

**CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA Y EVALUACIÓN DE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN Y SOLDABILIDAD DEL ACERO
ASTM A706 / NTC 2289 BAJO NORMA AWS D 1.4**

**ANDREY JULIÁN JAIMES GUERRERO
JEISON ANDREY MANCO ZAMBRANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2015

**CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA Y EVALUACIÓN DE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN Y SOLDABILIDAD DEL ACERO
ASTM A706 / NTC 2289 BAJO NORMA AWS D 1.4**

**ANDREY JULIÁN JAIMES GUERRERO
JEISON ANDREY MANCO ZAMBRANO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Metalúrgico**

**Director
ORLANDO JOSÉ GÓMEZ MORENO
Ingeniero Metalúrgico, Ph.D**

**Codirector
JAIME ALBERTO GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a nuestras familias por ser los pilares fundamentales de nuestra vida y a cada una de las personas que hicieron posible la realización de este proyecto, al ingeniero Jorge Iván, al Doctor Orlando José y al profesor Jaime González.

Andrey Jaimes - Jeison Manco

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GENERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	17
3.1. Barra sismo resistente de acero para refuerzo de concreto de bajo carbono o varilla corrugada termo- tratada.	17
3.2. Metalografía	18
3.3. Propiedades mecánicas	19
3.4. Características de las barras de acero.....	21
3.5. Soldadura.....	21
3.6. Soldabilidad.....	23

3.7.	Evaluación y calificación de un procedimiento de soldadura	25
4.	METODOLOGÍA.....	28
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1.	Análisis metalográfico y químico del metal base.....	32
5.2.	Análisis propiedades mecánicas de tracción y dobléz del metal base	38
5.3.	Análisis de las características de la barra corrugada (Altura, espaciamento, ángulo de los resaltes y peso por unidad de longitud)	40
5.4.	Evaluación de la soldabilidad.....	41
6.	CONCLUSIONES.....	55
7.	RECOMENDACIONES	57
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
	BIBLIOGRAFÍA.....	62
	ANEXOS.....	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición química del acero ASTM A706	37
Tabla 2 Valores obtenidos de las propiedades mecánicas a las dos probetas ensayadas (KDT1 y KDT2).	39
Tabla 3 Resultados obtenidos para la determinación del peso por unidad de longitud del acero ASTM A706.	40
Tabla 4 Resultados características de la barra de acero ASTM A706	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso Tempcore aplicado en la empresa Kaptan Demir Celik, en Turquía.	18
Figura 2. Montaje ensayo de doblado barras de refuerzo	20
Figura 3. Características de la barra corrugada	22
Figura 4. Designación electrodos según norma AWS A5.5	23
Figura 5. Principales zonas definidas en la junta soldada.....	24
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología experimental para el desarrollo del proyecto	28
Figura 7. Micrografías sección longitudinal, inclusiones no metálicas. Aumentadas 100X. a) Probeta 1L y b) Probeta 2L	32
Figura 8. Micrografía sección longitudinal, probeta 3L, silicato aumentado a 500X.	33
Figura 9. Micrografía sección transversal probeta 1L, aumentada 100X. Atacada con Nital al 2%.....	34
Figura 10. Micrografía sección transversal probeta 1L, sección central, aumentada 500X. Atacada con Nital al 2%.....	34
Figura 11. Metal base atacado con Nital al 2%, se observa el tratamiento térmico Tempcore.....	35
Figura 12. Micrografía tomada en el borde del metal base, se observa martensita en estado revenido, atacada con Nital al 2%. Aumentada 400X	36
Figura 13. Gráfica barrido de Microdureza Vickers con 0.1 kg de carga, obtenida del metal base, desde el borde hacia el centro de la barra.....	37
Figura 14. Curva esfuerzo-Deformación (S Vs e) convencional y real de dos probetas ASTM A 706.....	39

Figura 15. Probeta ensayada para doblez, superficie radio exterior. Sin presencia de discontinuidades.	40
Figura 16. Ensayo de macroataque juntas a tope indirecto, no hay presencia de defectos, probetas MT1 y MT2 respectivamente. WPS 003.	42
Figura 17. Especificación del procedimiento de soldadura WPS 003	43
Figura 18. Registro de calificación del procedimiento PQR 003	44
Figura 19. Ensayo de macroataque a junta de tope directo, la que presentó porosidad aislada fue la probeta MT2.WPS 004.....	46
Figura 20. Especificación del procedimiento de soldadura WPS 004	47
Figura 21. Registro de calificación del procedimiento PQR 004	48
Figura 22. Metalografía junta soldada tope indirecto con dos barras de empalme	49
Figura 23. Metalografía junta soldada tope directo bisel en V.....	50
Figura 24. Barrido de dureza promedio, en escala Vickers, para la junta de tope indirecto con dos barras de empalme.	52
Figura 25. Barrido de dureza promedio, en escala Vickers, para la junta de tope directo bisel V.	53

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Certificado de composición química de colada y propiedades mecánicas de la empresa Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticartet A.S	66
ANEXO B. Informe de análisis de Espectrometría de Emisión Óptica realizado por la empresa WEST ARCO LTDA, Bogotá D.C.....	67
ANEXO C. Gráficas Fuerza (KN) Vs. Deformación axial (mm) obtenidas de la máquina universal de ensayos MTS 810, del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.	68
ANEXO D. Reporte macroataque junta a tope indirecto. WPS 003.....	69
ANEXO E. Reporte macroataque para junta de tope directo. WPS 004.....	70
ANEXO F. Reporte ensayo de tracción junta tope indirecto. WPS 003	71
ANEXO G. Reporte Ensayo de tracción junta tope directo. WPS 004.....	72
ANEXO H. Indentaciones del microdurómetro INNOVATEST, ubicado en Guatiguara, Universidad Industrial de Santander.	73
ANEXO I. Equipos y materiales utilizados	74
ANEXO J. Certificado de calibración máquina universal de ensayos JINAN PRECISION TESTING, Control Calidad y Montajes, Bogotá D.C.	75
ANEXO K. Determinación ángulo de inclinación de los restaltes, huella dejada por la varilla 1.....	76
ANEXO L. Fórmulas utilizadas para la determinación de las características de la barra según norma NTC 2289.	77

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN METALOGRAFICA Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN Y SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A706 / NTC 2289 BAJO NORMA AWS D 1.4*.

AUTORES: JAIMES GUERRERO, ANDREY JULIÁN. MANCO ZAMBRANO, JEISON ANDREY **.

PALABRAS CLAVE: Junta traslapada; Junta en V; WPS; PQR; ensayo de macroataque; zona afectada térmicamente.

DESCRIPCIÓN: El presente trabajo, se centró en el estudio de propiedades mecánicas obtenidas a partir de la curva esfuerzo-deformación y un análisis de composición química, mediante espectrometría de emisión óptica, comparando las propiedades mecánicas con el certificado de calidad del acero ASTM A706/A706M, fabricado por la empresa Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S. de Turquía y con las normas ASTM y NTC, las propiedades mecánicas evaluadas fueron: la resistencia a la fluencia, resistencia última a la tracción, dureza y propiedades de ductilidad, como el porcentaje de elongación y reducción de área. El procedimiento de soldadura fue realizado mediante proceso SMAW, en posición 1G, con un electrodo E8018-B1 y se evaluó mediante ensayos de macroataque, para la determinación de las zonas de fusión y afectadas térmicamente, ensayo de tracción, esto con el fin de generar el PQR (calificación del procedimiento de soldadura), basado en las especificaciones técnicas registradas en el WPS (especificación del procedimiento de soldadura). Además, se llevó a cabo el estudio metalográfico del metal base en primer lugar, de las zonas afectadas térmicamente y las zonas del metal de aporte, además de barridos de microdureza en los dos tipos de juntas realizadas, las cuales fueron bisel en "V" y junta traslapada con dos barras de empalme, siendo éstas, las más usadas en la aplicaciones industriales y estructurales. En conclusión, todos los resultados obtenidos señalan que el acero ASTM A706/A706M comercializado por la empresa Steckerl Aceros SAS, cumple tanto con normas internacionales como el certificado de calidad de la empresa de Turquía Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director Orlando José Gómez Moreno; Codirector Jaime Alberto González González.

ABSTRACT

TITLE: METALLOGRAPHIC CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE MECHANICAL TENSILE PROPERTIES AND WELDABILITY OF ASTM A706 / NTC 2289 STEEL BY AWS D 1.4 CODE*.

AUTHORS: JAIMES GUERRERO, ANDREY JULIÁN. MANCO ZAMBRANO, JEISON ANDREY.**

KEY WORDS: Single “V” groove joint, overlapping joint; WPS, PQR, macroetching test; heat affected zone.

DRESCRIPTION: This work focused on the study of mechanical properties obtained from the stress-strain curve and an analysis of chemical composition, using optical emission spectrometry, comparing the mechanical properties with the quality’s certificate steel ASTM A706, manufactured by the company Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S. of Turkey and with standards ASTM and NTC. The mechanical properties evaluated were: the yield strength, tensile strength, hardness and ductility’s properties, as the percentage of elongation and reduction of area. Welding procedure was performed using SMAW process, position 1G, with an electrode E8018-B1 and was evaluated by macro etching for determining melting zones and heat affected zones and test traction, this with the purpose of generating the PQR (Procedure Qualification Record), based on the technical specifications in the WPS (Welding Procedure Specification), in addition, first of all, it was made the study for the metallography of the base metal, the heat affected areas and the areas of metal contribution, as well as a profile of microhardness in two types of joints made, which were in bezel “V” and overlapping joint with two splice bars, these being the most used in the industrial and structural applications. In conclusion, all the results indicate, that steel ASTM A706 marketed by the company Steckerl steels SAS accomplish with international standards such as the certificate of quality of the Turkey company Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S.

* Degree Work

** Faculty Physicochemical Engineering, School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: Orlando José Gómez Moreno. Codirector: Jaime Alberto González González.

INTRODUCCIÓN

Los materiales estructurales deben cumplir con requerimientos mínimos, en orden de preservar la vida e integridad del ser humano. La existencia de códigos, normas y estándares que exigen lineamientos y especificaciones han surgido con el objetivo de garantizar calidad, eficacia y eficiencia en procedimientos y materiales.

Las varillas de acero sismo resistente o de refuerzo para concreto, están clasificadas en microaleadas o termotratadas y generalmente son fabricadas a partir de un proceso integrado o semi-integrado. El primero, consiste en la reducción del mineral de hierro (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 etc.) en un alto horno, con la adición de agentes reductores como el carbón coque y caliza (CaCO_3) y posterior afinado en hornos convertidores LD. Para el caso del proceso semi-integrado, el hierro es obtenido a partir de chatarra seleccionada y su refinación es llevada a cabo en un horno eléctrico; el producto final es una palanquilla (sección rectangular de acero), la cual es llevada a 1100°C a través de un tren de laminación, procedimiento que consiste en un decapado (retiro de la capa de óxido superficial) y posterior laminación que reduce su sección hasta cierta dimensión y finalmente es enfriada al aire.

La empresa Steckerl Aceros SAS en su búsqueda de certificar y/o corroborar la calidad de sus productos comercializados, dirige este proyecto, junto con la Universidad Industrial de Santander, hacia un estudio de las propiedades mecánicas de tracción, obtenidas a partir de la curva esfuerzo-deformación, evaluación de la soldabilidad mediante la realización de la especificación y registro de procedimientos de soldadura (WPS y PQR) y caracterización metalográfica y química del acero ASTM A 706 Gr 60, designación # 5 (metal base) y juntas soldadas, bajo normas internacionales y/o nacionales. El material en estudio es importado desde Turquía por la compañía Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad, debido a la creciente necesidad de mejoramiento estructural en construcción ha llevado a utilizar el acero como refuerzo; éste ha mejorado e industrialmente y se encuentra en diferentes dimensiones, adaptándose a las necesidades de la industria civil [1].

En ese orden de ideas, surge la obligación de utilizar barras o varillas de refuerzo de concreto que cumplan los estándares y especificaciones de alta calidad, exigidas por el sector de la construcción. En Colombia, actualmente, no existe la regulación y legislación adecuada para certificar y garantizar la aplicación de las diferentes normas internacionales y/o nacionales que regulan los materiales a usar. Por tal motivo, la empresa Steckerl Aceros SAS [2] desea realizar un proceso de corroboración de calidad de las importaciones de acero para refuerzo, con el fin de generar un impacto en el mercado nacional de acero estructural, para ratificarse como una empresa que cumple con los requerimientos de calidades nacionales e internacionales.

El presente trabajo se enfocó en la evaluación, verificación y comparación de la información suministrada por la empresa proveedora de estas barras (Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticartet A.S, de Turquía [3]), conforme a las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), con designación ASTM A 706 / NTC 2289 [4]. Además de la aplicación de la norma de la American Welding Society (AWS), AWS/ANSI D 1.4/ NTC 4040 [5], siguiendo los lineamientos exigidos, las barras de refuerzo fueron sometidas a diferentes ensayos como: ensayo de tracción, composición química y soldabilidad.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el acero de barra corrugada (ASTM A706/NTC 2289), comercializado por la empresa Steckerl Aceros SAS, mediante análisis metalográfico, composición química, las propiedades mecánicas de tracción y soldabilidad bajo normas ASTM E8 y AWS D 1.4 respectivamente.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Determinar el tamaño de grano mediante norma ASTM E 112.
- * Determinar y analizar presencia y distribución de inclusiones mediante norma ASTM E 45.
- * Realizar análisis de composición química al metal base, mediante espectrometría de emisión óptica.
- * Evaluar las propiedades mecánicas de tracción mediante norma ASTM E8.
- * Determinar características de los resaltes de la barra (espaciamiento, altura, separación entre extremos, peso por unidad de longitud y ángulo de inclinación).
- * Realizar pruebas de soldabilidad bajo norma AWS D 1.4, mediante ensayos de macroataque y tracción de juntas soldadas.
- * Elaborar la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y el registro de calificación del procedimiento (PQR) bajo norma AWS D 1.4.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Barra sismo resistente de acero para refuerzo de concreto de bajo carbono o varilla corrugada termotratada.

Las barras de acero utilizadas en refuerzo para concreto contienen un porcentaje de carbono (0.1%-0.3%), fabricadas a partir de un proceso de laminado en caliente. La característica principal es que poseen en la superficie resaltes generados por el proceso de conformado, mejorando así la adherencia del concreto a las barras.

- Barra de acero de refuerzo termotratada

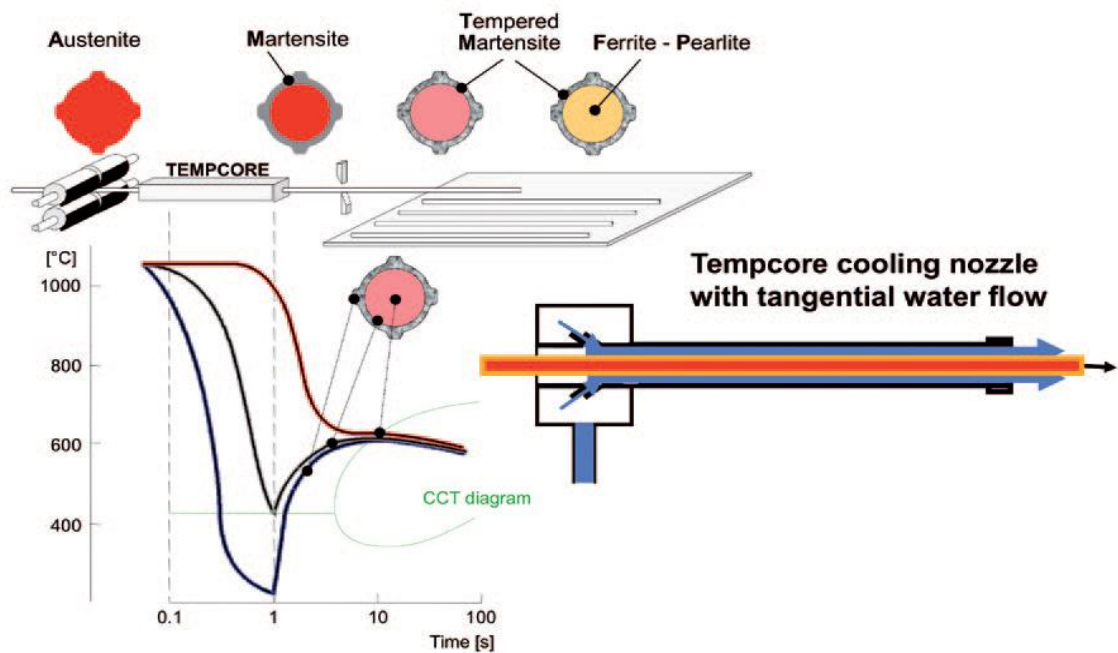
Éste tipo de barras, poseen un tratamiento térmico superficial denominado Tempcore, nombre comercial dado por el Centro de Investigadores Metalúrgicos (CRM), asociación de procedencia Belga. El proceso inició en la década de los setenta [6].

El procedimiento consiste en el enfriamiento superficial por agua a presión, realizado una vez terminado el proceso de laminación en caliente generando un temple superficial. La barra recorre el sistema de enfriamiento con la misma velocidad de laminación, finalizado ésto la barra sufre un calentamiento debido a que en el centro el calor acumulado es conducido hacia el exterior de la barra, lo que produce un autorevenido, obteniéndose finalmente en el borde una estructura martensítica revenida y en el centro ferrita y perlita (Figura 1).

3.2. Metalografía

Disciplina que estudia características microestructurales de los metales y/o aleaciones para explicar el por qué de algunos fenómenos y propiedades físicas, eléctricas y mecánicas; por medio de análisis metalográfico, se determinan defectos, inclusiones no metálicas, tamaño de grano, distribución de fases o microconstituyentes [7].

Figura 1. Proceso Tempcore aplicado en la empresa Kaptan Demir Celik, en Turquía.



Fuente: TATA Steel. Disponible: http://www.tatasteelindia.com/products-and-processes/products/longs/tiscon/projects/tata_tiscon_01.htm.

- Inclusiones no metálicas

Las inclusiones presentes en el acero, provienen del proceso de fabricación. Según la ASTM, las inclusiones más comunes son los sulfuros (Tipo A), Alúminas (Tipo B), silicatos (Tipo C) y óxidos globulares (Tipo D); éstas pueden afectar las propiedades mecánicas del acero. Los sulfuros poseen un color grisáceo de morfología alargada, son menos perjudiciales que las demás inclusiones; las alúminas, se presentan en forma de rosarios o cadenas de color oscuro; los silicatos son las inclusiones más peligrosas, son alargadas y rompen en el conformado por forja, finalmente los óxidos globulares poseen forma esférica y presentan color oscuro.

- Tamaño de grano

El grano es una agrupación de átomos que van orientados en una dirección preferencial y se forman durante el proceso de solidificación, éste crecimiento se ve limitado por la formación de otros granos con diferente orientación dando lugar a los límites de grano. El tamaño de grano, es la cantidad de granos en un área determinada, la norma ASTM E112, indica tres métodos para su determinación (comparación, planimétrico e intercepción).

3.3. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas determinan la capacidad del material de soportar esfuerzos y deformaciones, con el objetivo de garantizar una adecuada aplicación en servicio.

- Ensayo de Tracción

Éste ensayo mide la resistencia a la rotura de un material al ser sometido a una fuerza axial estática o gradualmente aplicada. Mediante éste, se determinan

propiedades tales como la resistencia a la fluencia, resistencia última a la tracción, elongación, reducción de área entre otras, a partir de la curva esfuerzo deformación ingenieril [8].

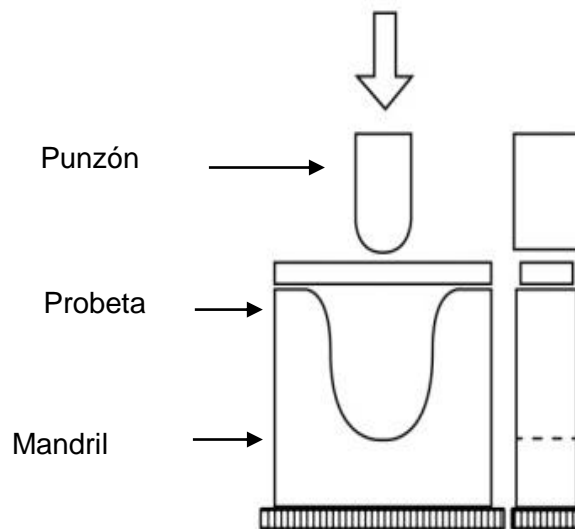
- Ensayo de Dobleza

Este ensayo consiste en la deformación de la barra de acero, para determinar la generación o no de grietas o discontinuidades sobre la superficie de la barra que son concentradores de esfuerzos y ocasionen una falla o rotura prematura (Figura 2).

- Dureza

Se define como la resistencia del material a ser penetrado por un indentador. Se mide mediante la huella estampada sobre la superficie y ésta depende de cada material. Los tipos de dureza más usados son Rockwell, Brinell y para microdureza, Vickers y Knoop [9].

Figura 2. Montaje ensayo de doblado barras de refuerzo



Fuente: Norma ASTM E 290.

3.4. Características de las barras de acero

- Peso por unidad de longitud

Esta característica consiste en la relación entre la masa de la varilla y la longitud de la misma (Ec 1). Este factor determina el valor comercial.

$$\text{Peso por Unidad de Longitud} = \frac{\text{Masa de la varilla}}{\text{Longitud de la varilla}} \text{ Kg/m} \quad (1)$$

- Resaltes

Las características que definen la calidad de los resaltes, son la inclinación (ángulo), la separación entre extremos, el espaciamiento y la altura; éstos determinan la capacidad de adherencia del concreto a la barra (Figura 3).

3.5. Soldadura

La soldadura es un procedimiento de unión de dos o más piezas metálicas que se logra por la fusión de un metal de aporte y/o metal base, ésta fusión es lograda gracias al aumento de temperatura durante el procedimiento debido a la formación de un arco eléctrico y combustión entre gases.

Los procesos de soldadura industriales más utilizados involucran un arco eléctrico para la generación de la energía necesaria para fundir el metal base y/o de aporte éstos son: SMAW (soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido), GMAW (soldadura por arco eléctrico y gas de protección), FCAW (soldadura por arco con

varilla tubular), SAW (soldadura por arco sumergido). Debido al fácil manejo y costo, para las varillas sismo resistente, el proceso más usado es el SMAW [10].

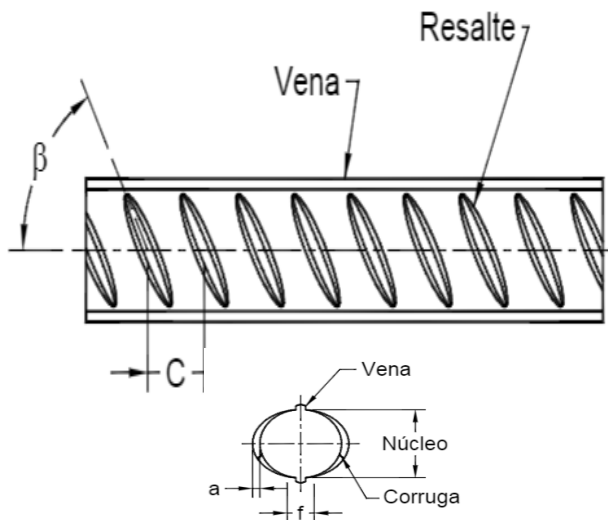
- Proceso SMAW (soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido)

Utiliza el calor de un arco eléctrico generado entre el electrodo y la pieza a soldar. El metal líquido proveniente de la fusión del núcleo de alambre del electrodo, el metal base y el arco están protegidos de la atmósfera por una cubierta gaseosa obtenida a partir de la fusión, descomposición del fundente del recubrimiento y la escoria generada del mismo [10].

- Tipos de electrodos

La clasificación de los electrodos se realiza dependiendo del revestimiento; existen los siguientes tipos: celulósicos, rútilicos, minerales, hierro en polvo y básicos o de bajo hidrógeno (su nombre se da a la ausencia absoluta de humedad en su revestimiento) [11].

Figura 3. Características de la barra corrugada



Donde:

β = Ángulo de inclinación del resalte

C = Espaciamiento entre resaltes

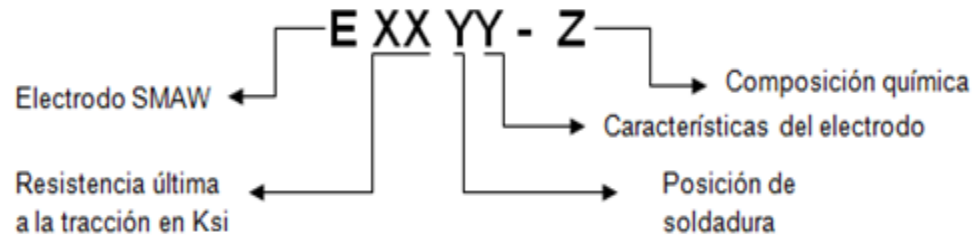
f = Separación entre extremos de los resaltes

a = Altura del resaltes

Fuente: Norma NTC 2289

- Designación de electrodos

Figura 4. Designación electrodos según norma AWS A5.5



Fuente: Norma AWS A5.5

- Juntas o uniones

La junta es el lugar o área donde se genera la unión. Para el caso de ésta investigación según norma AWS D 1.4, los dos tipos de juntas a soldar son:

- Junta a tope directo

Junta entre dos barras cuyos ejes son colineales, con penetración completa y puede ser sencilla o doble dependiendo del diámetro.

- Junta a tope indirecto

Junta entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente colineales, la cual necesita de uno o más elementos adicionales como empalme.

3.6. Soldabilidad

La AWS (American Welding Society) define la soldabilidad como la capacidad de un material para ser soldado bajo las condiciones de fabricación dentro de una

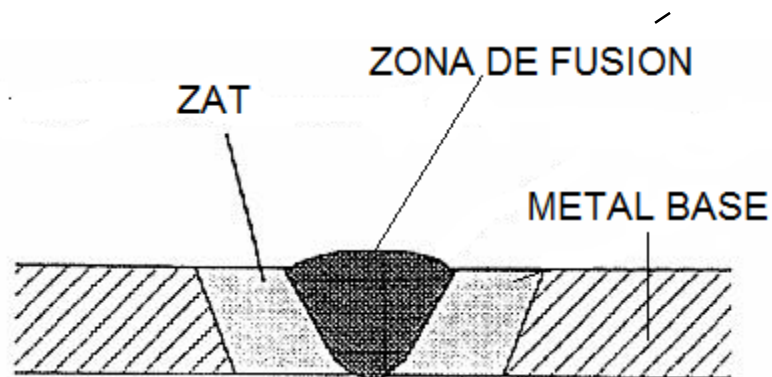
estructura específica convenientemente diseñada para tener un rendimiento satisfactorio en servicio [12].

La soldabilidad depende de las propiedades metalúrgicas que posea tanto el metal base como el metal de aporte, lo mismo que por la sensibilidad del metal de soldadura a la dilución de metales bases heterogéneos, ésta es producida cuando el metal de aporte se mezcla con el metal de base [13].

El carbono equivalente en los aceros es un parámetro útil para medir la tendencia del metal a fisurarse durante el procedimiento de soldeo, además indica la necesidad de realizar o no, un precalentamiento y/o post calentamiento al material a unir.

En la soldadura existen tres (3) principales zonas claramente definidas, las cuales se diferencian por una serie de fenómenos físicos, químicos y metalúrgicos; éstas se conocen como zona del metal base, zona afectada térmicamente y zona de fusión (Figura 5).

Figura 5. Principales zonas definidas en la junta soldada



Fuente: Metalurgia de la soldadura. Orlando J. Gómez

- Zona del metal base

Esta zona no se encuentra afectada por el calor en forma significativa aunque haya estado expuesta a gradientes de temperatura en el procedimiento por tanto no ocurren transformaciones físicas y metalúrgicas.

- Zona afectada térmicamente

Esta zona es la adyacente del metal de soldadura la cual adquiere calor suficiente durante el procedimiento de soldadura, lo que genera un cambio apreciable en la microestructura diferente del metal base. El límite de la zona de fusión presenta un crecimiento de grano por el aumento exagerado de la temperatura del metal base afectando las características mecánicas de la junta soldada. [13].

- Zona de fusión

En ésta zona se presentan cambios por la pérdida o ganancia de elementos aleantes debido a la volatilización por las altas temperaturas alcanzadas en el procedimiento de soldadura. Es la zona central que está conformada por una mezcla entre metal de aporte y metal base [13].

3.7. Evaluación y calificación de un procedimiento de soldadura

La evaluación y control del procedimiento de soldadura se realiza mediante la elaboración de documentos y registros establecidos en normas, que determinan especificaciones, variables y resultados del procedimiento.

Los documentos usados para ésta evaluación y control de la soldabilidad son:

- WPS (especificación del procedimiento de soldadura)

Un WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de ingeniería, para dar instrucciones al personal que realiza e inspecciona la

soldadura de producción. En el contenido de este documento se encuentran consignadas tres tipos de variables.

- Variables esenciales

Variables que con un cambio con respecto a lo escrito en el código, afectan las propiedades mecánicas de la soldadura obtenida, por tanto es necesario realizar una recalificación. Éstas variables son; características del electrodo, la posición de soldadura, tipo de junta o ranura, cambio en el amperaje y voltaje.

- Variables esenciales suplementarias

Son las que al cambiar afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas, éstas variables se tienen en cuenta si el código de soldadura exige la prueba de impacto.

- Variables no esenciales

Variables que no causan efectos apreciables en las soldaduras al cambiarlas, sin embargo deben ser registradas en el WPS.

Las consideraciones necesarias para la elaboración y selección de un WPS son las condiciones de servicio al que se va a someter la junta soldada, habilidad del soldador, equipos, localización del trabajo, economía, tiempo, compatibilidad entre metal base y aporte, propiedades metalúrgicas, diseño de juntas y propiedades mecánicas deseadas [14].

- PQR (registro de calificación del procedimiento)

Documento que valida el WPS. El PQR contiene las variables reales del procedimiento y los resultados de los ensayos realizados a la junta soldada [14].

- Ensayos realizados a las juntas soldadas según norma AWS D 1.4.

Para la calificación de los procedimientos de soldadura deben realizarse ensayos que determinan el grado de sanidad y calidad de la unión soldada, para esto se realiza el ensayo de macroataque y tracción.

- Ensayo de macroataque

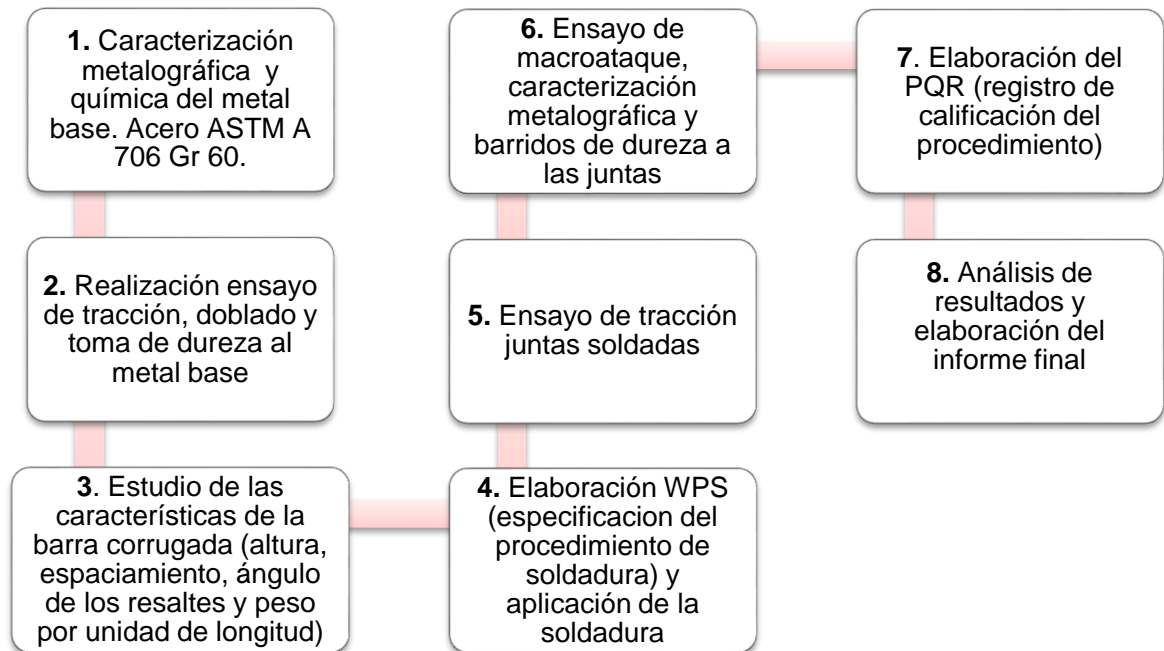
Consiste en el ataque químico según norma ASTM E 470 con el fin de inspeccionar las diferentes zonas generadas por el procedimiento de soldeo y determinar discontinuidades.

- Ensayo de tracción a juntas soldadas

Se realiza con el fin de determinar las propiedades mecánicas de las juntas soldadas, las cuales deben cumplir con los valores obtenidos de las propiedades del metal base [14].

4. METODOLOGÍA

Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología experimental para el desarrollo del proyecto



4.1. Caracterización metalográfica y química del metal base acero ASTM A706 Gr 60.

El acero usado fue enviado desde Turquía por la empresa Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S., comercializado por la empresa Steckerl Aceros SAS, ubicada en Bogotá D.C, se recibieron un total de 6 varillas corrugadas con 600 mm de longitud cada una, posteriormente se cortaron 6 muestras para el análisis metalográfico, se usaron un total de 3 muestras de sección transversal (1T, 2T y 3T) y 3 de sección longitudinal (1L, 2L y 3L), para observar el tamaño de grano y presencia de inclusiones respectivamente. Para el corte de las probetas se usó una segueta manual marca Stanley y una cortadora de disco BUEHLER, en el pulido y desbaste se usaron lijas de numeración 80, 120, 240, 320, 400, 600,

1000, 1200, 1500 marca Carborundum; en el desbaste fino se utilizó una pulidora metalográfica Metkon FORCIPOL con pasta de diamante de 1 micra marca BUEHLER, por último, para la toma de micrografías se usó un microscopio óptico invertido OLYMPUS GX71, realizado en la Universidad Industrial de Santander. La caracterización química se realizó por medio de espectrometría de emisión óptica, en un equipo ARL QUANTRIS OPTICAL EMISSION, en la empresa West Arco, ubicada en Bogotá D.C.

4.2. Realización ensayo de tracción, doblado y toma de dureza al metal base.

Las muestras usadas para el ensayo de tracción y de doblado tenían una longitud de 390 mm para un total de 4 muestras, la máquina universal de ensayos usada fue una MTS 810, del laboratorio de ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, para tracción se llevaron hasta romperse dos probetas con mencionadas dimensiones y para el ensayo de doblado se acondicionó un mandril, en el cual se ensayaron dos probetas. La toma de dureza se registró mediante un microdurómetro Innovatest de la sede de Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander.

4.3. Estudio de las características de la barra corrugada (altura, espaciamiento, ángulo de los resaltes y peso por unidad de longitud).

Las características medidas en esta etapa del proyecto fueron: la altura de los resaltes, el espaciamiento entre resaltes, la separación entre extremos de los resaltes y medida del ángulo. La altura, espaciamiento y separación de los resaltes se midieron por medio de un calibrador o pie de rey marca Spictools y el ángulo fue medido mediante la impregnación de pintura sobre la superficie de la

barra corrugada y se hizo rodar sobre una superficie blanca donde dejó huella con el objetivo de medir el ángulo.

4.4. Elaboración del WPS (especificación del procedimiento de soldadura) y aplicación del procedimiento de soldadura.

En el documento se registraron las variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales que exige la norma AWS D 1.4 para dos tipos de juntas, soldadura de bisel en V y unión a tope indirecta con dos barras de empalme, el proceso de soldadura usado fue una soldadura de arco eléctrico con electrodo manual revestido SMAW, con un equipo marca Miller XMT 304 Series en la empresa Quality Welding LTDA, ubicada en Bogotá D.C

a) Para la junta bisel en V (Tope directo).

El procedimiento de soldadura fue realizado con un electrodo E 8018-B1 con 1/8 de pulgada de diámetro en posición 1G (posición plana). La corriente utilizada fue directa con 100-145 A y voltaje de 26-30 V, polaridad inversa. Se aplicaron dos pases de soldadura y uno de respaldo cada uno con una velocidad de avance entre 5 y 10 mm/s.

b) Para la junta traspalada con barras de empalme (Tope indirecto).

El electrodo utilizado para éste cupón fue un E-8018 B1 de 1/8 de pulgada de diámetro, la corriente usada fue continua, con polaridad inversa y un amperaje de 100-145 A, el voltaje utilizado fue de 26-30 V. Se hicieron tres pases en cada lado del cupón y se soldó con una velocidad de 5 mm/s y 10 mm/s.

4.5. Ensayo de tracción juntas soldadas

Las pruebas de tracción realizadas para las 4 juntas soldadas , se realizaron en una máquina universal de ensayos JINAN TESTING EQUIPMENT CO LTD, de la empresa Control Calidad y Montajes LTDA, ubicada en Bogotá D.C, con el objetivo de obtener los datos solicitados en el Registro de Calificación del Procedimiento (PQR).

4.6. Ensayo de macroataque, caracterización metalográfica y barridos de dureza a las juntas.

Las probetas usadas para el ensayo de macroataque fueron obtenidas a partir de las juntas soldadas, se mecanizaron mediante una cortadora de disco Motor Tool Federon 3000 rpm, posteriormente desbastadas y atacadas según norma ASTM E 470 . Las fotografías fueron tomadas con una cámara Samsung S680 y las micrografías con un microscopio metalúrgico invertido OLYMPUS GX 71 en la Universidad Industrial de Santander. Se realizó los barridos de dureza a los dos tipos de juntas, por medio de un microdurómetro Innovatest Europe NEXUS 423 D, en la sede de Guatigurá de la Universidad Industrial de Santander, en escala Vickers.

4.7. Elaboración del PQR (registro de calificación del procedimiento).

La elaboración de este documento fue realizada una vez obtenidos los resultados reales del procedimiento de soldadura y de los ensayos de tracción y macroataque para certificar las especificaciones registradas en el WPS.

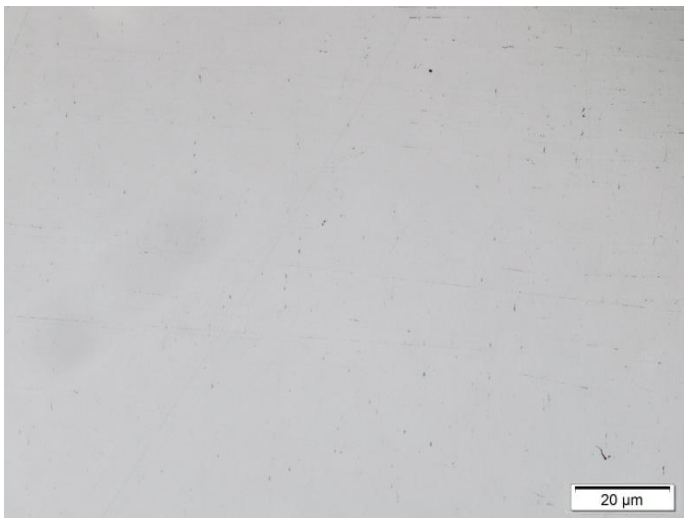
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis metalográfico y químico del metal base

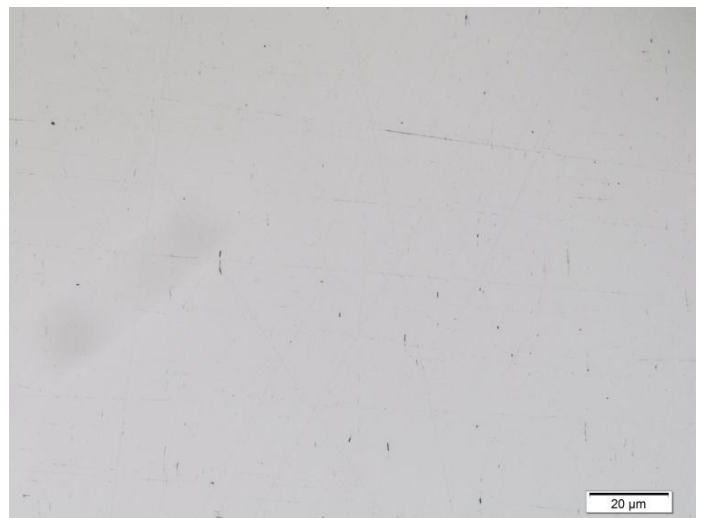
Con el fin de caracterizar el metal base se analizó la cantidad y presencia de inclusiones y el tamaño de grano, siguiendo normas ASTM E45 y E112 respectivamente. Las inclusiones presentes en el acero fueron observadas a partir de la sección longitudinal de tres probetas (1L, 2L y 3L), siendo comparadas con las tablas JK; debido al proceso de producción de las barras de acero la presencia de sulfuros, óxidos y silicatos es evidente (Figuras 7 a y b).

Figura 7. Micrografías sección longitudinal, inclusiones no metálicas. Aumentadas 100X. a) Probeta 1L y b) Probeta 2L

a)



b)



La severidad encontrada de las inclusiones tipo D (Óxidos globulares) está entre 2 y 2 ½ en la serie fina; los sulfuros de manganeso (MnS), inclusiones tipo A presentaron una severidad de 1½ y 2 de la serie fina; los silicatos, inclusión tipo C, poseen una severidad de 1 de la serie gruesa, en la Figura 8 se observa la morfología típica de éste tipo de inclusión no metálica. La cantidad y severidad de las inclusiones encontradas no afectan las propiedades mecánicas del metal base y no son motivo de rechazo por la norma ASTM A706.

Figura 8. Micrografía sección longitudinal, probeta 3L, silicato aumentado a 500X.

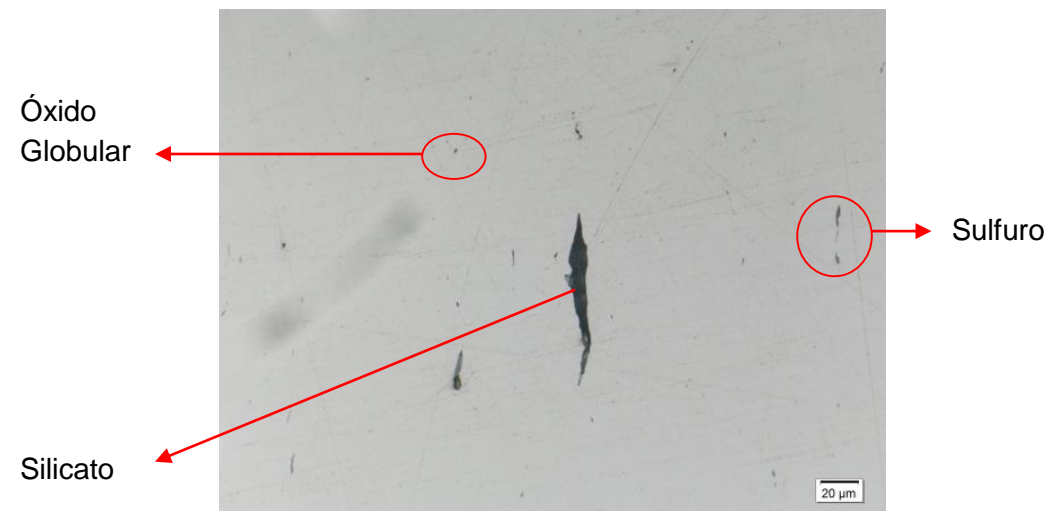


Figura 9. Micrografía sección transversal probeta 1L, aumentada 100X. Atacada con Nital al 2%.

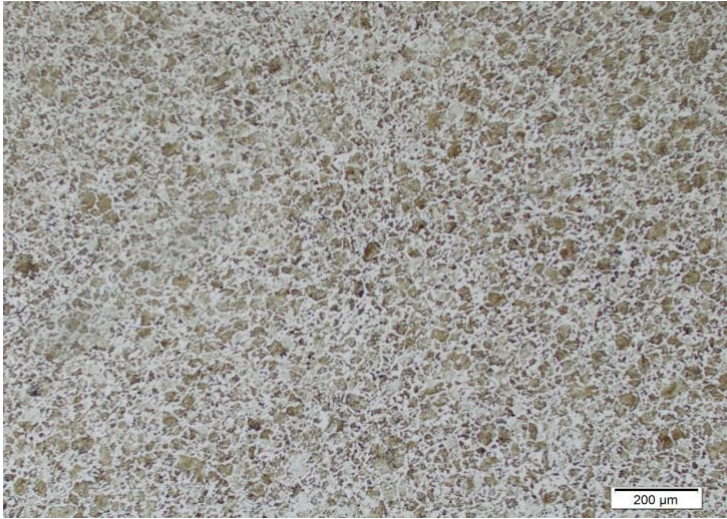
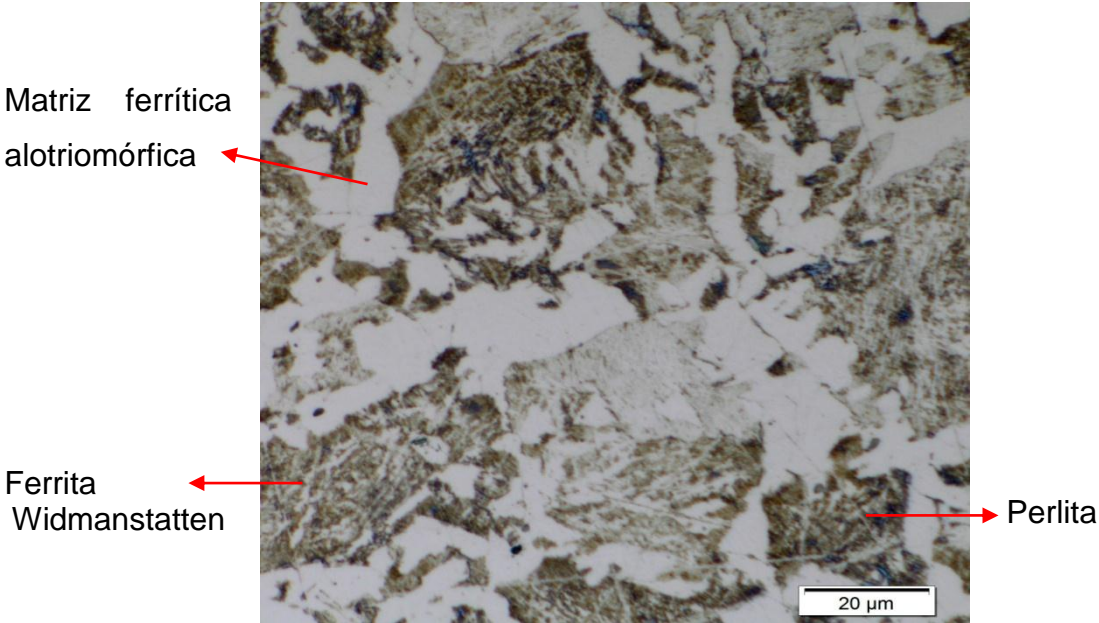


Figura 10. Micrografía sección transversal probeta 1L, sección central, aumentada 500X. Atacada con Nital al 2%.



Para el estudio del tamaño de grano, se usó el método de comparación mediante una rejilla, la micrografía obtenida (Figura 9), aumentada 100X, posee un tamaño de grano de *número 7*. El acero presenta una estructura de matriz ferrítica alotriomórfica o primaria (Zonas blancas) y tipo Widmanstatten con morfología acicular que crecen hacia el interior de la perlita (Zonas oscuras) (Figura 10). La estructura ferrita de tipo Widmanstatten se generó debido al enfriamiento finalizado el proceso de laminación en caliente.

Por otro lado, debido al tratamiento térmico realizado denominado tempcore, el borde circunferencial de la barra (Figura 11), presenta una estructura martensítica en estado revenido (Figura 12). En el centro de la probeta se tiene una estructura de ferrita-perlita, que le confiere las propiedades de ductilidad; la estructura martensítica brinda características de alta resistencia para cumplir con los requerimientos de la norma ASTM A 706, la cual indica que la resistencia última a la tracción debe ser mayor a 1.25 veces la resistencia a la fluencia.

Figura 11. Metal base atacado con Nital al 2%, se observa el tratamiento térmico Tempcore

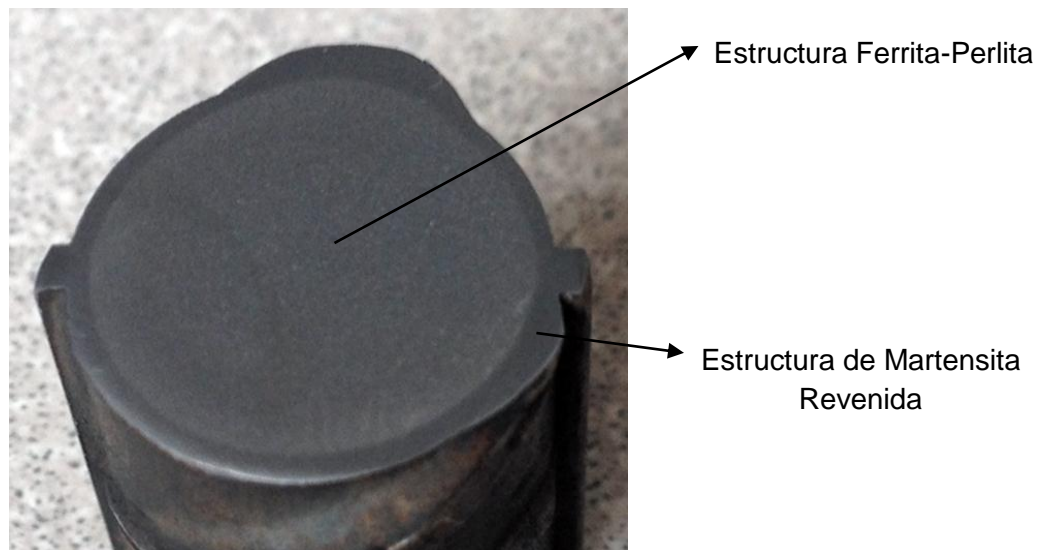
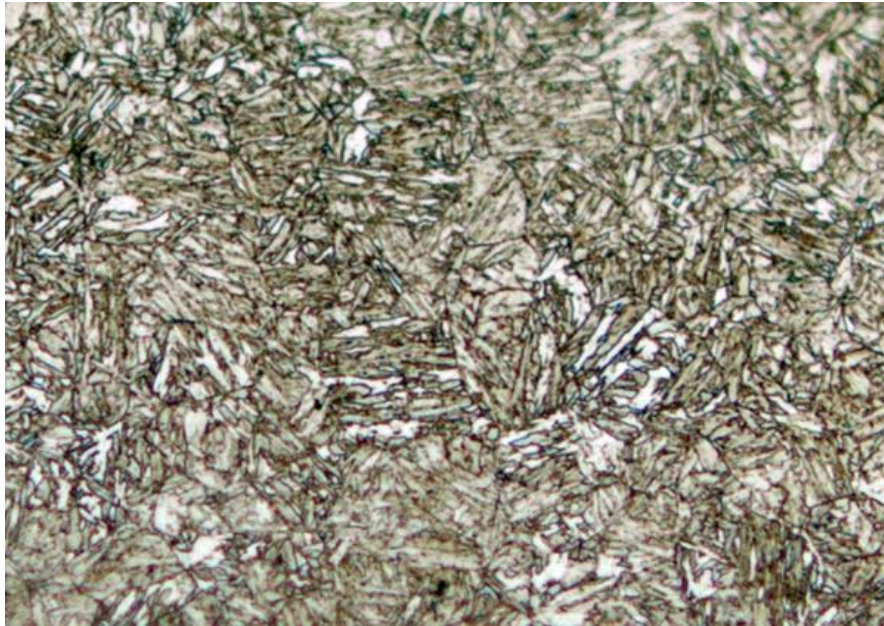
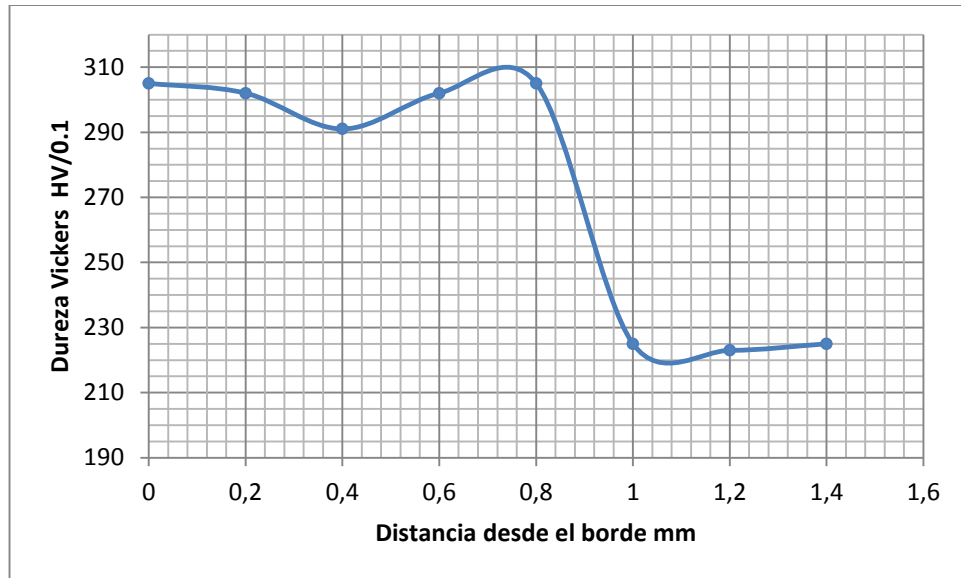


Figura 12. Micrografía tomada en el borde del metal base, se observa martensita en estado revenido, atacada con Nital al 2%. Aumentada 400X.



Para verificar el cambio de microestructura presente tanto en el borde como en el centro de la barra, se realizó un barrido de dureza con un microdurómetro INNOVATEST en la sede de Guatigará de la Universidad Industrial de Santander; se barrió una longitud de 1.4 mm con una separación entre indentaciones de 0.2 mm (Figura 13), la martensita revenida presenta una dureza de 305 HV en el borde y una vez llegada a la zona central, se obtuvo una dureza de 225 HV.

Figura 13. Gráfica barrido de Microdureza Vickers con 0.1 kg de carga, obtenida del metal base, desde el borde hacia el centro de la barra.



- Análisis químico

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A706

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%V	%B	%N	%Ceq
Certificado de calidad (Kaptan Demir Celik). (ANEXO A)	0.3	0.98	0.12	0.02	0.031	0.11	0.09	0.012	0.32	0.004	0.0023	0.007	0.49
Espectroscopía Emisión Óptica (ANEXO B)	0.28	0.92	0.12	0.01	0.027	0.11	0.085	0.023	0.18	0.002	0.0025	0.005	0.45
Norma ASTM A706/NTC 2289	0.3	1.5	0.5	0.035	0.045	-	-	-	-	-	-	-	-

$$\text{Carbono Equivalente \%Ceq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10}$$

La barra de acero presenta cantidades significativas de manganeso (Mn) lo que aumenta la resistencia de la ferrita y proporciona mejor templabilidad; en el caso del boro (B) con cantidades tan pequeñas como del 0.001% o más mejora la templabilidad sin afectar la ductilidad, ésta propiedad es más efectiva con porcentajes bajos de carbono en los aceros. El cobre (Cu) entre valores de 0.1% y 0.4% actúa como endurecedor por precipitación y el fósforo (P) aumenta ligeramente la resistencia de la ferrita debido a la solubilidad de éste.

Elementos tales como el Molibdeno (Mo), Vanadio (V), Nitrógeno (N), Cromo (Cr), Azufre (S) y Silicio (Si) no presentan gran influencia sobre las propiedades del acero debido a la mínima cantidad detectada (Tabla 1).

5.2. Análisis propiedades mecánicas de tracción y dobléz del metal base

El ensayo de tracción y dobléz cumplen con los requerimientos mínimos y máximos exigidos por la norma ASTM A 706. En el caso del ensayo de tracción los valores de resistencia a la fluencia convencional, resistencia última a la tracción y elongación fueron obtenidos a partir de la curva esfuerzo-deformación convencional (Figura 14) y presentados en la Tabla 2.

La resistencia a la fluencia y resistencia última a la tracción cumplen con el requerimiento de 1.25 veces la resistencia a la fluencia, además presentan el fenómeno típico de los aceros de bajo y medio carbono, donde la deformación aumenta sin incremento del esfuerzo, esto debido a la generación de bandas de deformación. La variación del porcentaje de elongación respecto al certificado de calidad se debió a la calibración de los diferentes equipos utilizados para la determinación de este porcentaje en la empresa productora.

El ensayo de doblado, debe cumplir que la superficie o aspecto del radio exterior de la barra no muestre presencia de grietas o defectos. Las barras ensayadas no

presentaron grietas ni discontinuidades aprobándose la aptitud para el doblado de las barras de acero (Figura 15).

Figura 14. Curva esfuerzo-Deformación (S Vs e) convencional y real de dos probetas ASTM A 706.

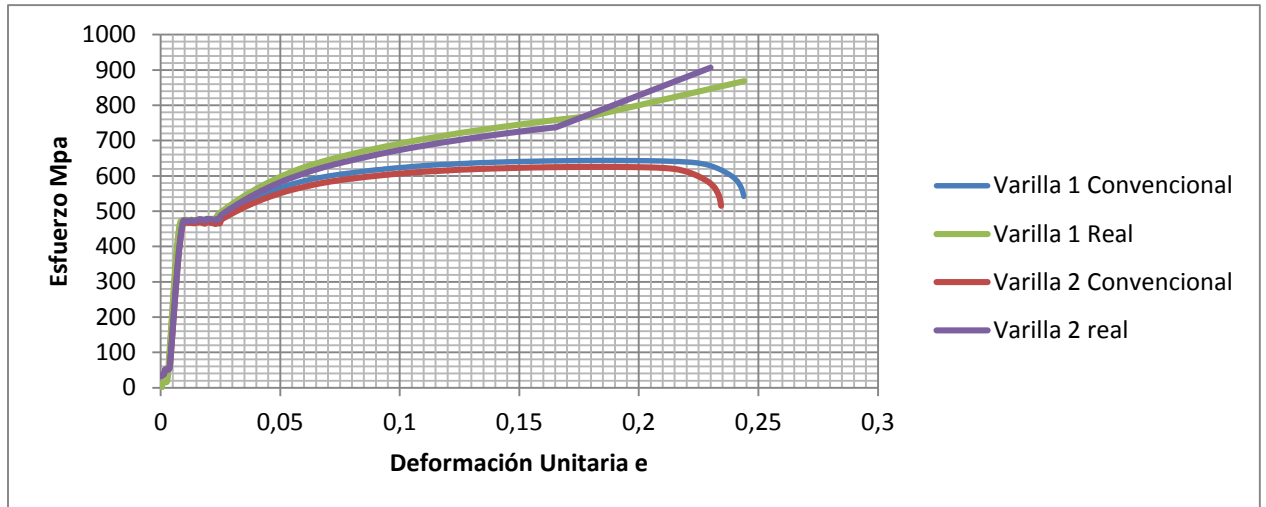


Tabla 2. Valores obtenidos de las propiedades mecánicas a las dos probetas ensayadas (KDT1 y KDT2).

Propiedades de tracción			
Probeta	Resistencia a la fluencia Mpa [Psi]	Resistencia última a la tracción Mpa [Psi]	% Elongación Lo=200mm
KDT1	468.63 [67969]	642.99 [93258]	24%
KDT2	467.04 [67738]	625.43 [90711]	23%
ASTM A706	420 [60000]*	550 [80000]*	14%
Certificado de Calidad (Kaptan Demir)	459 [66572]	611 [88618]	15.30%

* Valores mínimos exigidos por la norma ASTM A 706 / NTC 2289.

Figura 15. Probeta ensayada para doblez, superficie radio exterior. Sin presencia de discontinuidades.



5.3. Análisis de las características de la barra corrugada (altura, espaciamiento, ángulo de los resaltes y peso por unidad de longitud)

- Peso por unidad de longitud

Se calculó según la Ec 1, los valores correspondientes al peso por unidad de longitud en kg/m y Lb/pie (Tabla 3), éste es un parámetro importante en el momento que se va a comercializar el acero debido a que la compra y venta su valor está determinado por la masa de la barra por determinada longitud.

Tabla 3. Resultados obtenidos para la determinación del peso por unidad de longitud del acero ASTM A706.

<i>Muestra</i>	<i>Kg/m</i>	<i>Lb/pie</i>
Varilla 1	1.46	0.98
Varilla 2	1.43	0.96

- Altura, espaciamiento, separación y ángulo de los resaltes

Los resultados obtenidos del estudio de las características de los resaltes de la barra (Tabla 4), confirman una adecuada fabricación de los mismos. El principal objetivo de éstas características es determinar la capacidad de adherencia que tiene el concreto a las barras, ésta es favorecida a mayor altura, más resaltes por unidad de longitud, ángulo adecuado y separación mínima entre los extremos (Figura 4).

Tabla 4. Resultados características de la barra de acero ASTM A706

Característica del resalte	Resultados experimentales	Norma ASTM A706
Altura [mm]	0.975	Mín= 0.72
Separación [mm]	3.18	Máx= 6.24
Espaciamiento [mm]	9.38	Máx= 11.13
Ángulo [°]	68°	45° - 70°

5.4. Evaluación de la soldabilidad

Para el análisis de la soldabilidad se realizó el WPS, para las dos tipos de juntas solicitadas por la empresa Steckerl Aceros, la empresa encargada del procedimiento de soldeo, fue Quality Welding Ltda, ubicada en Bogotá D.C.

- Junta tope indirecto, con barras de empalme. (AWS D 1.4)

Los datos consignados en el WPS 003 (Figura 17) están conforme a la norma AWS D 1.4, para la varilla de designación #5 las variables esenciales fueron:

Proceso de soldadura: Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

Tipo Electrodo: E 8018-B1. Electrodo de bajo hidrógeno para SMAW, con 80 ksi de resistencia última a la tracción, en posición 1G. Electrodo según norma AWS A5.5, con diámetro de 3.2 mm o 1/8 plg.

Características eléctricas: Amperaje de 100-145 [A], Voltaje de 26-30 [V], polaridad inversa, en corriente continua (DC), datos obtenidos del electrodo usado norma AWS A 5.5.

Una vez realizado el procedimiento de soldeo, se ensayó la junta soldada en tracción y macroataque, en la empresa Calidad Control y Montajes de Bogotá D.C, para calificar el procedimiento por medio del PQR 003 (Figura 18), donde se registran las variables reales obtenidas durante el procedimiento y los resultados de los ensayos.

El registro de calificación del procedimiento PQR 003 ratifica que las variables inscritas en el WPS han sido cumplidas. La inspección de sanidad y calidad de la soldadura se corroboró debido a que en el ensayo de tracción la junta rompe por fuera de la soldadura y en el macroataque (Figura 16) presenta fusión completa y ausencia de defectos de soldadura como porosidad, falta de fusión, socavaduras u otro tipo de discontinuidad.

Figura 16. Ensayo de macroataque juntas a tope indirecto, no hay presencia de defectos, probetas MT1 y MT2 respectivamente. WPS 003.



Fuente: Calidad Control y Montajes LTDA. Bogotá D.C.

Figura 17. Especificación del procedimiento de soldadura WPS 003




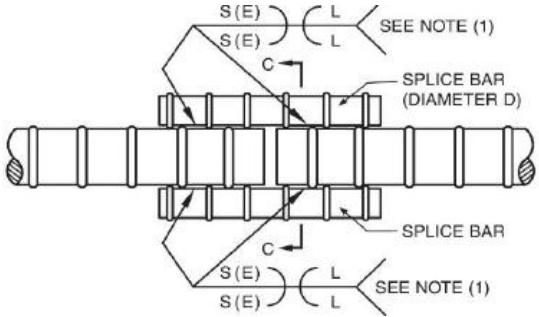



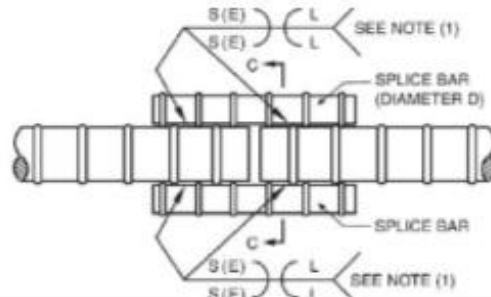
  		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS 003			Página 1 / 1			
Especificación de Procedimiento de Soldadura No. <u>1</u>		Fecha <u>05/02/2015</u>		PQR de soporte No. <u>3</u>				
Elaborado por <u>ANDREY JAIMES-JEISON MANCO¹</u>		Norma de Soldadura <u>AWS D 1.4</u>						
Soldador <u>JHON BOLANOS</u>		Estampe						
Proceso de soldadura <u>SMAW</u>		Tipo <u>MANUAL</u> (Automático, semiautomático, manual o máquina)						
JUNTAS Diseño de junta Respaldo (Si) _____ (No) <u>X</u> Material del respaldo (Tipo) _____ (Refiere a respaldo y retenedores) <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fusible <input type="checkbox"/> Otro Diseño de Junta <u>TOPE INDIRECTO DOS BARRAS DE EMPALME</u> Número de pases Material de aporte <u>3 ó MAS</u> Tiempo máximo entre pases <u>2 min.</u> Tipo de alineador <u>NA</u>		Detalles 						
* METALES BASE Tipo de especificación y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u> Diámetro <u>16 mm</u>		a Tipo de especificación y grado <u>ASTM A706</u> Ranura <u>NA</u> Filete <u>NA</u>						
* METALES DE APORTE Especificación AWS <u>SFA 5.5</u> AWS No. (Clase) <u>E 8018 B1</u> F-No. <u>4</u> A-No. <u>1</u> Diam. de los metales de aporte <u>3.2 mm</u>		GAS Porcentaje de composición <u>NA</u> Protección _____ Arrastre <u>NA</u> <u>NA</u> Respaldo <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>						
POSICIONES Posición(es) de ranura <u>1G</u> Progresión de soldadura Asce. _____ Desc. _____ Posición(es) de filete _____		TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA Rango de temperatura <u>NA</u> Rango de tiempo <u>NA</u>						
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento Min. <u>NA</u> Temperatura entre pases Max. <u>NA</u> Permanencia del precalentamiento <u>NA</u> Longitud del precalentamiento <u>NA</u>		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Corriente AC ó DC <u>DC</u> Polaridad <u>Inversa</u> Amperaje (Rango) <u>100 - 145 A</u> Voltaje (Rango) <u>26-30 V</u>						
TÉCNICA Limpieza inicial y entre pases (Cepillado, pulido, etc.) <u>PRIMER PASE PULIDO CON DISCO ABRASIVO</u> <u>PASES POSTERIORES LIMPIEZA CON GRATA DE ACERO</u>								
Pase simple o múltiple (Por lado) <u>MÚLTIPLE</u> Electrodo simple ó múltiple <u>SIMPLE</u> Cordón recto u oscilado <u>OSCILADO</u> Modo de transferencia del metal para GMAW <u>NA</u> Distancia del trabajo a la boquilla de contacto (Prolongación electrizada) <u>NA</u> Velocidad de avance (Rango) <u>5-10 mm/s</u>								
Capa(s) de soldadura	Proceso	Metal de aporte		Corriente		R. voltaje	Rango velocidad de avance	Otros (Comentarios)
		Clase	Diámetro	Polaridad	R. amperaje			
1	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	
2	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	
3 O MÁS	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	
1. Orientación y revisión: ING EDWIN LOMBANA RIAÑO – CWI 10101241V. Contratación: STECKERLACEROS S.A.S.								

Figura 18. Registro de calificación del procedimiento PQR 003

  		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – PQR		Página 1 / 1																			
Registro de calificación de procedimiento No. <u>3</u>		Fecha <u>05/03/2015</u>																					
Elaborado por <u>ANDREY JAIMES- JEISON MANCO</u>																							
WPS No. <u>3 (WPS-SA-D1.4 - A708-SMAW)</u>																							
Proceso de soldadura <u>SMAW</u>																							
Tipo (s) (Automático, semiautomático, manual o máquina): <u>MANUAL</u>																							
JUNTAS		Detalles																					
Diseño de junta																							
Respaldo (Si) _____ (No) <u>X</u>																							
Material del respaldo (Tipo) <u>NA</u> (Refiere a respaldo y retenedores)																							
<input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> no metálico <input type="checkbox"/> Metal no fusible <input type="checkbox"/> Otro																							
Diseño de Junta <u>TOPE INDIRECTO DOS BARRAS DE EMPALME</u>																							
Número de pases Material de aporte <u>3 ó MAS</u>																							
Tiempo máximo entre pases <u>2 min.</u>																							
Tipo de alineador <u>NA</u>																							
METALES BASE		GAS																					
Especificación de material		porcentaje de composición Gas (es) Mezcla																					
Tipo y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u>		Rata flujo																					
a Tipo y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u>		Protección <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>																					
Diámetro de cupón de prueba <u>18 mm</u>		Arrastre <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>																					
Rango cubierto <u>18 mm</u>		Respaldo <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>																					
POSICIONES		TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA																					
Posición(es) de ranura <u>1 G</u>		Rango de temperatura <u>NA</u>																					
Progresión de soldadura <u>Asce.</u> Desc. _____		Rango de tiempo <u>NA</u>																					
Posición(es) de filete _____		CARACTERISTICAS ELECTRICAS																					
METALES DE APORTE		Corriente AC ó DC <u>DC</u>																					
Especificación AWS <u>SFA 5.5</u>		Polaridad <u>Inversa</u>																					
AWS No. (Clase) <u>E-8018-B1</u>		Amperaje (Rango) <u>105-107 A</u>																					
F-No. – A-No. <u>4 - 1</u>		Voltaje (Rango) <u>22-27 V</u>																					
Diam. metales de aporte <u>3.2mm</u>																							
Prueba de tracción																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Espécimen No.</th> <th>Diámetro mm</th> <th>Área mm²</th> <th>Última carga total</th> <th>Última unidad de esfuerzo</th> <th>Tipo de falla y localización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>14.85</td> <td>173.20</td> <td>28842.18 <u>LbE</u></td> <td>99930.97 Psi</td> <td>RF</td> </tr> <tr> <td>T2</td> <td>14.77</td> <td>171.34</td> <td>28977.07 <u>LbE</u></td> <td>101526.39 Psi</td> <td>RFS</td> </tr> </tbody> </table>						Espécimen No.	Diámetro mm	Área mm ²	Última carga total	Última unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización	T1	14.85	173.20	28842.18 <u>LbE</u>	99930.97 Psi	RF	T2	14.77	171.34	28977.07 <u>LbE</u>	101526.39 Psi	RFS
Espécimen No.	Diámetro mm	Área mm ²	Última carga total	Última unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización																		
T1	14.85	173.20	28842.18 <u>LbE</u>	99930.97 Psi	RF																		
T2	14.77	171.34	28977.07 <u>LbE</u>	101526.39 Psi	RFS																		
Macro-ataque																							
Identificación			Descripción de discontinuidad- efecto																				
MT1			OK- Sin indicaciones																				
MT2			OK- Sin indicaciones																				
Nombre del soldador: <u>JHON BOLANOS</u> No. Identificación <u>79.506.702</u> Estampe No. <u>JB</u> Prueba de laboratorio No: <u>T378-15/MT 378-1</u>																							
1. Prueba de soldadura dirigida por: Ing. <u>EDWIN LOMBANA RIANO- CWI 10101241</u> Empresa: <u>QW INGENIERIA LIMITADA</u> . Certificamos que los datos consignados en este registro son correctos y que los cupones de prueba fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la norma <u>AWS D1.4</u> .																							

- Junta tope directo, bisel en V. (AWS D 1.4)

Los datos consignados en el WPS 004 (Figura 20) las variables esenciales fueron:

Proceso de soldadura: Soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

Tipo Electrodo: E 8018-B1. Electrodo de bajo hidrógeno para SMAW, con 80 ksi de resistencia última a la tracción, en posición 1G. Electrodo según norma AWS A5.5, con diámetro de 3.2 mm o 1/8 plg.

Características eléctricas: Amperaje de 100-145 [A], Voltaje de 26-30 [V], polaridad inversa, en corriente continua (DC).

Una vez realizado el procedimiento de soldeo se ensayó la junta soldada en tracción y macroataque, en la empresa Calidad Control y Montajes de Bogotá D.C, para calificar el procedimiento por medio del PQR 004 (Figura 21) dónde se inscriben las variables reales obtenidas durante el procedimiento, además de los resultados de los ensayos.




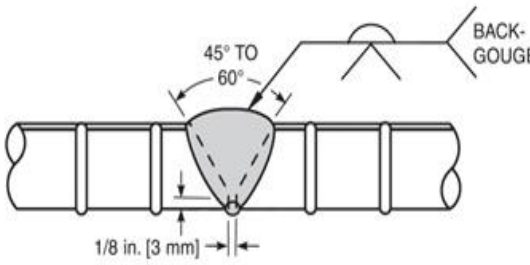
El registro de calificación del procedimiento PQR 004 ratifica que las variables inscritas en el WPS han sido cumplidas. La inspección de sanidad y calidad de la soldadura se corroboró debido a que en el ensayo de tracción la junta rompe por fuera de la soldadura y en el macroataque, presenta fusión completa, porosidad aislada (Figura 19), pero no es motivo de rechazo según norma AWS D 1.4 (Numeral 4.4) y no se presenta falta de fusión, socavaduras u otro tipo de discontinuidad.

Figura 19. Ensayo de macroataque a junta de tope directo, la que presentó porosidad aislada fue la probeta MT2.WPS 004.






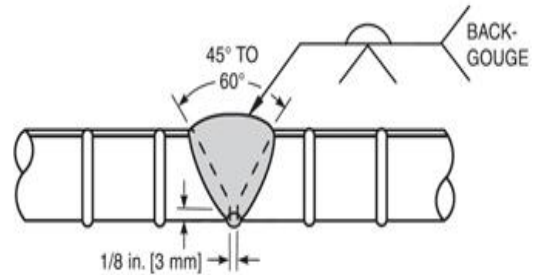
Fuente: Calidad Control y Montajes LTDA. Bogotá D.C

Figura 20. Especificación del procedimiento de soldadura WPS 004

  		ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS 004		Página 1 / 1				
Especificación de Procedimiento de Soldadura No. <u>4</u> Elaborado por <u>ANDREY JAIMES-JEISON MANCO¹</u> Soldador <u>JHON BOLAÑOS</u> Proceso de soldadura <u>SMAW</u>		Fecha <u>05/02/2015</u> PQR de soporte No. <u>4</u> Norma de Soldadura <u>AWS D 1.4</u> Estampe _____ Tipo <u>MANUAL</u> (Automático, semiautomático, manual o máquina)						
JUNTAS Diseño de junta _____ Respaldo (Si) _____ (No) <u>X</u> Material del respaldo (Tipo) <u>NA</u> (Refiere a respaldo y retenedores) <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fusible <input type="checkbox"/> Otro Diseño de Junta <u>TOPE DIRECTO</u> Número de pases Material de aporte <u>3 ó MAS</u> Tiempo máximo entre pases <u>2 min.</u> Tipo de alineador <u>NA</u>		Detalles 						
* METALES BASE Tipo de especificación y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u> a Tipo de especificación y grado _____ Diámetro <u>16 mm</u> Rango cubierto _____ Ranura <u>NA</u> Filete <u>ASTM A706</u> <u>NA</u>								
* METALES DE APORTE Especificación AWS <u>SFA 5.5</u> AWS No. (Clase) <u>E 8018 B1</u> F-No. <u>4</u> A-No. <u>1</u> Diam. de los metales de aporte <u>3.2 mm</u>		GAS Porcentaje de composición <u>NA</u> Protección _____ Arrastre <u>NA</u> <u>NA</u> _____ Respaldo <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>						
POSICIONES Posición(es) de ranura <u>1G</u> Progresión de soldadura Asce. _____ Desc. _____ Posición(es) de filete _____		TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA Rango de temperatura _____ <u>NA</u> Rango de tiempo _____ <u>NA</u>						
PRECALENTAMIENTO Temperatura de precalentamiento Min. _____ <u>NA</u> Temperatura entre pases Max. _____ <u>NA</u> Permanencia del precalentamiento _____ <u>NA</u> Longitud del precalentamiento _____ <u>NA</u>		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Corriente AC ó DC _____ <u>DC</u> Polaridad _____ <u>Inversa</u> Amperaje (Rango) _____ <u>100 - 145 A</u> Voltaje (Rango) _____ <u>26-30 V</u>						
TÉCNICA Limpieza inicial y entre pases (Cepillado, pulido, etc.) _____ <u>PRIMER PASE PULIDO CON DISCO ABRASIVO</u> _____ <u>PASES POSTERIORES LIMPIEZA CON GRATA DE ACERO</u>								
Pase simple o múltiple (Por lado) _____ <u>MULTIPLE</u> Electrodo simple ó múltiple _____ <u>SIMPLE</u> Cordón recto u oscilado _____ <u>OSCILADO</u> Modo de transferencia del metal para GMAW _____ <u>NA</u> Distancia del trabajo a la boquilla de contacto (Prolongación electrizada) _____ <u>NA</u> Velocidad de avance (Rango) _____ <u>5-10 mm/s</u>								
Capa(s) de soldadura	Proceso	Metal de aporte		Corriente		R. voltaje	Rango velocidad de avance	Otros (Comentarios)
		Clase	Diámetro	Polaridad	R. amperaje			
1	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	
2	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	
3 O MÁS	SMAW	E 8018 B1	1/8"	Inversa	100-145 A	26 - 30 V	5-10 mm/s	

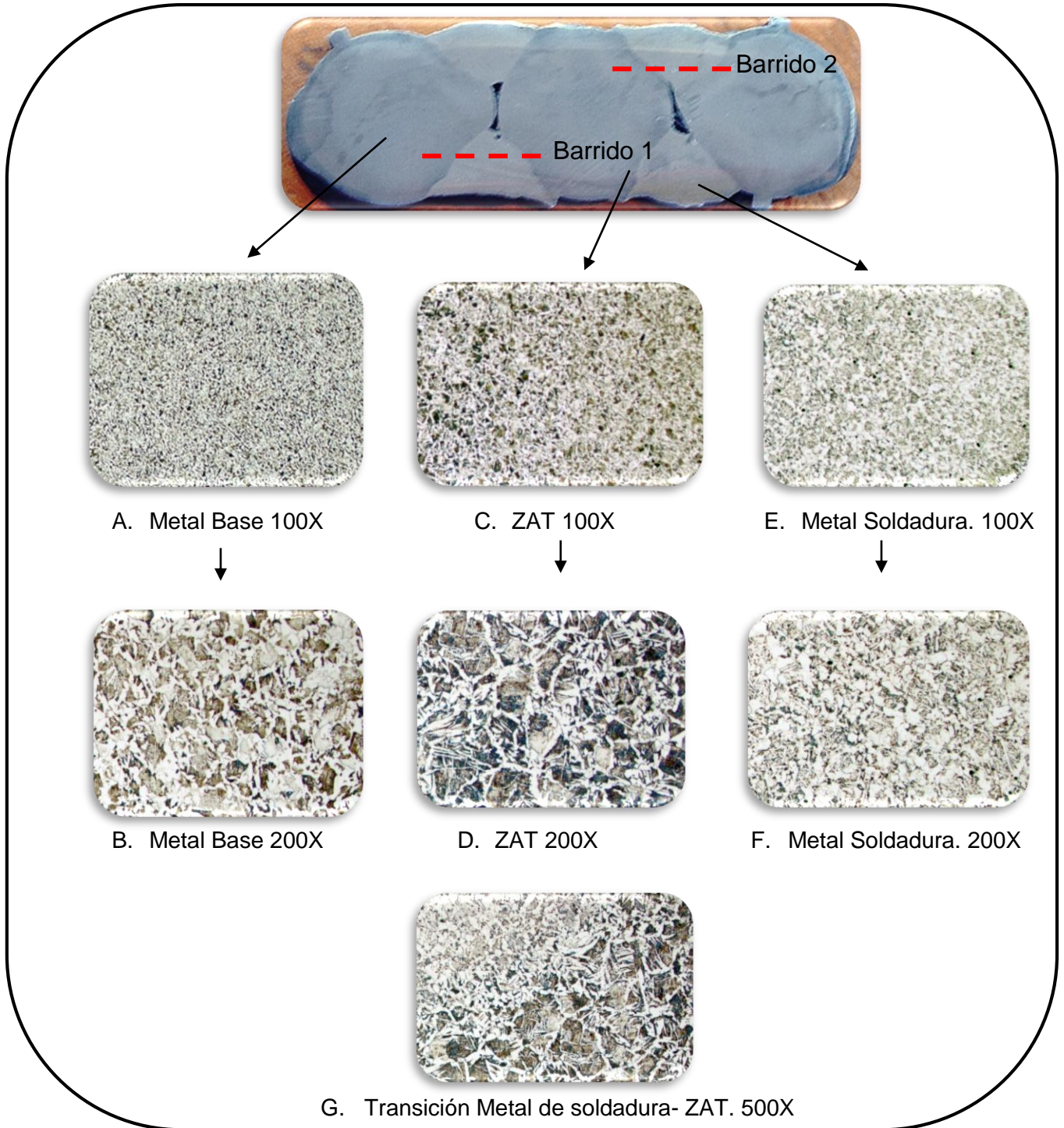
1. Orientación y revisión: ING EDWIN LOMBANA RIAÑO – CWI 10101241V. Contratación: STECKERL ACEROS S.A.S.

Figura 21. Registro de calificación del procedimiento PQR 004

  	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – PQR	Página 1 / 1																					
Registro de calificación de procedimiento No. <u>4</u> Fecha <u>05/03/2015</u>																							
Elaborado por <u>ANDREY JAIMES- JEISON MANCO</u>																							
WPS No. <u>4 (WPS-SA-D1.4 - A706-SMAW)</u>																							
Proceso de soldadura <u>SMAW</u>																							
Tipo (s) (Automático, semiautomático, manual o máquina): <u>MANUAL</u>																							
JUNTAS Diseño de junta Respaldo (Si) _____ (No) <u>X</u> Material del respaldo (Tipo) <u>NA</u> (Refiere a respaldo y retenedores) <input type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fusible <input type="checkbox"/> Otro Diseño de Junta <u>TOPE DIRECTO BISEL EN V</u> Número de pases Material de aporte <u>3 ó MAS</u> Tiempo máximo entre pases <u>2 min.</u> Tipo de alineador <u>NA</u>	Detalles 																						
METALES BASE Especificación de material Tipo y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u> a Tipo y grado <u>ASTM A-706 Gr 60</u> Diámetro de cupón de prueba <u>16 mm</u> Rango cubierto <u>16 mm</u>	GAS Rata flujo _____ Protección <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u> Arrastre <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u> Respaldo <u>NA</u> <u>NA</u> <u>NA</u>	porcentaje de composición Gas (es) Mezcla																					
POSICIONES Posición(es) de ranura <u>1 G</u> Progresión de soldadura Asce. _____ Desc. _____ Posición(es) de filete _____	TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA Rango de temperatura <u>NA</u> Rango de tiempo <u>NA</u>																						
METALES DE APORTE Especificación AWS <u>SFA 5.5</u> AWS No. (Clase) <u>E-8018-B1</u> F-No. – A-No. <u>4 - 1</u> Diam. metales de aporte <u>3.2mm</u>	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS Corriente AC ó DC <u>DC</u> Polaridad <u>Inversa</u> Amperaje (Rango) <u>105-107 A</u> Voltaje (Rango) <u>22-27 V</u>																						
Prueba de tracción																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Espécimen No.</th> <th>Diámetro mm</th> <th>Área mm²</th> <th>Ultima carga total</th> <th>Ultima unidad de esfuerzo</th> <th>Tipo de falla y localización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>14.85</td> <td>173.20</td> <td>26639.85 LbF</td> <td>99350.82 Psi</td> <td>RFS</td> </tr> <tr> <td>T2</td> <td>14.77</td> <td>171.34</td> <td>26460.01LbF</td> <td>98480.59 Psi</td> <td>RFS</td> </tr> </tbody> </table>						Espécimen No.	Diámetro mm	Área mm ²	Ultima carga total	Ultima unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización	T1	14.85	173.20	26639.85 LbF	99350.82 Psi	RFS	T2	14.77	171.34	26460.01LbF	98480.59 Psi	RFS
Espécimen No.	Diámetro mm	Área mm ²	Ultima carga total	Ultima unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización																		
T1	14.85	173.20	26639.85 LbF	99350.82 Psi	RFS																		
T2	14.77	171.34	26460.01LbF	98480.59 Psi	RFS																		
Macro-ataque																							
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Identificación</th> <th>Descripción de discontinuidad- efecto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MT1</td> <td>OK- Sin indicaciones</td> </tr> <tr> <td>MT2</td> <td>OK- Porosidad Aislada</td> </tr> </tbody> </table>			Identificación	Descripción de discontinuidad- efecto	MT1	OK- Sin indicaciones	MT2	OK- Porosidad Aislada															
Identificación	Descripción de discontinuidad- efecto																						
MT1	OK- Sin indicaciones																						
MT2	OK- Porosidad Aislada																						
Nombre del soldador: JHON BOLAÑOS No. Identificación 79.506.702 Estampe No. JB Prueba de laboratorio No: T373-15/MT 377-15																							
1. Prueba de soldadura dirigida por: Ing. EDWIN LOMBANA RIAÑO- CWI 10101241 Empresa: QW INGENIERÍA LIMITADA Certificamos que los datos consignados en este registro son correctos y que los cupones de prueba fueron preparados, soldados y probados de acuerdo con los requerimientos de la norma AWS D1.4.																							

- Análisis metalográfico juntas soldadas y barridos de dureza

Figura 22. Metalografía junta soldada tope indirecto con dos barras de empalme



Fuente: Autores

Figura 23. Metalografía junta soldada tope directo bisel en V.



Análisis metalográfico

En las micrografías obtenidas a partir de las juntas soldadas (Figuras 22 y 23) se observa el cambio microestructural desde el metal base hasta el metal de soldadura. El metal base presenta una estructura de matriz ferrítica alotriomórfica y nódulos de perlita con presencia de ferrita widmanstätten (Figuras 22, 23 A y B), la siguiente sección, corresponde a la zonas afectadas térmicamente (ZAT) donde se presenta una microestructura con dos diferentes zonas (Figura 22 C y D); en el límite del metal base y la ZAT presenta una zona de grano fino, ésto se da por una recristalización incompleta debido a que no se alcanza la temperatura de austenización, la siguiente sección que se encuentra más cerca a la zona de fusión, alcanza temperaturas superiores a la línea A3 generando un crecimiento de grano. En el metal de soldadura, debido a la composición química del electrodo, y bajo porcentaje de carbono (0.05%-0.12%), la microestructura presenta una matriz ferrítica con pocas cantidades de perlita (Figura 23 E y F).

Barridos de dureza

Los valores de dureza fueron obtenidos a partir de un microdurómetro INNOVATEST en la sede de Guatiguará de la Universidad Industrial de Santander, éstos reflejan el cambio de microestructura presente en las tres zonas de la soldadura para los dos tipos de juntas. En el metal base, la dureza oscila entre 190 y 225 HV; en la ZAT, debido a la presencia de dos tamaños de grano diferentes, las gráficas (Figuras 24 y 25) muestran un aumento de dureza en la zona adyacente del metal base, ésto ocasionado por el grano fino producto de la temperatura alcanzada, dando lugar a una recristalización incompleta (723° - 900°C); en la zona límite entre la ZAT y la línea de fusión existe un recalentamiento, alcanzándose temperaturas superiores a los 1000°C, lo que genera una microestructura de grano grueso con menor dureza que la zona

anterior; por último, la zona de soldadura presenta una dureza que varía entre 225 y 240 HV.

Figura 24. Barrido de dureza promedio, en escala Vickers, para la junta de tope indirecto con dos barras de empalme.

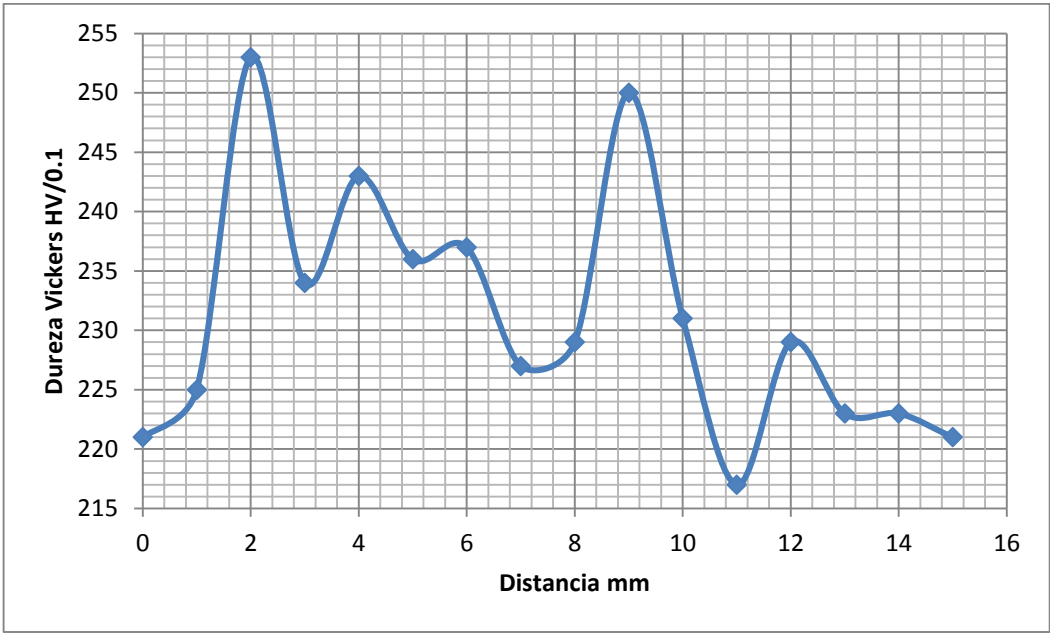
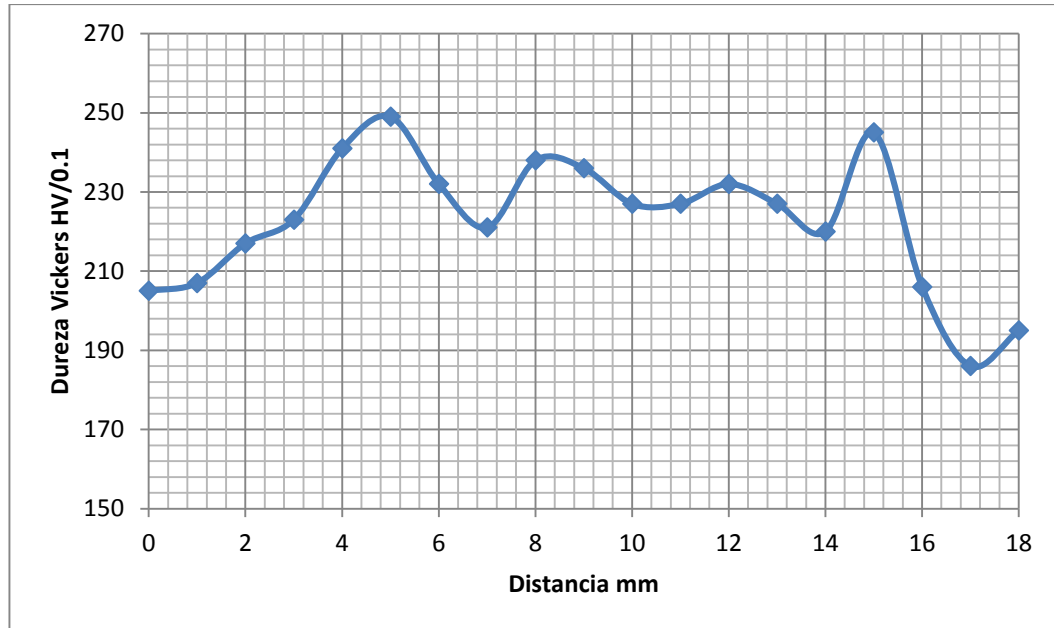


Figura 25. Barrido de dureza promedio, en escala Vickers, para la junta de tope directo bisel V.



El estudio metalográfico del metal base evidenció inclusiones no metálicas tipo A (Sulfuro), C (Silicatos) y D (Óxidos), una vez atacadas las muestras reveló un tamaño de grano (Número 7) en la zona central de la barra, correspondiente a una estructura ferrítico-perlítica. En el borde producto del tratamiento térmico superficial (Tempcore) presenta martensita revenida (Figura 12).

Las propiedades mecánicas obtenidas de la curva esfuerzo-deformación convencional fueron la resistencia a la fluencia (470 Mpa), resistencia última a la tracción (625-643 Mpa) y elongación (23-24%), datos registrados en la Tabla 2.

El análisis químico obtenido mediante espectrometría de emisión óptica, muestra los porcentajes de elementos como el carbono, manganeso, silicio, fósforo, Molibdeno, Cromo, Boro, Cobre, Vanadio que influyen en las propiedades mecánicas del acero (Tabla 1).

Las características de altura, separación entre extremos, espaciamiento, ángulo de resaltes y peso por unidad de longitud, que representan a la barra corrugada y mejoran e influyen la capacidad del concreto de adherirse a ella, corresponden a una fabricación adecuada siguiendo los lineamientos de la norma del acero.

La evaluación de la soldabilidad se realizó por medio de los respectivos soportes de especificación y calificación del procedimiento de soldadura (WPS y PQR), donde se registraron las diferentes variables del procedimiento, al igual que los resultados obtenidos a partir de los ensayos de tracción y macroataque de los dos tipos de junta soldadas. La identificación de diferentes microestructuras, se realizó mediante metalografía y barridos de dureza, con el fin de observar las tres zonas presentes en las juntas.

6. CONCLUSIONES

La metalografía realizada al acero ASTM A706, presenta sulfuros de manganeso, silicatos y óxidos globulares con severidades entre 1 y 2 ½, sin embargo, no generan rechazo de acuerdo a la norma. El tamaño de grano medido mediante el método de comparación, fue de 7, siendo un grano pequeño y favoreciendo las propiedades mecánicas. Además, se presenció martensita revenida en la superficie exterior, producto del tratamiento térmico Tempcore.

Los valores de composición química elemental obtenidos se encuentran entre los rangos suministrados por la empresa productora de las barras y los establecidos por la norma del acero.

Las propiedades mecánicas se ven influenciadas por la composición química, como por el tratamiento térmico superficial (Tempcore) siendo acorde con los requerimientos exigidos por la norma del acero para su aprobación.

El producto terminado de la barra corrugada, cuenta con las características de los resaltes como el espaciamiento, separación entre extremos, altura y ángulo de inclinación favoreciendo la capacidad de adherencia del concreto, estos parámetros cumplen los requisitos del Numeral 7, de la norma del acero.

La soldabilidad del acero fue evaluada mediante la elaboración de documentos de especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y registro de calificación del procedimiento (PQR) de los dos tipos de juntas, sin presentarse ningún discontinuidad que fuese causa de rechazo según norma AWS D 1.4, esto se demostró con el ensayo de tracción y macroataque de las juntas ya soldadas, rompiendo las probetas fuera de la zona de soldadura y presentando fusión completa y correcta aplicación del procedimiento de soldadura. La identificación de las zonas de soldadura presentes, se logró mediante un análisis metalográfico y barridos de dureza.

La empresa Steckerl Aceros SAS comercializa acero para refuerzo proveniente de Turquía, importado por la empresa Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S., el cual cumple con los altos estándares de calidad internacional y nacional como lo demostró la investigación realizada en la Universidad Industrial de Santander.

7. RECOMENDACIONES

La adecuada aplicación del procedimiento de soldadura a las barras de refuerzo ASTM A706, siguiendo los requisitos establecidos por la norma AWS D 1.4, garantiza la calidad en servicio de las barras sometidas a un proceso de soldadura.

Antes de realizar el procedimiento de soldadura, se recomienda ver estado del equipo, contar con soldador calificado, diseño de juntas adecuado, realizar una limpieza previa y entre cordones de soldadura; seguir detalladamente las especificaciones registradas en el WPS para evitar posibles defectos, discontinuidades o fallas en la junta soldada.

CITAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. JARAMILLO JÍMENEZ, José Óscar. El acero estructural. [En línea]. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. [Citado 20-12-2014]. Disponible en internet: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/ACERO%20ESTRUCTURAL.htm>.
- [2]. STECKERL ACEROS. [En línea]. Cundinamarca, Bogotá, Colombia. 2013. Disponible en internet: <http://www.steckerlaceros.com/index.php/empresa>.
- [3]. KAPTAN DEMIR CELIK END. [En línea]. Estambul Turquía. 2012-2014. Disponible en internet: <http://www.kaptandemir.com.tr/>
- [4]. ASTM INTERNATIONAL. Standard Specification Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars For Concrete Reinforcement. A706/A706-14. 10 Ed. 100. Pennsylvania. United States. 2009.
- [5]. HOLCIM. Acero de Refuerzo. [En línea]. Ciudad de México. 2009. Disponible en internet: <http://www.holcim.com.mx/holcimcms/uploads/MX/Acero.pdf>.
- [6]. CRM Group. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.crmgroup.be/our-services/licensing-marketing-and-sales/tempcore>
- [7]. Laboratorio de Metalografía, Curso de Materiales, Escuela Colombiana de Ingeniería. [En línea]. Disponible en internet: www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/7643_metalografia.pdf
- [8]. ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. Tercera Edición. Universidad de Missouri. International Thompson Editores. 1998. p.

- [9]. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm>
- [10]. GÓMEZ MORENO, O. José. Soldadura de Metales. Bucaramanga, Santander, Colombia. Publicaciones UIS.1993, p. 37-41.
- [11]. SMAW, Comunidad de Soldadura. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.smaw.cl/tipos-de-electrodos/>
- [12]. AMERICAN WELDING SOCIETY. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.aws.org/w/a/>
- [13]. GÓMEZ MORENO, O. José. Metalurgia de la soldadura. Bucaramanga, Santander, Colombia. Publicaciones UIS.1989, p. 161-174.
- [14]. ORDOÑEZ JIMENEZ, Jorge L. Empresa Metal Actual. Estandarización de proceso de soldadura, para mejorar la competitividad [En línea]. Disponible en internet: http://www.metalactual.com/revista/25/procesos_asme.pdf. 2006, p 46-52.
- [15]. American Welding Society. Estructural Welding Code-Reinforcing Steel. D1.4/D1.4M. 2005.
- [16]. American Welding Society, WELDING HANDBOOK, Vol. 1, Welding Technology, 8th Edition, 1987.
- [17]. American Welding Society. Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. ANSI/AWS A 2.4. 1993.
- [18]. American Welding Society. Standard Method for Mechanic Testing Weld. AWS B4.0.2004.

- [19]. American Society for Testing and Materials, ASTM A706/A706-14.2014. Standard Specification Low-Alloy Steel for Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement.
- [20]. American Society for Testing and Materials, ASTM E3. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.2011.
- [21]. American Society for Testing and Materials, ASTM E45. Standard Method for Determining the Inclusion Method Of Steel. 2013
- [22]. American Society for Testing and Materials, ASTM E112. Standard Test Method for Determining the Average Grain Size. 2013
- [23]. American Society for Testing and Materials, ASTM A370. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel. 2014.
- [24]. American Society for Testing and Materials, ASTM E8. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. 2013.
- [25]. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. E407. 2007.
- [26]. American Society for Testing and Materials. ASTM E340. Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys. 2013.
- [27]. American Society for Testing and Materials, ASTM E290. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility. 2014.
- [28]. American Society for Testing and Materials, ASTM E 384. Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials.2011.

- [29]. BECERRA Marlon, SANABRIA María A. Diseño de un WPS y un PQR, bajo la norma AWS D1.1 aplicado a los procedimientos de la compañía precisión LTDA. Universidad Industrial de Santander, Facultad Ingeniería físico-químicas. 2014
- [30]. HURTADO, Carlos R. Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado BELGO 60. Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú. Marzo 2011.
- [31]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. NTC 2289. Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto. Noviembre 2011.
- [32]. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. NTC 4040. Procedimiento de soldadura el acero de refuerzo. Noviembre 1997.
- [33]. LINNERT, George. Welding Metallurgy: Carbon and Steel Alloy. Vol 1. 4ta edición. 1994.
- [34]. SOTERO, C. Álvaro, Soldabilidad de barras corrugadas de acero para construcción ASTM A706. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú. 2004.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3. West Conshohocken, PA.: ASTM, 2011.

----- Standard Method for Determining the Inclusion Method Of Steel. ASTM E45. West Conshohocken, PA.: ASTM, 2013.

----- Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM E407. West Conshohocken, PA.: ASTM 2007.

----- Standard Specification Low-Alloy Steel for Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement. ASTM A706/A706. West Conshohocken, PA.: ASTM, 2014.

----- Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel ASTM A370. I. West Conshohocken, PA.: ASTM, 2014.

----- Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility. ASTM E290. West Conshohocken, PA.: ASTM 2014.

----- Standard Test Methods for Determining the Average Grain Size. ASTM E112 West Conshohocken, PA.: ASTM, 2013.

----- Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials ASTM E 384. West Conshohocken, PA.: ASTM, 2011.

----- Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloys. ASTM E340. West Conshohocken, PA.: ASTM 2007.

----- Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM E8. West Conshohocken, PA.: ASTM , 2013.

AMERICAN WELDING SOCIETY. Estructural Welding Code-Reinforcing Steel. D1.4/D1.4M. Miami, Florida: AWS, 2005

----- Símbolos normalizados para soldeo, soldeo fuerte y examen no destructivo. ANSI/AWS A 2.4. Miami, Florida: American Welding Society, 1993.

----- Standard Method for Mechanic Testing Weld. AWS B4.0.2004. Miami, Florida E.U: American Welding Society, 1993.

----- Welding Handbook. Vol. 1, Welding Technology, 8th Edition. Miami, Florida: American Welding Society, 1987.

HURTADO, Carlos R. Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado BELGO 60. Trabajo de grado Ingeniero Metalúrgico. Lima: Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Marzo 2011.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto NTC 2289. Bogotá: El Instituto, Noviembre 2011.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimiento de soldadura el acero de refuerzo NTC 4040. Bogotá: El Instituto: Noviembre, 1997.

LINNERT, George E. Welding Metallurgy: Carbon and Steel Alloy. Vol 1. 4ta edición. Miami, Fl.: American Welding Society, 1994.

SANABRIA BARRERA, María Alejandra y BECERRA PEREZ, Marlon Anderson. Diseño de un WPS y un PQR, bajo la norma AWS D1.1 aplicado a los procedimientos de la compañía precisión LTDA. Trabajo de grado Ingeniero Metalúrgico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, 2014

SOTERO, C. Álvaro, Soldabilidad de barras corrugadas de acero para construcción ASTM A706. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Perú. 2004.

ANEXOS

ANEXO A. Certificado de composición química de colada y propiedades mecánicas del acero ASTM A706/A706M proveniente de la empresa Kaptan Demir Celik Endustrisi ve Ticaret A.S

MILL TEST CERTIFICATE EN 10204 TYPE 3.2																								
NAME OF VESSEL		M/V SUJITRA NAREE										CERTIFICATE NUMBER : 14/068												
CUSTOMER		STECKERL ACEROS SAS										DATE : 14.04.2014												
QUANTITY		1.802,570 MT																						
MATERIAL		REINFORCING DEFORMED STEEL BARS(ALLOYED)																						
QUALITY		ASTM A 706 GRADE 60																						
PROCESS ROUTE		EAF/CCM/QST																						
MANUFACTURER		KAPTAN DEMIR CELIK ENDUSTRISI VE TICARET A.S.																						
MARKING																								
Size	Length m	Heat Number	Number of Bundles	Mechanical Properties										Chemical Composition on Product										
				Weight Kgs	Yield Strength Mpa	Tensile Strength Mpa	ReI RaH	Eng. %	Band %	C %	Mn %	Si %	P %	S %	M %	Cr %	Mo %	Cu %	V %	B %	N %	Ca %		
12"	12,000	14-01931	13	0,941	455	591	1,30	15,3	OK	0,30	1,02	0,14	0,021	0,032	0,10	0,09	0,012	0,25	0,004	0,0030	0,0074	0,49		
	12,000	14-01932	48	0,954	455	594	1,31	15,2	OK	0,30	0,97	0,13	0,018	0,034	0,10	0,07	0,012	0,25	0,004	0,0034	0,0071	0,47		
	12,000	14-01933	40	0,944	478	630	1,32	16,1	OK	0,31	1,01	0,14	0,019	0,028	0,10	0,07	0,012	0,28	0,004	0,0028	0,0067	0,48		
101																								
6"	6,000	14-01843	78	1,470	459	511	1,33	15,3	OK	0,30	0,98	0,12	0,019	0,031	0,11	0,09	0,012	0,32	0,004	0,0023	0,0072	0,48		
	6,000	14-01844	45	1,477	455	592	1,30	16,2	OK	0,30	0,88	0,13	0,017	0,033	0,10	0,09	0,012	0,28	0,003	0,0024	0,0079	0,48		
123																								
5/8"	12,000	14-01848	25	1,468	489	609	1,30	15,0	OK	0,29	0,99	0,16	0,018	0,033	0,11	0,09	0,012	0,27	0,003	0,0027	0,0081	0,48		
	12,000	14-01849	63	1,465	477	616	1,29	16,0	OK	0,29	0,99	0,16	0,018	0,028	0,11	0,09	0,012	0,29	0,004	0,0028	0,0074	0,48		
	12,000	14-01850	14	1,473	456	609	1,34	17,0	OK	0,31	1,01	0,13	0,023	0,028	0,11	0,09	0,013	0,29	0,004	0,0029	0,0084	0,50		
102																								
3/4"	8,000	14-01792	30	2,127	472	607	1,29	17,3	OK	0,30	0,99	0,17	0,026	0,028	0,10	0,09	0,010	0,28	0,004	0,0026	0,0096	0,49		
30																								
3/4"	9,000	14-01796	6	2,109	454	598	1,32	16,8	OK	0,31	0,97	0,14	0,021	0,036	0,10	0,08	0,011	0,27	0,004	0,0029	0,0085	0,49		
	9,000	14-01795	20	2,107	456	595	1,30	17,0	OK	0,30	0,99	0,15	0,019	0,034	0,10	0,07	0,011	0,28	0,004	0,0023	0,0085	0,49		
	9,000	14-01794	36	2,123	456	609	1,34	17,1	OK	0,29	0,99	0,13	0,021	0,030	0,10	0,08	0,012	0,28	0,004	0,0029	0,0083	0,48		
	9,000	14-01793	20	2,126	476	613	1,29	17,1	OK	0,30	1,00	0,16	0,016	0,028	0,10	0,07	0,011	0,26	0,004	0,0029	0,0093	0,48		
82																								
ISSUED AND SIGNED BY KAPTAN DEMIR CELIK ENDUSTRISI VE TICARET A.S.												APPROVED & CERTIFIED BY ALEX STEWART INTERNATIONAL CORPORATION												

www.kaptandemir.com.tr

Origin TURKISH
export@kaptandemir.com.tr
1912759

Tel: 00902165474900 Fax: 00902164287474

BARRANOULLA/COLOMBIA

KAPTAN DEMIR CELIK
ENDUSTRISI VE TIC. A.S.

Maliye

Dreşino

Piso Tecnico

Alado: 1.024,320

Fecha: 04.04.2014

6 METERS (+/- 50mm)

5

1401843 49

ASTM A 706 GR 60 - NTC 22019

STECKERL ACEROS SAS

REINFORCING DEFORMED STEEL BARS

KAPTAN DEMIR ÇELİK ENDÜSTRISI VE TICARET A.Ş.

KAPTAN DEMİR ÇELİK ENDÜSTRISI VE TICARET A.Ş.

ANEXO B. Informe de análisis de Espectrometría de Emisión Óptica realizado por la empresa WEST ARCO LTDA, Bogotá D.C.

LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS
 SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S. NIT. 900.214.225-3
 ACREDITACIÓN ISO/IEC 17025: 2005 CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN: 12-LAB-038



INFORME DE ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ÓPTICA									
INFORME No.:	I-15088-3	No. de Páginas:							
1 de 1									
INFORMACIÓN DEL CLIENTE									
Nombre:	STECKERL ACEROS	FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRAS							
Dirección:	Carrera 128 No 14B-31	2015-03-17							
Teléfono:	3117703323	FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO							
Ciudad:	Bogotá D.C.	2015-03-18							
DATOS DEL MATERIAL BASE Y/O UNIÓN SOLDADA									
Identificación:	AQ3 088	Díámetro:							
14,8 mm									
NORMA PARA ENSAYO									
INSTRUCTIVO EQUIPO ARL QUANTRES OPTICAL EMISION									
SOPORTE DE LECTURAS REALIZADAS									
A continuación se relacionan los resultados de las probetas según el análisis de espectrometría:									
1. Muestra OS 15088-3. Correspondiente a la probeta identificada AQ3 088									
18/03/2015 14:02:22 Muestra: OS-15088-3 Programa: FELAST Tarea: PECOLAST									
Nº	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
Med	0.28242	0.11856	0.92013	0.01336	0.02680	0.08490	0.02282	0.11238	!0.00224
	Al	Cu	Ti	Nb	W	As	Sn	Co	Pb
Med	10.00050	0.17600	0.00469	10.00100	10.01300	0.09154	0.01438	0.00782	!0.00100
	B	Sb	Zr	Ca	Zn	N	Fe	Total	
Med	0.00246	10.00300	10.00100	10.00005	10.00030	0.00487	98.0579	1.14248	
1. En los elementos con signo de admiración (!), el porcentaje en peso real está por debajo del valor aquí registrado.									
2. Los elementos Arsénico, Plomo, Antimonio, Circonio, Calcio y Cinc se reportan con fines informativos.									
ENSAYO REALIZADO POR:	INFORME REVISADO Y EMITIDO POR:	FECHA EMISIÓN INFORME							
SANDRA ROJAS JEFE DE LABORATORIO QUÍMICO	 ING. ELMER CEPEDA GOMEZ JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS	2015-03-18							
NOTAS									
1. DECLARAMOS QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REPORTADOS EN ESTE INFORME ESTÁN RELACIONADOS ÚNICAMENTE CON LAS MUESTRAS ARRIBA MENCIONADAS QUE SE HAN IDENTIFICADO Y ENSAYADO. LAS CUALES FUERON ENVIADAS POR EL CLIENTE AL LABORATORIO A TRAVÉS DEL INSTITUTO DE SOLDADURA WEST ARCO S.A.S.									
2. ESTE INFORME NO SE DEBE REPRODUCIR PARCIAL O TOTALMENTE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.									
3. LA APLICACIÓN Y EMPLEO DE LOS DATOS Y RESULTADOS REPORTADOS EN ESTE INFORME NO SON RESPONSABILIDAD DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.									
4. LOS DATOS DE MATERIAL BASE Y/O UNIÓN SOLDADA SON SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE. POR LO TANTO NO SON RESPONSABILIDAD DEL LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS DE SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S.									
FIN DEL INFORME									
		LAB-P-0018-F1-GC 4aEd.							

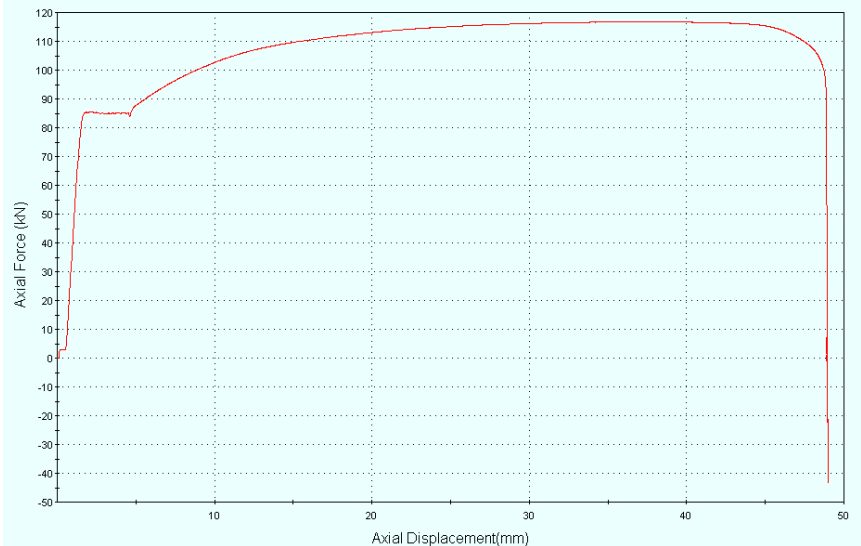
AV. CRA 68 No. 5-93 - BOGOTÁ D.C.
 PBX. 4176288 EXT. 1201/1202/1206/2011



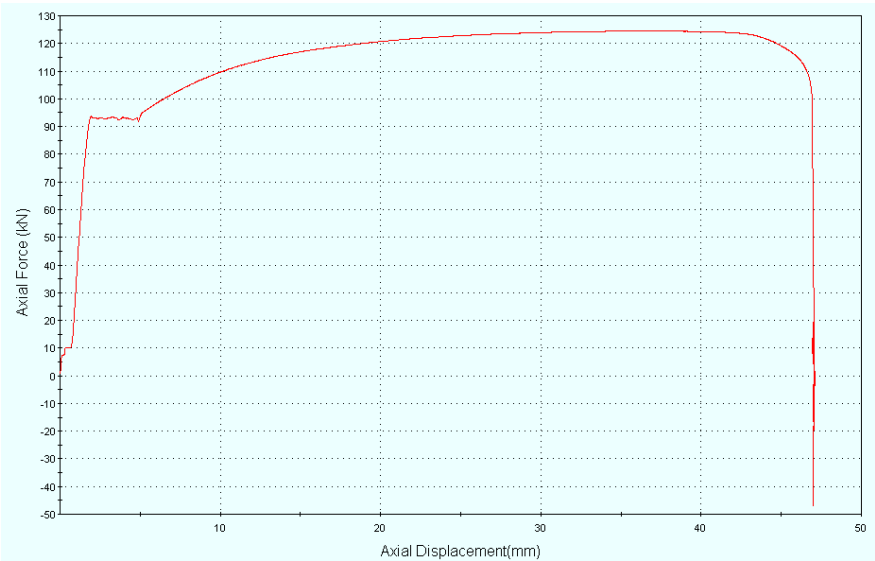
ACREDITADO ISO/IEC 17025: 2005 12-LAB-038

ANEXO C. Gráficas Fuerza (KN) Vs. Deformación axial (mm) obtenidas de la máquina universal de ensayos MTS 810, del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.




Tracción Probeta KDT1






Tracción Probeta KDT2






ANEXO D. Reporte macroataque junta a tope indirecto. WPS 003

		LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Control Calidad y Montajes Ltda. CLL 85 A No. 24 - 32. TELS.: 5333563 - 533 95 30 CELULAR: (310) 238 15 65 - (310) 8594150 BOGOTÁ D.C. www.controlcalidadymontajes.com				
REPORTE DE ENSAYOS MECÁNICOS DE MACRO ATAQUE						
		CCMRP-F-045 Rev 0				
CLIENTE:	STECKERL	REPORTE Nº:	MT 376-			
DIRECCIÓN:	CR 128 Nº 14B - 31	PAGINA:	1 DE 1			
TELÉFONO:	7425888	ORDEN DE SERVICIO:	5295			
CIUDAD:	BOGOTÁ	CANTIDAD DEL MATERIAL DE ENSAYO				
		2 PROBETAS				
MATERIAL BASE		FECHA DE INGRESO DEL MATERIAL DE				
ESPECIFICACIÓN:	ASTM	DIAMETRO:	14.84 mm			
TIPO:	A 706	WPS:	003			
GRADO:	60	ESPESOR:	NA			
		25 de Febrero de 2015				
UNION SOLDADA						
PROCESO:	SMAW	PROGRESO:	ASCENDENT			
TIPO DE PROCESO:	MANUAL	POSICIÓN:	1G			
APORTE METALICO:	E 8018	NOMBRE DEL	JOHN			
TIPO DE JUNTA:	A TOPE INDIRECTO	ESTAMPE:	J.B			
ENSAYO DE MACROATAQUE						
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:	ASTM E8 Standard test methods for tension testing of metallic					
	AWS B4.0 Standard method for mechanic testing weld.					
NORMA DE ENSAYO:	AWS D1.4 Structural Welding Code - Reinforcing Steel					
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:	28 de Febrero de 2015					
INFORMACIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO						
EQUIPO:	Motor Tool - CAMARA	FECHA DE	NA			
MARCA:	Federon 3.000 Rpm - SAMSUNG SG 860	CERTIFICADO Nº:	NA			
SERIE Nº:	NR	CALIBRADO POR:	NA			
ENSAYO MACRO ATAQUE UNIÓN SOLDADA						
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		IDENTIFICACION				
		MT1	MT2	MT3	MT4	MT5
LONGITUD TOTAL (mm):		101.6	101.6			
DIAMETRO (mm):		14.84	14.85			
TEMPERATURA (°C):		19.1	19.1			
RESULTADOS ENSAYO DE MACROATAQUE						
IDENTIFICACION		OBSERVACIONES			RESULTADO	
J.B - MT1		SIN INDICACIONES			OK	
J.G - MT2		SIN INDICACIONES			OK	
OBSERVACIONES:						
ENSAYO REALIZADO POR TECNICO DE LABORATORIO				REVISADO Y EMITIDO POR		
						
INSP. FRANKLIN SANDOVAL INSIGNARES				ING. JOSE MANUEL VILLAMIL		
FECHA: 28 de Febrero de 2015				FECHA: 28 de Febrero de 2015		
FIN DE INFORME				CCMRP-F-045 Rev		

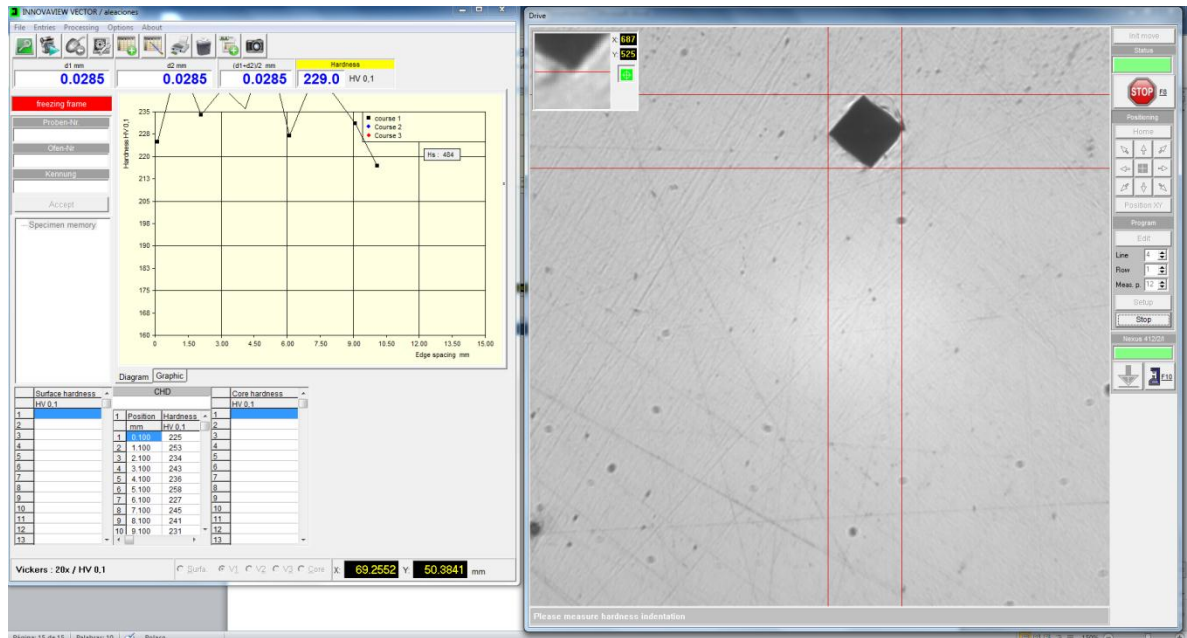
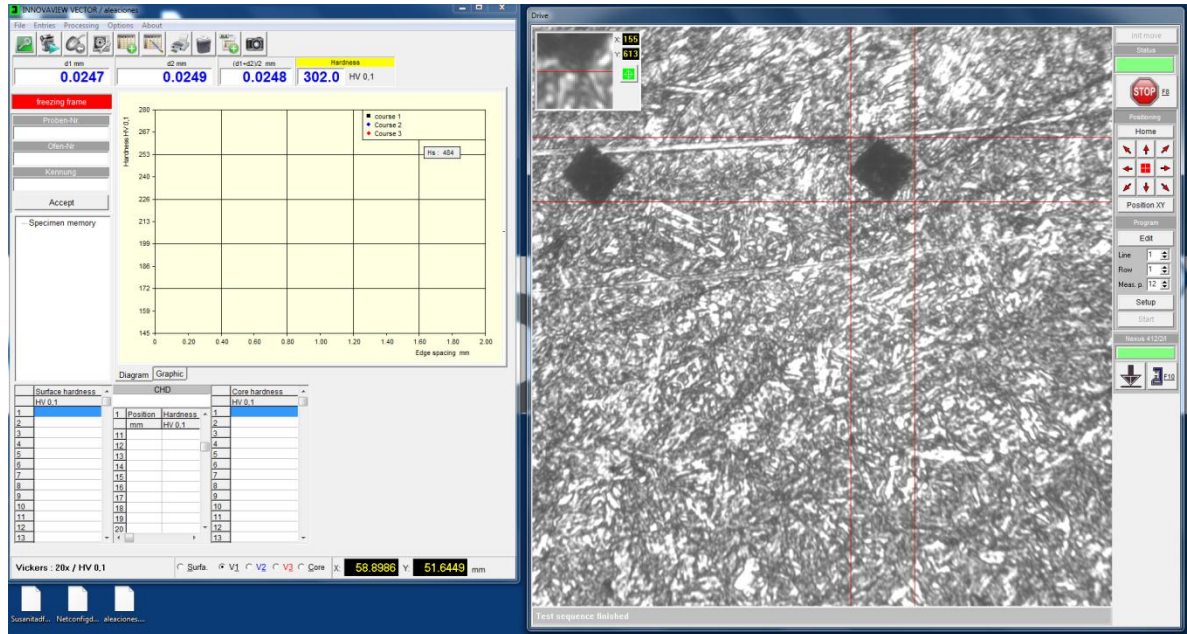
ANEXO E. Reporte macroataque para junta de tope directo. WPS 004

		LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Control Calidad y Montajes Ltda. CLL 85 A No. 24 - 32. TELS.: 5333563 - 533 95 30 CELULAR: (310) 238 15 65 - (310) 8594150 BOGOTA D.C. www.controlcalidadymontajes.com			
REPORTE DE ENSAYOS MECÁNICOS DE MACRO ATAQUE					
		CCMRP-F-045 Rev 0			
CLIENTE:	STECKERL	REPORTE N°:	MT 377-		
DIRECCIÓN:	CR 128 N° 14B - 31	PAGINA:	1 DE 1		
TELÉFONO:	7425888	ORDEN DE SERVICIO:	5295		
CIUDAD:	BOGOTA	CANTIDAD DEL MATERIAL DE ENSAYO			
MATERIAL BASE		2 PROBETAS			
ESPECIFICACIÓN:	ASTM	DIAMETRO:	14.84 mm		
TIPO:	A 706	WPS:	004		
GRADO:	60	ESPESOR:	NA		
		FECHA DE INGRESO DEL MATERIAL DE ENSAYO			
		25 de Febrero de 2015			
UNION SOLDADA					
PROCESO:	SMAW	PROGRSION	ASCENDENT		
TIPO DE PROCESO:	MANUAL	POSICIÓN:	1G		
APORTE METALICO:	E 8018	NOMBRE DEL	JOHN		
TIPO DE JUNTA:	A TOPE	ESTAMPE:	J,B		
ENSAYO DE MACROATAQUE					
DOCUMENTOS DE REFERENCIA:	ASTM E8 Standard test methods for tension testing of metallic				
	AWS B4.0 Standard method for mecanic testing weld.				
NORMA DEL ENSAYO:	AWS D1.4 Structural Welding Code - Reinforcing Steel				
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO:	28 de Febrero de 2015				
INFORMACION DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO					
EQUIPO:	Motor Tool - CAMARA	FECHA DE CALIBRACIÓN:	NA		
MARCA:	Federon 3.000 Rpm - SAMSUNG SG 860	CERTIFICADO N°:	NA		
SERIE N°:	NR	CALIBRADO POR:	NA		
ENSAYO MACRO ATAQUE UNIÓN SOLDADA					
DIMENSIONES DE LAS PROBETAS		IDENTIFICACION			
		MT1	MT2	MT3	MT4
LONGITUD TOTAL (mm):		101.6	101.6		
DIAMETRO (mm):		14.84	14.85		
TEMPERATURA (°C):		19.1	19.1		
RESULTADOS ENSAYO DE MACROATAQUE					
IDENTIFICACION	OBSERVACIONES			RESULTADO	
J.B - MT1	SIN INDICACIONES			OK	
J.G - MT2	POROSIDAD AISLADA			OK	
OBSERVACIONES:					
ENSAYO REALIZADO POR TECNICO DE LABORATORIO			REVISADO Y EMITIDO POR		
					
INSP. FRANKLIN SANDOVAL INSIGNARES			ING. JOSE MANUEL VILLAMIL		
FECHA: 28 de Febrero de 2015			FECHA: 28 de Febrero de 2015		
FIN DE INFORME				CCMRP-F-045 Rev	

ANEXO F. Reporte ensayo de tracción junta tope indirecto. WPS 003

		LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Control Calidad y Montajes Ltda. CLL 85 A No. 24 - 32. TELS.: 5333563 - 533 95 30 CELULAR: (310) 238 15 65 - (310) 8594150 BOGOTA D.C. www.controlcalidadymontajes.com				
REPORTE DE ENSAYOS MECÁNICOS DE TENSIÓN						
		CCMRP-F-044 Rev 0				
CLIENTE: STECKERL DIRECCIÓN: CR 128 N° 14B - 31 TELÉFONO: 7425888 CIUDAD: BOGOTA	REPORTE N°: T 378-15 PAGINA: 1 DE 1 ORDEN DE SERVICIO: 5295		CANTIDAD DE MATERIAL DE ENSAYO 2 PROBETAS			
MATERIAL BASE		FECHA DE INGRESO DEL MATERIAL DE ENSAYO 25 de Febrero de 2015				
ESPECIFICACIÓN: ASTM TIPO: A 706 GRADO: 60	DIAMETRO: 14.84 mm WPS: 003 ESPESOR: NA					
UNION SOLDADA						
PROCESO: SMAW TIPO DE PROCESO: MANUAL APORTE METALICO: E 8018 TIPO DE JUNTA: A TOPE INDIRECTO	PROGRSION: ASCENDENTE POSICIÓN: 1G NOMBRE DEL SOLDADOR: JOHN BOLAÑOS ESTAMPE: J.B					
ENSAYO DE TENSIÓN						
DOCUMENTOS DE REFERENCIA: ASTM E8 Standard test methods for tension testing of metallic materials. AWS B4.0 Standard method for mechanic testing weld.						
NORMA DEL ENSAYO: AWS D1.4 Structural Welding Code - Reinforcing Steel						
FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO: 28 de Febrero de 2015						
INFORMACION DEL EQUIPO UTILIZADO PARA EL ENSAYO						
EQUIPO: PRENSA UNIVERSAL DE ENSAYOS MARCA: JINAN TESTING EQUIPMENT CO LTD SERIE N°: 1112469	FECHA DE CALIBRACIÓN: 21 de Noviembre de 2014 CERTIFICADO N°: CFA-14-4084 CALIBRADO POR: Quality Control Ltda.					
ENSAYO TENSIÓN A UNIÓN SOLDADA						
DIMENSIONES INICIALES DE LAS PROBETAS		IDENTIFICACION				
		T1	T2	T3	T4	
LONGITUD TOTAL (mm):		319	315			
ESPESOR EN EL MATERIAL BASE (mm):		14.85	14.77			
ÁREA SECCIÓN TRANSVERSAL (mm ²):		173.20	171.34			
TEMPERATURA (°C):		19.1	19.1			
	IDENTIFICACION				UBICACIÓN DE LA ROTURA	
	T1	T2	T3	T4		
CARGA MAXIMA	26842.18	26977.07			T1	RFS
Lbf / KN	119.4	120.0				
ESFUERZO MAXIMO	99930.97	101526.39			T2	RFS
Psi / Mpa	689	700				
CARGA DE ROTURA	13236.75	13340.16			T3	
Lbf / KN	58.88	59.34				
ESFUERZO DE ROTURA	49312.81	50183.04			T4	
Psi / Mpa	340	346				
RFS: ROMPE FUERA DE LA SOLDADURA		RS: ROMPE POR LA SOLDADURA		T: TENSIO		
OBSERVACIONES:						
ENSAYO REALIZADO POR TECNICO DE LABORATORIO				REVISADO Y EMITIDO POR		
						
INSP.FRANKLIN SANDOVAL				ING. JOSE MANUEL VILLAMIL		
FECHA: 28 de Febrero de 2015				FECHA: 28 de Febrero de 2015		

ANEXO H. Indentaciones del microdurómetro INNOVATEST, ubicado en Guatiguara, Universidad Industrial de Santander.



ANEXO I. Equipos y materiales utilizados en la aplicación del procedimiento de soldadura.

a) Equipo Miller XMT 350 CC/DC.





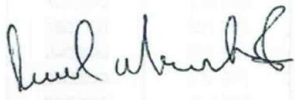
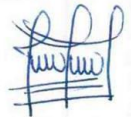
b) Electrodo E8018-B1.



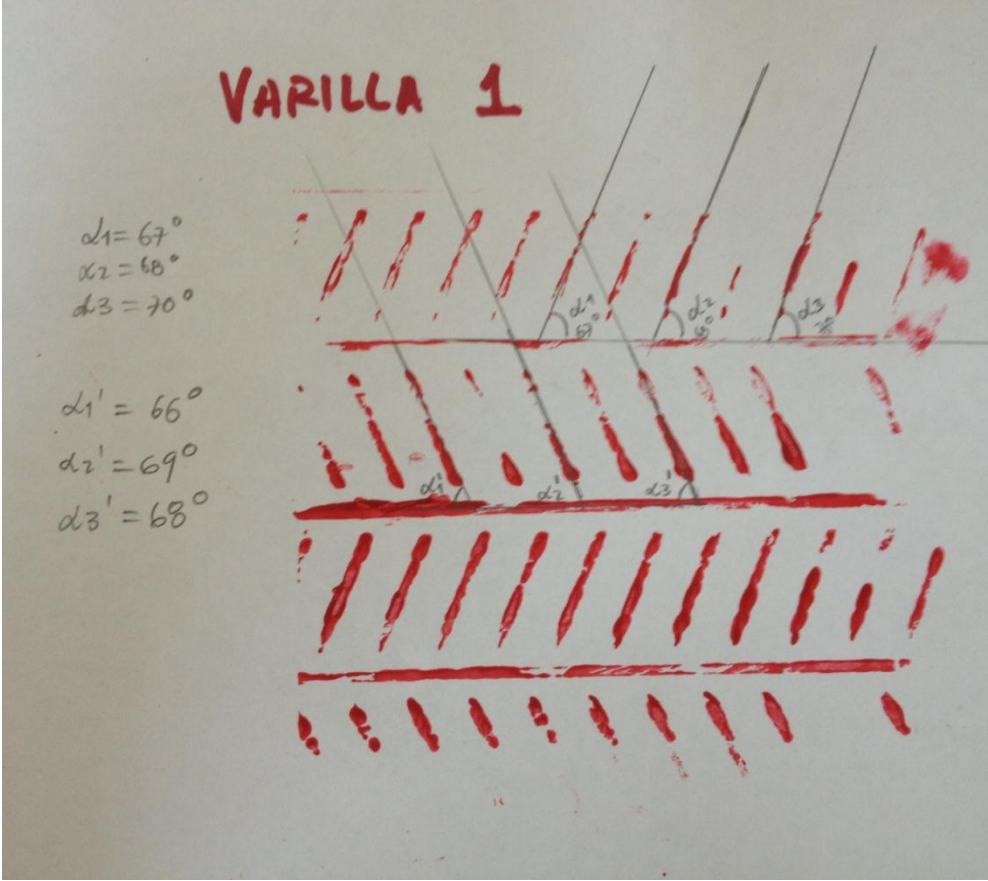
c) Recipiente para mantener electrodos sin humedad.



ANEXO J. Certificado de calibración máquina universal de ensayos JINAN PRECISION TESTING, Control Calidad y Montajes, Bogotá D.C.

 Ingeniería de Control de Calidad División Laboratorio		 <small>ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005 09-LAB-027</small>	
ISO/IEC 17025:2005		CFA-14-4084	
F-LAF-09-14			PAG :1 DE
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CALIBRATION REPORT			
Certificado No. CERTIFICATED No.	CFA-14-4084	Laboratorio de LABORATORY	FUERZA
Máquina Universal de Ensayos			
ABRICANTE MANUFACTURER	JINAN PRECISION TESTING	MODELO MODEL	12,2012
SERIAL SERIAL NUMBER	1112469	CODIGO INTERNO INTERNAL CODE	---
SOLO PARA EQUIPOS DE ENSAYO CON INDICADOR DIGITAL AUXILIAR NO APLICA PARA ESTE TIPO DE EQUIPO			
ABRICANTE MANUFACTURER	---	MODELO MODEL	---
SERIAL SERIAL NUMBER	---	CODIGO INTERNO INTERNAL CODE	---
ESCALA CALIBRADA SCALE CALIBRATED	600,0 kN / 600,0 kN		
CÓDIGO CLIENTE CUSTOMER CODE	0404		
CLIENTE CUSTOMER	CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA		
LUGAR DE CALIBRACIÓN CALIBRATION ADDRESS	Calle 38 Sur No.72H-88 Barrio Carvajal Bogotá D.C. - Cundinamarca		
FECHA DE CALIBRACIÓN CALIBRATION DATE	2014-11-21 aaaa-mm-dd	FECHA DE EMISIÓN ISSUE DATE	2014-12-10 aaaa-mm-dd
NÚMERO DE PÁGINAS NUMBER OF PAGE	OCHO (8)	Orden de Servicio	OSI-0083
Firmas Autorizadas			
<small>Authorized signatorys</small>	Elaborado Por:	Revisado Por:	
	 Reinel Martinez Rincon Técnico Especialista 1	 Javier Gonzalez Acero Jefe de Laboratorio	
<small>Este documento no atribuye al equipo otras características que las mostradas por los datos aquí contenidos, los resultados se refieren al momento y condiciones en que se tomaron las mediciones y poseen trazabilidad a patrones bien sean nacionales o extranjeros de institutos de metrología o empresas reconocidas. No se permite la reproducción parcial o total de este certificado. This document does not apply to instrument other capabilities than ones presented by here in contained data, the results are referred to the conditions and moment in which the measurements are taken and have traceability to standards national or foreign of metrological institutes or recognized enterprises. Partial reproduction of this document is not permitted.</small>			

ANEXO K. Determinación ángulo de inclinación de los restaltes, huella dejada por la varilla 1.



ANEXO L. Fórmulas utilizadas para la determinación de las características de la barra según norma NTC 2289.

Masa lineal nominal (kg/m)

$$\frac{\pi \times d^2 \times 7,85}{4 \times 1000} = 6,165 \times 10^{-3} \times d^2$$

en donde

d = diámetro (mm)

Densidad del acero = 7,85 t/m³

Área de la sección transversal (mm²)

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Perímetro (mm)

$$P = \pi \times d$$

Promedio máximo del espaciamiento (mm)

$$7/10 \times d$$

Para resaltes en "X" el máximo espaciamiento (mm) entre resaltes paralelos es de: (7/10 x d) x 2

Promedio mínimo de la altura (mm)

0,040 x d para diámetros menores de 15,0 mm

0,045 x d para diámetros de 15 mm y 16 mm

0,050 x d para diámetros de 19 mm a 57 mm inclusive

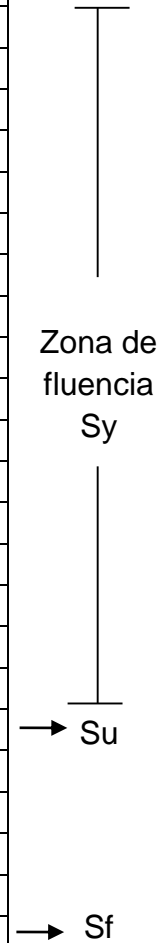
Separación máxima entre extremos de resaltes (mm)

$$0,125 \times \text{Perímetro}$$

ANEXO M. Resultados de tracción para la varilla número 1, para el metal base acero ASTM A706.

Carga P [KN]	Deformación axial [mm]
85,061356	3,5127294
84,969414	3,6019967
84,871689	3,6903338
85,116501	3,7798457
85,210869	3,8709717
85,096832	3,9630685
84,967468	4,0486255
85,04129	4,1419468
85,022591	4,2332025
85,030258	4,3208613
84,92704	4,410429
85,039131	4,4989195
83,932976	4,5944791
84,853096	4,6815886
86,310394	4,7697735
116,65224	39,330608
116,66968	39,418983
116,67772	39,50869
116,66915	39,601711
116,6592	39,690632
102,12749	48,602127
100,59748	48,689198
98,26519	48,780701

Esfuerzo S [Mpa]	Deformación unitaria e
468,760917	0,017563647
468,2542378	0,018009984
467,7156894	0,018451669
469,0648132	0,018899229
469,5848617	0,019354859
468,9564201	0,019815343
468,2435137	0,020243128
468,6503362	0,020709734
468,5472887	0,021166013
468,5895404	0,021604307
468,0207208	0,022052145
468,6384382	0,022494598
462,5425769	0,022972396
467,6132261	0,023407943
475,644186	0,023848868
642,8537419	0,19665304
642,9498512	0,197094915
642,9941585	0,19754345
642,9469305	0,198008555
642,8920974	0,19845316
562,8099306	0,243010635
554,3782652	0,24344599
541,5253499	0,243903505



Dimensiones Varilla 1:

Diámetro: 15.2 mm
 Área inicial A_0 : 181.46 mm²
 Área final: A_f : 113.1 mm²
 Longitud inicial: 200 mm
 Longitud final: 248.78 mm

Fórmulas utilizadas:

$$S = \text{Esfuerzo convencional} = \frac{P \text{ fuerza}}{\text{Área}}$$

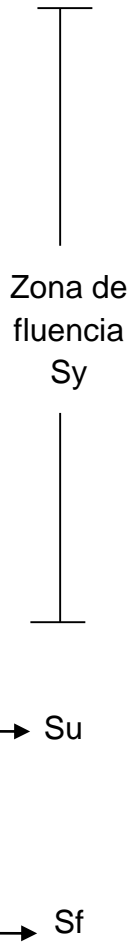
$$e = \text{Deformación unitaria} = \frac{l_f - l_i}{l_f}$$

S_u = Resistencia última a la tracción

S_y = Resistencia a la fluencia

ANEXO N. Resultados de tracción para la varilla número 2, para el metal base ASTM A706.

Carga P [KN]	Deformación axial [mm]	Esfuerzo S [Mpa]	Deformación unitaria e
92,830864	3,7789204	466,4867538	0,018894602
93,205269	3,8696141	468,3681859	0,019348071
93,274918	3,962503	468,7181809	0,019812515
93,125694	4,054646	467,9683116	0,02027323
92,985565	4,1445832	467,2641457	0,020722916
92,993149	4,2319489	467,3022563	0,021159745
92,780388	4,3212337	466,2331055	0,021606169
92,736427	4,4108024	466,012196	0,022054012
92,470222	4,5006318	464,6744824	0,022503159
92,41291	4,592401	464,3864824	0,022962005
92,773827	4,6834912	466,2001357	0,023417456
92,999031	4,7731714	467,3318141	0,023865857
92,68132	4,8611221	465,7352764	0,02430561
92,652214	4,9518981	465,5890151	0,024759491
94,219177	5,0396142	473,463201	0,025198071
124,41415	35,819344	625,1967337	0,17909672
124,45432	35,908379	625,398593	0,179541895
124,4607	36,001572	625,4306533	0,18000786
124,4463	36,095428	625,3582915	0,18047714
124,44197	36,184444	625,3365327	0,18092222
108,11512	46,713902	543,2920603	0,23356951
106,07532	46,802052	533,041809	0,23401026
102,52286	46,894173	515,1902513	0,234470865



Dimensiones Varilla 2:

Diámetro: 15.9 mm
 Área inicial A_o : 199 mm²
 Área final: A_f : 128.68 mm²
 Longitud inicial: 200 mm
 Longitud final: 246.89 mm