

**CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA, EVALUACIÓN DE LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN E IMPACTO EN EL ACERO AL
CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36 Y ESTUDIO DE SOLDABILIDAD BAJO
CÓDIGO API 650.**

**LEIDY DANIELA DIAZ MEDINA
LAURA MELISSA GUALDRON GUERRERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2016**

CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA, EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN E IMPACTO EN EL ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36 Y ESTUDIO DE SOLDABILIDAD BAJO CÓDIGO API 650.

**LEIDY DANIELA DIAZ MEDINA
LAURA MELISSA GUALDRON GUERRERO**

*Trabajo de Grado para optar al título de:
Ingeniera metalúrgica*

**DIRECTORES:
ORLANDO JOSÉ GÓMEZ MORENO
Ingeniero Metalúrgico, Ph.D**

**JAIME ALBERTO GONZALEZ GONZALEZ
Ingeniero Metalúrgico**

**Codirector :
JORGE IVAN BÁEZ LARROTA
Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2016

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero agradecer a Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, por darle a mis padres los medios y a mí la sabiduría para hacer este sueño realidad.

En segunda medida darle las gracias a los que permitieron que esto fuera posible, mis padres, pues debido a sus sacrificios y constancia pude lograr cada uno de los objetivos trazados al inicio de este camino. Los amo, todos los méritos son para ellos.

También quiero agradecer a Gabriel, el hombre que en incontables oportunidades me estuvo apoyando incondicionalmente, en especial en aquellas dificultades que trancaban de alguna u otra manera esta meta. A toda mi familia gracias, en especial a mi tía Loly por brindarme su apoyo, por haberme ofrecido su casa como mía, a mis hermanos por sus consejos y alientos, a mis nonitas, tías, tíos y primos gracias porque en algún momento de este camino fueron de la mano conmigo y aportaron en mi crecimiento como profesional integra.

Gracias a todos mis amigos, a los de la vida y a los de la universidad, pues siempre encontré en ellos una palabra de aliento o un consejo que me inspiraban a continuar, a los docentes también mis más apreciados agradecimientos, pues a ellos les debo todo el conocimiento adquirido en este proceso, en especial agradecer al doctor Orlando Jose por su paciencia y buena labor como codirector, de igual manera al ingeniero Jaime Gonzalez por su amabilidad y disposición.

Por último y sin restar importancia quiero darle las gracias a la empresa Steckerl Aceros S.A.S por permitirme realizar este proyecto conjunto a su equipo de trabajo, fue una experiencia totalmente enriquecedora y de la que saque mucho provecho, al ingeniero Jorge Iván gracias por todo su apoyo y gestión.

Daniela Díaz Medina

AGRADECIMIENTOS

En mis creencias religiosas siempre ha estado un Dios que me ha brindado la sabiduría y la fuerza para concretar mis estudios, a quién primeramente quiero agradecer porque sin él, nada en el universo es posible.

Este proyecto de grado, como último paso en mi carrera de pregrado no hubiese sido posible sin el apoyo de mis padres quienes con gran dedicación siempre me han brindado tanto económica como afectivamente lo necesario para culminar con este ciclo.

Quiero agradecer a mis compañeros de carrera y amigos, puesto que siempre han tenido una palabra de aliento, en los tantos tropiezos que se presentan en las actividades universitarias. Los formadores del conocimiento merecen mi sincero reconocimiento por llevar a cabo una labor tan compleja que con el día a día es menos valorada monetariamente, pero es vital en el proceso de aprendizaje; especialmente al Dr. Orlando José Gómez, que con tanta paciencia ha sido un orientador excepcional, igualmente al ingeniero Jaime González, por los consejos en el momento adecuado.

Finalmente debo agradecer a la empresa STECKERL ACEROS S.A.S., puesto que sin ellos no hubiese sido posible esta experiencia enriquecedora, principalmente a nuestro director de proyecto Jorge Iván Báez, quien nos brindó siempre soluciones a cada una de nuestras inquietudes.

Laura Gualdrón

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.1.1 Objetivos específicos:	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 GENERALIDADES	20
2.2 ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36	20
2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA	21
2.4 APLICACIONES	22
2.5 EVALUACIÓN DE SOLDABILIDAD	22
2.5.1 Welding Procedure Specification - WPS - Especificación del procedimiento de soldadura	23
2.5.2 Procedure Qualification Record - PQR – Registro de calificación del procedimiento.	23

3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	24
3.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ASTM A36	24
3.2	ESTRUCTURA METALOGRÁFICA Y TAMAÑO DE GRANO DEL ACERO ASTM A36	24
3.3	PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL PARA EL ACERO ASTM A36	27
3.4	PRUEBA DE IMPACTO A TEMPERATURA AMBIENTE PARA EL ACERO ASTM A36	27
3.5	PRUEBA DE TENSIÓN, FLUENCIA Y ELONGACIÓN PARA EL ACERO ASTM A36.	28
3.6	EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	28
3.6.1	Elaboración del WPS	29
3.6.2	Procedimiento de soldadura	29
3.6.3	Ensayo de doblado de raíz y de cara	30
3.6.4	Ensayo de resistencia a la tensión para evaluación de la junta soldada	30

3.6.5 Radiografía Industrial	31
3.6.6 Elaboración del PQR	31
3.6.7 Análisis metalográfico de la junta soldada	31
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA.	32
4.1.1 Carbono equivalente	34
4.2 CARACTERIZACIÓN METALOGRÁFICA.	35
4.2.1 Inclusiones no metálicas	36
4.2.2 Microestructura acero A36	36
4.2.3 Tamaño de grano.	38
4.3 DUREZA ROCKWELL	39
4.3.1 Dureza Vickers	40
4.4 ENSAYO DE TENSIÓN EN EL METAL BASE	40
4.4.1. Ensayo de tensión, probeta 1.	41
4.4.2 Ensayo de tensión, probeta 2.	42

4.4.3	Análisis de resultados ensayo de tensión.	42
4.5	ENSAYO DE IMPACTO	44
4.6	ESTUDIO DE SOLDABILIDAD	45
4.7	ENSAYO DE TENSIÓN, PARA EVALUACIÓN DE LA JUNTA SOLDADA	46
4.7.1	Análisis de resultados ensayo de tensión, para la evaluación de la junta soldada	46
4.8	ENSAYO DE DOBLEZ DE RAÍZ Y CARA	48
4.9	RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	50
4.10	METALOGRAFÍA DEL CORDÓN DE SOLDADURA	50
4.10.1	Resultados macroataque	52
4.10.2	Resultados barrido de microdureza.	53
4.11	PQR	55
5.	CONCLUSIONES	57
	CITAS	59
	BIBLIOGRAFIA	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Inclusiones no metálicas presentes en el acero astm A36. 100x	36
Figura 2. Microestructura acero astm a36 100x	37
Figura 3. Microestructura acero a 36. 500x	38
Figura 4. Ocular con tamaños de granos estandarizados	39
Figura 5. Curvas esfuerzo deformación ensayo 1	41
Figura 6. Curvas esfuerzo- deformación ensayo 2	42
Figura 7. Fractura dúctil, ensayo de impacto	45
Figura 8. Probetas resultantes del ensayo de tensión para evaluación de la junta soldada	47
Figura 9. Micrografías en zona de fusión. a) microestructura 500x, ataque con nital al 2%, backweld-cordón de respaldo. b) microestructura 500x, ataque con nital al 2%, pase uno- cordón de relleno. c) microestructura 500x, ataque con nital al 2%, pase dos- cordón de presentación	50
Figura 10. Micrografías: zona de transición zat-metal base, 100x ataque químico nital al 2% y zona de transición zona de fusión-zat, 100x ataque químico nital al 2%.	51
Figura 11. Zona de transición grano fino y grano grueso de la ZAT. 200X.	52
Figura 12. Resultado macroataque químico	52
Figura 13. Resultados dureza Vickers HV	54
Figura 14. Registro de calificación de procedimiento de soldadura	55

LISTA TABLAS

	Pág
Tabla 1. Composición química del acero ASTM A36. (Tomada de la norma ASTM A36).	21
Tabla 2. Composición química acero A36, Certificado de calidad, ensayo espectroscopia de emisión atómica, norma ASTM A36.	33
Tabla 3. Resultado durezas Rockwell B.	39
Tabla 4. Resultados dureza Vickers, metal base.	40
Tabla 5. Resultados ensayo de tensión para el metal base, probeta uno y dos	43
Tabla 6. Resultado ensayo de tensión.	43
Tabla 7. Resultados ensayo de impacto.	44
Tabla 8. Dimensiones iniciales de las probetas	46
Tabla 9. Resultados ensayo de tensión para evaluación de la junta soldada	47
Tabla 10. Dimensiones probetas para ensayo de doblez de cara y de raíz.	48
Tabla 11. Resultados ensayo de doblez de cara y de raíz.	49
Tabla 12. Promedio microdurezas en cada zona.	54

TABLA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A – Micrografías de Acero	63
ANEXO B – Certificado de calidad	65
ANEXO C – Resultado ensayo de espectroscopia de emisión óptica	66
ANEXO D – WPS	67
ANEXO E – Dimensiones de la probeta para ensayo de tensión	68
ANEXO F – Dimensiones de la probeta para ensayo de impacto	69
ANEXO G –Zonas para mecanizado de probetas, extraído de la norma ASME	
SECCIÓN IX	70
ANEXO H – Criterio de evaluación para radiografía industrial, extraído de la norma	
ASME SECCIÓN IX	71
ANEXO I – Certificado de calibración, máquina de ensayos universal	72
ANEXO J – Certificado de calibración, matriz para ensayo de doblez guiado	73
ANEXO K – Copia radiografía industrial	74
ANEXO L – Resultados radiografía industrial	75

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA, EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN E IMPACTO EN EL ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36 Y ESTUDIO DE SOLDABILIDAD BAJO CÓDIGO API 650*.

AUTORAS: LAURA MELISSA GUALDRON GUERRERO,
LEIDY DANIELA DIAZ MEDINA**

PALABRAS CLAVE: Metalografía, acero, prueba tracción, prueba de impacto, soldabilidad, doblez de raíz, doblez de cara, WPS, PQR.

El presente trabajo está motivado principalmente por la necesidad comercial que encuentra STECKERL ACEROS S.A.S de demostrar y verificar a sus clientes que los aceros que ofrece en su catálogo son importados y cumplen con las especificaciones impuestas por las normas internacionales.

El acero ASTM A36, es importado y certificado por una siderúrgica China bajo norma ASTM A36; el objetivo principal es caracterizarlo químicamente, metalográficamente y mecánicamente, para de esta manera poder verificar si lo consignado en el certificado emitido por la siderúrgica es correcto. Además el trabajo se complementó con estudio de soldabilidad, calificado por ASME sección IX para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo especificado en API 650.

El acero estructural A36, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios, puentes y tanques. Además el A36 tiene entre sus características principales su muy buena ductilidad, resistencia y soldabilidad. Por esa razón STECKERL ACEROS SAS lo quiere implementar en su catálogo comercial.

El presente estudio comprueba que el acero A36 importado de China puede ser acreditado como un acero de alta calidad, ya que este cumplió con lo que especifica la norma internacional ASTM A36; además el estudio de soldabilidad, regido por el código ASME, sección IX, corroboró que debido a la baja dureza del acero ASTM A 36, presenta buena soldabilidad.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales. Director: Ing. Jorge Iván Báez Codirectores: Dr. Orlando José Gómez Moreno, Ing. Jaime Alberto González González.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION METALLOGRAPHIC, EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF TRACTION AND IMPACT ON CARBON STEEL ASTM A36 AND STRUCTURAL STUDY UNDER CODE API WELDABILITY 650*.

Authors: LAURA MELISSA GUALDRON GUERRERO,
LEIDY DANIELA DÍAZ MEDINA**

Keywords: Metallography, steel, tensile testing, impact testing, welding, fold root, fold face, WPS, PQR.

This work is motivated primarily by the business need for finding STECKERL ACEROS S.A.S to demonstrate and verify their clients that steels offered in their catalog are imported and satisfy the specifications imposed by the international standards for trade in the colombian industry.

The ASTM A36 steel is imported and certified by a Chinese iron and steel industry under ASTM A36; the main objective is to characterize chemically, metallographically, and mechanically and thus able to verify if entered in the certificate issued by the iron and steel industry is correct. Also a study of weldability will be implemented.

A36 structural steel is until recently, the basic structural steel commonly used in construction of buildings, bridges and tanks. Furthermore, the A36 has among its main features its very good ductility, resistance and weldability. For that reason, STECKERL ACEROS SAS wants to implement in its business catalog.

This study found that the A36 steel imported from China can be credited as a high quality steel as this complied with the international standard that specifies ASTM A36; weldability study also governed by the ASME Code Section IX confirmed that due to the low hardness of the steel ASTM A 36, it has good weldability.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: Jorge Iván Báez Co-Directors Ing. Dr. Orlando José Gómez Moreno, Ing. Jaime Alberto Gonzalez González

INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria de la comercialización del acero en Colombia, debe recalcar que en un gran porcentaje éste tipo de material se está importando de diversos países, entre ellos el más destacado por su crecimiento y quién es líder en la oferta mundial es China.

STECKERL ACEROS S.A.S. es una empresa dedicada a la distribución de hierros, metales y aceros, al por mayor y detal, tanto el territorio nacional como en algunos mercados del exterior.

En aras de cumplir con la demanda nacional de aceros para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo que presenta la industria petrolera colombiana, Steckerl Aceros encontró la necesidad de implementar en su catálogo comercial el acero al carbono estructural ASTM A36.

En este trabajo se tratará acerca de las características químicas y mecánicas del acero ASTM A36, importado desde el país de China, para la comercialización en Colombia, por la empresa STECKERL ACEROS S.A.S.

En el estudio de este acero se debe seguir las recomendaciones y especificaciones de la norma ASTM A 36, para los procedimientos realizados en el ensayo de tracción y composición química. Para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo, las láminas deben adquirir una forma específica y por ello deben estar soldadas entre sí, según los requerimientos de la norma API 650, dicho procedimiento de soldadura será evaluado según remite la norma API 650, con la normatividad especificada en el código ASME sección IX.

Para la elaboración de este proyecto de grado se tomará como premisa de referencia el certificado de calidad emitido por la empresa exportadora, en el país de China, en comparación con la normatividad anteriormente mencionada.

El principal propósito de este proyecto de grado es identificar la calidad del acero que está siendo importado para consumo colombiano, siendo los factores de referencia principales la normatividad exigida para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo y el certificado de calidad emitido directamente en la empresa de nacionalidad China, en aras de brindar una solución al mercado colombiano, en cuanto a la distribución de acero, facilitando así la confiabilidad en el acero ASTM A 36 que está ofreciendo la empresa STECKERL ACEROS S.A.S., que como principal consumidor tiene a la industria petrolera, para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio del acero ASTM A36, para constatar las propiedades químicas y mecánicas, expuestas en el certificado de calidad expedido en China, para fines comerciales en convenio entre la empresa STECKERL ACEROS y la Universidad Industrial de Santander, como modalidad de práctica empresarial.

1.1.1 Objetivos específicos:

- Caracterizar metalográficamente las placas del acero ASTM A36 proporcionadas por la empresa STECKERL ACEROS SAS.
- Realizar análisis químico, para determinar los componentes del acero estructural ASTM A36.
- Evaluar las propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36, con ensayo de tracción y ensayo de impacto Charpy bajo normalización ASTM A36.
- Estudiar las propiedades de soldabilidad del acero estructural ASTM A36, bajo código API 650.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES

El acero estructural A36 tiene entre sus características principales, una muy buena ductilidad y soldabilidad, siendo esto adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, tanques, estructuras remachadas y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.

En este proyecto se busca llevar a cabo diferentes ensayos, para confirmar tanto las propiedades físicas y mecánicas del acero estructural A36. Además de ensayos para determinar y evaluar su soldabilidad.

La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio metalográfico depende mucho del cuidado que se tenga al preparar la muestra. Por tanto para la preparación de muestras se debe seguir cuidadosamente las pautas que especifica la norma ASTM E3 y para la evaluación de las propiedades mecánicas, por medio de ensayo de tracción y de impacto, se deben seguir las pautas que rigen las normas ASTM E8 Y ASTM E23 respectivamente; por otro lado el estudio de soldabilidad se encuentra a cargo de un soldador certificado, bajo la norma API 650.

2.2 ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36

El acero estructural A36 se produce bajo la especificación ASTM A36. Entre sus aplicaciones encontramos los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados, o soldados de la

construcción de puentes, tanques, edificios, y estructuras de diferentes propósitos. Por esta razón el acero estructural A36, es hasta hace poco tiempo, el acero básico utilizado más comúnmente en construcciones. [1].

2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

El A-36 es un acero de bajo carbono y bajo contenido de elementos aleantes (ver tabla 1). El silicio y el cromo le dan este tipo de acero elasticidad, por otro lado el cobre mejora resistencia, mientras que los rastros de fósforo y azufre son impurezas que se mantienen al mínimo posible, ya que pueden hacer que el acero resulte frágil si su porcentaje es demasiado alto.

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A36. (Tomada de la norma ASTM A36).

ESPESOR	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in Hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in Hasta 2- 1/2 in	Sobre 2- 1/2 Hasta 4 in	Sobre 4 in
Carbono max %	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29
Manganeso	-----	0,85/1,20	0,85/1,20	0,85/1,20	0,85/1,20
Fósforo max%	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Azufre max%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Silicio %	0,40 máx	0,40 máx	0,15/0,40	0,15/0,40	0,15/0,40
Cobre min % (si se especifica)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
nota:					
- Contenido de manganeso 0,85%-1,35%					
- Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.					

La composición química del acero A36 se consigna en la norma internacional ASTM A36 y se clasifica según el espesor de la placa en estudio (ver tabla 1). En el presente trabajo la composición a tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad del acero estructural A36, corresponde a la segunda columna de la tabla (hasta $\frac{3}{4}$ in).

2.4 APLICACIONES

Debido a que el A-36 es relativamente económico y posee una estructura resistente, a menudo se utiliza como material de construcción, y es conformado en perfiles y láminas. Las vigas, placas y láminas de A-36 se utilizan tanto para construir la estructura final de un edificio como para construir estructuras temporales, como soportes y cubiertas. Además es usado en edificios e instalaciones industriales: cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado: varillas y mallas electrosoldadas para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos; además de su uso común en la industria petrolera para la construcción de tanques para almacenamiento de crudo y derivados del mismo [2].

2.5 EVALUACIÓN DE SOLDABILIDAD

La evaluación de soldabilidad se realiza con el objetivo de evaluar la calidad de la junta soldada, realizada por un soldador calificado bajo norma API, ASME o AWS, esto depende del producto que se quiere obtener, ya sean tanques, tuberías o elementos estructurales.

La evaluación de soldabilidad la realiza un inspector de soldadura, el cual se encarga de elaborar dos formatos, estos formatos son elaborados bajo norma y contienen tanto las especificaciones que debe tener en cuenta el soldador

calificado y encargado a la hora de realizar el procedimiento de soldadura, como también las variables reales con las que se realizó el procedimiento.

Los dos formatos mencionados anteriormente hacen referencia al WPS (Welding Procedure Specification) y al PQR (Procedure Qualification Record).

2.5.1 Welding Procedure Specification - WPS - Especificación del procedimiento de soldadura. El formato WPS, en el que se especifica el procedimiento de soldadura a desarrollar, es un documento preparado por el departamento encargado del control de calidad de cada empresa, en él se describen las variables esenciales y no esenciales del procedimiento, estipuladas en el código de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

La especificación detallada de los materiales, posiciones, temperaturas y tiempos a seguir, descritas en el documento WPS, serán la guía por la cual el soldador se registrará en el proceso de soldeo.

2.5.2 Procedure Qualification Record - PQR – Registro de calificación del procedimiento. En este formato se registran las variables reales, de los materiales y maquinarias usadas al momento de realizar el procedimiento de soldadura. El propósito del PQR, además de calificar el procedimiento, es avalar y determinar si la junta soldada es capaz de proveer las propiedades requeridas en cuanto a esfuerzo, resistencia y ductilidad.

Para diligenciar el formato de calificación del procedimiento (PQR), el inspector registra cada uno de los avances del soldador, verificando si las variables descritas en el documento WPS, coinciden con los parámetros utilizados por el soldador [3].

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ASTM A36

Esta prueba se realizó en los laboratorios de ensayos químicos de la empresa Soldaduras West Arco en la ciudad de Bogotá, a través de la técnica de espectroscopia de emisión óptica, la cual consiste en analizar químicamente la cantidad de un elemento en una muestra, en este caso se analizó la cantidad de cada elemento químico en una muestra sólida del acero ASTM A36.

Esta técnica utiliza la intensidad de la luz emitida desde una llama, plasma, arco o chispa en una longitud de onda particular. La longitud de onda de la línea espectral atómica da la identidad del elemento, mientras que la intensidad de la luz emitida es proporcional a la cantidad de átomos del elemento [4].

3.2 ESTRUCTURA METALGRÁFICA Y TAMAÑO DE GRANO DEL ACERO ASTM A36

En esta etapa se estudiaron microscópicamente las características estructurales del acero ASTM A36, ya que se requería determinar el tamaño de grano bajo norma ASTM E112, forma y distribución de fases e inclusiones bajo norma ASTM E45, además de conocer mediante su microestructura el tratamiento mecánico y térmico al que posiblemente fue sometido.

Para conocer la estructura metalográfica y el tamaño de grano del acero A36 se siguieron cuidadosamente los siguientes pasos:

3.2.1 Preparación de las probetas. La muestra debe seleccionarse en una orientación apropiada, en este caso se eligió una zona de la placa que obedecía a orientación transversal y otra a orientación longitudinal. Se realizaron dos cortes

mecánicos para cada una de las zonas seleccionadas, es decir, dos probetas de la zona transversal y otras dos de la longitudinal.

3.2.2 Montaje de las muestras. Las muestras pequeñas o difíciles de manipular, deben montarse en un material adecuado en el cual se sujeten rígidamente en una monta mecánica para de esta manera facilitar el pulido intermedio y final. En este caso se utilizó una resina termo fijada llamada baquelita.

3.2.3 Desbaste de las muestras. La finalidad del desbaste no es otra que preparar la superficie para el pulido. En este caso se llevó a cabo el desbaste de las cuatro probetas con el objetivo de eliminar las posibles capas distorsionadas y obtener una superficie plana y exenta de rayas, la cual es necesaria, ya que el microscopio tiene solo una pequeña profundidad focal.

El desbaste de las probetas de acero A36 se llevó a cabo a través de lijas finas y papel abrasivo, mediante un movimiento de vaivén presionando ligeramente la probeta con estas. Este proceso se llevó a cabo en una lijadora de banda y luego a mano con papel abrasivo de varios grados, desde el número de partícula de 120 hasta 1500.

3.2.4 Pulido de las muestras. Los granos y otras características de los metales no pueden verse al menos que la muestra se desbaste y se pula para eliminar las ralladuras. Se utilizan diferentes métodos de pulido tales como el electrolítico, el rotatorio o el de vibración. En este caso se utilizó pulido rotatorio con paño grueso y fino.

El tiempo utilizado y el éxito del proceso de pulido dependen mucho del cuidado puesto durante los pasos del desbaste previo. Por esta razón el acero ASTM A36 fue pulido mediante una rueda giratoria, cubierta con un paño especial, cargado

con partículas abrasivas correspondientes a pasta de diamante, con un tamaño de un micrón.

3.2.5 Ataque químico de las muestras. El propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la micro estructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química. Los reactivos que se utilizan consisten en ácidos orgánicos o inorgánicos.

En este caso para el acero ASTM A 36 se utilizó Nital al 2% como reactivo para el ataque químico, ya que este oscurece la perlita y pone de manifiesto los bordes de la ferrita. El ataque se realizó en un tiempo aproximado de 3 a 5 segundos, sumergiendo cada una de las probetas en este. Se debe tener en cuenta que el tiempo de ataque debe controlarse muy cuidadosamente, ya que si el tiempo de ataque es demasiado largo, la muestra se sobre atacará y quedará muy oscura, mostrando colores no usuales.

3.2.6 Observación microscópica. Generalmente se realiza la observación microscópica para evaluar cuantitativamente las propiedades de los materiales, que usualmente se caracterizan por detalles microestructurales tales como tamaño de grano, espaciamiento entre partículas, distribución e identificación de fases.

En este caso se realizó la observación microscópica en las probetas de acero A36 para determinar cuantitativamente sus características microestructurales, así como también su tamaño de grano.

3.3 PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL PARA EL ACERO ASTM A36

Esta prueba se llevó a cabo sobre las probetas hechas en el estudio metalográfico mencionado anteriormente, la cual tiene como objetivo determinar la resistencia a la cedencia plástica del metal en estudio.

El ensayo de dureza Rockwell se realizó en el durómetro Wilson Rockwell Hardness Tester y consistió en presionar un indentador esférico de acero endurecido de 1/16 de pulgada, sobre la superficie plana de las probetas de acero A36, para posteriormente realizar la medición del área de indentación producida en varias zonas de la muestra según como lo estipula la norma ASTM E 18-08b, con una precarga de 10 Kg y una carga de 100 Kg, en escala B.

3.4 PRUEBA DE IMPACTO A TEMPERATURA AMBIENTE PARA EL ACERO ASTM A36

El ensayo de impacto o Charpy se encuentra estandarizado bajo la norma ASTM E-23. El objetivo de esta prueba es determinar la energía absorbida por el espécimen a temperatura ambiente, para evaluar principalmente el tipo de fractura resultante. En este caso para la realización de este ensayo se debieron preparar tres probetas con forma de paralelepípedo, las cuales poseían un entalle estándar para facilitar el inicio de la fisura, este entalle recibe el nombre de V-Notch. La prueba consistió en dejar caer un pesado péndulo (ver figura 2), el cual a su paso golpea la probeta ubicada en la base de la máquina, luego el péndulo sigue su camino alcanzando cierta altura, la cual depende de la cantidad de energía disipada al golpear. Si las probetas fallan de forma frágil estas se romperán en dos mitades, en cambio aquellas con mayor ductilidad se doblan sin haber total desprendimiento.

3.5 PRUEBA DE TENSIÓN, FLUENCIA Y ELONGACIÓN PARA EL ACERO ASTM A36.

Este ensayo se emplea para evaluar la resistencia a la tensión del acero en estudio. Se encuentra estandarizado bajo la norma ASTM E8 y consiste en someter el material a cargas o esfuerzos los cuales se van incrementando a velocidades constantes, en donde se genera deformaciones elásticas y/o plásticas como respuestas según el nivel de carga [8].

En este caso esta prueba se realizó a partir de dos probetas suministradas por Steckerl Aceros SAS y se llevó a cabo en los laboratorios de ingeniería civil de la universidad Industrial de Santander, en la máquina de ensayos MTS 810, consistente en dos mordazas, una fija y la otra móvil. Se procedió a medir a carga mientras se aplica el desplazamiento de mordaza móvil.

Este ensayo suministra información sobre la resistencia y ductilidad del acero bajo esfuerzos de tensión uniaxial. De este se pueden obtener propiedades mecánicas de gran importancia: Limite de fluencia, resistencia máxima a la tensión, porcentaje de elongación.

3.6 EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Las pruebas que se realizaron teniendo en cuenta la evaluación de soldabilidad del acero ASTM A36, según los parámetros establecidos en la norma ASME sección IX se llevaron a cabo en la empresa Quality Welding en la ciudad de Bogotá.

Para garantizar la calidad de un ensamble o conjunto soldado, se solicita el cumplimiento de parámetros normativos establecidos en códigos, siendo estos los requisitos que se deben cumplir para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo en el código API 650, cita que para la evaluación y

calificación de los procedimientos de soldadura debe seguirse la norma ASME, sección IX.

3.6.1 Elaboración del WPS. El formato WPS se elaboró según las especificaciones consignadas en el código ASME sección IX. En este se incluyeron cada una de las variables esenciales y no esenciales a tener en cuenta en el procedimiento de soldadura con orientación y revisión del inspector Edwin Lombana.

En la especificación del procedimiento de soldadura se establece un diseño de junta a tope con bisel en V, con un proceso de soldadura GMAW semiautomático y gas de protección Ar/CO₂.

3.6.2 Procedimiento de soldadura. Siguiendo las indicaciones del WPS, el soldador certificado, procedió a la elaboración de la junta soldada, que posteriormente se evaluó con los ensayos propuestos en el código ASME, sección IX.

El proceso por soldadura GMAW se realizó en posición vertical ascendente y con cordón oscilado. Para la elaboración de la junta soldada, se hicieron tres pases. El primer pase de relleno, al que se le hizo limpieza con disco abrasivo, el segundo de acabado superficial, y el tercero de respaldo, la limpieza posterior en ambos casos con grata de acero.

Los valores exactos de las características eléctricas y la velocidad de soldeo se tomaron durante la elaboración del cupón, y fueron consignados posteriormente en el registro de calificación de procedimiento (PQR).

3.6.3 Ensayo de doblado de raíz y de cara. La preparación de las probetas para el doblado de raíz y cara se hizo por mecanizado, según la zona correspondiente en el cupón, que se estipula en la norma ASME sección IX [Ver anexo H]. Estas

probetas fueron dobladas en una matriz para prueba de doblado guiado, en la empresa Control, calidad y montajes LTDA en la ciudad de Bogotá.

Cada probeta fue colocada sobre la matriz con la soldadura en la mitad de la garganta, siendo designadas dos probetas para el doblado de cara y dos probetas para el doblado de raíz. Las probetas de doblado de cara fueron colocadas con la cara de la soldadura hacia la garganta y las probetas de doblado de raíz fueron colocadas con la raíz de la soldadura hacia la garganta. Finalmente el émbolo fue forzado dentro de la garganta, hasta que la curvatura de la probeta se aproximó a una U.

3.6.4 Ensayo de resistencia a la tensión para evaluación de la junta soldada.

Las probetas para el ensayo de tensión deben ser como especifica la norma ASME en la sección IX [Ver anexo F], fueron cortadas mecánicamente, de la sección correspondiente del cupón elaborado como se especifica en la norma ASME, sección IX [Ver anexo H].

Esta prueba se llevó a cabo en la prensa universal de ensayo de marca Jinan Testing Equipment Co LTD, en la empresa Control, calidad y montajes LTDA, en la ciudad de Bogotá, con fecha de calibración de 21 de Noviembre de 2014, por la empresa Quality Control Ltda. Certificado N° CFA-14-4084.

3.6.5 Radiografía Industrial.

Para la evaluación de la junta soldada, se estipula en la norma ASME, sección IX, la radiografía industrial, como ensayo no destructivo indispensable para inspeccionar los defectos que pudieron generarse en el procedimiento de soldadura.

Este ensayo se realizó en la ciudad de Bogotá en la empresa Tecnirad LTDA, sobre el cupón elaborado por el soldador calificado. La técnica que se empleó para radiar el cupón fue EPS/VPS (Exposición de pared sencilla/Visión de pared sencilla) con un tiempo de exposición de dos minutos.

3.6.6 Elaboración del PQR. En este documento se válida y respalda los datos asignados en el WPS. Por tanto se han consignado los valores exactos de las variables del procedimiento de soldadura y los resultados de los ensayos realizados sobre la junta soldada, con el propósito de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura.

3.6.7 Análisis metalográfico de la junta soldada. Posteriormente al mecanizado de las probetas tanto en el extremo inferior como superior del cupón, se obtienen dos descartes (ver anexo G), con los que se procedió a realizar el análisis de las características microestructurales de la zona de fusión, de la zona afectada térmicamente y del metal base cercano a esta última zona.

Para desarrollar el análisis metalográfico, se obtuvieron dos probetas, para realizar ataque y macroataque químico. Primero se hizo el desbaste de las muestras con lijas con número de partícula desde 120 hasta 1500, seguido de un proceso de pulido con pasta de diamante de un micrón; para la probeta número uno se hizo ataque químico con nital al 2%, para revelar la microestructura que se observó, con el microscopio óptico invertido OLYMPUS, que se encuentra en el laboratorio de metalografía de la escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de los materiales de la universidad industrial de Santander. Para la probeta número dos se realizó una solución con nital al cinco por ciento, en la que fue sumergida durante cuatro minutos; posteriormente se tomó el registro fotográfico de las zonas reveladas.

3.6.8 Barrido de microdurezas. Tras haber efectuado la inspección metalográfica, se realizó con ensayo de microdureza, un barrido en la zona de fusión, en la zona afectada térmicamente y en el metal base adyacente a ésta última zona, en cada una de las tres zonas se tomaron seis medidas de dureza Vickers.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las pruebas mencionadas en el capítulo anterior, así como también la interpretación y análisis de los mismos.

4.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Como se mencionó en el capítulo anterior la prueba para determinar la composición química del acero A36 se realizó en los laboratorios de ensayos químicos de la empresa, Soldaduras West Arco en la ciudad de Bogotá, a través de la técnica de espectroscopia de emisión óptica.

Los resultados de esta prueba en cuanto a la composición química del acero A36 fueron comparados con el certificado de calidad emitido por la siderúrgica de China (ver anexo B), así como también con los porcentajes establecidos en la norma ASTM A36.

A continuación, en la siguiente tabla se comparan los resultados de la composición química de cada uno de los elementos presentes en el acero A-36 consignados tanto en el certificado de calidad, en los resultados de la presente prueba de caracterización (ver Anexo C), como los establecidos en la norma ASTM-A36

Tabla 2. Composición química acero A36, Certificado de calidad, ensayo espectroscopia de emisión atómica, norma ASTM A36.

ELEMENTO	% C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Cr	%Ni	%Cu	%Mo	%V	%Ti	%B	%Ni	%As
COMPOSICIÓN QUIMICA CERTIFICADO DE CALIDAD	0,18	0,18	0,64	0,024	0,005	0,003	0,018	0,007	0,007	0,001	0,004	0,002	0,0013	0,003	0,003
COMPOSICIÓN QUIMICA ENSAYO WEST ARCO	0,19	0,18	0,57	0,020	0,010	0,0005	0,019	0,006	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,006	0,060
COMPOSICIÓN QUÍMICA NORMA ASTM A36	0,26 máx	0,40 máx	1,35máx	0,04 máx	0,05máx	-----	-----	-----	0,20min	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, al comparar el ensayo de composición química realizado por West Arco con el certificado de calidad, se puede observar que algunos elementos se encuentran por encima o por debajo de los valores registrados, estos valores no son significativos ya que corresponden a centésimas y milésimas, pero siempre cumplen con los rangos establecidos en la norma ASTM A36.

Revisando los porcentajes que estipula la norma ASTM A36 en cuanto a la composición de cada elemento, los estipulados en el certificado de calidad y los hallados por el ensayo en West Arco, se puede evidenciar que están dentro del rango especificado en la norma, es decir que cumplen con los requisitos de composición que acreditan al acero ASTM A36, exceptuando el porcentaje de cobre (Cu), ya que como se observa, según la norma el porcentaje mínimo corresponde a 0,20 %, mientras tanto en el certificado de calidad como en el ensayo de espectroscopia de emisión óptica realizado por West Arco este elemento se encuentra por debajo de este. Aun así la norma establece que este porcentaje de cobre mínimo debe cumplirse cuando al fabricante se le especifica, el porcentaje de cobre como elemento aleante mejora la resistencia a la corrosión, para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo no es un factor relevante y no es un ítem obligatorio, por tanto es un parámetro que no afecta la calidad del acero A36 fabricado. Además es importante denotar el contenido de Boro (0.001%) presente en este acero, quien le atribuye al acero ASTM A36 aumento en la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado, pues se combina con el carbono para formar carburos proporcionando un revestimiento duro y mejorando la templabilidad.

4.1.1 Carbono equivalente. El contenido de carbono equivalente se utiliza para entender cómo los diferentes elementos de aleación afectan la dureza del acero soldado, es decir este concepto se relaciona directamente para determinar la soldabilidad.

Las concentraciones más altas de carbono y de otros elementos de aleación tales como manganeso, cromo, silicio, molibdeno, vanadio, cobre, y níquel tienden a aumentar la dureza y a disminuir la soldabilidad del acero. En este caso el acero A36 contiene bajo contenido de elementos aleantes, al igual que un bajo contenido de carbono, por lo tanto es un acero con una dureza baja y por ende una alta soldabilidad.

El carbono equivalente puede ser hallado con la siguiente fórmula, en la que se tiene en cuenta algunos de los porcentajes de composición de los elementos químicos presentes en el acero A-36 (ver tabla 3).

$$C_{eq} = \%C + 1/6\%Mn + 1/10\%Cr + 1/20\%Ni + 1/40\%Cu - 1/50\%Mo - 1/10\%V$$

$$C_{eq} = 0,19 + 1/6(0,57) + 1/10(0,019) + 1/20(0,006) + 1/40(0,001) - 1/50(0,008) - 1/10(0,001) = 0,2869$$

Aplicando la fórmula y teniendo en cuenta la composición química obtenida en el ensayo realizado por West Arco el carbón equivalente presente en el acero en estudio corresponde a 0,2869, lo que significa que el acero A36 tiene efectivamente una alta soldabilidad, muy poca sensibilidad al agrietamiento y no requiere precalentamiento en el procedimiento de soldadura.

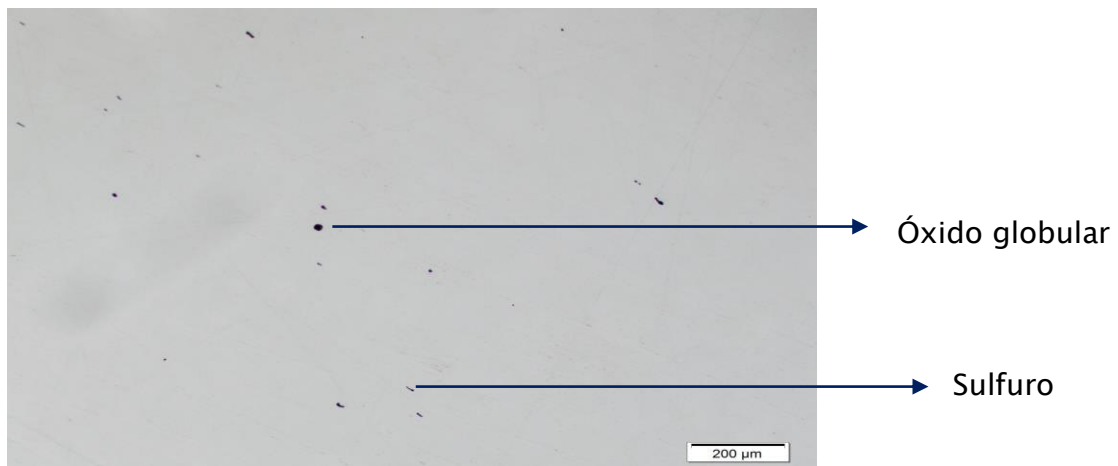
4.2 CARACTERIZACIÓN METALGRÁFICA.

Como se mencionó en el capítulo anterior la caracterización metalográfica [ver Anexo A] se realizó con el fin de estudiar microscópicamente las características estructurales del acero A36, ya que se requería determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas de este, además de conocer mediante su microestructura el tratamiento mecánico y térmico al que posiblemente fue sometido.

4.2.1 Inclusiones no metálicas. Las inclusiones no metálicas que resultaron al observar las probetas longitudinales sin ataque, en el microscopio óptico corresponden a inclusiones no metálicas tipo A (sulfuros) y tipo D (óxidos globulares) (ver figura 1).

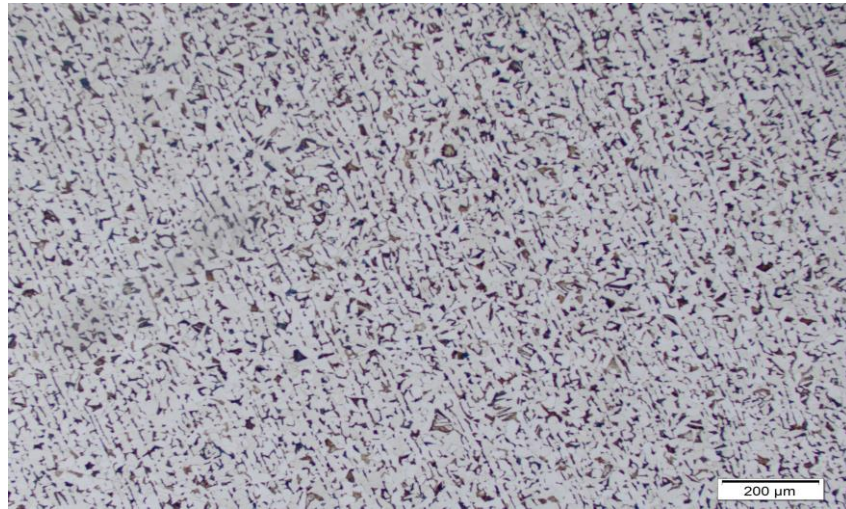
Teniendo en cuenta lo estipulado en la norma ASTM E45, este tipo de inclusiones no metálicas están presentes en un nivel de severidad uno, en los dos casos, lo que indica que estas no son perjudiciales para las propiedades mecánicas del acero A36.

Figura 1. Inclusiones no metálicas presentes en el acero ASTM A36. 100X



4.2.2 Microestructura acero A36. La microestructura que resultó al observar las probetas transversales, después del ataque con nital, en el microscopio óptico fue una matriz ferrítica con nódulos alargados de perlita (ver figura 2 y 3), microestructura correspondiente a un acero de bajo carbono como lo es el A36.

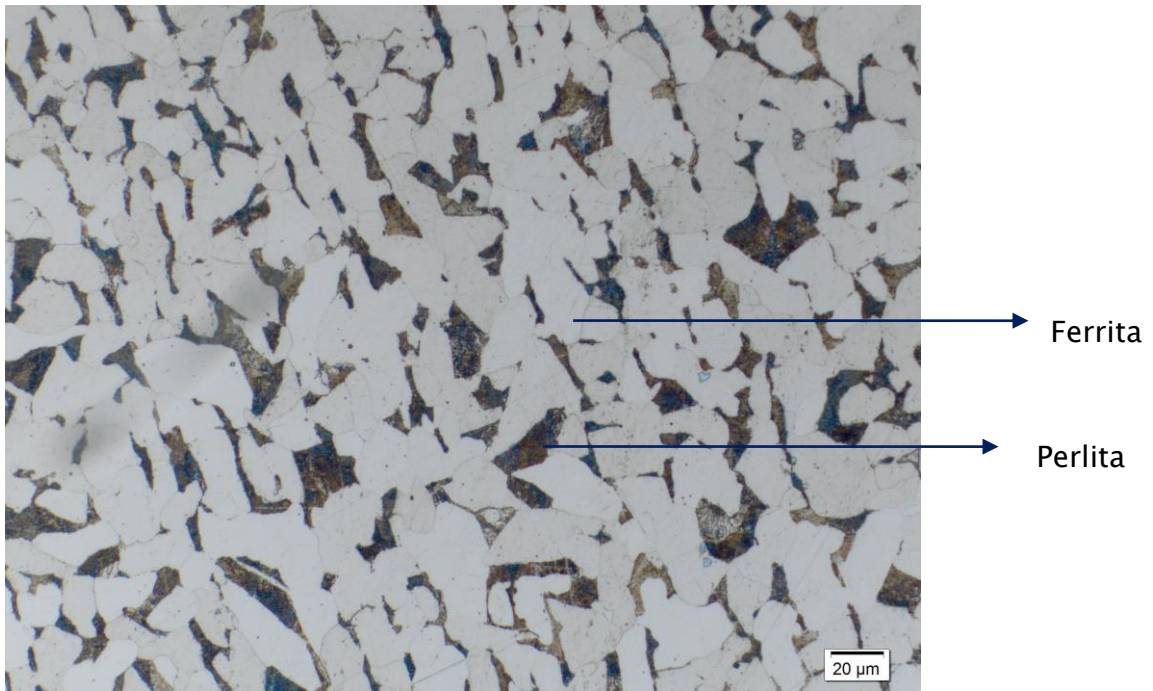
Figura 2. Microestructura acero ASTM A36 100X



La ferrita es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es del orden de 0.008% de carbono, por esto se considera como hierro puro. Esta es la fase más blanda y dúctil de los aceros, cristaliza en la red cúbica centrada en el cuerpo, tiene una dureza de 90 Brinell y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm², además que llega hasta un alargamiento del 40%. La ferrita se observa al microscopio como granos poligonales claros. Mientras tanto la perlita es un microconstituyente eutectoide formado por capas alternadas de ferrita y cementita, tiene una dureza de 250 Brinell, y una resistencia a la tracción de 80 kg/mm², llegando hasta un alargamiento del 15%. Este microconstituyente es duro y resistente. Por lo anterior se puede concluir que el acero en estudio efectivamente es un acero dúctil y resistente.

En las figura 2 y 3 se constata que tantos los granos de ferrita como los nódulos de perlita se encuentran alargados, por lo que se debe hacer mención que este fenómeno corresponde a un tratamiento de laminado realizado previamente al acero.

Figura 3. Microestructura acero A 36. 500X

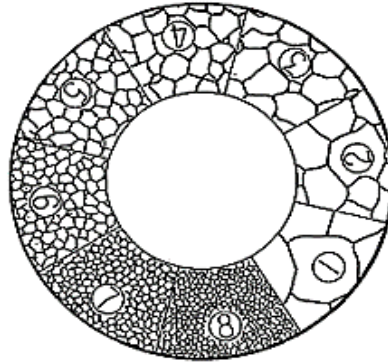


4.2.3 Tamaño de grano.

Para la determinación del tamaño de grano se usó el método de comparación estipulado en la norma ASTM E 112-96, este método consiste en comparar el grano del metal en estudio con un ocular, el cual cuenta con una serie de tamaños de granos estandarizados (ver figura 4).

Se debe tener en cuenta que para determinar el tamaño de grano por el método de comparación es necesario tener una microestructura con granos equiaxiales y verla al microscopio óptico a 100X. En este caso y como se mencionó antes la microestructura que se obtuvo al realizar el análisis metalográfico fue una estructura con granos alargados, debido al tratamiento de laminado en caliente, por esta razón el tamaño de grano que se logró determinar por este método, fue un tamaño aproximado de grano 7. (Ver figura 4).

Figura 4. Ocular con tamaños de granos estandarizados



En conclusión el acero ASTM A36 presenta un número de grano pequeño, por método de comparación, por tanto para las propiedades mecánicas se refleja en buena resistencia a la tracción, dureza aceptable, y menor susceptibilidad al agrietamiento en contraste con aceros que presenten número menor.

4.3 DUREZA ROCKWELL

Los resultados obtenidos de dureza se muestran a continuación.

Tabla 3. Resultado durezas Rockwell B.

N° ENSAYO	ROCKWELL B
1	69,5
2	71
3	71
4	72
5	72
6	72
7	71
8	71
9	70
10	69
PROMEDIO	70,85

El ensayo de dureza Rockwell se realizó según norma ASTM E18-08. En escala Rockwell B.

Como se puede evidenciar en la tabla anterior, el promedio de los resultados de dureza, correspondió a 70,85 Rockwell B. Este resultado indica una dureza relativamente baja, la cual señala que se trata de un acero dúctil.

4.3.1 Dureza Vickers. Este ensayo de microdureza se realizó con el fin de determinar un valor de dureza Vickers para el metal base, se llevó a cabo en los laboratorios de metalografía de la universidad industrial de Santander, a través del equipo INNOVATEST, los resultados que se obtuvieron se presentan a continuación.

Tabla 4. Resultados dureza Vickers, metal base.

ENSAYO	DUREZA VICKERS HV (MÁX)	DUREZA VICKERS HV (MIN)	PROMEDIO
Metal base	140	138	139.25

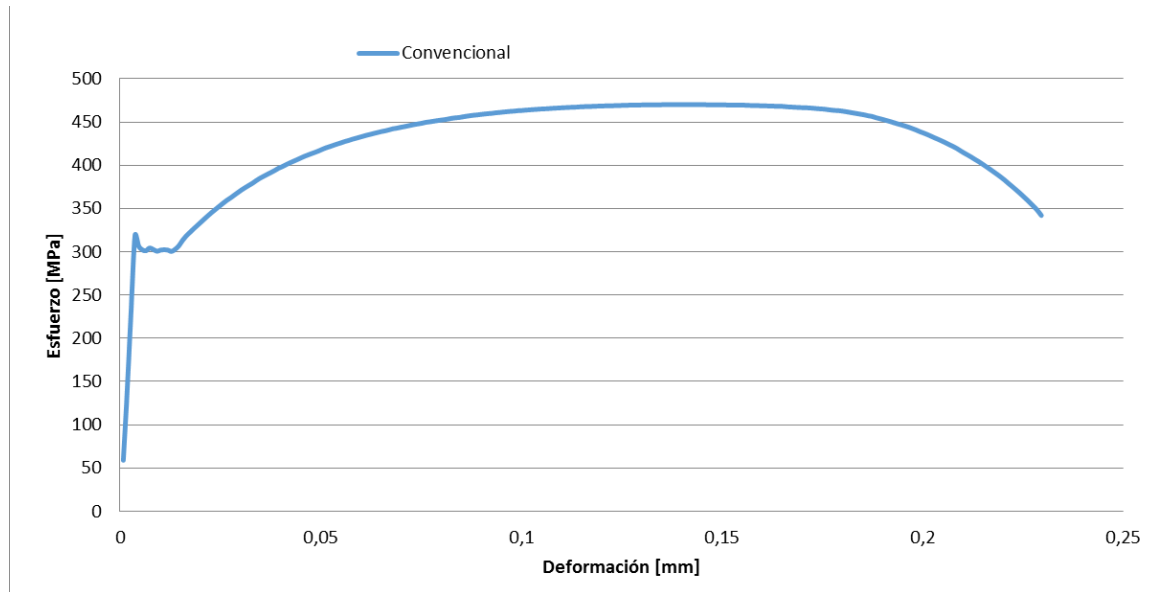
4.4 ENSAYO DE TENSIÓN EN EL METAL BASE

Como se mencionó en el capítulo anterior el ensayo de tracción se realizó a partir de dos probetas suministradas por Steckerl Aceros S.A.S. y se llevó a cabo en la máquina de ensayos MTS 810, la cual arrojo como resultado las curvas que muestran la deformación de cada una de las probetas ensayadas en unidades de fuerza Vs desplazamiento.

Los resultados obtenidos a partir de las curvas arrojadas por la máquina de ensayos se muestran a continuación.

4.4.1. Ensayo de tensión, probeta 1. El ensayo realizado al romper la probeta 1, dio como resultado las siguientes curvas esfuerzo - deformación (ver figura 5)

Figura 5. Curvas esfuerzo deformación ensayo 1

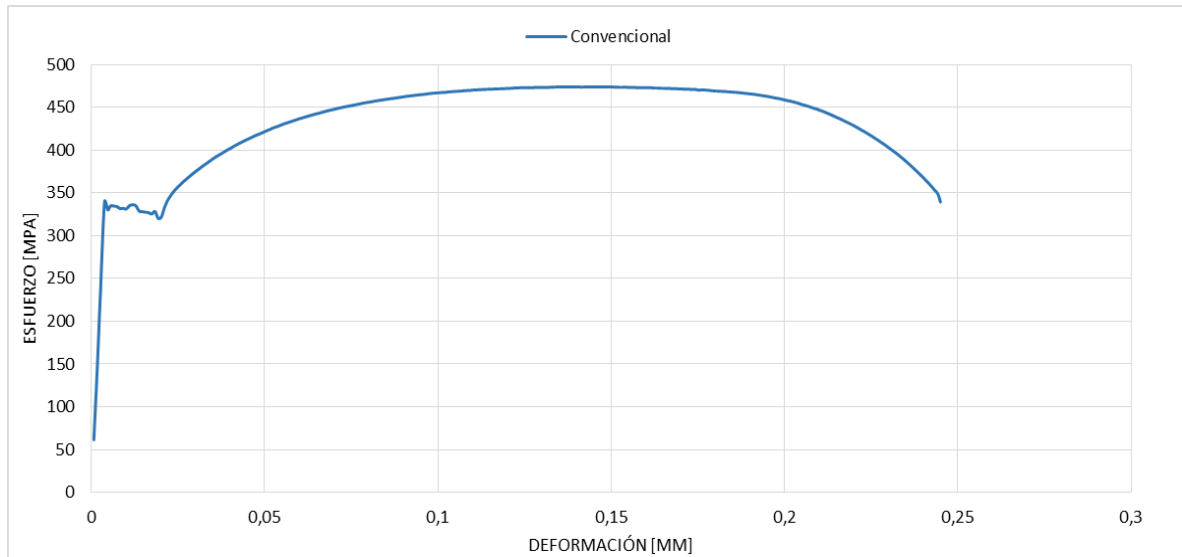


Los resultados de interés fueron extraídos de la curva esfuerzo deformación convencional para la probeta 1, y hacen referencia al límite de fluencia y esfuerzo ultimo a la tracción, estos dos valores debieron hallarse para ser comparados con los estipulados en el certificado de calidad (Ver Anexo B), así como también con lo que especifica la norma ASTM A36.

De igual manera con los resultados obtenidos a partir de este ensayo se determinó el porcentaje de elongación de la probeta en estudio, Para una longitud inicial 98 [mm] y longitud final 120,500 [mm].

4.4.2 Ensayo de tensión, probeta 2. El ensayo realizado al romper la probeta 2,

Figura 6. Curvas esfuerzo- deformación ensayo 2



dio como resultado las siguientes curvas esfuerzo deformación (ver figura 6).

Los resultados de interés fueron extraídos de la curva esfuerzo deformación convencional para la probeta 2, y hacen referencia al límite de fluencia, esfuerzo ultimo a la tracción y porcentaje de elongación. Éste último se determinó para una longitud inicial de 98 [mm] y 122.009 [mm] de longitud final

4.4.3 Análisis de resultados ensayo de tensión. Como se mencionó anteriormente los resultados referentes al límite de fluencia, esfuerzo último a la tracción y porcentaje de elongación, obtenidos en este ensayo, debían ser comparados con los estipulados en el certificado de calidad, así mismo con la norma ASTM A36.

En la siguiente tabla se analizan los resultados obtenidos.

Tabla 5. Resultados ensayo de tensión para el metal base, probeta uno y dos

ENSAYO DE TENSIÓN	LIMITE DE FLUENCIA (Mpa)N/mm ²	ESFUERZO ÚLTIMO A LA TENSIÓN (Mpa)N/mm ²	ESFUERZO DE ROTURA (Mpa)N/mm ²	% DE ELONGACIÓN
PROBETA 1	318,81	470,12	341,91	22,95
PROBETA 2	339,88	473,83	344,23	24,49

Como se puede evidenciar en la tabla 5 los resultados obtenidos en el ensayo de tensión para la probeta 1 y 2 son muy similares, y si se determinan valores promedios para cada resultado de interés entre estos dos resultados, se tiene un límite de fluencia promedio de 329,34 N/mm², un esfuerzo ultimo a la tracción promedio de 471,97 N/mm² y un porcentaje de elongación promedio de 23,72%. En la tabla siguiente se comparan estos resultados, con el certificado de calidad expedido por la siderúrgica China y la norma ASTM A36.

Tabla 6. Resultado ensayo de tensión.

ENSAYO DE TENSIÓN	LIMITE DE FLUENCIA (Mpa)N/mm ²	σ ÚLTIMO A LA TENSIÓN (Mpa)N/mm ²	% DE ELONGACIÓN
PROBETA 1	318.81	470.12	22.95*
PROBETA 2	339.88	473.83	24.49*
CERTIFICADO DE CALIDAD	300	455	23,5**
NORMA ASTM A36	250 min	400-550	--

* Porcentaje de elongación para 3.85 pulgadas.

** El certificado de calidad no especifica longitud inicial para la determinación del % de elongación.

Se puede observar en la tabla 6 al comparar los resultados, de las probetas 1 y 2 con los estipulados en el certificado de calidad, y con la norma ASTM A36, que los valores para límite de fluencia y esfuerzo último a la tracción están dentro de los rangos establecidos. La norma ASTM A36, establece un porcentaje de elongación mínimo de 23% en 2 pulgadas y de 20% en 8 pulgadas.

4.5 ENSAYO DE IMPACTO

Como se mencionó en el capítulo anterior la prueba de impacto con probetas tipo Charpy, se realizó para tres probetas con forma de paralelepípedo, las cuales poseían un entalle en V estándar para facilitar el inicio de la fisura.

El ensayo de impacto se realizó a una sola temperatura, a temperatura ambiente (27 grados centígrados) y su objetivo principal era determinar el tipo de fractura a esa temperatura.

Los resultados obtenidos al ensayar las tres probetas se encuentran registrados en la siguiente tabla.

Tabla 7. Resultados ensayo de impacto.

PROBETA	TEMPERATURA ° C	ENERGIA (JOULE)
1	27	140
2	27	139,6
3	27	139
PROMEDIO	27	139,5

Como se puede observar los resultados obtenidos al ensayar las tres probetas tipo Charpy a temperatura ambiente son muy similares, por tanto se determinó el

promedio entre los tres resultados y se pudo concluir que al ensayar el acero A36 a una temperatura de 27° C la energía promedio en joule corresponde a 139,5.

El tipo de fractura al ensayar las tres probetas tipo Charpy coincidieron con un tipo de fractura conocida como dúctil, la cual se caracteriza por una superficie fibrosa (ver figura 7) y es típica de los aceros dúctiles como lo es el acero A36.

Figura 7. Fractura dúctil, ensayo de impacto



4.6 ESTUDIO DE SOLDABILIDAD

El estudio de soldabilidad del acero ASTM A 36, específicamente para la fabricación de tanques de almacenamiento de crudo, está regido por el código API 650, que a su vez remite a la norma ASME, sección IX para la valoración de la junta soldada. Esta última norma señala que para la evaluación del procedimiento de soldadura se deben realizar dos ensayos de tensión, dos ensayos de doblez de raíz, dos ensayos de doblez de cara y una radiografía industrial a la junta soldada.

Para complemento del estudio, se realizó un análisis metalográfico a la junta soldada y un barrido de durezas.

4.7 ENSAYO DE TENSIÓN, PARA EVALUACIÓN DE LA JUNTA SOLDADA

El ensayo de tensión fue realizado en la ciudad de Bogotá, en la empresa Control Calidad y Montajes LTDA. Con la prensa universal de ensayos marca Jinan testing equipment co LTD, calibrada y certificada [Ver anexo I], para evaluación de la unión soldada con proceso GMAW, tipo de junta a tope. La norma ASME, sección IX, estipula dos ensayos para esta prueba.

4.7.1 Análisis de resultados ensayo de tensión, para la evaluación de la junta soldada. Antes de realizar el ensayo de tensión se registraron los dimensiones iniciales en cada una de las probetas (ver tabla 8).

Tabla 8. Dimensiones iniciales de las probetas

Dimensiones iniciales de las probetas	Probeta 1	Probeta 2
Longitud total [mm]	250	250
Ancho [mm]	19.05	19
Espesor en el material base [mm]	8.45	8.40
Área sección transversal [mm ²]	160.97	159.60
Temperatura [°C]	19.1	19.1

Para realizar el análisis del ensayo de tensión y hallar los datos correspondientes a la carga máxima, esfuerzo último a la tensión, carga de rotura y esfuerzo de rotura, con el equipo prensa universal de ensayos Jinan testing equipment co LTD, se utilizó el programa PTE- Metallic materials Tensite testing of ambient temperatura [ISO 6892], siendo los resultados los siguientes:

Tabla 9. Resultados ensayo de tensión para evaluación de la junta soldada

	CARGA MÁXIMA (KN)	σ ULTIMO A LA TENSIÓN (Mpa)	CARGA DE ROTURA (KN)	ESFUERZO DE ROTURA (Mpa)
PROBETA 1	78.60	487.99	38.28	238
PROBETA 2	78.40	490.99	39.18	245

En la inspección final de las probetas con tipo de junta a tope, se determinó que para los dos ensayos la rotura se da por el metal base, es decir, fuera del cordón de soldadura (Ver figura 8).

Figura 8. Probetas resultantes del ensayo de tensión para evaluación de la junta soldada



En el recuadro azul se muestra la zona correspondiente al cordón de soldadura.

Comparando los resultados de este ensayo con los resultados realizados al metal base, los resultados muestran valores cercanos, demostrando que el acero ASTM A36 presenta una buena soldabilidad según lo estipulado en la norma ASME

sección IX, donde se especifica que la junta soldada, no debe romper por el cordón de soldadura, ni presentar disminución significativa con respecto a los valores hallados en el metal base en el esfuerzo último a la tensión.

4.8 ENSAYO DE DOBLEZ DE RAÍZ Y CARA

En la norma ASME sección IX, se especifica, que como resultado del cupón soldado, deben cortarse, dos probetas para doblez de raíz y dos probetas para doblez de cara, con el fin de evaluar la ductilidad de la junta soldada.

Las probetas para los ensayos de doblez de raíz y cara, cumplen con las siguientes dimensiones, especificadas en la norma ASME sección IX, para lámina con espesor menor de tres cuartos de pulgada, exactamente nueve milímetros de espesor.

El ensayo de doblez de raíz y cara se realizó con una matriz de doblado guiado, certificado para uso de la norma ASME [ver anexo J].

Tabla 10. Dimensiones probetas para ensayo de doblez de cara y de raíz.

Dimensión	DC1	DC2	DR1	DR2
Longitud total [mm]	250	250	250	250
Ancho [mm]	38	38	38	38
Espesor en el material base [mm]	9	9	9	9
Temperatura [°C]	19.1	19.1	19.1	19.1

DC1: Probeta para ensayo de doblez de cara 1

DC2: Probeta para ensayo de doblez de cara 2

DR1: Probeta para ensayo de doblez de raíz 1

DR2: Probeta para ensayo de doblez de raíz 2

Resultados obtenidos:

Tabla 11. Resultados ensayo de doblez de cara y de raíz.

Probeta	Observaciones	Resultado
DC1	Indicación de 2.4 mm	OK
DC2	Sin indicaciones	OK
DR1	Indicación de 2.7 mm	OK
DR2	Indicación de 1.2 mm	OK

Después de realizado el ensayo de doblez y cara, se procede a la revisión superficial de las piezas, en las que se requiere encontrar los defectos generados por el estiramiento que sufrió cada probeta. Para ello se remite a la norma ASME, sección IX, donde se especifica las dimensiones máximas admitidas, para los defectos que se pueden generar en cada uno de los ensayos.

Las indicaciones hacen referencia a pequeñas grietas, presentes en la superficie de la probeta, a causa de la tensión que experimentaron las piezas, tales indicaciones son aceptables según la norma ASME, sección IX. En la que indica que los especímenes de doblez guiado no tendrán ninguna discontinuidad abierta en la soldadura o de la zona afectada por el calor superior a 3 mm, medido en cualquier dirección sobre la superficie convexa de la muestra después de la flexión. Discontinuidades abiertas que ocurren en las esquinas de la muestra durante la prueba no serán consideradas a menos que haya pruebas definitivas que sean el resultado de falta de fusión, inclusiones de escoria, u otras discontinuidades internas.

4.9 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

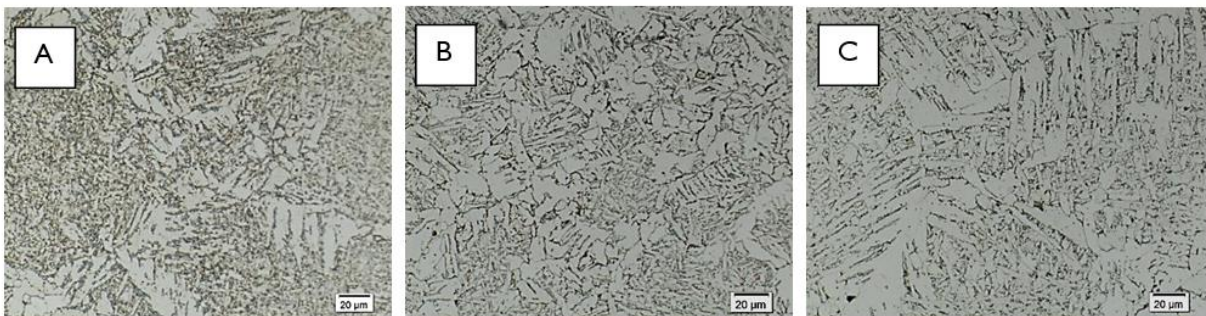
Como criterio de evaluación de la soldadura, debe realizarse una radiografía industrial sobre el cupón que fue evaluado posteriormente con los ensayos de tensión, dobléz de raíz y dobléz de cara.

La radiografía del cordón de soldadura arroja resultados aceptables [ver anexo K], en comparación con el criterio de aceptación consignados en la norma ASME, sección IX [ver anexo H].

Los resultados obtenidos aprueban la calidad del cordón de soldadura y la buena adherencia entre el metal base y el metal de aporte. [Ver anexo L].

4.10 METALOGRAFÍA DEL CORDÓN DE SOLDADURA

Figura 9. Micrografías en zona de fusión. A) Microestructura 500X, ataque con nital al 2%, Backweld-cordón de respaldo. B) Microestructura 500X, ataque con nital al 2%, pase uno- cordón de relleno. C) Microestructura 500X, ataque con nital al 2%, pase dos- cordón de presentación.



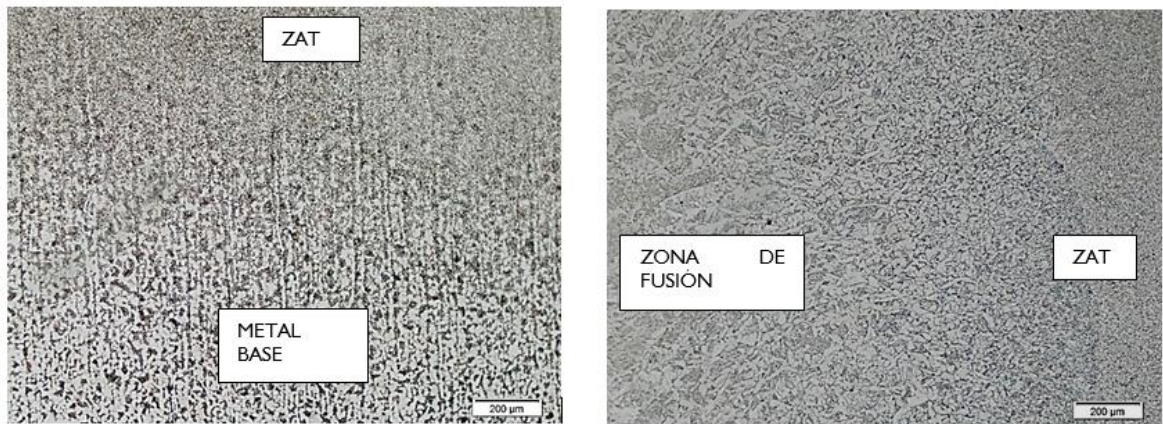
En las figuras anteriores se puede evidenciar la microestructura en la zona de fusión, para cada uno de los pases o capas de soldadura realizados en el proceso GMAW (ver anexo D). La figura B muestra la primera capa de soldadura aplicada para unir la junta, en la que se observa una microestructura con ferrita acicular, a

consecuencia de una alta velocidad de enfriamiento, además también se aprecian nódulos de perlita.

En las figuras A y C, que corresponden al cordón de respaldo y al cordón de presentación respectivamente, se puede observar una microestructura similar a la mencionada en la figura B, es decir, ferrita acicular. Este tipo de ferrita a causa del enfriamiento rápido precipita en los límites de grano de la fase austenita, y tiende a crecer de acuerdo a la orientación cristalográfica, de ahí que no presenta una dirección uniforme.

En conclusión los tres cordones realizados durante el proceso de soldadura por GMAW presentan una microestructura compuesta por ferrita acicular y nódulos de perlita, además que ninguno de estos alcanzo a recristalizar.

Figura 10. Micrografías: zona de transición ZAT-Metal base, 100X ataque químico nital al 2% y zona de transición Zona de fusión-ZAT, 100X ataque químico nital al 2%.



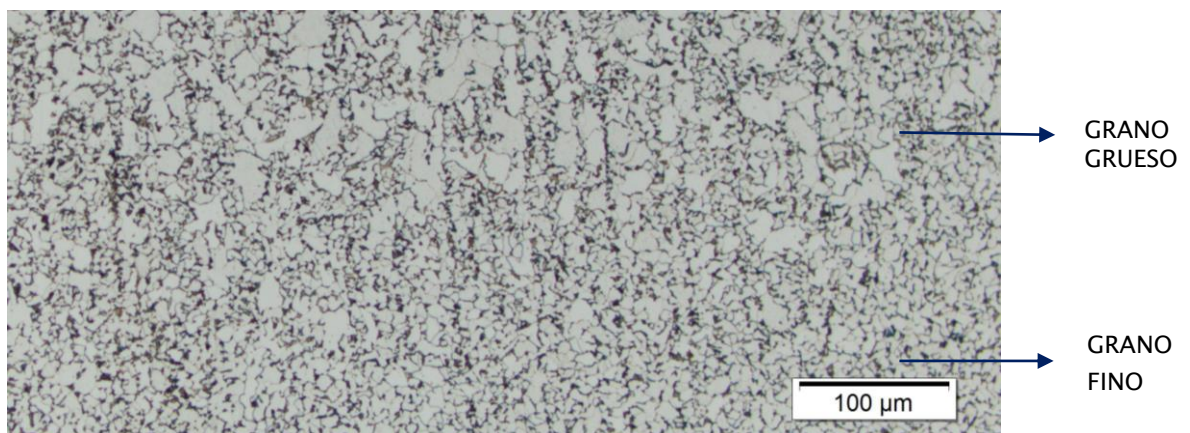
Como se puede observar en la figura 10, el metal base aún conserva la dirección del grano generada por el laminado en caliente, mientras en la zona afectada térmicamente, el grano se afina, debido al calor que emite la zona de fusión, concluyendo así que hubo recristalización.

En la zona de fusión se encuentra una microestructura característica de un enfriamiento rápido, en la que se observa ferrita acicular con nódulos de perlita. La

transición entre la zona de fusión y la ZAT, denota la buena fusión del metal de aporte con el metal base. A la derecha se observa la microestructura en la ZAT, granos finos de ferrita con nódulos de perlita.

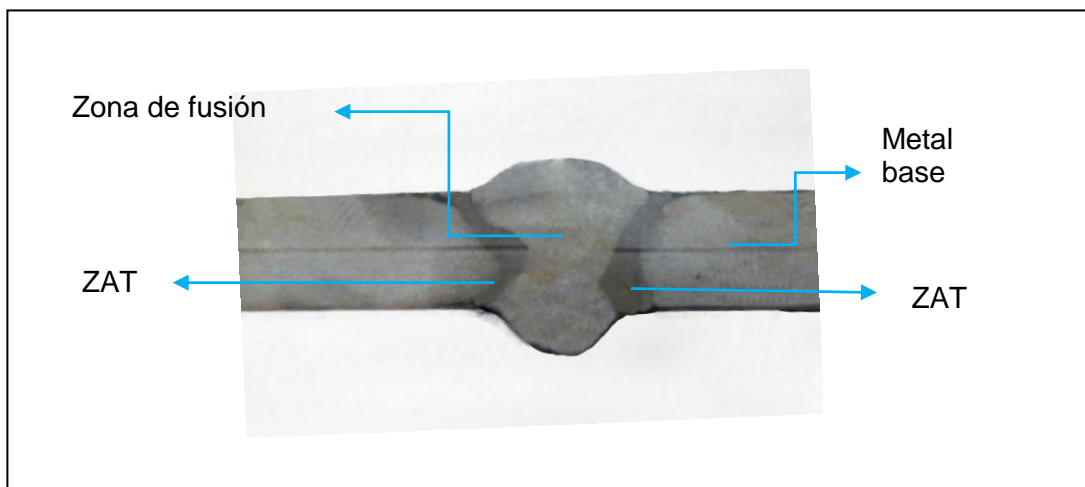
En la ZAT, se observa un grano mixto (ver figura 11), donde se diferencian dos zonas, una con grano fino y otra con grano grueso, el afino de grano más severo se da en la zona cercana a la zona de fusión.

Figura 11. Zona de transición grano fino y grano grueso de la ZAT. 200X.



4.10.1 Resultados macroataque

Figura 12. Resultado macroataque químico



Con el macroataque químico se hacen visibles las tres zonas relevantes para el estudio de soldabilidad, la zona de fusión en color gris claro, seguido horizontalmente de la zona afectada térmicamente con color gris oscuro que se forma a cada lado de la zona de fusión, con dimensiones pequeñas y por último se observa de color gris claro al metal base, correspondiente al acero ASTM A36.

En la figura 12, se evidencia una buena fusión del metal de aporte con el metal base. El tamaño de la ZAT depende tanto de la difusividad térmica como de la velocidad de enfriamiento del metal base; en este caso la difusividad térmica y la velocidad de enfriamiento fueron altas, por ende la ZAT es relativamente pequeña, siendo no tan perjudiciales los efectos que al soldar pueden ocasionarse en el metal que rodea la soldadura.

4.10.2 Resultados barrido de microdureza. Se realizó un barrido de microdureza a la pieza macroatacada anteriormente con el objetivo de comparar la dureza presente en cada zona. Se obtuvieron los siguientes resultados.

En la figura 13, se observa el barrido de microdureza realizada a la pieza macroatacada, en este se evidencia que la dureza máxima se da en la zona afectada térmicamente aunque en la zona de fusión se registran valores relativamente cercanos, y a medida que se acerca al metal base, el valor de dureza registrado es menor.

Figura 13. Resultados dureza Vickers HV

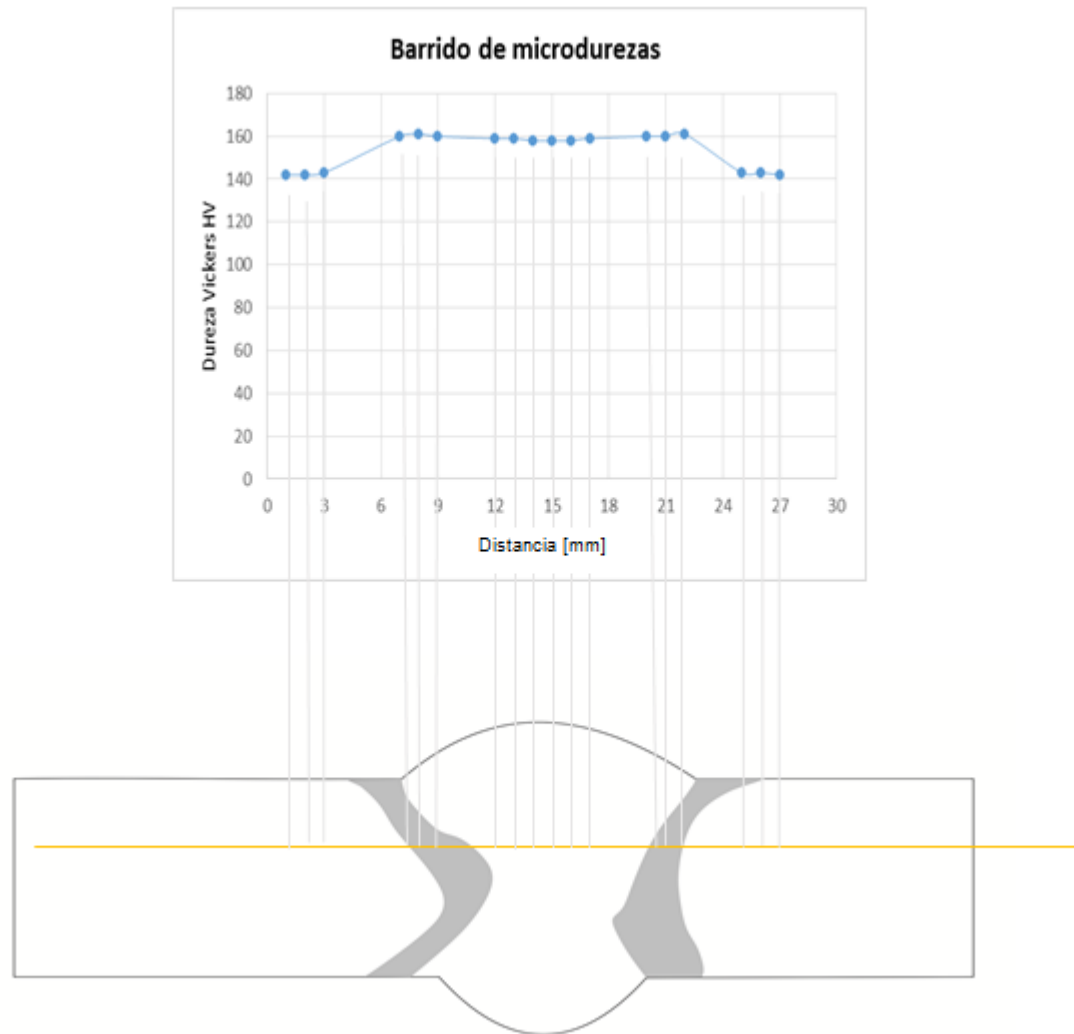


Tabla 12. Promedio microdurezas en cada zona.


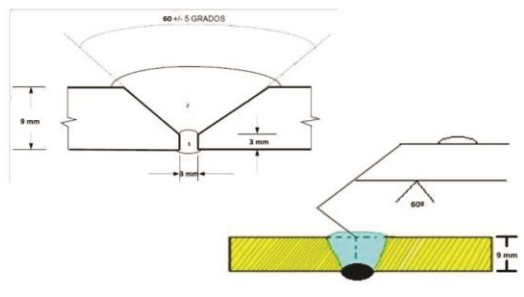
Zona	Dureza Vickers HV
Zona de fusión	158.65
ZAT	159.86
Metal base adyacente a la ZAT	141.33

En la tabla 12 se registran los valores promedio de microdureza en cada una de las zonas. Se observa que la zona de fusión corresponde a una dureza intermedia, esto se debe a que la composición del metal de aporte contiene altos porcentajes de manganeso y silicio en comparación con los porcentajes que contiene el metal base, que favorecen la resistencia a la tensión y mejoran la dureza. Metal de aporte AWS N° ER 70S-6. La ZAT registra los valores de microdureza máximos, debido al afino de grano que se presenta en la zona señalada en la figura 13.

4.11 PQR

En este documento se valida y respaldan los datos asignados en el WPS. Por tanto se han consignado los valores exactos de las variables del procedimiento de soldadura y los resultados de los ensayos realizados sobre la junta soldada, con el propósito de calificar las especificaciones del procedimiento de soldadura (ver figura 14).

Figura 14. Registro de calificación de procedimiento de soldadura

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - PQR			Página 1 / 1																						
Registro de calificación de procedimiento No. <u>1</u>		Fecha <u>05/03/2015</u>																									
Elaborado por <u>LAURA GUALDRÓN – DANIELA DÍAZ</u>																											
WPS No. <u>1 (WPS-SA-API650-A36-GMAW)</u>																											
Proceso de soldadura <u>GMAW</u>																											
Tipo (s) (Automático, semiautomático, manual o máquina): <u>SEMIAUTOMATICO</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>A TOPE CON 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>																											
METALES BASE		GAS																									
Especificación de material		porcentaje de composición																									
Tipo y grado <u>ASTM A-36</u>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 25%;">Gas (es)</th> <th style="width: 25%;">Mezcla</th> <th style="width: 35%;">Rata flujo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección</td> <td>Ar/CO₂</td> <td>75/25</td> <td>12.5-15L/m</td> </tr> <tr> <td>Arrastre</td> <td>NA</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>NA</td> <td>NA</td> <td>NA</td> </tr> </tbody> </table>						Gas (es)	Mezcla	Rata flujo	Protección	Ar/CO ₂	75/25	12.5-15L/m	Arrastre	NA	NA	NA	Respaldo	NA	NA	NA					
	Gas (es)	Mezcla	Rata flujo																								
Protección	Ar/CO ₂	75/25	12.5-15L/m																								
Arrastre	NA	NA	NA																								
Respaldo	NA	NA	NA																								
a Tipo y grado <u>ASTM A-36</u>																											
Espesor de cupón de prueba <u>9 mm</u>																											
Rango cubierto <u>3 – 18 mm</u>																											
POSICIONES		TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA																									
Posición(es) de ranura <u>3 G</u>		Rango de temperatura <u>NA</u>																									
Progresión de soldadura Asce. <u>X</u> Desc. _____		Rango de tiempo <u>NA</u>																									
Posición(es) de filete _____																											
*METALES DE APORTE		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS																									
Especificación AWS <u>5.18</u>		Corriente AC ó DC <u>DC</u>																									
AWS No. (Clase) <u>ER 70S-6</u>		Polaridad <u>Inversa</u>																									
F-No. – A-No. <u>6 - 1</u>		Amperaje (Rango) <u>122 - 148 A</u>																									
Diam. metales de aporte <u>0.045"</u>		Voltaje (Rango) <u>17.2 – 17.8 V</u>																									
Prueba de tracción																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Especimen No.</th> <th style="width: 15%;">Ancho</th> <th style="width: 15%;">Espesor</th> <th style="width: 15%;">Área</th> <th style="width: 15%;">Última carga total</th> <th style="width: 15%;">Última unidad de esfuerzo</th> <th style="width: 20%;">Tipo de falla y localización</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T1</td> <td>19.05 [mm]</td> <td>8.45 [mm]</td> <td>160.97 [mm²]</td> <td>17669.98 LbF</td> <td>487.99 MPa</td> <td>RFS</td> </tr> <tr> <td>T2</td> <td>19.00 [mm]</td> <td>8.40 [mm]</td> <td>159.60 [mm²]</td> <td>17625.02 LbF</td> <td>490.99 MPa</td> <td>RFS</td> </tr> </tbody> </table>	Especimen No.	Ancho	Espesor	Área	Última carga total	Última unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización	T1	19.05 [mm]	8.45 [mm]	160.97 [mm ²]	17669.98 LbF	487.99 MPa	RFS	T2	19.00 [mm]	8.40 [mm]	159.60 [mm ²]	17625.02 LbF	490.99 MPa	RFS						
Especimen No.	Ancho	Espesor	Área	Última carga total	Última unidad de esfuerzo	Tipo de falla y localización																					
T1	19.05 [mm]	8.45 [mm]	160.97 [mm ²]	17669.98 LbF	487.99 MPa	RFS																					
T2	19.00 [mm]	8.40 [mm]	159.60 [mm ²]	17625.02 LbF	490.99 MPa	RFS																					
Prueba de Doblado guiado																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Identificación</th> <th style="width: 50%;">Descripción de discontinuidad- efecto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DC1</td> <td>OK- Indicación de 2.4 mm</td> </tr> <tr> <td>DC2</td> <td>Ok – sin indicaciones</td> </tr> <tr> <td>DR1</td> <td>Ok – indicación de 2.7 mm</td> </tr> <tr> <td>DR2</td> <td>OK – indicación de 1.2 mm</td> </tr> </tbody> </table>			Identificación	Descripción de discontinuidad- efecto	DC1	OK- Indicación de 2.4 mm	DC2	Ok – sin indicaciones	DR1	Ok – indicación de 2.7 mm	DR2	OK – indicación de 1.2 mm															
Identificación	Descripción de discontinuidad- efecto																										
DC1	OK- Indicación de 2.4 mm																										
DC2	Ok – sin indicaciones																										
DR1	Ok – indicación de 2.7 mm																										
DR2	OK – indicación de 1.2 mm																										
Nombre del soldador: JHON BOLAÑOS No. Identificación 79.506.702 Estampe No. JB Prueba de laboratorio No: T374-15/D 375-5																											
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 ASME, sección IX.																											

5. CONCLUSIONES

El estudio de caracterización del acero A36 por la técnica de espectroscopia de emisión óptica realizado, constato que lo estipulado en el certificado de calidad, emitido por la siderúrgica China, a la empresa Steckerl Aceros SAS, cumple con lo especificado en la norma ASTM A36, y además presenta 0,001% de Boro que mejora la templabilidad del acero.

La evaluación metalográfica realizada verificó que el acero en estudio corresponde efectivamente al acero A36, ya que presentó una microestructura de matriz ferrítica con colonias de perlita, microestructura propia de un acero dúctil, resistente y de baja aleación.

El ensayo de tracción realizado al acero proporcionado por la empresa Steckerl Aceros SAS dio resultados acordes a los estipulados en el certificado de calidad emitido por la siderúrgica, también con los estipulados en la Norma ASTM A 36. Por lo tanto el acero en estudio efectivamente corresponde al acero estructural ASTM A36, pues sus propiedades mecánicas como límite de fluencia, esfuerzo último a la tracción y porcentaje de elongación están dentro de los rangos estipulados por la norma ASTM A36.

El ensayo de impacto con probetas tipo Charpy verifico que el acero ASTM A36 en estudio presenta fractura tipo dúctil al impactarlo a temperatura ambiente, lo que indica que este tipo de acero tiene una zona de deformación plástica considerable y que su comportamiento es óptimo bajo las condiciones de temperatura ensayada.

El estudio de soldabilidad, regido por la norma ASME, sección IX, corroboró que debido a la baja dureza del acero ASTM A 36, presenta buena soldabilidad, siendo prueba de ello, el ensayo de tensión en el que el material rompió por el metal base, comprobando así la resistencia de la junta soldada. Los ensayos de doblez de raíz y cara, presentan indicaciones aceptables por la norma, siendo entonces la ductilidad de la junta soldada, acorde a los parámetros establecidos. Finalmente

con la radiografía industrial, se constató que el cordón de soldadura no presenta defectos internos que afecten la calidad de la junta soldada.

Con el macroataque químico se hacen visibles las tres zonas relevantes para el estudio de soldabilidad, las cuales evidencian una buena fusión del metal de aporte con el metal base. Además la zona afectada térmicamente, es relativamente pequeña, lo que indica una alta difusividad térmica y velocidad de enfriamiento del metal base, producto de un buen procedimiento de soldadura.

El barrido de microdureza Vickers realizado en la probeta macroatacada revela que la zona afectada térmicamente es la zona que presenta un valor máximo de dureza, esto debido al afino de grano.

CITAS

[1] ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A36. Marco teórico [en línea].
<<http://es.scribd.com/doc/76137596/Acero-Al-Carbono-Estructural-ASTM-A36>>
[citado el 15 de enero de 2015]

[2] DIETER, George Mechanical metallurgy. Londres: Mc Graw Hill, 1988.

[3] FAWZY, Samuel. Interrelations of Cooling Rate, Microstructure, and Mechanical Properties in four HSLA Steels. En: Metallurgical Transactions A. Vol. 15 (oct 1984); p.1807-1817.

[4] ASKELAND, Donald R. La ciencia e ingeniería de los materiales. Méjico: Grupo Editorial Iberoamérica, 1985.

[5] WELDING PROCEDURE SPECIFICATION. Marco teórico [en línea].
<<http://www.twi-global.com/capabilities/joining-technologies/welding-engineering/welding-procedures/>>
[Citado el 12 de marzo 2013]

[6] REVISTA METAL ACTUAL. Proceso de soldadura GMAW. [en línea]
<http://www.metalactual.com/revista/10/procesos_soldadura.pdf>
[Citado el 8 de agosto 2014]

[7] BJORHOVDE, Reidar. Development and use of high performance steel. En: Journal of Constructional Steel Research. Vol. 60 [2004]. P.393-400.

[8] GUY, Albert G; Metalurgia física para Ingenieros. Editorial CECSA, México 1965.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Welded Tanks for Oil Storage. Licensee=BP International/592836610. API STANDARD 650, MDT. Twelfth Edition, Washington D. C., E.U.: API, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. SECCION IX - Welding and Brazing Qualifications, Two Park Avenue, Nueva York, E.U.: 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Specification for Carbon Structural Steel. 100 Barr Harbor Drive. ASTM A36/36M-12. West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2012.

----- Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials ASTM 23- 07ae1. West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2007

----- Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3-01. West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2001

----- Standard Test Methods for tension testing of metallic materials. ASTM E8. West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2001

----- Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. (ASTM E112-96). West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2006

----- Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel.. (ASTM E45-05). West Conshohocken, Pensilvania, E.U.: ASTM, 2005

A.S.M. INTERNATIONAL. Metals Handbook, Vol 9. Metallography and microstructure. ASM Metals Park. Ohio, E.U.: 1992.

BALDOVINO NAVARRO, Patricia et al. Evaluación de la soldabilidad de los aceros estructurales ASTM A-36, ASTM A572 Grado 50, ASTM A588 Grado B y sus combinaciones según código AWS D1.1. Trabajo de grado (Ingeniero Metalúrgico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, 2000

ANEXO A – MICROGRAFÍAS ACERO ASTM A 36

Figura No.1 Sección transversal, ataque químico Nital 2%. 100X

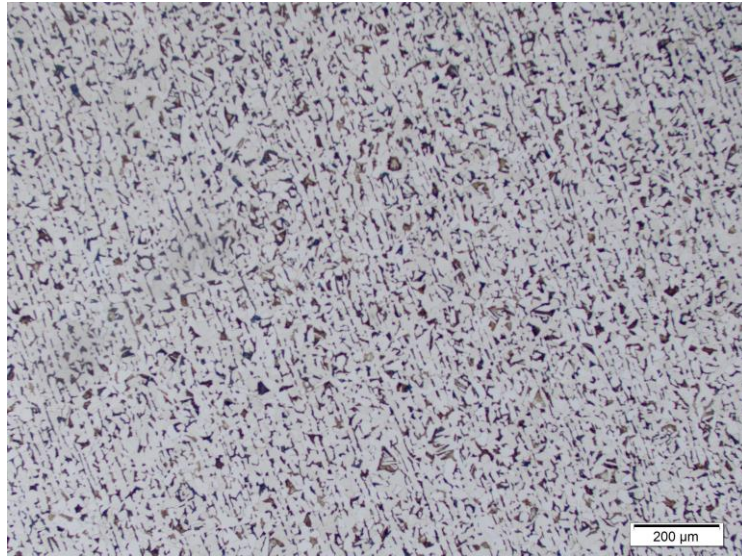
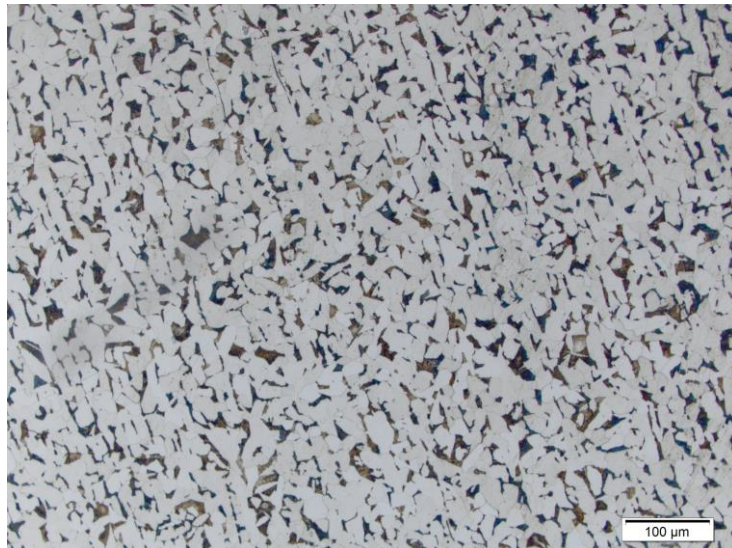


Figura No.2 Sección transversal, ataque químico Nital 2%. 200X



En la figura No. 1 y 2 se observa un acero hipoeutectoide, con matriz ferrítica y nódulos de perlita, atacado químicamente con nital al 2%. Las zonas blancas corresponden a los granos de ferrita y las zonas oscuras al constituyente eutectoide perlita. Además se puede analizar la dirección en que se realizó el proceso de laminado en caliente.

Figura No.3 Sección transversal, ataque químico Nital 2%. 500X

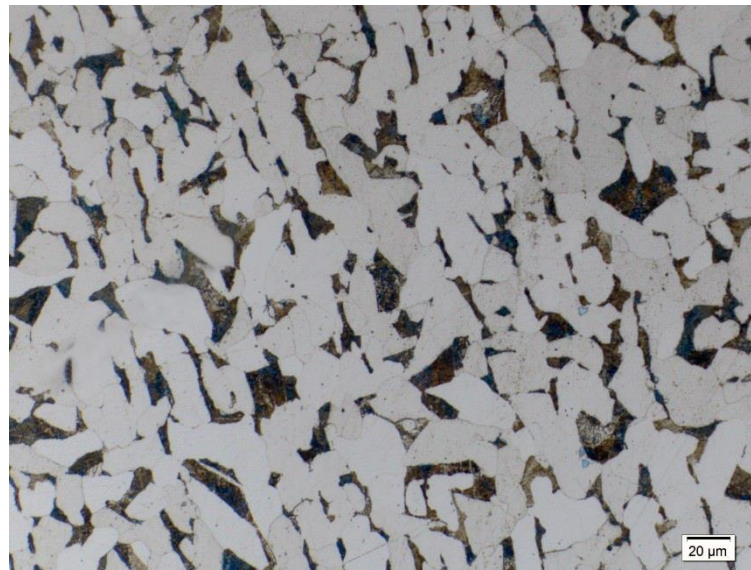
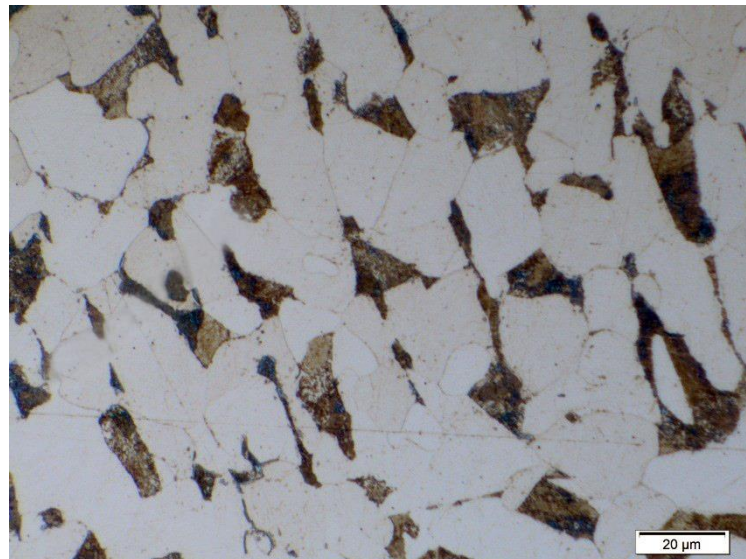


Figura No.4 Sección transversal, ataque químico Nital 2%. 1000X



ANEXO B – CERTIFICADO DE CALIDAD EXPEDIDO POR LA EMPRESA EXPORTADORA



产品质量证明书 INSPECTION CERTIFICATE

辽宁省营口市老边区冶金街 邮编: 115005
Yejin street, Lnobian district, Yingkou, Liaoning, P. R. China
115005 YINGKOU, CHINA
TEL: 0417-3256081 FAX: 0417-3256057

订货单位 (SOLD TO)	Samsung C&T Corporation	产品名称 (PRODUCT)	热轧钢板 HOT ROLLED PLATE	证明书编号 (CERTIFICATE)	D070015082014B011704
收货单位 (PURCHASER)	Samsung C&T Corporation	交货状态 (DELIVERY CONDITION)	热轧 (AR)	签发日期 (DATE OF ISSUE)	2014-03-11
合同编号 (CONTRACT NO.)	YG0K836140109002-B-01	技术条件 (SPECIFICATION)	ASTM A36/A36M	到站 (DESTINATION)	
合同票号	1 客户PO	车号 (TRAIN NO.)	辽HK1597; 辽H20199; 辽HK1582; 辽HC0967; 辽HK1010; 辽HK1005; 辽HK1547; 辽HK0830; 辽HK0769; 辽HK1592;		

牌号 GRADE	批号 BATCH NO.	炉号 HEAT NO.	规格尺寸 (mm) DIMENSION			件数 PIECES	重量 (ton) WEIGHT	拉伸试验 TENSILE TEST				弯曲试验 BEND TEST	冲击试验 AkV (J) IMPACT TEST			探伤检验 ULTRASONIC TEST				
			T	W	L			屈服ReH (N/mm2)	屈服ReL (N/mm2)	屈服Rp0.2 (N/mm2)	拉伸Rm (N/mm2)		伸长率A (%)	尺寸mm2	温度 (°C)	1	2	3	探伤级 RATE	探伤结果 RESULT
ASTM A36	14B0165	14313886C	12	2438	6096	16	22.400			270	470	24.5								
ASTM A36	201401310118	14204832A	9	2438	6096	42	44.100			300	455	23.5								
ASTM A36	14B0093	14100266C	12	2438	6096	16	22.400			290	460	25								
ASTM A36	14B0089	14313854C	12	2438	6096	16	22.400			260	445	26.5								
合计						90	111.300													

批号 BATCH NO.	化学成分 CHEMICAL COMPOSITION (%)																		
	C	Si	Mn	P	S	Als	Al	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	B	As	N	Nb	CEV	Ceq
14B0165	0.20	0.20	0.91	0.015	0.008	0.002	0.003	0.012	0.007	0.008	0.001	0.004	0.003	0.0017	0.004		0.003		
201401310118	0.18	0.18	0.64	0.024	0.005	0.002	0.003	0.018	0.007	0.007	0.001	0.004	0.002	0.0013	0.003		0.003	0.29	
14B0093	0.18	0.20	0.91	0.023	0.008	0.001	0.003	0.022	0.008	0.007	0.001	0.004	0.003	0.0018	0.004		0.003		
14B0089	0.18	0.19	0.88	0.015	0.011	0.001	0.002	0.017	0.007	0.007	0.001	0.003	0.003	0.002	0.003		0.003		

备注 NOTE:	1. According to EN10204 3.1; 2. Al=Alt; 3. ALL slab is fully killed steel				
 本产品已按照标准要求制造和检验，其结果符合要求，特此证明。 WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HAS MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION	签发人 INSPECTOR 	质量检查部部长 (章) DIRECTOR OF QUALITY (STAMP) 			

ANEXO C – RESULTADO ENSAYO DE ESPECTROSCOPIA DE EMISION ÓPTICA

LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS
SOLDADURAS WEST ARCO S.A.S. NIT. 900.216.225-3
ACREDITACIÓN ISO/IEC 17025: 2005 CERTIFICADO DE ACREDITACIÓN: 12-LAB-038



INFORME DE ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA DE EMISION ÓPTICA										
INFORME No.: I-15088-1.	No. de Páginas:	1 de 1								
INFORMACIÓN DEL CLIENTE										
Nombre: STECKERL ACEROS	FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRAS 2015-03-17									
Dirección: Carrera 128 No 14B-31	FECHA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO 2015-03-18									
Teléfono: 3117703323										
Ciudad: Bogotá D.C.										
DATOS DEL MATERIAL BASE Y/O UNIÓN SOLDADA										
Identificación: AQ1 A36 088	Espesor: 8.5 mm									
NORMA PARA ENSAYO										
INSTRUCTIVO EQUIPO ARL QUANTRIS OPTICAL EMISION										
SOPORTE DE LECTURAS REALIZADAS										
A continuación se relacionan los resultados de las probetas según el análisis de espectrometría:										
1. Muestra OS 15088-1. Correspondiente a la probeta identificada AQ1 A36 088										
18/03/2015 13:58:20 Muestra: OS-15088-1 Programa: FELAST Tarea: PECOLAST										
N°	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	
Med	0.19889	0.18407	0.57119	0.02023	0.01022	0.01945	0.00899	0.00688	!0.00110	
Med	!0.00050	0.00168	0.00421	!0.00100	!0.01300	0.06012	!0.00077	!0.00060		
Med	!0.00100	0.00176	!0.00300	!0.00100	!0.00005	!0.00030	!0.00150	98.8502		
Med	Total 0.60761									
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 EMISION INFORME								
SANDRA ROJAS JEFE DE LABORATORIO QUÍMICO	 ING. ELMER GEPEBA GÓMEZ 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


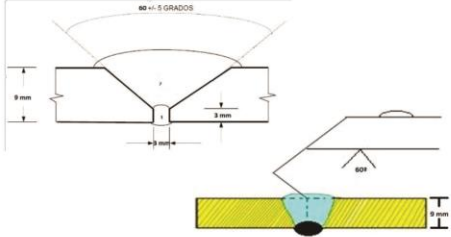
LAB-P-0018-F1-GC 4aEd.

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

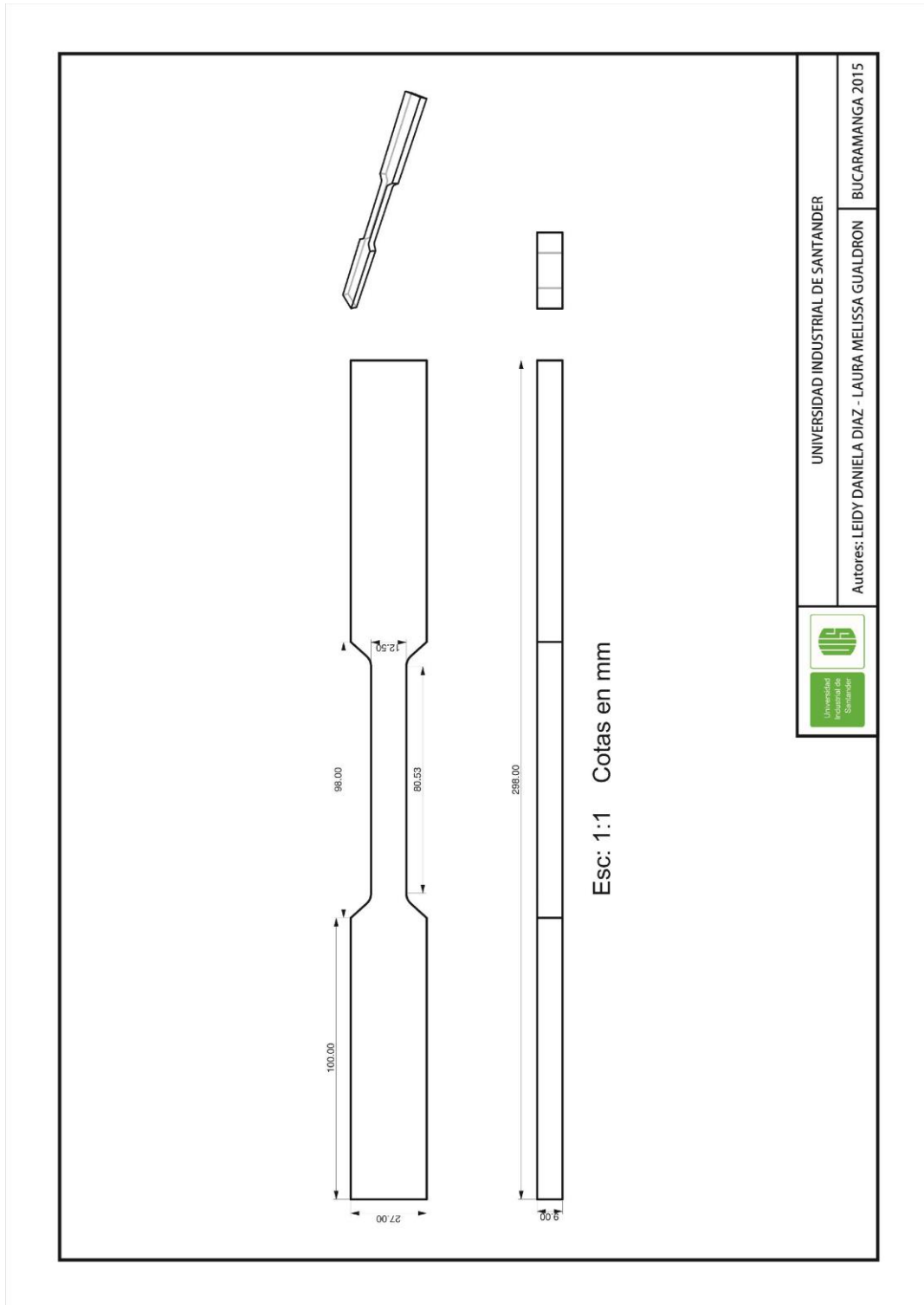


ACREDITADO ISO/IEC 17025: 2005 T2-LAB - 038

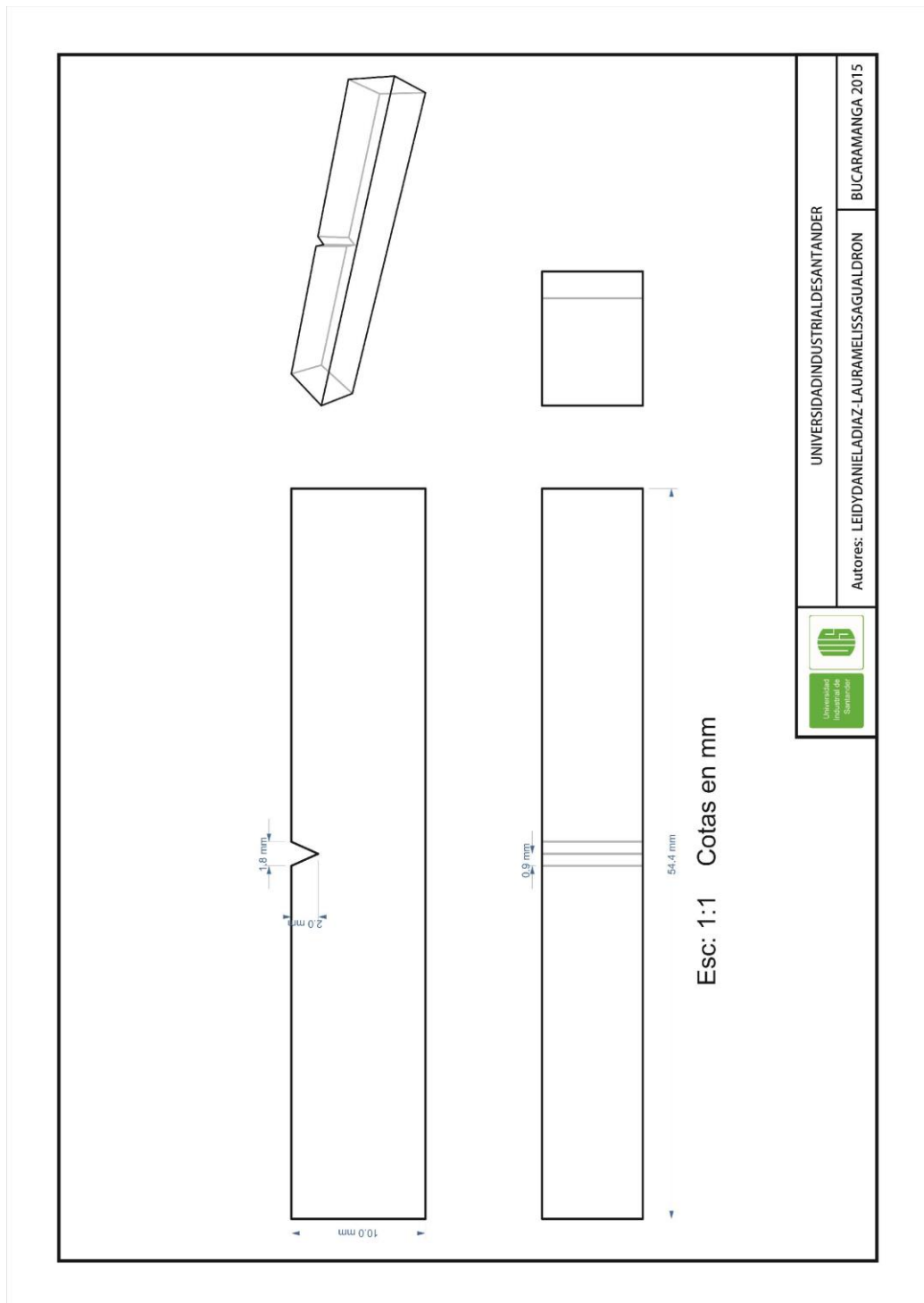
ANEXO D- WPS

	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS	Página 1 / 1						
Especificación de Procedimiento de Soldadura No. <u>1</u>		Fecha <u>05/02/2015</u> PQR de soporte No. <u>1</u>						
Elaborado por <u>LAURA GUALDRÓN – DANIELA DÍAZ¹</u>		Norma de Soldadura <u>API 650</u>						
Soldador <u>JHON BOLAÑOS</u>		Estampe						
Proceso de soldadura <u>GMAW</u>		Tipo <u>SEMIAUTOMATICO</u> (Automático, semiautomático, manual o máquina)						
JUNTAS								
Diseño de junta		Detalles 						
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>A TOPE CON 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>								
* METALES BASE								
Tipo de especificación y grado <u>ASTM A-36</u>			a Tipo de especificación y grado <u>ASTM A-36</u>					
Espesor <u>9 mm</u>	Rango cubierto	Ranura <u>3 - 18 mm</u> Filete <u>NA</u>						
* METALES DE APORTE		GAS						
Especificación AWS <u>5.18</u>		Porcentaje de composición						
AWS No. (Clase) <u>ER 70S-6</u>		Gas(es)	Mezcla	Rata flujo				
F-No. <u>6</u>		Protección <u>Ar/CO₂</u>	<u>75/25</u>	<u>12.5-15 L/m</u>				
A-No. <u>1</u>		Arrastre <u>NA</u>	<u>NA</u>	<u>NA</u>				
Diam. de los metales de aporte <u>0.035"</u>		Respaldo <u>NA</u>	<u>NA</u>	<u>NA</u>				
POSICIONES		TRATAMIENTO TÉRMICO POSTSOLDADURA						
Posición(es) de ranura <u>3 G</u>		Rango de temperatura <u>NA</u>						
Progresión de soldadura Asce. <u>X</u> Desc. _____		Rango de tiempo <u>NA</u>						
Posición(es) de filete _____		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS						
PRECALENTAMIENTO		Corriente AC ó DC <u>DC</u>						
Temperatura de precalentamiento Min. <u>NA</u>		Polaridad <u>Inversa</u>						
Temperatura entre pases Max. <u>NA</u>		Amperaje (Rango) <u>100 - 340 A</u>						
Permanencia del precalentamiento <u>NA</u>		Voltaje (Rango) <u>17 - 22 V</u>						
Longitud del precalentamiento <u>NA</u>								
TÉCNICA								
Limpieza inicial y entre pases (Cepillado, pulido, etc.) <u>PRIMER PASE PULIDO CON DISCO ABRASIVO</u>								
PASES POSTERIORES LIMPIEZA CON GRATA DE ACERO								
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>CORTO CIRCUITO</u>								
Distancia del trabajo a la boquilla de contacto (Prolongación electrizada) <u>0.5"</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			
<u>1</u>	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.045"</u>	<u>Inversa</u>	<u>130 - 180 A</u>	<u>17 - 22 V</u>	<u>5-10 mm/s</u>	
<u>2</u>	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.045"</u>	<u>Inversa</u>	<u>130 - 180 A</u>	<u>17 - 22 V</u>	<u>5-10 mm/s</u>	
Backweld	<u>GMAW</u>	<u>ER 70S-6</u>	<u>0.045"</u>	<u>Inversa</u>	<u>130 - 180 A</u>	<u>17 - 22 V</u>	<u>5-10 mm/s</u>	
1. Orientación y revisión: ING EDWIN LOMBANA RIAÑO – CWI 10101241V. Contratación: STECKERL ACEROS S.A.S.								

ANEXO E- DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE TENSION



ANEXO F- DIMENSIONES DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE IMPACTO



**ANEXO G – ZONAS ESTABLECIDAS PARA MECANIZADO DE LAS
PROBETAS, EXTRAÍDO DE LA NORMA ASME SECCIÓN IX.**

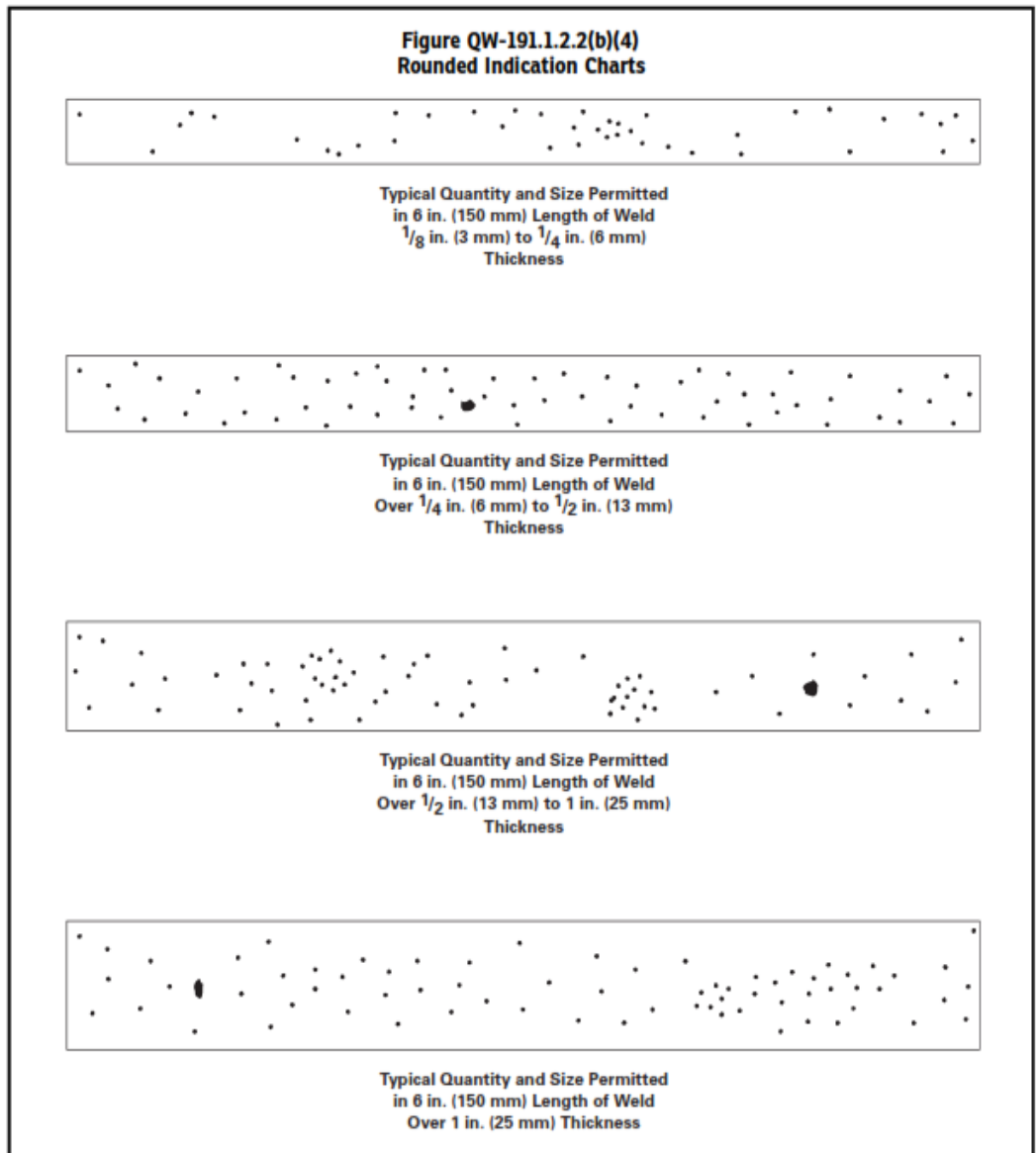
**Figure QW-463.1(a)
Plates — Less Than $\frac{3}{4}$ in. (19 mm)
Thickness Procedure Qualification**

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



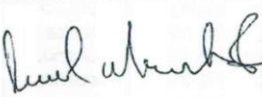



**ANEXO H – CRITERIO DE EVALUACIÓN DE RADIOGRAFÍA, EXTRAÍDO DE
LA NORMA ASME, SECCIÓN IX.**


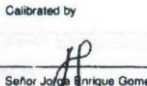
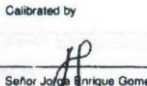
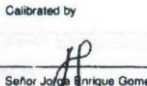
2013 SECTION IX



ANEXO I- CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

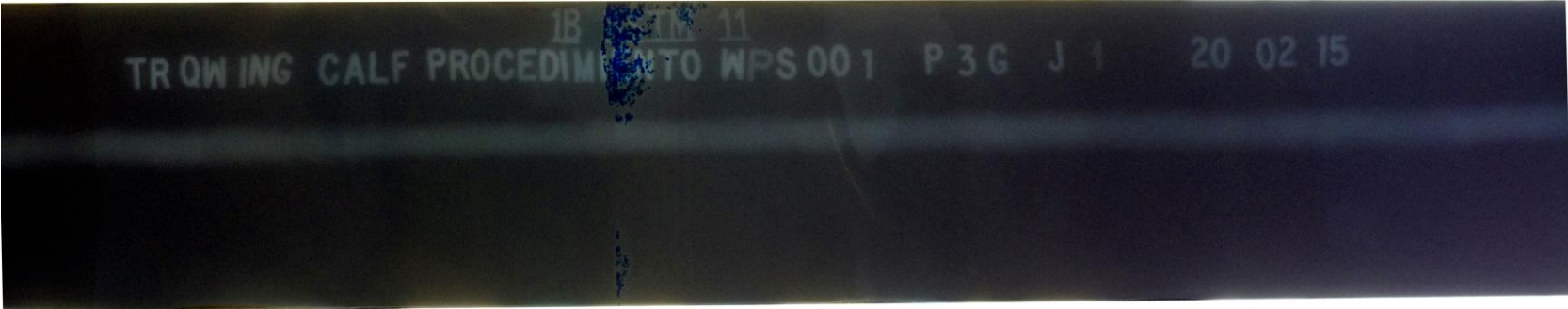
 Ingeniería de Control de Calidad División Laboratorio	 <small>ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005 09-LAB-027</small>		
ISO/IEC 17025:2005	CFA-14-4084	PAG :1 DE	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CALIBRATION REPORT			
Certificado No.	CFA-14-4084	Laboratorio de	FUERZA
<small>CERTIFICATED No.</small>		<small>LABORATORY</small>	
Máquina Universal de Ensayos			
FABRICANTE	JINAN PRECISION TESTING	MODELO	12,2012
<small>MANUFACTURER</small>		<small>MODEL</small>	
SERIAL	1112469	CODIGO INTERNO	---
<small>SERIAL NUMBER</small>			
SOLO PARA EQUIPOS DE ENSAYO CON INDICADOR DIGITAL AUXILIAR NO APLICA PARA ESTE TIPO DE EQUIPO			
FABRICANTE	---	MODELO	---
<small>MANUFACTURER</small>		<small>MODEL</small>	
SERIAL	---	CODIGO INTERNO	---
<small>SERIAL NUMBER</small>			
ESCALA CALIBRADA	600,0 kN / 600,0 kN		
<small>SCALE CALIBRATED</small>			
CÓDIGO CLIENTE	0404		
<small>CUSTOMER CODE</small>			
CLIENTE	CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA		
<small>CUSTOMER</small>			
LUGAR DE CALIBRACIÓN	Calle 38 Sur No.72H-88 Barrio Carvajal Bogotá D.C. - Cundinamarca		
<small>CALIBRATION ADDRESS</small>			
FECHA DE CALIBRACIÓN	2014-11-21	FECHA DE EMISIÓN	2014-12-10
<small>CALIBRATION DATE</small>	<small>aaaa-mm-dd</small>	<small>ISSUE DATE</small>	<small>aaaa-mm-dd</small>
NÚMERO DE PÁGINAS	OCHO (8)	Orden de Servicio	OSI-0083
<small>NUMBER OF PAGE</small>			
Firmas Autorizadas			
<small>Authorized signatorys</small>	Elaborado Por:	Revisado Por:	
	 Reinel Martinez Rincon Técnico Especialista 1	 Javier Gonzalez Acero Jefe de Laboratorio	
<small>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 realizaron 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 de este certificado. 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 r</small>			

ANEXO J – CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MATRIZ PARA DOBLEZ GUIADO ASME




Industria y Comercio <small>SUPERINTENDENCIA</small> Delegatura para la Protección del Consumidor y Metrología Grupo de Trabajo de Metrología Laboratorio de METROLOGÍA DIMENSIONAL <i>DIMENSIONAL METROLOGY Laboratory</i>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">20872</div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Z011 08 05</div>																																																																	
Certificado de Calibración <i>Calibration Certificate</i>	Etiqueta de Calibración <i>Calibration Label</i> Pagina 1 de 3 Page 1 of 3																																																																		
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Objeto</td> <td style="width: 30%;">MEDICION DE CONJUNTO CON 5 COTAS</td> <td style="width: 40%;">Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</td> </tr> <tr> <td><i>Object</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fabricante</td> <td>NO TIENE</td> <td>El usuario está obligado a recalibrar el instrumento a intervalos apropiados.</td> </tr> <tr> <td><i>Manufacturer</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>MATRIZ ASME DOBLEZ GUIADO</td> <td><i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></td> </tr> <tr> <td><i>Type</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de Serie</td> <td>NO TIENE</td> <td><i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i></td> </tr> <tr> <td><i>Serial Number</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Solicitante</td> <td>CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA.</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Customer</i></td> <td>HSE@CONTROLCALIDADYMONTAJES.COM</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ciudad</td> <td>BOGOTÁ D.C.</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>City</i></td> <td>COLOMBIA</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Radicación</td> <td>11 055435</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Order No.</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de páginas del certificado</td> <td>03</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Number of pages of the certificate</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha de calibración</td> <td>2011-08-05</td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Date of calibration</i></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="font-size: small;">Este certificado de calibración no puede ser reproducido en su totalidad, excepto con autorización del laboratorio que lo emite. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.</p> <p style="font-size: x-small;"><i>This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory calibration certificates without signature are not valid.</i></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 33%;">Fecha</td> <td style="width: 33%;">Coordinador Grupo de T. Metrología</td> <td style="width: 33%;">Revisado por</td> <td style="width: 33%;">Calibrado por</td> </tr> <tr> <td><i>Date</i></td> <td><i>Chair of Metrology Group</i></td> <td><i>Reviewed by</i></td> <td><i>Calibrated by</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2011-08-08</td> <td style="text-align: center;"> Ing. Carlos Eduardo Porras Porras</td> <td style="text-align: center;"> Ing. Victor Hugo Gil Gil</td> <td style="text-align: center;"> Señor Jorge Enrique Gomez Herrera</td> </tr> </table>		Objeto	MEDICION DE CONJUNTO CON 5 COTAS	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).	<i>Object</i>			Fabricante	NO TIENE	El usuario está obligado a recalibrar el instrumento a intervalos apropiados.	<i>Manufacturer</i>			Tipo	MATRIZ ASME DOBLEZ GUIADO	<i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i>	<i>Type</i>			Número de Serie	NO TIENE	<i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i>	<i>Serial Number</i>			Solicitante	CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA.		<i>Customer</i>	HSE@CONTROLCALIDADYMONTAJES.COM		Ciudad	BOGOTÁ D.C.		<i>City</i>	COLOMBIA		Radicación	11 055435		<i>Order No.</i>			Número de páginas del certificado	03		<i>Number of pages of the certificate</i>			Fecha de calibración	2011-08-05		<i>Date of calibration</i>			Fecha	Coordinador Grupo de T. Metrología	Revisado por	Calibrado por	<i>Date</i>	<i>Chair of Metrology Group</i>	<i>Reviewed by</i>	<i>Calibrated by</i>	2011-08-08	 Ing. Carlos Eduardo Porras Porras	 Ing. Victor Hugo Gil Gil	 Señor Jorge Enrique Gomez Herrera
Objeto	MEDICION DE CONJUNTO CON 5 COTAS	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).																																																																	
<i>Object</i>																																																																			
Fabricante	NO TIENE	El usuario está obligado a recalibrar el instrumento a intervalos apropiados.																																																																	
<i>Manufacturer</i>																																																																			
Tipo	MATRIZ ASME DOBLEZ GUIADO	<i>This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i>																																																																	
<i>Type</i>																																																																			
Número de Serie	NO TIENE	<i>The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.</i>																																																																	
<i>Serial Number</i>																																																																			
Solicitante	CONTROL CALIDAD Y MONTAJES LTDA.																																																																		
<i>Customer</i>	HSE@CONTROLCALIDADYMONTAJES.COM																																																																		
Ciudad	BOGOTÁ D.C.																																																																		
<i>City</i>	COLOMBIA																																																																		
Radicación	11 055435																																																																		
<i>Order No.</i>																																																																			
Número de páginas del certificado	03																																																																		
<i>Number of pages of the certificate</i>																																																																			
Fecha de calibración	2011-08-05																																																																		
<i>Date of calibration</i>																																																																			
Fecha	Coordinador Grupo de T. Metrología	Revisado por	Calibrado por																																																																
<i>Date</i>	<i>Chair of Metrology Group</i>	<i>Reviewed by</i>	<i>Calibrated by</i>																																																																
2011-08-08	 Ing. Carlos Eduardo Porras Porras	 Ing. Victor Hugo Gil Gil	 Señor Jorge Enrique Gomez Herrera																																																																

Superintendencia de Industria y Comercio, Grupo de Metrología - Laboratorio de METROLOGÍA DIMENSIONAL
 Sede Principal: Cra 13 No. 27-00, Mezcalina, pisos 5, 7, 8 y 10, Conmutador (571) 5870000.
 Sede CAN: A.J.C. (Avenida Carrera) 90 No 26-55, Interior 2, Conmutador (571) 5880234
 Bogotá D.C. Colombia. e-mail: info@sic.gov.co; WEB: www.sic.gov.co.

ANEXO K – RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL



ANEXO L – RESULTADOS RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

						REPORTE DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL		FECHA: 17/02/2014 VERSIÓN: 1	
CR 66A N° 10A -70-Tel. 2600049-2623232-3102126965-3108681727 E-mail: tecniradiologos@tecnirad.com - tecnirad@etb.net.co				Empresa: QW INGENIERIA		Lugar: BOGOTÁ D.C		Informe No: 001	
Inspeccion Radiografica: A PROBETA CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO WPS 001 P 3G PROCESO GMAW				Hoja: 1 DE 1		Fecha: FEB 20 DE 2015		Norma: ASME IX	
Solicitado por:		Rayos X		Fuente: # 192 T.Focal: 3x3 mm		Material: ACERO AL CARBON		Tipo:	
Kv: N/A		mA: N/A		Actividad: 70 Ci		Espesor de pared: 9mm		Pelicula: Structurix D7	
Tamaño:		Pelicula: 16" x 70mm		Dist Fuente-Pelicula: 20"		Diametro: N/A		Indicador de calidad: ASTM B	
No de Placas: 1		No de Uniones:		Tiempo de Exposición: 2 Min.		No 1B Tipo Hilos:		Inspector Nivel II: MIGUEL GUZMAN	
Técnica de exposición: EPS / VPS		Observaciones: WPS 001		Interpretación:		Calificación: OK		Observaciones:	
KM: G		JUNTA: 1		ESTAMPE:		PLACA No: 0 - 1		Observaciones:	
GMAW: P 3G		ESTAMPE:		PLACA No:		Observaciones:		Observaciones:	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	
*****		*****		*****		*****		*****	