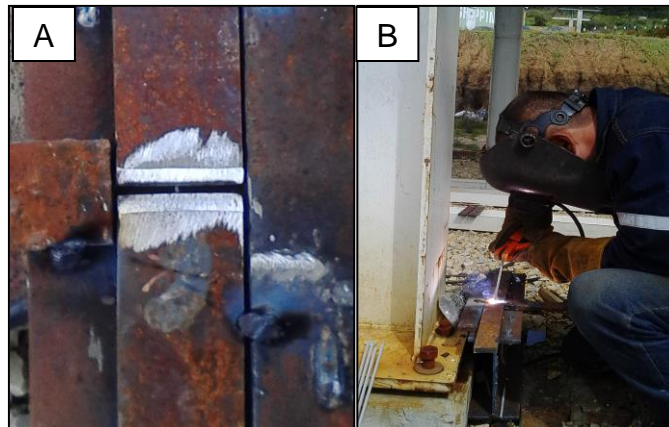
Mediante un perfil en H en acero se apoyaron las platinas manteniendo una posición fija con los biseles enfrentados permitiendo una apertura de raíz de 1/8" y un ángulo de bisel de 60° y 45° respectivamente entre cada platina. Las juntas fueron soldadas en la posición 1G por ser una posición de fácil aplicación y mejores deposiciones de metal en las soldaduras.

La aplicación se realizó con variables diferentes para cada platina con las características dispuestas en cada uno de los WPS. Los cordones se aplicaron de forma oscilante y con una velocidad de avance de +- 5 in/min, evitando sobrecalentamientos en las piezas a soldar y permitiendo una deposición de metal adecuada.

Se aplicó un primer cordón o pase de raíz para cada junta de manera uniforme, pero en algunos casos se dio la inestabilidad del arco, ya que se apagaba y prendía generando socavados y sobre espesor de raíz las soldaduras sin precalentamiento. Ver figura 19.

Se repitió el proceso para cada una de las 12 juntas siguiendo las especificaciones dadas mediante los WP S.

Figura 19. (A) Alineación y posicionamiento de las platinas (B) Aplicación de la soldadura.



Fuente. Autor.

4.4.3 Control durante la soldadura. Durante la aplicación de la soldadura se tuvo un control de la temperatura entre pases según lo especificado en el WPS, así como la limpieza con grata entre los pases para la eliminación de la escoria depositada por el revestimiento del electrodo y el martilleo de los cordones aplicados (ver figura 20) ya que esto permite el alivio de los esfuerzos de contracción de la soldadura y la zona afectada por el calor ZAC.

Figura 20. Limpieza entre pases de la soldadura.



Fuente. Autor.

4.5 PROCEDIMIENTOS POSTERIORES A LA SOLDADURA DE LA JUNTA

Para determinar la sanidad y estado de las juntas soldadas se realizaron ensayos destructivos (ED) y no destructivos (END) por medio de los cuales se puede evaluar la calidad de las soldaduras.

4.5.1 Ensayos no destructivos

4.5.1.1 Inspección visual (IV). Se tomaron las platinas y se inspeccionaron para determinar los posibles defectos que pudieran presentar los cordones de soldadura una vez aplicados por medio del proceso SMAW.

Se mantuvo un control durante todo el proceso de soldadura antes durante y después y se verificaron las juntas soldadas si presentaban desalineamiento entre cada tubo mediante la galga HI-LO la cual nos dio cero desalineamientos en todas las juntas soldadas lo cual es un indicador de la buena ejecución de la aplicación y control de la soldadura. Se observó la uniformidad del cordón, así como su espesor en la cara de la junta y la raíz, presentando una buena superficie con cordones homogéneos y de buena presentación.

4.5.1.2 Inspección con tintas penetrantes (TP). Para el análisis por medio de tintas penetrantes (TP) se usó un kit de tintas marca CRC (ver figura 21) el cual consta de un limpiador o cleaner, un penetrante y un revelador. Las piezas fueron limpiadas por medio del limpiador Crick 110 y se eliminó toda presencia de grasas, óxidos, escorias u otros elementos que pudieran intervenir en la revelación de defectos y pudieran presentar falsas indicaciones.

Figura 21. Kit de tintas penetrantes marca CRC.



Fuente. Autor.

Luego se aplicó el penetrante Crick 120 (ver figura 22) sobre toda la superficie de las juntas soldadas a una distancia de 20 cm de manera uniforme formando una capa fina y se dejó actuar durante 15 min, tiempo durante el cual el penetrante

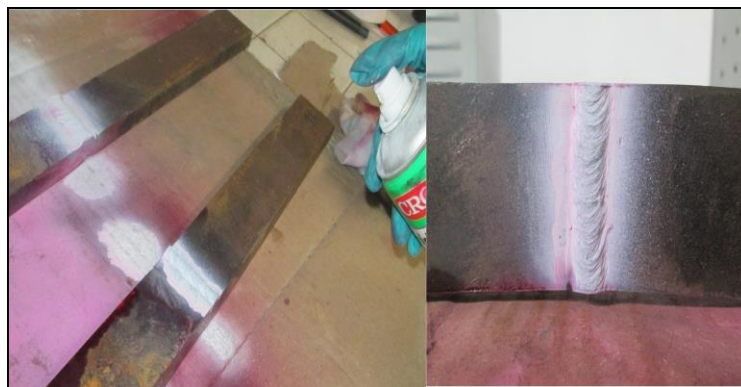
ingresa en las discontinuidades de la superficie de las piezas. Seguido de esto se limpia el exceso de penetrante mediante un paño seco, paso seguido se aplicó el revelador Crick 130 a base de polvo blanco el cual se agito para homogenizar el contenido del spray sobre toda la superficie de las piezas a inspeccionar. Se deja actuar el revelador por un tiempo de 10 min después del cual se van revelando las discontinuidades superficiales en color rosa sobre un fondo blanco (ver figura 23). La morfología y el contraste de color ya sea rosa o rojo intenso nos da información sobre el tipo y naturaleza de las discontinuidades halladas.

Figura 22. Aplicación del penetrante.



Fuente. Autor.

Figura 23. Aplicación del revelador.



Fuente. Autor.

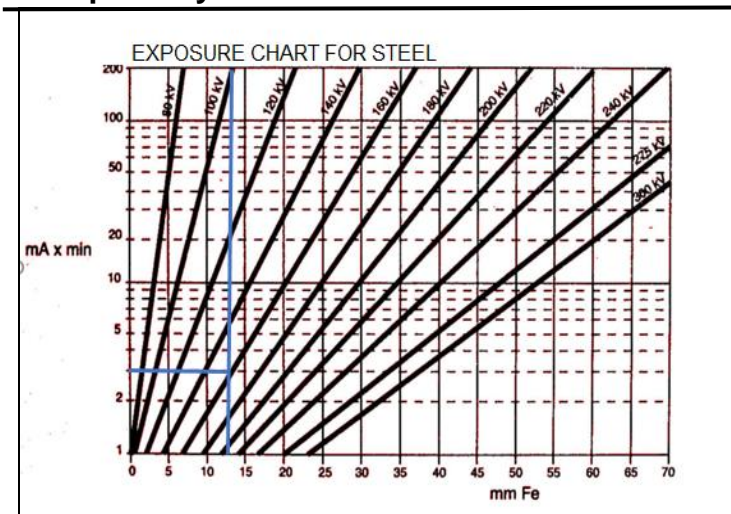
4.5.1.3 Radiografía industrial (RI). La inspección por medio de radiografía industrial se desarrolló en los laboratorios de radiaciones nucleares (LRN) de la UPTC por medio de rayos x (interacción de electrones) ya que esta técnica presenta una mejor calidad de la imagen para espesores mayores a 6 mm. El equipo empleado para la toma de radiografías fue un tubo de rayos X junto con

todos los accesorios necesarios. Para llevar a cabo la toma de las radiografías fue necesario hacer los cálculos de tiempo de exposición y distancia teniendo en cuenta el tipo de material, espesor, tipo de película radiográfica a usar.

Un tubo de rayos X es una válvula de vacío utilizada para la producción de rayos X, emitidos mediante la colisión de los electrones producidos en el cátodo, o polo negativo, contra los átomos del ánodo, o polo positivo.

En el tubo de rayos X se va a producir una corriente de electrones (mA) que durante un tiempo determinado (s) van a circular desde el cátodo hacia el ánodo gracias a que se establece una diferencia de potencial (kV) entre ambos polos.

Tabla 12. Calibrado para rayos X.



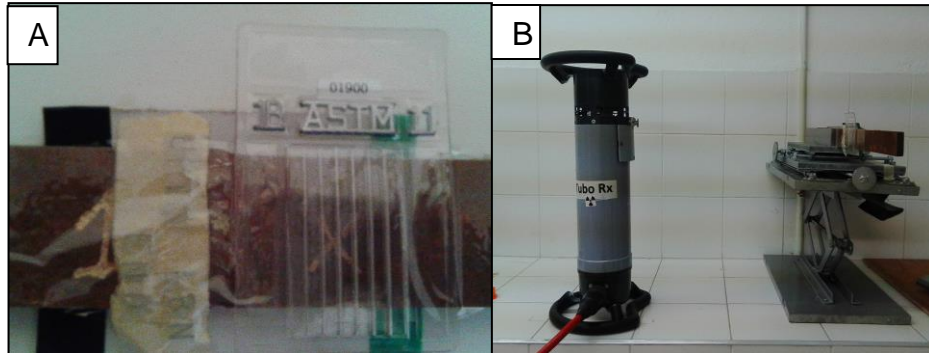
Fuente. Autor.

Para determinar el tiempo de exposición se utilizó la medida del espesor de la platina (12.27 mm) el cual se localizó en la tabla 12. Dando como intercepción en seis puntos (200, 180, 160, 140, 120, 100) Kv. por rendimiento tomamos 160Kv que corresponde a 13.5 mA/min.

Obteniendo los datos de la tabla 13 lo que hacemos es tomar el 13.5mA/min y multiplicarlo por 2.4mA que es la máxima corriente que maneja el equipo, también utilizamos el factor de absorción que es: 0.55, y el porcentaje del equipo que es de 110% para así poder hallar el tiempo de exposición de la película.

Una vez se tiene el tiempo de exposición, la corriente (mA) y la diferencia de potencial (kV) se coloca la película a la platina y el indicador de calidad IQI. Se hace el montaje para la realización de la toma radiográfica. Ver figura 24

Figura 24. A) Fijación de la película y el indicador de calidad, B) Montaje radiográfico



Fuente. Autor.

Irradiadas las piezas se llevaron al cuarto de revelado las películas radiográficas para hacer el respectivo revelado. En un cuarto oscuro por medio de tres componentes se realizó el revelado, revelador (ácido bórico), agua y un fijador (sulfato de amonio). Se dejaron las películas radiográficas por 5 minutos en el revelador, se pasó luego a un recipiente con agua por 1 minutos más, luego se llevaron al fijador por un periodo de 5 minutos y finalmente se devolvió al agua por un periodo de 1 minuto cada radiografía. Ya listas las radiografías y mediante un negatoscopio se realizó el análisis de cada radiografía ya que este equipo permite mediante la emisión de un haz de luz muy intenso observar con mayor claridad las posibles discontinuidades internas de las piezas irradiadas.

4.5.3 Pruebas físicas.

4.5.3.1 Corte en frío. Se llevó a cabo el corte de cada uno de las platinas mediante corte en frío, se sacaron probetas para llevar a cabo los ensayos de tracción, dureza, y análisis metalográfico, todo bajo especificaciones como geometría y medidas dadas por códigos y normas de la AWS.

4.5.3.1 Macroataque. Los ensayos de macroataque permiten revelar la zona afectada por el calor (ZAC) y el cordón de soldadura por medio del contraste entre una zona y otra. Mediante la observación de los cambios de la ZAC presentados en la unión soldada se podrá evaluar y determinar que pudo haber causado esos cambios y como se dieron.

Para la revelación de la ZAC, en las probetas se realizó un desbaste y pulido y siguiendo las especificaciones dadas por la norma ASTM E 340 la cual da las pautas a seguir para tener condiciones óptimas en el ataque químico durante la realización del ensayo. Las probetas fueron sumergidas en 50 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y 50 ml de agua a una temperatura de 75°C durante un tiempo de 15 min aproximadamente durante el cual se pudiera observar su contraste. Luego se lavaron y secaron para su posterior análisis. Ver figura 25

Figura 25. Probetas macroataque.



Fuente. Autor.

4.5.3.2 Microataque. Los ensayos de microataque tienen como fin el poder revelar las fases constituyentes de la unión soldada y evaluar los cambios que se generaron por el proceso de soldadura. Para la toma de micrografías se usó la norma ASTM E3-01 mediante la cual se adoptaron todos los pasos a seguir para el desarrollo del ensayo. En la tabla 13 se detallan los parámetros para la preparación metalográfica.

Tabla 13. Método de preparación metalográfico.

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)						
Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force ^A N(lbf)	Platen RPM ^B	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al ₂ O ₃	15–45	20–30 (5–8)	200–300 ^C	CO ^D
Fine Grinding paper paper paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede ^E	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA ^F

^A Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.
^B Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.
^C High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.
^D Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.
^E Optional step.
^F Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

Fuente: norma E3-95.

Se tomó cada probeta de sección rectangular y se le hizo un desbaste y pulido con un papel de lija desde el número 80 hasta 1000, luego de esto se pasó a un paño con alúmina de 0.05µm hasta obtener un acabado especular y sin rayas.

Una vez pulidas y sin rayas se hizo el ataque químico de las probetas para determinar su tamaño de grano y las fases presentes en la soldadura según la norma ASTM E112 la cual indica el reactivo requerido para el ataque, el tiempo de exposición y las proporciones para la elaboración del mismo, en la tabla 14 se muestra los reactivos para el ataque de los aceros.

Tabla 14. Reactivos de ataque para acero.

Ácido nítrico (nital)	Ácido nítrico blanco: 1-5 ml Alcohol metílico o etílico (98% o absoluto) (También alcohol amílico): 100 ml	En aceros al carbón: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita.	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₃ . El reactivo 2 (ácido pícrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.
Ácido pícrico (picral)	Ácido pícrico: 4 g etil o alcohol de metilo (95% o absoluto): 100 ml	Para todos los grados de aceros al carbón recocidos, templados y revenidos, normalizados, esferoidizados, austenizados. Para todos los aceros de baja aleación atacados por este reactivo.	Ocasionalmente útiles para soluciones más diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan fácilmente como el nital. Tiempo de ataque de unos cuantos segundos a un minuto o más.
Cloruro férrico y ácido hidroclicórico	Cloruro férrico: 5 g Ácido hidroclicórico: 30 ml Agua: 100 ml	Aceros austeníticos al níquel y aceros inoxidables.	
Hidróxido de amonio y peróxido de hidrógeno	Hidróxido de amonio: 5 partes Peróxido de hidrógeno: 2-5 partes	Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones.	El contenido de peróxido varía directamente con el contenido de cobre de la aleación que será atacada. Inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peróxido fresco para buenos resultados.
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio: 10 mg Agua 90 mg	Cobre, latón, bronce, plata, níquel, bronce aluminico.	Utilizarlo frío o hirviendo; inmersión.
Reactivo de Palmerton	Oxido crómico: 200 g Sulfato de sodio: 15 g Agua: 1000 ml	Reactivo general para zinc y sus aleaciones.	Inmersión con agitación moderada.
Molibdato de amonio	Ácido molibdic(85%): 100 g Hidróxido de amonio (gr. esp. 09): 140 ml Agua: 240 ml Filtrar y añadir al ácido nítrico (gr. esp. 1.32): 60 ml	Ataque rápido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado.	Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua de manera alternada.
Ácido hidrofluórico	Ácido hidrofluórico: 0.5 ml (conc) H ₂ O: 99.5 ml	Examen microscópico general para aluminio y sus aleaciones.	Frotar con algodón suave por 15 s.

Fuente: De "Metals Handbook", 1948, American Society for Metals, Metals Park, Ohio.

Para nuestro caso, como se trata de un acero se eligió nital al 3% pudiéndose atacar toda la superficie de las probetas (ver figura 26). Una vez hecho el ataque químico se realizó la toma de las micrografías mediante un microscopio óptico de los laboratorios de metalurgia de la UPTC. Se tomaron micrografías a 100X para determinación de tamaño de grano y 500X para determinación de las fases constituyentes de las probetas.

Figura 26. Probeta atacada químicamente Nital 3%.



Fuente. Autor.

4.5.4 Pruebas mecánicas.

4.5.4.1 Ensayo de dureza (HT). Los ensayos de dureza se tomaron en los laboratorios de metalurgia de la UPTC mediante un durómetro Rockwell en escala B con un penetrador de bola y carga de 100 Kgf según la norma ASTM E18 (ver figura 27). Se fabricaron probetas de una longitud tal que abarcara tanto el metal base como la ZAC y el cordón de soldadura para evaluar los cambios que se presentarían en toda esta sección. Se realizaron 3 tomas de dureza (ver figura 28) para cada probeta en un total de 12 piezas pues cada uno fue soldado mediante variables específicas y se estudiara su impacto en la calidad de la unión soldada.

Figura 27. Durómetro Rockwell.



Fuente. Autor.

Figura 28. Probetas para ensayo de dureza.



Fuente. Autor.

4.5.4.2 Ensayo de tracción. Los ensayos se realizaron en la maquina universal de la UPTC de los laboratorios de la escuela de ingeniería civil, las probetas se diseñaron según el código D1.1:2015 donde se encuentran las especificaciones dimensionales para la calificación de procedimientos de soldadura que contengan material de aporte (ver figura 29). Los ensayos de tracción se emplean para determinar la resistencia a la tracción de la unión soldada, esta resistencia depende de las características del electrodo y del metal depositado y de la buena técnica utilizada durante el proceso de soldadura.

Figura 29. Maquina universal de ensayos UPTC.



Fuente. Autor.

Para la elaboración de las probetas de tracción se tomaron las platinas y se cortaron según las dimensiones dadas por el código que en este caso son de 16'' (40 cm) de longitud y 0.6'' (1.5 cm) de ancho (ver figura 30). Se realizó el ensayo para un total de 12 probetas, cada probeta soldada bajo ciertas condiciones de

proceso especificadas cada una en los respectivos WPS.

Figura 30. Probetas para ensayo de tracción.



Fuente. Autor.

El procedimiento para la realización del ensayo de tracción se inició colocando la probeta a ensayar en medio de las mordazas de la maquina universal ajustando estas muy bien para evitar que se deslicen o se corran una vez aplicada la fuerza generando valores erróneos y un mal desarrollo del ensayo (ver figura 31). Se aplica una fuerza a las probetas de manera progresiva a una velocidad de 3mm/min hasta que esta falle, mediante un computador conectado a la maquina universal y usando un software se determina gráfica y numéricamente datos como la carga máxima, carga de falla, módulo de elasticidad etc.

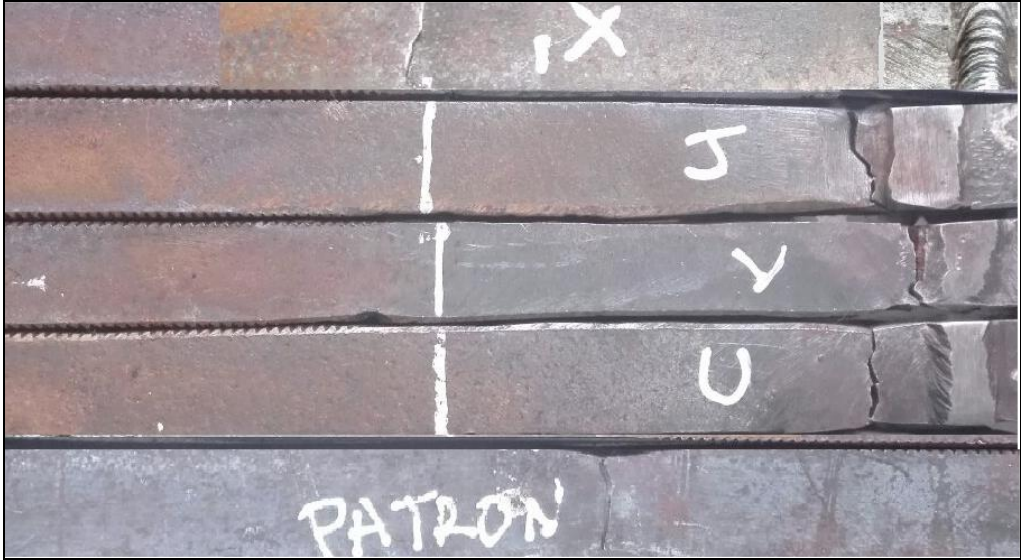
Figura 31. Posicionamiento de la probeta ensayo de tracción.



Fuente. Autor.

Luego de la falla de las probetas se observó y determino el tipo de fractura presentada en las probetas. Ver figura 32

Figura 32. Fractura probetas de tracción.



Fuente. Autor.

5. ANÁLISIS DE RESULTADO

5.1 ANÁLISIS DE MATERIALES A UTILIZAR

5.1.1 Material base.

5.1.1.1 Composición química. Se realizó un muestreo de las piezas a utilizar y se llevó a cabo un análisis de composición química mediante un espectrómetro de emisión óptica por chispa para determinar la composición química del metal base (ver tabla 15). Las probetas utilizadas son de forma cuadrada, de espesor de ½” debidamente desbastada y pulida dando una superficie plana adecuada para la realización del ensayo.

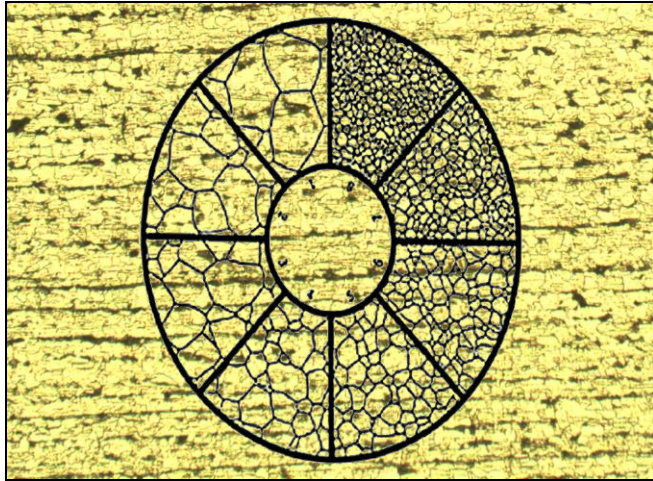
Tabla 15. Composición del material base.

COMPOSICION QUIMICA	
% C	0,145
% Mn	0,98
% Si	0,18
% P	0,0139
% S	0,0389
% V	0,015
% Nb	0,0235
% Cr	0,00384
% Mo	0,01
% Co	0,0102

Fuente. Autor.

metal. Como se puede observar en la figura 35 se logra determinar que se trata de un acero de medio carbono compuesta por granos de perlita en una matriz ferrítica.

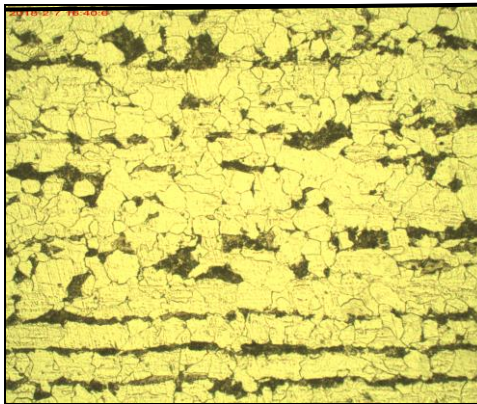
Figura 34. Micrografía del acero estructural A572 gr 50 a 100X.



Fuente. Autor.

En la figura 34, muestra la zona correspondiente a material base, se distingue bandeado ferrita perlita, tamaño de grano ferrítico 7+0 según norma ASTM E112, aumento 100x, Nital 3%.

Figura 35. Micrografía acero estructural A572 gr 50 a 500X.



Fuente. Autor.

5.1.1.3 Ensayo de Dureza (HT). Los resultados de las durezas tomadas para el metal base se muestran en la tabla 16:

Tabla 16. Resultados del ensayo de dureza acero A572 gr 50.

DUREZA HRB MUESTRA PATRON
74
74,5
76
74,83333333

Fuente. Autor.

Como se puede observar los resultados de la tabla 16 indican que se trata de un material con una resistencia a la penetración media con un valor promedio de 74.83 HRB indicando de igual forma que se trata de un material con muy buena resistencia mecánica.

Como el valor promedio de las durezas se encuentra en 74.83 HRB se buscó este valor en la tabla 17 que corresponde a la conversión dureza- resistencia a la tracción como se muestra a continuación:

Tabla 17. Conversión de dureza - resistencia a la tracción.

Dureza Brinell	Dureza Rockwell			Resistencia a la Tensión (Psi [libras por pulgada cuadrada] aproximadas)	Dureza Brinell	Dureza Rockwell			Resistencia a la Tensión (Psi [libras por pulgada cuadrada] aproximadas)
	Escala A 60 Kg	Escala B 100 Kg	Escala C 150 Kg			Escala A 60 Kg	Escala B 100 Kg	Escala C 150 Kg	
Tungsteno Carburo Bola 3000					Tungsteno Carburo Bola 3000				
	85.6		68		331	68.1		35.5	166,000
	85.3		67.5		321	67.5		34.3	160,000
	85		67		311	66.9		33.1	155,000
767	84.7		66.4		302	66.3		32.1	150,000
757	84.4		65.9		293	65.7		30.9	145,000
745	84.1		65.3		285	65.3		29.9	141,000
733	83.8		64.7		277	64.5		28.8	137,000
722	83.4		64		269	64.1		27.6	133,000
712					262	63.6		26.6	129,000
710	83		63.3		255	63		25.4	126,000
698	82.6		62.5		248	62.5		24.2	122,000
684	82.2		61.8		241	61.8	100	22.8	118,000
682	82.2		61.7		235	614	99	21.7	115,000
670	81.8		61		229	60.8	98.2	20.5	111,000
656	81.3		60.1		223		97.3	20	
653	81.2		60		217		96.4	18	105,000
647	81.1		59.7		212		95.5	17	102,000
638	80.8		59.2	329,000	207		94.6	16	100,000
630	80.6		58.8	324,000	201		93.8	15	98,000
627	80.5		58.7	323,000	197		92.8		95,000
601	79.8		57.3	309,000	192		91.9		93,000
578	79.1		56	297,000	187		90.7		90,000
555	78.4		54.7	285,000	183		90		89,000
534	77.8		53.5	274,000	179		89		87,000
514	76.9		52.1	263,000	174		87.8		85,000
495	76.3		51	253,000	170		86.8		83,000
477	75.6		49.6	243,000	167		86		81,000
461	74.9		48.5	235,000	163		85		79,000
444	74.2		47.1	225,000	156		82.9		76,000
429	73.4		45.7	217,000	149		80.8		73,000
415	72.8		44.5	210,000	143		78.7		71,000
401	72		43.1	202,000	137		76.4		67,000
388	71.4		41.8	195,000	131		74		65,000
375	70.6		40.4	188,000	126		72		63,000
363	70		39.1	182,000	121		69.8		60,000
352	69.3		37.9	176,000	116		67.6		58,000
341	68.7		36.6	170,000	111		65.7		56,000

Observando la tabla anterior se logra determinar que para un valor de 74.83 HRB le corresponde una resistencia a la tracción entre los 440MPa y los 450MPa relacionando este valor junto con las características metalográficas obtenidas en las probetas mediante la norma ASTM A572 se determina que el grado al cual pertenecen nuestras platinas es 50, presentando una resistencia mecánica de 65000 Psi, un límite elástico de 50000 Psi y un porcentaje de elongación en 2" de 18%. Obtenidos estos resultados concluimos que el acero corresponde al que necesitamos para desarrollar nuestro trabajo.

5.1.2 Diseño de la junta. Se realizaron las juntas según el código, esas se realizaron mediante el uso de una pulidora manejada por un operario calificado. El ángulo del bisel, así como la geometría para la junta se dejó como lo indica la norma, se eliminaron óxidos, grasas y aceites que pudieran afectar el desempeño de la soldadura.

5.1.3 Material de aporte. Los electrodos apropiados para la aplicación de la soldadura se tomaron según la norma AWS A5.1 aptos para la soldadura de aceros de bajo carbono y según las características dadas por los fabricantes. Estos fueron adquiridos y almacenados en un lugar apropiado y seco según las especificaciones del fabricante.

5.2 PROCEDIMIENTO DURANTE LA APLICACIÓN DE LA SOLDADURA

5.2.1 Equipo a utilizar. Se contó con un equipo de última tecnología, apropiado para este tipo de procesos, con gran estabilidad en el arco y amplio desempeño, respaldado por una gran compañía que investiga e innova en los procesos de soldadura como lo es la Lincoln electric.

5.2.2 Inspección de la aplicación, limpieza y precalentamiento de los cordones de soldadura. Durante la aplicación se presentaron dificultades en la aplicación de la soldadura. Esto principalmente por la inestabilidad en el arco el cual se prendía y apagaba en el principio. Después de la aplicación de cada cordón se limpiaron eliminando la escoria y se realizó un leve martilleo luego de cada pasada con el fin de eliminar las tensiones residuales generadas.

5.3 PROCEDIMIENTO POSTERIOR A LA SOLDADURA

5.3.1 Ensayos no destructivos END.

5.3.1.1 Inspección visual. Como resultado de la inspección visual realizada a las juntas soldadas se observó que en su mayoría no presentaban indicaciones relevantes que pudieran afectar la calidad y las propiedades de las soldaduras.

Durante la aplicación de los cordones de soldadura la mayoría de los electrodos

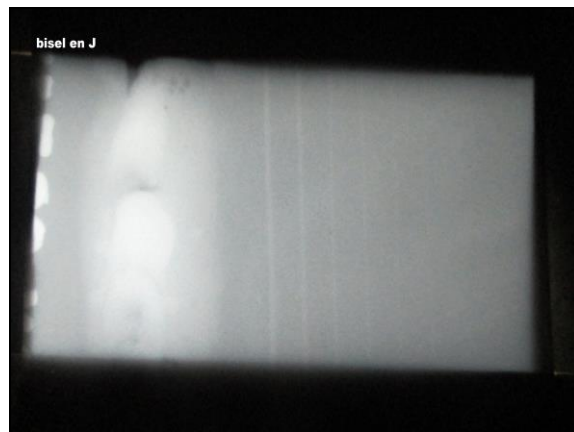
presento chisporroteo generado por la inestabilidad del arco eléctrico y esto conllevó a la generación de salpicaduras. Estas salpicaduras produjeron puntos calientes que no afectaron la estructura de las piezas ya que, aunque fueron muchas estas tienen diámetro pequeño menor a 1 mm. Dichas salpicaduras fueron eliminadas por medios abrasivos para evitar la generación de desprendimiento de metal o micro fisuras que afectarían el comportamiento de las juntas durante las pruebas.

Se tuvieron cordones de presentación homogéneos y con buena fusión entre el bisel y el metal depositado, buena penetración y la presencia de socavados de poca profundidad (ver anexo 2).

Con el proceso SMAW (shielded metal arc welding) se pueden presentar discontinuidades como: fusión incompleta, inclusiones de escoria, grietas, porosidad, porosidad alargada, socavado, penetración incompleta que fueron evaluadas por el código AWS D1.1:2015. En el desarrollo del análisis visual las probetas cumplen con los criterios de aceptación, donde se pudo realizar las respectivas pruebas para su análisis correspondiente.

5.3.1.2 Radiografía industrial. Una vez se revelaron las películas radiográficas se llevaron a un negatoscopio para su análisis teniendo en cuenta un nivel de luminancia adecuado para que se pudieran ver con más detalle las posibles discontinuidades de las juntas soldadas.

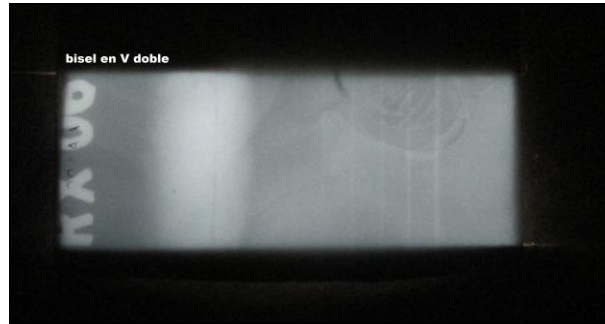
Figura 36. Radiografía en bisel en J.



Fuente. Autor.

De acuerdo con la figura 36 podemos observar una falta de fusión entre el metal base y el metal de aporte al inicio de la soldadura.

Figura 37. Radiografía en el bisel en V doble.



Fuente. Autor.

En la figura 37 no se observa ninguna defectología, ni discontinuidad aparente.

Figura 38. Radiografía en el bisel en U.



Fuente. Autor.

En la figura 38 se observa una cavidad, que se interpreta como escoria atrapado en el metal de la soldadura durante la solidificación.

Figura 39. Radiografía en el bisel en V.



Fuente. Autor.

En la figura 39 se observa una cavidad, que se interpreta como un poro de gas

atrapado en el metal de la soldadura durante la solidificación (ver anexo 3).

5.3.1.3 Líquidos Penetrantes. Luego de la aplicación de las tintas y reveladas las posibles discontinuidades de las juntas soldadas, se evaluaron estas mediante el código AWS D1.1:2015 (6.11). Se evaluaron todas las discontinuidades existentes en las probetas y se aceptaron y rechazaron teniendo en cuenta las indicaciones dadas por el código (ver anexo 4).

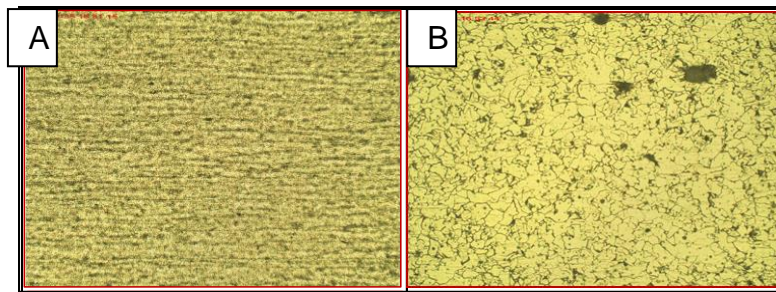
5.4 Ensayos destructivos ED

5.4.1 Análisis metalográfico de los diferentes tipos de bisel. Luego de realizar un pulido y un ataque químico a las probetas se llevó a cabo la toma de micrografías en el microscopio óptico a 100 y 500 aumentos, se tomaron a lo ancho de las platinas para observar zonas como el metal base, la ZAC y el metal depositado y analizar los cambios microestructurales presentes en cada tipo de bisel realizado.

5.4.1.1 Micrografías metal base.

5.4.1.1.1 Bisel en U.

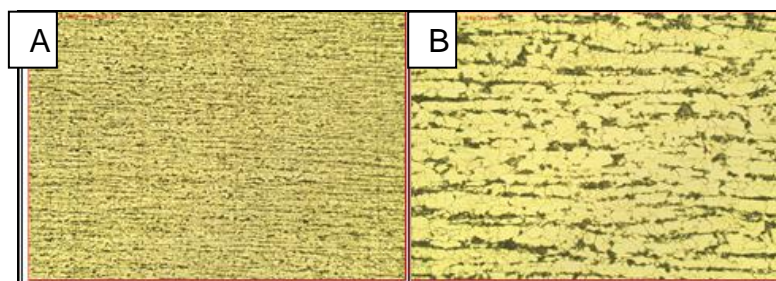
Figura 40. Micrografías del metal base, A) micrografías a 100X y B) micrografías a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.1.2 Bisel en V.

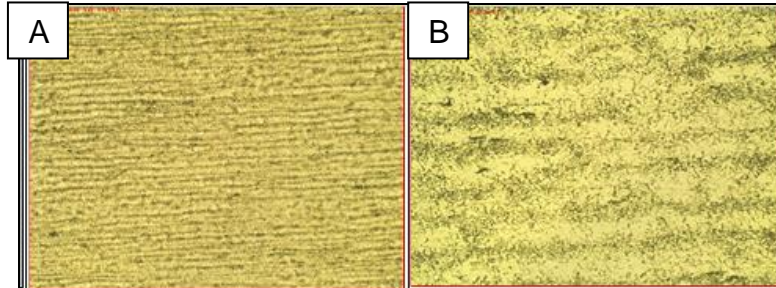
Figura 41. Micrografías del metal base, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.1.3 Bisel en J.

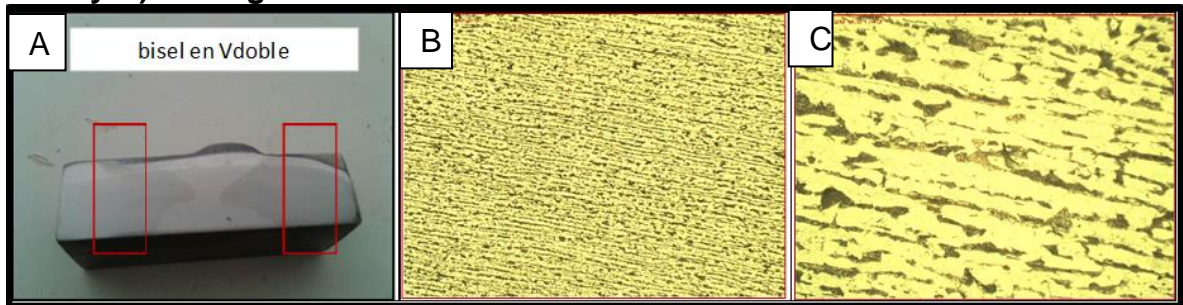
Figura 42. Micrografías del metal base, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.1.4 Bisel en V doble

Figura 43. Micrografías del metal base, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografía 500X.



Fuente. Autor.

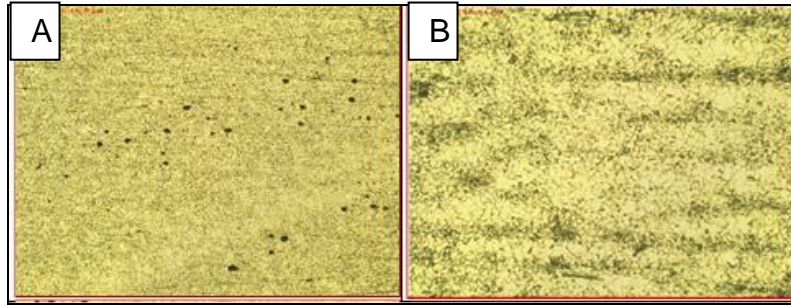
Observando las micrografías del metal base en los diferentes tipos de bisel (U, V, J y V doble) a 100 y 500 aumentos, se encuentra una estructura perlítica (zonas oscuras) en una matriz ferrítica (zonas blancas). La orientación de la perlita pudo ser ocasionada por procesos de fabricación del material relacionadas con laminación en caliente. Además se observa que el tamaño de grano es 7 (E112).

También encontramos inclusiones propias del metal, dispersos en toda la matriz, los cuales no generan ninguna alteración en las propiedades mecánicas.

5.4.1.2 Micrografías de la soldadura.

3.4.1.2.1 Bisel en U.

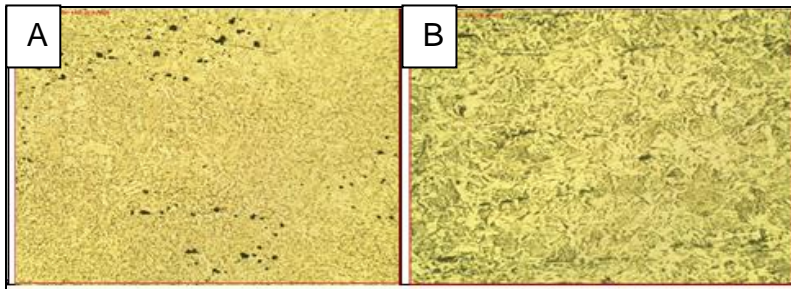
Figura 44. Micrografías de la soldadura, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.2.2 Bisel en V.

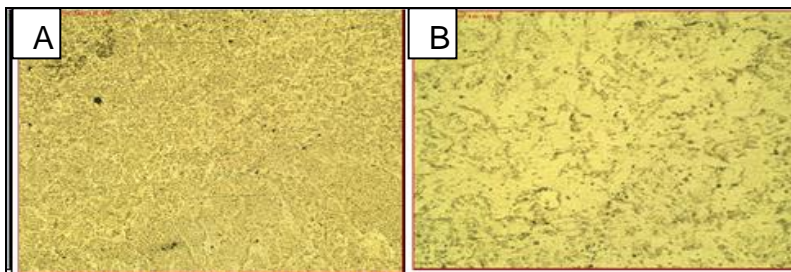
Figura 45. Micrografías de las soldaduras, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.2.3 Bisel en J.

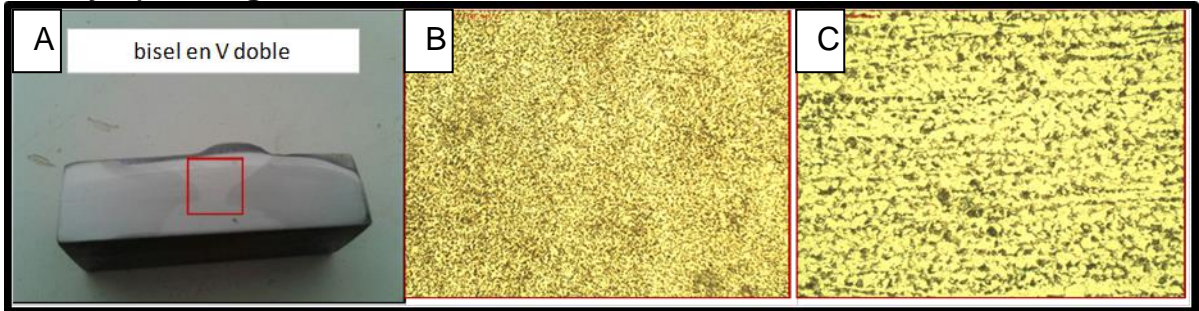
Figura 46. Micrografías de la soldadura, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.2.4 Bisel en V doble.

Figura 47. Micrografías de la soldadura, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografías a 500X.



Fuente. Autor.

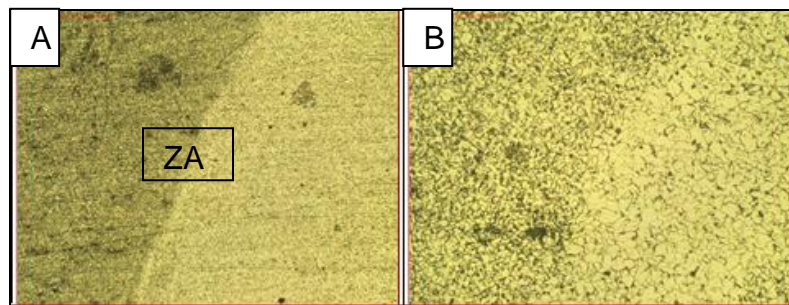
Lo que se observa en las micrografías de la soldadura, es una estructura compuesta por ferrita widmanstatten que es una estructura característica de este tipo de soldaduras.

Esperando por ende encontrar una dureza mas alta en esta zona que en el metal base debido a este tipo de microconstituyente.

5.4.1.3 Micrografías de la interfase (ZAC).

5.4.1.3.1 Bisel en U.

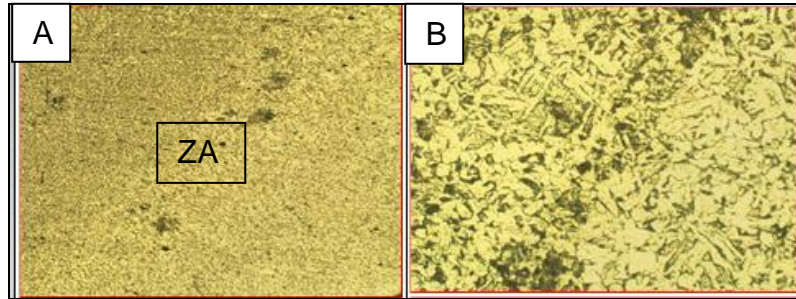
Figura 48. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.3.1 Bisel en V.

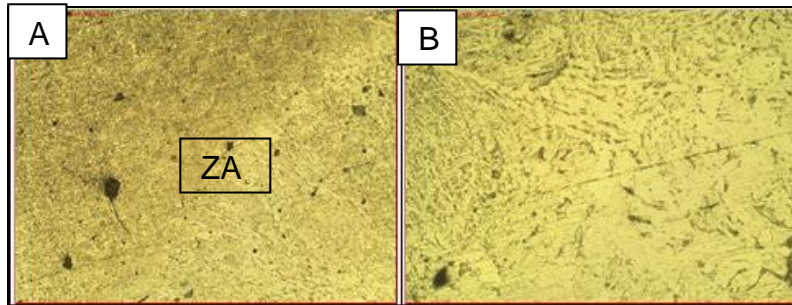
Figura 49. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografía a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.3.1 Bisel en J.

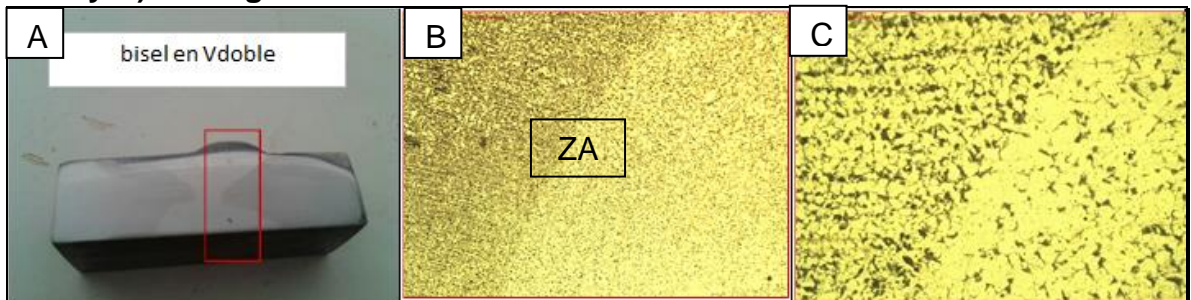
Figura 50. Micrografías de la interfase, A) micrografía a 100X y B) micrografías a 500X.



Fuente. Autor.

5.4.1.3.1 Bisel en V doble.

Figura 51. Micrografías de la interfase, A) bisel en V doble, B) micrografía a 100X y C) micrografía a 500X.




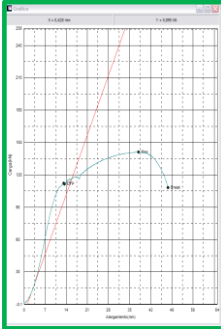

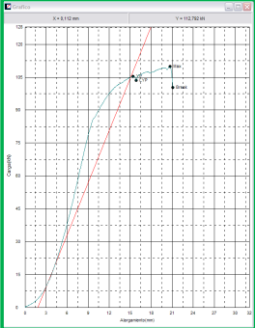
Fuente. Autor.

En las micrografías de la interfase de los diferentes tipos de bisel (U, V, J y V doble), se ve un contraste entre la zona afectada por el calor por soldeo y el metal base donde se denota claramente una estructura de ferrita widmanstatten en los cordones superficiales debido a las velocidades de enfriamiento, con inclusiones de propias del material y un tamaño de grano más pequeño que en el metal base esto debido a los cambios drásticos de temperatura en el momento del soldeo.

5.4.2 Ensayo de tracción

5.4.2.1 Bisel en U

Tabla 18 Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base y B) Ensayo de tracción en bisel en U

TIPO DE FRACTURA	GRAFICA DE DEFORMACION																																										
<p data-bbox="337 821 391 873">A</p> 	 <table border="1" data-bbox="954 947 1422 1052"> <thead> <tr> <th colspan="6">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td>PATRON</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>112.109</td> <td>3.86708</td> <td>141.313</td> <td>108.125</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>111.609</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados						Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga	Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN				Acep./Rech.						Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN	PATRON	<input checked="" type="checkbox"/>	112.109	3.86708	141.313	108.125						111.609
Resultados																																											
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																						
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																									
Acep./Rech.																																											
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																						
PATRON	<input checked="" type="checkbox"/>	112.109	3.86708	141.313	108.125																																						
					111.609																																						
<p data-bbox="337 1209 391 1262">B</p> 	 <table border="1" data-bbox="1016 1304 1438 1419"> <thead> <tr> <th colspan="6">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td>U1A</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>105.375</td> <td>5.58848</td> <td>109.984</td> <td>100.297</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>103.516</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados						Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga	Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN				Acep./Rech.						Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN	U1A	<input checked="" type="checkbox"/>	105.375	5.58848	109.984	100.297						103.516
Resultados																																											
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																						
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																									
Acep./Rech.																																											
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																						
U1A	<input checked="" type="checkbox"/>	105.375	5.58848	109.984	100.297																																						
					103.516																																						

Fuente. Autor.


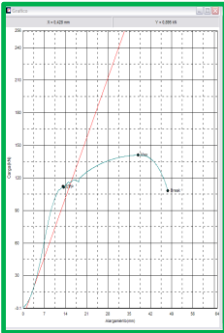

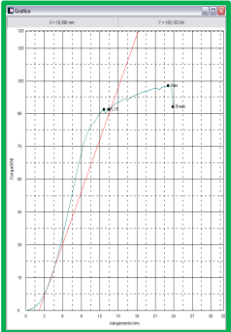
Como se observa en la tabla 18 el ensayo de tracción a la probeta en bisel en U, presenta la ruptura en la zona afectada por el calor (ZAC), con una fractura característica de un material frágil. La carga máxima que soporta el material base es de 141,3 kN se observa en la gráfica de deformación de la figura A y en el bisel

en U se tuvo una carga máxima de 109,9 kN, este tipo de junta disminuye el 22,2% de la carga máxima que resiste el material. Por lo contrario, aumenta la tensión.

Haciendo una comparación entre la curva obtenida en el ensayo para la probeta patrón y la curva obtenida para este tipo de bisel, en la segunda curva a diferencia de la primera, no es posible identificar la zona plástica de la zona elástica, dado que se sospecha que las tensiones acumuladas inicialmente por el diseño de la junta y el proceso de soldadura, evito la deformación plástica de la probeta.

5.4.2.2 Bisel en V.

Tabla 19. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base y B) Ensayo de tracción en el bisel en V.

TIPO DE FRACTURA	GRAFICA DE DEFORMACION																																				
<p>A</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> PATRON</td> <td>112.109</td> <td>3.86708</td> <td>141.313</td> <td>108.125</td> <td>111.609</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados						Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga	Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN				Acep./Rech.						Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN	<input checked="" type="checkbox"/> PATRON	112.109	3.86708	141.313	108.125	111.609
Resultados																																					
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																			
Acep./Rech.																																					
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																
<input checked="" type="checkbox"/> PATRON	112.109	3.86708	141.313	108.125	111.609																																
<p>B</p> 	 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> V1A</td> <td>91.9063</td> <td>6.05954</td> <td>102.906</td> <td>93.2500</td> <td>91.8906</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados						Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga	Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN				Acep./Rech.						Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN	<input checked="" type="checkbox"/> V1A	91.9063	6.05954	102.906	93.2500	91.8906
Resultados																																					
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																			
Acep./Rech.																																					
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																
<input checked="" type="checkbox"/> V1A	91.9063	6.05954	102.906	93.2500	91.8906																																

Fuente. Autor.


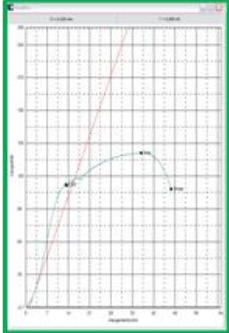

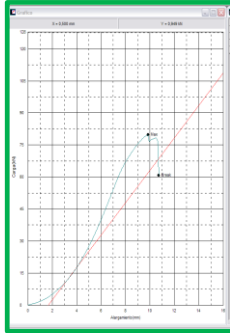
Como se observa en la tabla 19 la ruptura de esta probeta se presentó en la zona de la soldadura, muy cerca del bisel, la fractura se presenta en forma de cono, con

una reducción de área a simple vista, característica principal de los materiales dúctiles. Resistió una carga máxima de 102.9 kN, la cual disminuyó un 27,7% en relación con la muestra patrón.

A pesar de que soporto menos carga máxima de la junta en U, la junta en V tuvo un mayor alargamiento o deformación, lo que se evidencia en la curva obtenida en el ensayo, dado que se logra diferenciar la transición de zona elástica y zona plástica.

3.4.2.3 Bisel en J.

Tabla 20. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción metal base Y B) Ensayo de tracción bisel en J.

TIPO DE FRACTURA	GRAFICA DE DEFORMACION																																										
<p data-bbox="324 882 381 934">A</p> 	 <table border="1" data-bbox="954 1018 1429 1129"> <thead> <tr> <th colspan="7">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> PATRON</td> <td>112.109</td> <td>3.89708</td> <td>141.313</td> <td>108.125</td> <td>111.600</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Resultados							Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga		Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN					Acep./Rech.							Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN		<input checked="" type="checkbox"/> PATRON	112.109	3.89708	141.313	108.125	111.600	
Resultados																																											
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																						
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																									
Acep./Rech.																																											
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																						
<input checked="" type="checkbox"/> PATRON	112.109	3.89708	141.313	108.125	111.600																																						
<p data-bbox="324 1281 381 1333">B</p> 	 <table border="1" data-bbox="966 1402 1437 1514"> <thead> <tr> <th colspan="7">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PIF_Carga</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acep./Rech.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>kN</td> <td>kN/mm2</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td>kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> J1A</td> <td>--</td> <td>6.13244</td> <td>79.9219</td> <td>60.8750</td> <td>--</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Resultados							Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga		Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN					Acep./Rech.							Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN		<input checked="" type="checkbox"/> J1A	--	6.13244	79.9219	60.8750	--	
Resultados																																											
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PIF_Carga																																						
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																									
Acep./Rech.																																											
Unidades	kN	kN/mm2	kN	kN	kN																																						
<input checked="" type="checkbox"/> J1A	--	6.13244	79.9219	60.8750	--																																						

Fuente. Autor.


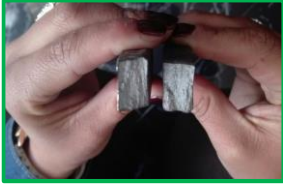
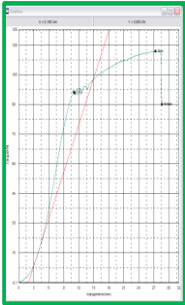


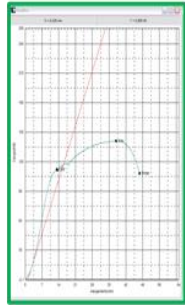
Como se observa en la tabla 20 la probeta fallo por el bisel de soldadura, la fractura no presenta disminución de área, característico de un material frágil. Es la junta que menos carga máxima soporto, en relación con la muestra patrón

disminuyo 43,4 %.

En la curva obtenida para esta muestra no se observa la zona plástica, y el alargamiento o deformación no fue significativa, lo cual demuestra que el bisel no es el más adecuado para garantizar las propiedades del material.

5.4.2.4 Bisel en V doble.

Tabla 21. Cuadro comparativo, A) Ensayo de tracción en bisel en V doble y B) Ensayo de tracción en metal base.

TIPO DE BISEL	TIPO DE FRACTURA	GRAFICA DE DEFORMACION																																										
<p>A</p>  <p>bisel en V doble</p>		 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PF_Carga</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acop_Rlect</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>Ni</td> <td>M/mm2</td> <td>Ni</td> <td>Ni</td> <td>Ni</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ATA</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>96.3750</td> <td>9.00675</td> <td>116.891</td> <td>90.0791</td> <td>95.7031</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados							Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PF_Carga		Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN					Acop_Rlect							Unidades	Ni	M/mm2	Ni	Ni	Ni		ATA	<input checked="" type="checkbox"/>	96.3750	9.00675	116.891	90.0791	95.7031
Resultados																																												
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PF_Carga																																							
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																										
Acop_Rlect																																												
Unidades	Ni	M/mm2	Ni	Ni	Ni																																							
ATA	<input checked="" type="checkbox"/>	96.3750	9.00675	116.891	90.0791	95.7031																																						
<p>B</p>  <p>muestra patron</p>		 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nombre</th> <th>PSF_Carga</th> <th>M.Elastico</th> <th>Max_Carga</th> <th>Rotura_Carg</th> <th>PF_Carga</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Parametro</td> <td>0.1 %FS</td> <td>10 kN - 20 kN</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acop_Rlect</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Unidades</td> <td>Ni</td> <td>M/mm2</td> <td>Ni</td> <td>Ni</td> <td>Ni</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PATRON</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>112.109</td> <td>3.89708</td> <td>141.313</td> <td>108.125</td> <td>111.600</td> </tr> </tbody> </table>	Resultados							Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PF_Carga		Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN					Acop_Rlect							Unidades	Ni	M/mm2	Ni	Ni	Ni		PATRON	<input checked="" type="checkbox"/>	112.109	3.89708	141.313	108.125	111.600
Resultados																																												
Nombre	PSF_Carga	M.Elastico	Max_Carga	Rotura_Carg	PF_Carga																																							
Parametro	0.1 %FS	10 kN - 20 kN																																										
Acop_Rlect																																												
Unidades	Ni	M/mm2	Ni	Ni	Ni																																							
PATRON	<input checked="" type="checkbox"/>	112.109	3.89708	141.313	108.125	111.600																																						

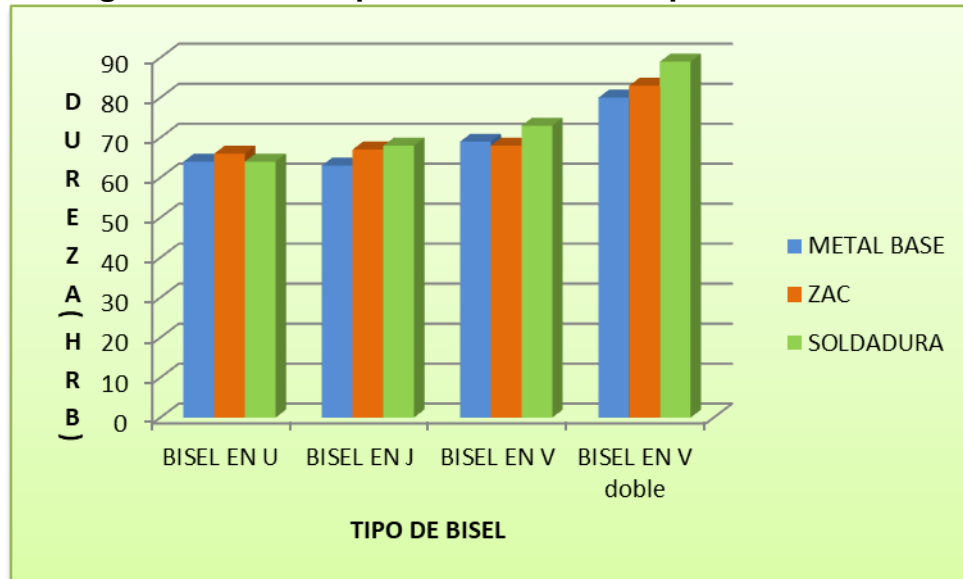
Fuente. Autor.

La tabla 21 nos muestra el tipo de fractura que se obtuvo por el ensaño de tracción siendo esta una fractura ductil, al igual se observó que la ruptura de la probeta se produjo en el metal base cerca de la marca donde se sujeta la probeta a la mordaza del equipo, soporto una carga máxima de 116,8 kN, siendo el que mejores resultados tuvo en este ensayo. Presenta más tensiones que las probetas de muestra.

Presento el mayor alargamiento o deformación, expuesto en la curva obtenida. Lo cual nos verifica que es el bisel con las mejores propiedades de resistencia para este material.

5.4.3 Ensayo de dureza de los diferentes tipos de Bisel.

Tabla 22. Diagrama de barras para los diferentes tipos de bisel.



Fuente. Autor.

Vía ensayo de dureza, vemos que el material aportado por la soldadura posee una dureza de 68, 73, 70 y 89 HRB en cada bisel respectivamente (ver tablas 22). Analizando estos valores para todos los biseles, se identifica claramente que el de mayor dureza es el bisel en V doble con una dureza de 90 HRB aproximadamente en la zona adyacente, lo cual en primera instancia se debe a un cambio de fase debido al gradiente de calor producido consecuencia de la soldadura, aparte de que existe endurecimiento por precipitación de los elementos de alto punto de fusión y un crecimiento de grano en la zona de soldadura, teniendo una recristalización de granos en la zona adyacente a esta, resultando un tamaño de grano ASTM 7. Lo cual es bastante deseable, ya que, al momento de soldar piezas de acero, lo que se busca es que por lo general la soldadura posea mayores propiedades mecánicas que el material base, objetivo que en este acero si se logra, al poseer un %CE aceptable (menor a 0,45%) se puede hablar de un acero con soldabilidad garantizada. Además, se observa cambios en la dureza debido a que el espesor de la platina es muy pequeño y las probetas fallaron por la soldadura dando así como resultado inestabilidad al momento de tomar las durezas.

CONCLUSIONES

Realizados todos los análisis previstos, tales como ensayo de dureza, composición química, metalografías, además de haber logrado los objetivos, se puede concluir que:

- De acuerdo con los resultados de la inspección visual y ensayo de tintas penetrantes de las juntas soldadas, presentó socavadura a lo largo del cordón, esto se debe a la utilización corrientes eléctricas inadecuadas durante el procedimiento y si este defecto no es corregido, puede ocasionar disminución en el espesor de la lámina, lo que puede generar que en esta zona se generen concentradores de esfuerzos.

La experiencia del soldador y su técnica deben ser las mejores para cordones uniformes y con buena presentación; por medio de la elaboración del WPS el soldador conoce los parámetros exigidos en el código D1.1 para la elaboración de los diferentes tipos de bisel y las variables determinadas del proceso.

- La oscilación y velocidad de avance en los electrodos de bajo hidrogeno es importante para obtener cordones uniformes y sin ninguna discontinuidad, ya que por tener baja penetración y poca fluidez en el charco provocara socavados y exceso de metal depositado.
- Si observamos la tabla de durezas de los 4 biseles utilizados en esta experiencia, nos damos cuenta de que en todos se observa un aumento significativo en la zona de la soldadura, esto nos corrobora que al momento de aplicar la soldadura se produce una recristalización de los granos, lo cual hace que la dureza en estos puntos se vea ampliada.
- El análisis metalográfico de las juntas soldadas permitió identificar dos tipos de microestructuras en la zona de la soldadura, en los cuales se identificó ferrita y perlita en el material de estudio y en el material de aporte, ferrita widmanstatten, con ello un tamaño de grano más uniforme, Comparando esto con los datos de dureza para todos los biseles, se puede decir que en el bisel en V doble el material se endureció lo que ocasiona un aumento en la resistencia a la tracción del material, pero a costa de un aumento es su fragilidad.
- En cualquier tipo de proceso de soldadura la mejor soldadura, que se puede obtener, es aquella donde la soldadura y el metal base comparten las misma propiedades químicas.

- Este estudio demuestra que además de la resistencia mecánica y alargamiento, es indispensable asegurar que las microestructuras presentes en el acero, ya sea en la 115 zona de soldadura como fuera de ella sean debidamente controladas para evitar la presencia de fases frágiles de baja ductilidad, las mismas que ejercen una fuerte influencia sobre la formación de fisuras y que podrían, bajo condiciones de operación, ser el origen de la fractura y fallo catastrófico.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN WELDING SOCIETY. Standard Welding Terms and Definitions- Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying. Miami: American Welding Society, 2009, p. 162.

ASTM, "ASTM A-572/572M-04: standard specification for high-strength lowalloy columbium-vanadium structural steel." United States of America, 2004.

AWS, AWS D1.1-Código de Soldadura Estructural-Acero, American W. Miami,USA: 2015, 2015.

DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS. ¿Qué es la Soldadura SMAW?. 2013. Disponible en demaquinasyherramientas.com. [en línea] URL: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>.

DURAN, Fabián, SEPÚLVEDA, Eduardo y VIDAL, Maribell. Estudio de aceros estructurales y de construcción soldados. °Trabajo de grado en la modalidad Ingeniero metalúrgico. Universidad Santiago de Chile, Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería, 2016.

FERROCORTES. Lamina de alta resistencia ASTM A572. 2016. Disponible en ferrocortes.com [en línea] URL: ferrocortes.com.co/astm-a572. [Consultada el 08/08/10].

GALLEGO, Ricardo, Elaboración de wps, pqr y wpq para la empresa chía Peñalosa ingeniería, Trabajo de grado especialista en Soldadura. Bogota D.C: Universidad Libre. Instituto de Posgrados, 2014.

LABORATORIO DE ENSAYOS INDUSTRIALES. Metalografía. Disponible en inspt.utn.edu.ar [en línea] URL: www.inspt.utn.edu.ar/academica/carreras/67/TPracticos/Tecnologial/Trabajos.Practicos/ENSAYOS.LABORATORIO/1EnsayosMetalografia/2TeoriaMetalografia.pdf.

LINCOLNELECTRIC. Características Principales. Disponible lincolnelectric.com [en línea] URL: Lincolnelectric.sets/global/Products/Consumable_StickElectrodes-MildandLowAlloySteels-Lincoln-Lincoln7018-1/Lincoln_7018-1_ES-MX.pdf. https://es.slideshare.net/vlady71/ensayo-de-dureza?qid=23a1d1e4-2911-49ad-8424-1687fd4d74c8&v=&b=&from_search=2.

GOMEZ, Manuel. Soldadura de los aceros. Aplicaciones. CAp 10, pag 35.

WIKISPACES. Soldadura. Disponible en wikispaces.com. [en línea] URL: <http://tecnologiafuentenueva.wikispaces.com/file/view/Soldadura.pdf>.

SOLDEXA, Manual de soldadura, Proceso SMAW, 7 ed. Lima Perú, 295 p.

SÁNCHEZ, Manuel y RINCÓN, Edwin, análisis de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 grado 50 con el proceso desoldeo al arco eléctrico con electrodo tubular autoprottegido (FCAW-S) y compararla con el proceso de soldadura al arco con electrodo metálico revestido (SMAW), Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bogotá D.C: Fundación Universitaria Los Libertadores. Facultad de ingeniería, 2017.

T. MATERIALS. Metallography And Microstructures, Metals Han., vol. 9 United States of America, 1985.




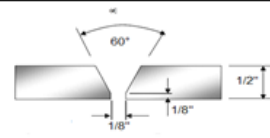
URREGO, Natalia. Generalidades de soldadura y diseño de juntas. 2010. Disponible en: [slideshare.net](https://es.slideshare.net/nurrego/generalidades-de-soldadura-y-diseo-de-juntas). [en línea] URL: <https://es.slideshare.net/nurrego/generalidades-de-soldadura-y-diseo-de-juntas>.

VILLA, Mark. Aceros ensayo tracción. 2014. Disponible en [slideshare.net](https://es.slideshare.net/villa2122/aceros-ensayo-traccio?from_action=save..) [en línea] URL: https://es.slideshare.net/villa2122/aceros-ensayo-traccio?from_action=save..



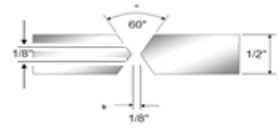
WESTARCO. Catálogo general de productos. 2018. Disponible en [west arco](https://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-general-de-productos-westarco.pdf). [en línea] URL: <https://www.westarco.com/westarco/sp/support/documentation/upload/catalogo-general-de-productos-westarco.pdf>. p. 107.

ANEXOS



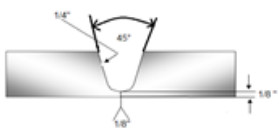
Anexo 1 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 1

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO SMAW									
		ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>							
		PRECALENTAMIENTO <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
		CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
		PREREGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION <u>WPS 1</u>		REVISION N° _____ FECHA _____		CONDUCIDO POR _____					
PQR SOPORTE DE LA CALIFICACION N° (S) _____									
PROCESO DE SOLDADURA <u>SMAW</u>									
TIPO <u>MANUAL</u>									
DISEÑO DE LA JUNTA					DETALLES DE LA JUNTA				
DISEÑO DE JUNTA <u>B-U2</u>									
SIMPLE <input checked="" type="checkbox"/> SOLDADURA DOBLE									
RESPALDO <u>SI</u> <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>									
MATERIAL DE RESPALDO <u>N.A.</u>									
ABERTURA DE RAIZ <u>1/8"</u>									
DIMENSION DE CARA DE RAIZ <u>1/8"</u>									
ANGULO DE BISEL <u>60°</u> RADIO(J,U) <u>N.A.</u>									
SANEADO DE RAIZ <u>SI</u> <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>									
METAL BASE		PASE N°	PROCESO	METAL DE APORTE	CORRIENTE	W F S	VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE	
ESPECIFICACION DEL MATERIAL <u>ASTM</u>		1	SMAW	E 6010	DC - EP	70 - 115	20 - 25		
TIPO O GRADO <u>ASTM A572</u>		2	SMAW	E 7018	DC - EP	100 - 145	20 - 25		
ESPESOR RANURA _____ FILETE _____									
DIAMETRO _____ ESPESOR (PLANCHA) <u>1/2"</u>									
POSICION									
METAL DE APORTE		POSICION DE BISEL <u>1G</u> FILETE <u>-</u>							
ESPECIFICACION AWS <u>A5.1</u>		PROGRESION VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESCENDENTE</u> <input type="checkbox"/>							
CLASIFICACION AWS <u>E6010, E7018</u>									
CARACTERISTICAS ELECTRICAS									
TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW)									
FUNDENTE <u>N.A.</u>		CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/>							
GAS <u>N.A.</u>		CORRIENTE <u>AC</u> <input type="checkbox"/> <u>DCEP</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DCEN</u> <input type="checkbox"/>							
COMPOSICION <u>N.A.</u>									
TECNICA									
CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A.</u>		CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/>							
PRECALENTAMIENTO									
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO		MULTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) <u>SIMPLE</u> <input type="checkbox"/> <u>MULTIPLE</u> <input checked="" type="checkbox"/>							
MINIMA <u>23°C</u>		NUMERO DE ELECTRODOS <u>N.A.</u>							
TEMPERATURA ENTRE PASES		DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS		LONGITUDINAL <u>N.A.</u>					
MINIMA <u>131°C</u> MAXIMA <u>151°C</u>		LATERAL <u>N.A.</u>		ANGULO <u>N.A.</u>					
		MARTILLEO <u>NO</u>							
		LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECANICA</u>							
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1:2010, CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL									
AUTORIZADO POR _____		FECHA _____		FIRMA _____					
CONDUCIDO POR _____		FECHA _____		FIRMA _____					
Este procedimiento puede variar a la secuencia de fabricacion, composicion, tamaño d'el pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANS/AWS D1.1. Structural Welding Code.									



Anexo 2 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 2

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO SMAW										
		ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>								
		PRECALENTAMIENTO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
		CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
		PREREGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>								
IDENTIFICACION <u>WPS 2</u>		REVISION N° _____ FECHA _____		CONDUCTIDO POR <u>I</u>		PQR SOPORTE DE LA CALIFICACION N° (3) _____				
PROCESO DE SOLDADURA <u>SMAW</u>		TIPO <u>MANUAL</u>								
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLES DE LA JUNTA						
DISEÑO DE JUNTA <u>B-U3B</u> SIMPLE <input type="checkbox"/> SOLDADURA DOBLE <input checked="" type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DE RESPALDO <u>N.A.</u> ABERTURA DE RAIZ <u>1/8"</u> DIMENSION DE CARA DE RAIZ <u>1/8"</u> ANGULO DE BISEL <u>60°</u> RADIO(J,U) <u>N.A.</u> SANEADO DE RAIZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>										
METAL BASE		PASE N°		PROCESO		METAL DE APORTE		CORRIENTE		VELOCIDAD DE AVANCE
ESPECIFICACION DEL MATERIAL <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A572</u> ESPESOR RANURA _____ FILETE _____ DIAMETRO _____ ESPESOR (PLANCHA) <u>1/2"</u>		1		SMAW		CLASIFICACION		TIPO Y POLARIDAD		
2		SMAW		E 6010		DC - EP		70 - 115		20 - 25
E 7018		DC - EP		100 - 145		20 - 25		20 - 25		
POSICION										
POSICION DE BISEL <u>1G</u> FILETE <u>-</u>				PROGRESION VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESCENDENTE</u> <input type="checkbox"/>						
CARACTERISTICAS ELECTRICAS										
TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW)										
FUNDENTE <u>N.A.</u>				CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/>		GLOBULAR <input type="checkbox"/>		SPRAY <input type="checkbox"/>		DCEN <input type="checkbox"/>
GAS <u>N.A.</u>				CORRIENTE <u>AC</u>		DCEP <input checked="" type="checkbox"/>		DCEN <input type="checkbox"/>		DCEN <input type="checkbox"/>
COMPOSICION <u>N.A.</u>				TECNICA						
CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A.</u>				CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/>		OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/>		MULTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) SIMPLE <input type="checkbox"/> MULTIPLE <input checked="" type="checkbox"/>		
PRECALENTAMIENTO				NUMERO DE ELECTRODOS <u>N.A.</u>						
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO				DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS						
MINIMA <u>23°C</u>				LONGITUDINAL <u>N.A.</u>		LATERAL <u>N.A.</u>		ANGULO <u>N.A.</u>		
TEMPERATURA ENTRE PASES				MARTILLO <u>NO</u>						
MINIMA <u>131°C</u> MAXIMA <u>151°C</u>				LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECANICA</u>						
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1:2010, CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL										
AUTORIZADO POR _____		FECHA _____		FIRMA _____		CONDUCTIDO POR _____ FECHA _____ FIRMA _____				
Este procedimiento puede variar a la secuencia de fabricacion, composicion, tamaño del pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANS/AWS D1.1. Structural Welding Code.										

Anexo 3 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 3

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO SMAW									
		ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>							
		PRECALENTAMIENTO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
		CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
		PREREGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
IDENTIFICACION <u>WPS 3</u>		CONDUcido POR <u>I</u>							
REVISION N° _____ FECHA _____		PQR SOPORTE DE LA CALIFICACION N° (S) _____							
PROCESO DE SOLDADURA <u>SMAW</u>		TIPO <u>MANUAL</u>							
DISEÑO DE LA JUNTA				DETALLES DE LA JUNTA					
DISEÑO DE JUNTA <u>B-U8</u> SIMPLE <input type="checkbox"/> SOLDADURA DOBLE <input type="checkbox"/> RESPALDO SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DE RESPALDO <u>N.A</u> ABERTURA DE RAIZ <u>1/8"</u> DIMENSION DE CARA DE RAIZ <u>1/8"</u> ANGULO DE BISEL <u>45°</u> RADIO(J,U) <u>1/4"</u> SANEADO DE RAIZ SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>									
METAL BASE		PASE N°	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE
ESPECIFICACION DEL MATERIAL <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A572</u> ESPESOR <u>_____</u> RANURA <u>_____</u> FILETE <u>_____</u> DIAMETRO <u>_____</u> ESPESOR (PLANCHA) <u>1/2"</u>		1	SMAW	E 6010	1/8"	DC - EP	70 - 115	20 - 25	
		2	SMAW	E 7018	1/8"	DC - EP	100 - 145	20 - 25	
POSICION									
METAL DE APORTE ESPECIFICACION AWS <u>A5.1</u> CLASIFICACION AWS <u>E6010, E7018</u>		POSICION DE BISEL <u>1G</u> FILETE <u>-</u> PROGRESION VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESCENDENTE</u> <input type="checkbox"/>							
CARACTERISTICAS ELECTRICAS									
PROTECCION FUNDENTE <u>N.A</u> GAS <u>N.A</u> COMPOSICION <u>N.A</u> CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A</u>		TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW) CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/> CORRIENTE <u>AC</u> <input type="checkbox"/> <u>DCEP</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DCEN</u> <input type="checkbox"/>							
TECNICA									
PRECALENTAMIENTO TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MINIMA <u>23°C</u> TEMPERATURA ENTRE PASES MINIMA <u>131°C</u> MAXIMA <u>151°C</u>		CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/> MULTIPLE O CIPLE PASE (POR LADO) SIMPLE <input type="checkbox"/> MULTIPLE <input checked="" type="checkbox"/> NUMERO DE ELECTRODOS <u>N.A</u> DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS LONGITUDINAL <u>N.A</u> LATERAL <u>N.A</u> ANGULO <u>N.A</u> MARTILLO <u>NO</u> LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECANICA</u>							
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1:2010, CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL									
AUTORIZADO POR _____ FECHA _____ FIRMA _____		CONDUcido POR <u>I</u> _____ FECHA _____ FIRMA _____							
Este procedimiento puede variar a la secuencia de fabricacion, composicion, tamaño del pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANS/AWS D1.1. Structural Welding Code.									

Anexo 4 Estudio de soldabilidad del acero estructural ASTM A572 WPS 4

ESTUDIO DE LA SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON PROCESO SMAW									
		ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>							
		PRECALENTAMIENTO <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
		CALIFICADO POR ENSAYOS <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
		PREREGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
IDENTIFICACION <u>WPS 4</u>									
REVISION N° _____ FECHA _____ CONDUCTIDO POR <u>I</u>									
PQR SOPORTE DE LA CALIFICACION N° (S) _____									
PROCESO DE SOLDADURA <u>SMAW</u>									
TIPO <u>MANUAL</u>									
DISEÑO DE LA JUNTA					DETALLES DE LA JUNTA				
DISEÑO DE JUNTA <u>B-U8</u> SIMPLE <input type="checkbox"/> SOLDADURA DOBLE <input type="checkbox"/> RESPALDO <u>SI</u> <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/> MATERIAL DE RESPALDO <u>N.A.</u> ABERTURA DE RAIZ <u>1/8"</u> DIMENSION DE CARA DE RAIZ <u>1/8"</u> ANGULO DE BISEL <u>45°</u> RADIO(J.U) <u>3/8"</u> SANEADO DE RAIZ <u>SI</u> <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>									
METAL BASE		PASE N°	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE		VOLTAJE	VELOCIDAD DE AVANCE
ESPECIFICACION DEL MATERIAL <u>ASTM</u> TIPO O GRADO <u>ASTM A572</u> ESPESOR RANURA _____ FILETE _____ DIAMETRO _____ ESPESOR (PLANCHA) <u>1/2"</u>		1	SMAW	E 6010	1/8"	DC - EP	70 - 115	20 - 25	
		2	SMAW	E 7018	1/8"	DC - EP	100 - 145	20 - 25	
POSICION									
METAL DE APORTE <u>1G</u> FILETE <u>-</u>					POSICION DE BISEL <u>1G</u> FILETE <u>-</u>				
ESPECIFICACION AWS <u>A5.1</u>					PROGRESION VERTICAL <u>ASCENDENTE</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DESENDENTE</u> <input type="checkbox"/>				
CLASIFICACION AWS <u>E6010, E7018</u>					CARACTERISTICAS ELECTRICAS				
PROTECCION					TIPO DE TRANSFERENCIA (SMAW)				
FUNDENTE <u>N.A.</u>					CORTO CIRCUITO <input type="checkbox"/> GLOBULAR <input type="checkbox"/> SPRAY <input type="checkbox"/>				
GAS <u>N.A.</u>					CORRIENTE <u>AC</u> <input type="checkbox"/> <u>DCEP</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>DCEN</u> <input type="checkbox"/>				
COMPOSICION <u>N.A.</u>					TECNICA				
CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE <u>N.A.</u>					CORDONEADO <input checked="" type="checkbox"/> OSCILADO <input checked="" type="checkbox"/>				
PRECALENTAMIENTO					MULTIPLE O SIMPLE PASE (POR LADO) <u>SIMPLE</u> <input type="checkbox"/> <u>MULTIPLE</u> <input checked="" type="checkbox"/>				
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MINIMA <u>23°C</u>					NUMERO DE ELECTRODOS <u>N.A.</u>				
TEMPERATURA ENTRE PASES MINIMA <u>131°C</u> MAXIMA <u>151°C</u>					DISTANCIA ENTRE ELECTRODOS LONGITUDINAL <u>N.A.</u> LATERAL <u>N.A.</u> ANGULO <u>N.A.</u>				
					MARTILLO <u>NO</u>				
					LIMPIEZA ENTRE PASES <u>GRATA MANUAL O MECANICA</u>				
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que las declaraciones en el presente documento son correctos y que las soldaduras de prueba fueron preparadas, soldados, y probados en conformidad con lo dispuesto en la clausula 4 del AWS D1.1:2010, CODIGO DE SOLDADURA EN ACERO ESTRUCTURAL									
AUTORIZADO POR _____			FECHA _____			FIRMA _____			
CONDUCTIDO POR <u>I</u>			FECHA _____			FIRMA _____			
Este procedimiento puede variar a la secuencia de fabricacion, composicion, tamaño d'fel pase, etc. Dentro de las limitaciones de las variables dadas en ANS/AWS D1.1. Structural Welding Code.									

Anexo 5 Formatos de Tintas Penetrantes




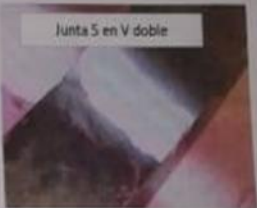


Uptc		UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA		REPORTE DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES		FECHA INFORME:			
		ELEMENTO A INSPECCIONAR:		Platina de 1/2" de diámetro		FECHA INSPECCIÓN:			
		FECHA:		10 de septiembre de 2018		PLANO DE REFERENCIA:			
						PAG. No. 1			
						DE 2			
CLIENTE:		Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia		PROYECTO:		Proyecto de Grad			
CIUDAD Y LUGAR DE INSPECCION:		Aracataca, TECNOCENTRO							
ELEMENTO INSPECCIONADO:		Platina		CODIGO O NORMA DE REFERENCIA:		ANSI D1-1 (2010 B.11)			
TIPO DE LIQUIDO:		Gubren		METODO:		Método C: remojar con pasta			
INFORMACIÓN GENERAL DE LIQUIDOS PENETRANTES				TEMPERATURA DE SUPERFICIE:					
Fabricante:				CRC					
Classificación:				CRACK 110					
Penetrante/Revelador:				CRACK 120					
Desarrollador/Revelador:				CRACK 130					
				Método Limpieza Inicial:					
				Superficie de Inspección:					
				Externa					
				Interna					
				Tiempo de Permanencia Revelador:					
				10 minutos					
				Tiempo de Permanencia Penetrante:					
				15 minutos					
IDENTIFICACION DEL ELEMENTO	LONGITUD DE LA SOLDADURA A INSPECCIONAR (mm)	JUNTA	EVALUACION DE LAS INDICACIONES		CARACTERIZACION DE INDICACIONES (mm)		INTERPRETACION DE LA INDICACION	CONDICION FINAL	
			ALARGADA	REDONDEADA	Longitud / Diámetro	Profundidad		DEFECTO	Conforme
JUNTA 1 EN U	40	J1		OK	40		CP		
JUNTA 2 EN U	40	J2							
JUNTA 3 EN U	40	J3							
JUNTA 4 EN V DOBLE	40	J4		OK	0.2		PP		
JUNTA 5 EN V DOBLE	40	J5							
JUNTA 6 EN V DOBLE	40	J6		OK	0.1		PP		
JUNTA 7 EN V	40	J7		OK	10		CP		
JUNTA 8 EN V	40	J8		OK	40		CP		
JUNTA 9 EN V	40	J9		OK	0.2		PP		
JUNTA 10 EN J	40	J10	OK		10		PP		
JUNTA 11 EN J	40	J11		OK	0.1		PP		
JUNTA 12 EN J	40	J12							

NOTAS: CP: Porosidad agrupada UC: Inoculación UF: Inoculación de cordón
E: Escoria PP: Porosidad aislada P: Falta de fusión GR: Grieta

OBSERVACIONES:

NOMBRE DEL INSPECTOR NIVEL 1		FIRMA		NOMBRE INSPECTOR NIVEL 2		FIRMA	
				Diego Andrés Valencia P		Diego Andrés Valencia P	

Anexo 6 Continuación Formato Tintas Penetrantes.

	REPORTE DE INSPECCIÓN POR TINTAS		FECHA INFORME: 10 de septiembre de 2018
	ELEMENTO A INSPECCIONAR: Patinas	FECHA INSPECCION: 07 de septiembre de 2018	
	FECHA: 10 de septiembre de 2018	PAG. No.: 2 DE 2	
CLIENTE: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia	PROYECTO: proyecto de grado		
CIUDAD Y LUGAR DE INSPECCION: Acacias, Tecnicontrol			
REGISTRO FOTOGRAFICO			
   			
OBSERVACIONES:			
	NOMBRE DEL INSPECTOR NIVEL 1	FIRMA	NOMBRE DEL INSPECTOR NIVEL 2
			FIRMA

Anexo 7 Certificación Soldador.



Libertad y orden
REPÚBLICA DE COLOMBIA

El Servicio Nacional de Aprendizaje SENA

En Cumplimiento de la Ley 119 de 1994 y en atención a que

JUAN DAVID GONZALEZ GONZALEZ

Con Cedula de Ciudadania No. 1.049.625.635

*Cursó y aprobó el programa de Formación Profesional Integral
y cumplió con las condiciones requeridas por la entidad, le confiere el*

Título de

**TÉCNICO EN
SOLDADURA EN PLATINA CON LOS PROCESOS
SMAW Y GMAW**

*En testimonio de lo anterior, se firma el presente Título en Sogamoso,
a los quince (15) días del mes de julio de dos mil trece (2013)*

Firmado Digitalmente por
GERMAN ANTONIO ORJUELA MEDINA
SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA
Autenticidad del Documento
Bogota - Colombia
GERMAN ANTONIO ORJUELA MEDINA

SUBDIRECTOR CENTRO INDUSTRIAL DE MANTENIMIENTO Y MANUFACTURA
REGIONAL BOYACÁ

7878873 - 15/07/2013
No y FECHA REGISTRO

La autenticidad de este documento puede ser verificada en el registro electrónico que se encuentra en la página web <http://certificados.sena.edu.co>, bajo el número 951400300202CC1049625655C.