

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REPARACIONES SUCESIVAS DE JUNTAS SOLDADAS PARA TUBERÍA DE PROCESOS EN ACERO SA A-106**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MÁSTER (MSc) EN  
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS**

**PRESENTADO POR:**

**CHUQUIN VASCO JUAN PABLO**

**jupachuva@hotmail.com**

**FONSECA AMAYA HENRY MAURICIO**

**fonsecahenry\_a@yahoo.com**

**DIRECTOR: ING. PATRICIO ESTUPIÑÁN MSc.**

**patricio.estupinan@epn.edu.ec**

**Quito, septiembre 2011**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Chuquín Vasco Juan Pablo y Fonseca Amaya Henry Mauricio, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento son consultados de los diferentes textos académicos especializados.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Chuquín Vasco Juan Pablo

---

Fonseca Amaya Henry Mauricio

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Chuquín Vasco Juan Pablo y Fonseca Amaya Henry Mauricio, bajo mi supervisión.

---

**ING. Patricio Estupiñán MSc.**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Lauri y Nelson mis padres que con su continuo esfuerzo han hecho de mi una persona de bien.

A Santiago y Daniel mis hermanos por su apoyo incondicional en las buenas y malas.

A Patricio por su guía para el presente trabajo y a Henry que a mas de ser un compañero de aula y de trabajo ha sido un amigo.

***Juan P.***

Agradezco a mi esposa, mis padres y mis hermanos por su constante apoyo y preocupación a Juanpi por el acolite y paciencia en todos los ámbitos;

y,

a mi Director de Proyecto por sus orientaciones y enseñanzas que siempre las tendré presente.

***Henry***

## DEDICATORIA

*El presente trabajo lo dedico a mis amigos y  
a mi familia, de manera especial a mis padres,  
hermanos, tíos y primos por su apoyo  
incondicional durante todo este tiempo.*

**Juan P.**

*El presente trabajo dedico con mucho afecto y cariño a  
mi hijo precioso Henry Rafael,  
mi linda esposa Verónica,  
mis padres César y Yolanda,  
a mis hermanos Tony, Andy, Leo y Mercy  
y a mi sobrino querido Toñito.*

**Henry**

## CONTENIDO

CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 ACEROS PARA TUBERÍAS DE PROCESO.....	1
1.2 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL ACERO PARA TUBERÍAS DE PROCESO .....	2
1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	2
1.2.1.1 Tracción.....	3
1.2.1.2 Ductilidad y Elasticidad .....	5
1.2.1.3 Esfuerzo de Compresión .....	5
1.2.1.4 Esfuerzo de Corte .....	6
1.2.1.5 Fatiga.....	6
1.2.1.6 Tenacidad de la Fractura .....	7
1.2.1.7 Esfuerzo de Impacto.....	7
1.2.1.8 Dureza .....	8
1.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS .....	8
1.2.2.1 Densidad.....	9
1.2.2.2 Conductividad Eléctrica .....	9
1.2.2.3 Conductividad Térmica.....	9
1.2.2.4 Expansión Térmica.....	9
1.3 ACEROS PARA TUBERÍAS DE PROCESO.....	9
1.3.1 PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE PROCESO SA A-53.....	11
1.3.2 PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE PROCESO SA A-106.....	12
1.3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SA-106 Y SA-53 .....	13
1.3.4 VERIFICACIÓN DE PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE .....	14
1.4 PROCESOS DE SOLDADURA.....	15
1.4.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA.....	18
1.4.2 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .....	19
CAPÍTULO 2 .....	25
ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR ZAC, UNA VEZ ELABORADA LA JUNTA DE SOLDADURA.....	25
2.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR ZAC.....	25
2.1.1 ZAC EN SOLDADURAS CON UNA SOLA PASADA.....	25
2.1.1.1 Región de transición.....	26
2.1.1.2 Región de grano grueso.....	27
2.1.1.3 Región de grano refinado .....	27

2.1.2	ZAC EN SOLDADURAS CON MULTIPASADAS .....	28
2.2	PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA SOLDADURA .....	29
2.2.1	RESISTENCIA Y TENACIDAD .....	29
2.2.2	FRACTURA .....	29
2.3	ESTUDIO METALOGRAFICO DE LA JUNTA DE SOLDADURA .....	30
2.3.1	METAL BASE.....	33
2.3.2	TRANSICIÓN ENTRE METAL BASE Y ZONA DE GRANO FINO .....	33
2.3.3	ZONA DE GRANO FINO (NORMALIZADO) .....	34
2.3.4	TRANSICIÓN ZONA DE GRANO FINO Y ZAC .....	35
2.3.5	ZAC.....	35
2.3.6	TRANSICIÓN ZAC Y SOLDADURA.....	36
2.3.7	SOLDADURA.....	36
2.4	OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EN LA ZAC SIN REPARACIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	37
2.4.1	ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	38
2.4.2	ESTUDIO METALOGRAFICO .....	38
2.4.3	MEDICIÓN DE DUREZAS.....	40
2.4.4	MEDICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC .....	41
2.4.5	MEDICIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANO EN CADA ZONA.....	42
CAPÍTULO 3 .....		43
ESTUDIO DE LOS CAMBIOS METALÚRGICOS Y MECÁNICOS EN LA ZAC PARA “N” REPARACIONES REALIZADAS.....		43
3.1	OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EN LA ZAC.....	43
3.1.1	ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	44
3.1.1.1	Para primera reparación .....	44
3.1.1.2	Para segunda reparación.....	45
3.1.1.3	Para tercera reparación .....	45
3.1.2	ESTUDIO METALOGRAFICO .....	45
3.1.2.1	Para primera reparación .....	46
3.1.2.2	Para segunda reparación.....	47
3.1.2.3	Para tercera reparación .....	48
3.1.3	MEDICIÓN DE DUREZAS.....	49
3.1.3.1	Para primera reparación .....	49
3.1.3.2	Para segunda reparación.....	50
3.1.3.3	Para tercera reparación .....	51
3.1.4	MEDICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC .....	52
3.1.4.1	Para primera reparación .....	53

3.1.4.2	Para segunda reparación.....	54
3.1.4.3	Para tercera reparación .....	55
3.1.5	MEDICIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANO EN CADA ZONA.....	56
3.1.5.1	Para primera reparación .....	56
3.1.5.2	Para segunda reparación.....	56
3.1.5.3	Para tercera reparación .....	57
CAPÍTULO 4 .....		58
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		58
4.1	ANÁLISIS METALOGRÁFICO .....	58
4.1.1	ESTUDIO METAL BASE .....	59
4.1.2	TRANSICIÓN ENTRE METAL BASE Y GRANO FINO .....	60
4.1.3	ZONA DE GRANO FINO.....	61
4.1.4	TRANSICIÓN ZONA DE GRANO FINO Y ZAC .....	62
4.1.5	LA ZAC .....	63
4.1.6	TRANSICIÓN ENTRE LA ZAC Y SOLDADURA.....	64
4.1.7	SOLDADURA.....	65
4.2	ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO.....	66
4.2.1	EN EL METAL BASE .....	66
4.2.2	EN LA ZONA DE TRANSICIÓN METAL BASE – GRANO FINO.....	67
4.2.3	EN LA ZONA DE GRANO FINO.....	68
4.2.4	EN LA ZONA DE TRANSICIÓN GRANO FINO - ZAC .....	69
4.2.5	EN LA ZAC .....	70
4.3	ANÁLISIS DE LOS ANCHOS DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC .....	70
4.4	ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	73
4.5	ANÁLISIS DE DUREZAS.....	74
4.5.1	VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y DEBAJO DE LA JUNTA SIN REPARACIÓN .....	75
4.5.2	VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA PRIMERA REPARACIÓN.....	76
4.5.3	VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA SEGUNDA REPARACIÓN.....	77
4.5.4	VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA TERCERA REPARACIÓN .....	78
4.5.5	COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE DUREZA EN LA REGIÓN INFERIOR.....	80
4.5.6	COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE DUREZA EN LA REGIÓN SUPERIOR.....	82



4.6 ANÁLISIS DE REGIÓN SUPERIOR E INFERIOR DE LA JUNTA DE SOLDADURA .....	83
4.6.1 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA SIN REPARACIÓN .....	84
4.6.2 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA CON UNA REPARACIÓN.....	85
4.6.3 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA CON DOS REPARACIONES .....	86
4.6.4 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍA DE LA JUNTA CON TRES REPARACIONES .....	87
4.6.5 ANÁLISIS DE TAMAÑOS DE GRANO EN LA JUNTA DE SOLDADURA	89
CAPÍTULO 5 .....	92
CONCLUSIONES .....	92
ÍNDICE DE REFERENCIAS .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	99
ANEXOS .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de composición química, traducido al español <sup>(5)</sup> .....	11
Tabla 2. Requerimientos de tracción, traducido al español <sup>(6)</sup> .....	11
Tabla 3. Requerimientos de composición química, traducido al español <sup>(7)</sup> .....	12
Tabla 4. Requerimientos de tracción, traducido al español <sup>(8)</sup> .....	12
Tabla 5. Comparación de propiedades entre el acero SA-106 y SA-53 .....	13
Tabla 6. Comparación de propiedades Norma – MTR del acero SA-106-B.....	14
Tabla 7. Probetas para calificar procedimiento de soldadura, traducido al español <sup>(9)</sup> .....	22
Tabla 8. Resultados del ensayo de tracción en la junta sin reparación .....	38
Tabla 9. Valores de Dureza en la junta sin reparación.....	40
Tabla 10. Valores del ancho de banda de alta temperatura en la junta sin reparación.....	41
Tabla 11. Valores de los tamaños de grano en la junta sin reparación .....	42
Tabla 12. Resultados del ensayo de tracción en la junta con una reparación .....	44
Tabla 13. Resultados del ensayo de tracción en la junta con dos reparaciones .....	45
Tabla 14. Resultados del ensayo de tracción en la junta con tres reparaciones .....	45
Tabla 15. Valores de Dureza en la junta con una reparación.....	49
Tabla 16. Valores de Dureza en la junta con dos reparaciones .....	50
Tabla 17. Valores de Dureza en la junta con tres reparaciones.....	51
Tabla 18. Valores del ancho de la banda en la junta con una reparación.....	53
Tabla 19. Valores del ancho de la banda en la junta con dos reparaciones .....	54
Tabla 20. Valores del ancho de la banda en la junta con tres reparaciones .....	55
Tabla 21. Valores de los tamaños de grano en la junta con una reparación.....	56
Tabla 22. Valores de los tamaños de grano en la junta con dos reparaciones.....	56
Tabla 23. Valores de los tamaños de grano en la junta con tres reparaciones .....	57
Tabla 24. Valores comparativos de los tamaños de grano .....	66
Tabla 25. Promedios de los anchos de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC .....	71
Tabla 26. Cálculo del ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC.....	72
Tabla 27. Promedio de los valores del Ensayo de Tracción .....	73
Tabla 28. Valores de dureza arriba – abajo en la junta sin reparación.....	75
Tabla 29. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con una reparación .....	76
Tabla 30. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con dos reparaciones .....	77
Tabla 31. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con tres reparaciones .....	78
Tabla 32. Relación Dureza – Resistencia zona inferior.....	81
Tabla 33. Relación Dureza – Resistencia zona superior.....	83
Tabla 34. Comparativo Arriba – Abajo de los Tamaños de Grano.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esfuerzo – deformación <sup>(1)</sup> .....	4
Figura 2. Probeta estándar para ensayo de tracción, traducido al español <sup>(2)</sup> .....	4
Figura 3. Circuito básico de soldadura manual por arco .....	15
Figura 4. Proceso SMAW .....	16
Figura 5. Proceso GMAW .....	16
Figura 6. Proceso GTAW .....	17
Figura 7. Proceso FCAW.....	17
Figura 8. Proceso SAW .....	18
Figura 9. Procedimiento de soldadura WPS – Parte 1 .....	20
Figura 10. Procedimiento de soldadura WPS – Parte 2.....	21
Figura 11. Calificación del Procedimiento PQR – Parte 1.....	23
Figura 12. Calificación del Procedimiento PQR – Parte 2.....	24
Figura 13. Regiones constitutivas de la ZAC .....	26
Figura 14. Zonas en soldaduras multipasadas, traducido al español <sup>(10)</sup> .....	28
Figura 15. Zonas constitutivas de la junta de Soldadura (10x).....	30
Figura 16. Zonas de la junta de Soldadura a nivel micrográfico.....	31
Figura 17. Zonas constituyentes de la junta de soldadura (500x).....	32
Figura 18. Micrografía del Metal Base (500x) .....	33
Figura 19. Micrografía de la zona de transición entre Metal Base y Grano Fino (500x) .....	34
Figura 20. Micrografía de la zona de Grano Fino (500x).....	34
Figura 21. Micrografía de la zona de transición Grano Fino y ZAC (500x).....	35
Figura 22. Micrografía de la ZAC (500x).....	36
Figura 23. Micrografía de la zona de transición ZAC - Soldadura (500x).....	36
Figura 24. Micrografía de la soldadura (500x).....	37
Figura 25. Zonas constituyentes de la junta de soldadura sin reparación (500x).....	39
Figura 26. Perfil de durezas en la junta de soldadura sin reparación (10X).....	40
Figura 27. Anchos de la banda de alta temperatura en la junta sin reparación (10x) .....	41
Figura 28. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, primera reparación (500x).....	46
Figura 29. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, segunda reparación (500x) .....	47
Figura 30. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, tercera reparación (500x).....	48
Figura 31. Perfil de durezas en la junta de soldadura, primera reparación .....	50
Figura 32. Perfil de durezas en la junta de soldadura, segunda reparación .....	51
Figura 33. Perfil de durezas en la junta de soldadura, tercera reparación .....	52
Figura 34. Anchos de la banda en la junta con una reparación (10x).....	53
Figura 35. Anchos de la banda en la junta con dos reparaciones (10x).....	54
Figura 36. Anchos de la banda en la junta con tres reparaciones (10x).....	55
Figura 37. Comparativa de metalografías del Metal Base (500x) .....	59
Figura 38. Comparativa de metalografías Metal Base – Grano Fino (500x).....	60
Figura 39. Comparativa de metalografías Grano Fino (500x).....	61

Figura 40. Comparativa de metalografías Grano Fino - ZAC (500x).....	62
Figura 41. Comparativa de metalografías ZAC (500x).....	63
Figura 42. Comparativa de metalografías ZAC – Soldadura (500x) .....	64
Figura 43. Comparativa de metalografías Soldadura (500x) .....	65
Figura 44. Tamaño de grano en el Metal Base por reparaciones .....	66
Figura 45. Tamaño de grano zona Metal Base – Grano Fino por reparaciones .....	67
Figura 46. Tamaño de grano en la zona de Grano Fino por reparaciones.....	68
Figura 47. Tamaño de grano zona Grano Fino – ZAC por reparaciones .....	69
Figura 48. Tamaño de grano en la ZAC por reparaciones.....	70
Figura 49. Zonas de medición de Durezas.....	74
Figura 50. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta sin reparación.....	75
Figura 51. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con una reparación .....	76
Figura 52. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con dos reparaciones .....	77
Figura 53. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con tres reparaciones .....	78
Figura 54. Comparación de durezas en la zona inferior.....	80
Figura 55. Comparación de durezas en la zona superior.....	82
Figura 56. Micrografías arriba – abajo de la junta sin reparación (100x).....	84
Figura 57. Micrografías arriba – abajo de la junta con una reparación (100x).....	85
Figura 58. Micrografías arriba – abajo de la junta con dos reparaciones (100x) .....	86
Figura 59. Micrografías arriba – abajo de la junta con tres reparaciones (100x).....	87
Figura 60. Tamaño de Grano por reparaciones Arriba – Abajo en el Metal Base .....	89
Figura 61. Tamaño de Grano por reparaciones Arriba – Abajo en la zona de Recristalización .....	90
Figura 62. Tamaño de Grano por reparación Arriba – Abajo en la ZAC.....	90

## RESUMEN

Para la unión de tubería mediante soldadura en la industria petrolera, están presentes defectos o imperfecciones propias del proceso, sean estos de naturaleza humana, de la tecnología aplicada o bien del diseño del procedimiento de soldadura. Las discontinuidades que no son tolerados por la norma en aplicación, ASME IX, dependiendo de su naturaleza y dimensiones, implicarán futuras reparaciones que afectan al material base principalmente en la zona aledaña al cordón de soldadura, ZAC, y que por consiguiente cambiarán las propiedades íntegras del metal en la zona de estudio. Por tanto es necesario despejar la incertidumbre respecto al número de reparaciones que puedan ejecutarse en el mismo cordón de soldadura evitando al máximo el cambio de propiedades de la ZAC, puesto que esta es la zona de mayor afectación en cuanto se refiere a características y propiedades del metal base.

La industria petrolera ha manejado por años el número de reparaciones de juntas soldadas sin una norma representativa, ha sido más bien una recolección de múltiples experiencias. Por tanto es necesario la investigación y el estudio en este sentido.

El método a utilizar para la evaluación de las propiedades se basa en la medición de las características propias del metal base en la zona de afectación del calor, antes y después de la ejecución de la junta de soldadura y al realizarse un número no determinado de reparaciones en la misma. Por tanto los ensayos necesarios a realizarse serán los cualitativos para determinar las propiedades mecánicas (tracción y dureza) y metalúrgicas (macrografías y micrografías) con lo que es posible determinar los cambios estructurales que suceden luego de cada una de las reparaciones.

## **PRESENTACIÓN**

El presente estudio radica prácticamente en el análisis de propiedades mecánicas y estudios metalográficos ejecutados en varias probetas las mismas que fueron extraídas de tubería de proceso SA-106-Gr.B.

El primer capítulo explica el proceso selectivo del material base (estudio de propiedades físicas y mecánicas) así como también el diseño del procedimiento de soldadura respectivo.

En el segundo capítulo se analiza el cambio de propiedades y metalografías inherentes a la junta de soldadura sin reparación, esencialmente en la zona afectada por el calor

El tercer capítulo establece el mismo análisis del capítulo anterior pero esta vez en juntas con una, dos y tres reparaciones.

El cuarto capítulo constituye el análisis de resultados de manera comparativa a nivel de propiedades y metalografías entre las juntas sin reparación frente a juntas con una, dos y tres reparaciones.

Finalmente el capítulo cinco presenta las conclusiones de todo el estudio realizado.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 ACEROS PARA TUBERÍAS DE PROCESO**

El transporte de petróleo y sus derivados se realiza mediante tuberías de acero de diferentes diámetros y materiales acordes a los requerimientos de presión, corrosión, temperatura, tipo de fluido, etc.

La seguridad pública está envuelta en el diseño y fabricación de estructuras tales como edificios, tuberías, barcos, separadores de presión, y para minimizar los daños de fallas catastróficas o prematuras, se han establecido documentos que regulan el diseño y la construcción de estas estructuras. Estos documentos son llamados especificaciones, códigos, estándares y reglas.

Los códigos y especificaciones son generalmente escritos por grupos industriales, organizaciones profesionales o gubernamentales y cada código o especificación estipula aplicaciones específicas para el interés de la compañía. Muchos de los gobiernos locales usan sus propias regulaciones según el reglamento del estado.

Muchos códigos para tubería son escritos en base a requerimientos mínimos de seguridad y algunas aplicaciones pueden requerir por tanto diseños y prácticas de construcción más conservadoras que los estipulados en el código. Por ejemplo una aplicación en particular puede estar cubierta por un código y todavía puede requerir consideraciones permisibles adicionales para corrosión y erosión, consideraciones especiales para prevenir la distorsión y creep, o prácticas de inspección no descritas en el código para asegurar la calidad de todas las juntas.

El ASME Boiler Construction Code cubre las conexiones de tubería con recipientes y su seguimiento es mandatorio por muchos países, estados y gobiernos municipales

Las normas internacionales que gobiernan el diseño e instalación de tuberías en la industria petrolera son las siguientes:

- ASME B31.3 (Tubería de proceso).
- ASME B31.4 (Tuberías para transporte de petróleo).
- ASME B31.8 (Tuberías para transporte de gas).

Localmente los materiales más comunes en la fabricación de las tuberías son los siguientes:

- ASTM SA-106 (Gr. A, Gr. B).
- ASTM SA-53 (Gr. A, Gr. B).
- API 5L (Gr. A, Gr. B), API 5L X42, X52, X56, X60, X65, X70, X80, etc.
- Tubería de completación (tubing y casing).

Sin embargo, el de mayor utilización en la industria ecuatoriana es el ASTM SA-106 Gr. B para procesos.

## **1.2 ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y FÍSICAS DEL ACERO PARA TUBERÍAS DE PROCESO**

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales determinan su aplicabilidad en el diseño de un producto. En el diseño de soldaduras las propiedades de interés primario son aquellas que indican el comportamiento mecánico bajo ciertas condiciones de carga. Estas se determinan en laboratorios realizando ensayos con equipos y procedimientos estandarizados.

### **1.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS**

Las propiedades mecánicas de los metales son aquellas que indican el comportamiento elástico e inelástico cuando es aplicada una fuerza y son:



- Tracción.
- Ductilidad y Elasticidad.
- Esfuerzo de Compresión.
- Esfuerzo de Corte.
- Fatiga.
- Tenacidad de la Fractura.
- Esfuerzo de impacto.
- Dureza.

Todas los anteriores, excepto los esfuerzo por fatiga e impacto son determinados por cargas estáticas. La fatiga e impacto son determinadas por sollicitaciones de pulsación y cíclicas.

#### **1.2.1.1 Tracción**

En la ejecución de este ensayo se determinan varias propiedades mecánicas como el esfuerzo último de tensión, esfuerzo de fluencia y elongación. Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro (sección reducida). La curva típica que se obtienen al realizar este ensayo se muestra a continuación:



Figura 1. Diagrama esfuerzo – deformación<sup>(1)</sup>

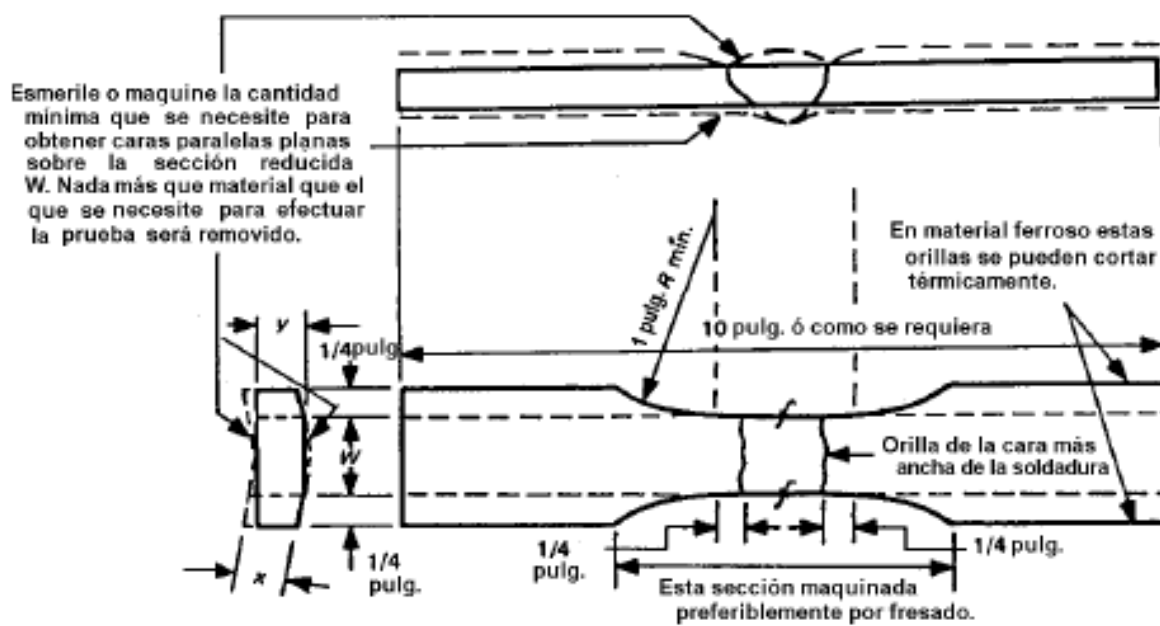


Figura 2. Probeta estándar para ensayo de tracción, traducido al español<sup>(2)</sup>

### 1.2.1.2 Ductilidad y Elasticidad

Cuando el material haya colapsado en el ensayo de tracción, se mide el área en la zona de la rotura y se expresa posteriormente en términos de porcentaje. El porcentaje de elongación y el de reducción de área son medidas de ductilidad.

En el diseño de estructuras, piezas mecánicas, etc., es esencial mantener las cargas de esfuerzo bajo el límite del rango elástico, si estas exceden, la deformación llega a ser permanente debido al flujo plástico.

El módulo de elasticidad de un material indica la rigidez del mismo y por ende es fácil la comparación con otros materiales. Esta propiedad se obtiene al dividir el esfuerzo sobre la deformación.

$$\frac{\text{Esfuerzo } \sigma}{\text{Deformación } \varepsilon} = \text{Modulo de Elasticidad } E \quad (1)$$

Esta relación se conoce con el nombre de Ley de Hooke.

El valor del módulo de elasticidad (Módulo de Young) para cualquier acero es de 30'000.000 psi.

Cuanto mayor es el módulo más rígido es el material, o sea, menor es la deformación elástica que se origina cuando se aplica una determinada tensión.

### 1.2.1.3 Esfuerzo de Compresión

Normalmente en diseño se asume que el esfuerzo de compresión de un acero es igual al esfuerzo de tracción, sin embargo, el esfuerzo último de compresión es un poco mayor que el esfuerzo último de tracción. Estas variaciones dependen parcialmente de las condiciones del acero.

El ensayo de compresión se ejecuta de una manera similar al ensayo de tracción pero aplicando una carga compresiva. Si la probeta colapsa sin deformación

entonces se habla de un esfuerzo de compresión en un material frágil, caso contrario, si existe deformación el material es dúctil.

Se justifica realizar un ensayo de compresión si las fuerzas que operan en servicio son de este tipo y cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones permanentes grandes, tal como ocurren en los procesos de conformación.

#### **1.2.1.4 Esfuerzo de Corte**

Cuando un miembro estructural está sometido a momentos flectores o torsores se generan esfuerzos de corte que hacen que el material falle. El último esfuerzo de corte ( $\tau$ ) se asume generalmente que corresponde de 0.55 a 0.60 del esfuerzo último de tracción para la mayoría de los aceros estructurales<sup>(3)</sup>.

#### **1.2.1.5 Fatiga**

Cuando la carga en un miembro varía constantemente, es repetida a una frecuencia altamente relativa o se desarrolla en un ciclo operativo, el esfuerzo de fatiga de un material debe ser sustituido por el esfuerzo último de tracción en las fórmulas de diseño. Dependiendo de la geometría del elemento la presencia de concentradores de esfuerzos en determinados lugares y la condición del material tienen influencias considerables en el esfuerzo real de fatiga. Estos concentradores de esfuerzos pueden ser entalladuras, ranuras, fisuras, marcas de herramientas, esquinas bordeadas hacia adentro o cualquier otro cambio de sección súbito en los cruces de sección del elemento.

Las fallas por fatiga ocurren usualmente en 3 etapas: primero, se inicia una grieta minúscula sobre la superficie, generalmente tiempo después de haberse aplicado la carga. A continuación la grieta se propaga gradualmente conforme la carga sigue en su alternancia. Finalmente, cuando la sección transversal restante del material

resulta demasiado pequeña para soportar la carga aplicada, ocurre la fractura súbita del material.

#### **1.2.1.6 Tenacidad de la Fractura**

La tenacidad de la fractura generalmente se refiere a la capacidad de un material para resistir la extensión de una fisura. Depende de varios factores los cuales incluyen el esfuerzo de fluencia, la ductilidad y el modulo de elasticidad. Esta es una propiedad cuantitativa del material.

#### **1.2.1.7 Esfuerzo de Impacto**

Es la capacidad de un material para absorber energía frente a la aplicación rápida de una carga en una probeta. Los métodos para medirla pueden ser: el ensayo Charpy V-notch, el Izod V-notch y el Drop Weight.

Un metal puede tener un buen esfuerzo de tracción y una excelente ductilidad bajo cargas estáticas sin embargo la fractura está sujeta a la alta velocidad del impacto. El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad de un material bajo ciertas condiciones. La probeta puede o no tener muesca; la que tiene muesca en V mide mejor la resistencia del material a la propagación de grietas. También se puede evaluar las siguientes propiedades:

- Temperatura de transición.
- Sensibilidad a las muescas.

### 1.2.1.8 Dureza

La dureza relacionada a los metales es la capacidad para resistir la penetración o indentación. Los métodos comunes para la medida de la dureza son el Brinell y Rockwell. Ambos métodos utilizan como penetrador una esfera dura o una punta de diamante respectivamente. En el ensayo Brinell se mide el diámetro de la penetración, mientras que el Rockwell se mide la profundidad de la penetración. Otro método de medición de dureza es el de Escleroscopio Shore que mide la altura de rebote de un martillo diamantado cuando golpea a cierta distancia. Materiales duros causan alto rebote.

Las durezas medidas tienen solamente un significado relativo (y no absoluto), y es necesario tener precaución al comparar durezas obtenidas por técnicas distintas. Tanto la resistencia a la tracción como la dureza son indicadores de la resistencia de un metal a la deformación plástica. Por consiguiente estas propiedades son, a grandes rasgos, proporcionales. Como regla general para la mayoría de los aceros el número HB (dureza Brinell) y la resistencia a la tracción están relacionados así:

$$\text{Resistencia a la tracción} = 500 \times HB \quad [\text{psi}] \quad (2)^{(4)}$$

## 1.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Entre las principales propiedades físicas se tiene:

- Densidad.
- Conductividad eléctrica.
- Conductividad térmica.
- Expansión térmica.

### **1.2.2.1 Densidad**

Corresponde al peso por unidad de volumen. La densidad de los metales es importante para el diseñador pero más importante para la soldadura es la densidad de los gases. Las soldaduras por arco protegido son más eficientes con gases de alta densidad.

### **1.2.2.2 Conductividad Eléctrica**

Es la eficiencia de un material para conducir corriente eléctrica. La plata y el cobre tienen relativamente alta conductividad eléctrica comparada con otros metales.

### **1.2.2.3 Conductividad Térmica**

La tasa con la cual fluye calor a través de un metal se llama conductividad térmica.

### **1.2.2.4 Expansión Térmica**

Muchos metales se expanden cuando se calientan. El cambio en longitud está expresado como el coeficiente de expansión lineal. Los coeficientes de expansión térmica no son constantes a lo largo del rango de temperatura.

## **1.3 ACEROS PARA TUBERÍAS DE PROCESO**

De acuerdo al ASME B31.3 pueden ser los siguientes aceros:

- SA-53 Gr.A, Gr.B.
- SA-106 Gr.A, Gr.B, Gr.C.
- SA-179.

- SA-192.
- A199 T11, T22, T21, T5 y T9.
- SA-209 T1b, T1, T1a.
- SA-213 T2, T12, T11, T17, T22, T21, T5c, T5, T5b, T9, T91, etc.
- SA-268 TP405, S40800, TP409, etc.
- A269 TP316, TP316L, TP304, TP304L
- SA-335 P1, P2, P12, P15, etc.

Todas estas tuberías deben ser sin costura (Seamless-Smls) por las siguientes razones:

- Por las altas presiones de operación de los fluidos.
- Para evitar puntos de corrosión que se generan en el cordón de soldadura de tuberías fabricadas con costura (Electrical Resistance Welded - E.R.W).
- Por la facilidad del montaje de la tubería y accesorios lo que no se lograría con tubería con costura ya que se tiene el riesgo de que las costuras coincidan y generen acumuladores de esfuerzos en la misma.

De todas las tuberías anteriormente citadas en la industria petrolera ecuatoriana las de mayor uso son SA-53 (todos sus grados) y el SA-106 (todos sus grados).



### 1.3.1 PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE PROCESO SA A-53

Tabla 1. Requerimientos de composición química, traducido al español <sup>(5)</sup>

Composición, max, %									
	Carbono	Manganeso	Fósforo	Azufre	Cobre	Níquel	Cromo	Molibdeno	Vanadio
<i>Tipo S (tubería sin costura)</i>									
<b>Grado A</b>	0,25	0,95	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08
<b>Grado B</b>	0,30	1,20	0,05	0,045	0,40	0,40	0,40	0,15	0,08

Tabla 2. Requerimientos de tracción, traducido al español <sup>(6)</sup>

Tipo S (tubería sin costura)		
	Grado A	Grado B
<b>Resistencia a la tracción,</b> <b>min, psi [MPa]</b>	48000 [330]	60000 [415]
<b>Esfuerzo de fluencia,</b> <b>min, psi [MPa]</b>	30000 [205]	35000 [240]

### 1.3.2 PROPIEDADES DE LA TUBERÍA DE PROCESO SA A-106

Tabla 3. Requerimientos de composición química, traducido al español <sup>(7)</sup>

	Composición, %		
	Grado A	Grado B	Grado C
<b>Carbono, max</b>	0,25	0,30	0,35
<b>Manganeso</b>	0,27 - 0,93	0,29 - 1,06	0,29 - 1,06
<b>Fósforo, max</b>	0,04	0,04	0,04
<b>Azufre, max</b>	0,035	0,035	0,035
<b>Silicio, min</b>	0,10	0,10	0,10
<b>Cromo, max</b>	0,40	0,40	0,40
<b>Cobre, max</b>	0,40	0,40	0,40
<b>Molibdeno, max</b>	0,15	0,15	0,15
<b>Níquel, max</b>	0,40	0,40	0,40
<b>Vanadio, max</b>	0,08	0,08	0,08

Tabla 4. Requerimientos de tracción, traducido al español <sup>(8)</sup>

	Grado A	Grado B	Grado B
<b>Resistencia a la tracción, min, psi [MPa]</b>	48000 [330]	60000 [415]	70000 [485]
<b>Esfuerzo de fluencia ,min, psi [MPa]</b>	30000 [205]	35000 [240]	40000 [275]

### 1.3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SA-106 Y SA-53

El manganeso es un elemento desoxidante que neutraliza los efectos nocivos del azufre, sin embargo, éste último al encontrarse en el perímetro de los granos de acero crea zonas de debilidad que serían los causantes de los primeros puntos donde atacaría el proceso de corrosión. El azufre es considerado una impureza ya que causa porosidad en la junta soldada y dificulta la ejecución de la soldadura, además produce fragilidad en caliente debido a que forma sulfuro de hierro FeS de bajo punto de fusión (980°C) el cual crea grietas en las operaciones de transformación del acero. Por lo tanto el porcentaje de azufre es determinante para la selección del material de la tubería.

Tabla 5. Comparación de propiedades entre el acero SA-106 y SA-53

<b>PROPIEDADES</b>	<b>COMPARACIÓN</b>			
	<b>SA-106</b>		<b>SA-53</b>	
	<b>Gr.A</b>	<b>Gr.B</b>	<b>Gr.A</b>	<b>Gr.B</b>
<b>% Carbón</b>	0.25	0.30	0.25	0.30
<b>% Manganeso</b>	0.27 - 0.93	0.29 - 1.06	0.95	1.20
<b>% Azufre</b>	0.035	0.035*	0.045	0.045
<b>% Cromo</b>	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>% Molibdeno</b>	0.15	0.15	0.15	0.15
<b>Resistencia a la tracción [psi]</b>	48000	60000	48000	60000
<b>Esfuerzo de fluencia [psi]</b>	30000	35000	30000	35000

\*(Porcentaje máximo)

Entonces al tener el acero SA-106-Gr.B menor porcentaje de cantidad de azufre que el SA-53-Gr.B, es el indicado para la mayoría de las aplicaciones referentes a las tuberías de proceso en la industria petrolera.

Por lo tanto, todos los análisis a realizarse en la presente tesis están enfocados como material base el acero SA-106-Gr.B.

### 1.3.4 VERIFICACIÓN DE PROPIEDADES DEL MATERIAL BASE

En el Anexo 1 se presenta el certificado de pruebas de fabrica MTR (Mill Test Certificate) de la tubería que se utiliza en el presente estudio.

La siguiente tabla resume comparativamente las propiedades del acero SA-106-B entre lo indicado en la norma y los datos de la MTR del fabricante.

Tabla 6. Comparación de propiedades Norma – MTR del acero SA-106-B

<b>ELEMENTOS &amp; PROPIEDADES</b>	<b>COMPARACIÓN</b>	
	<b>SA-106-B (Según Norma)</b>	<b>SA-106-B (Valores MTR)</b>
<b>% Carbón</b>	0.30 max.	0.16
<b>% Manganeso</b>	0.29 - 1.06	0.79
<b>% Fosforo</b>	0.035 max.	0.018
<b>% Azufre</b>	0.035 max.	0.008
<b>% Silicio</b>	0.10 min.	0.27
<b>% Cromo</b>	0.40 max.	0.090
<b>% Cobre</b>	0.40 max.	0.27
<b>% Molibdeno</b>	0.15 max.	0.030
<b>% Níquel</b>	0.40 max.	0.090
<b>% Vanadio</b>	0.08 max.	0.006
<b>Resistencia a la tracción [psi]</b>	60000 min.	72366
<b>Esfuerzo de fluencia [psi]</b>	35000 min.	44750

Se observa que los valores del certificado de la tubería cumplen con lo estipulado en la norma ya que la misma determina cuales deberían ser los valores máximos y mínimos de los elementos constituyentes del acero.

## 1.4 PROCESOS DE SOLDADURA

La soldadura por arco es uno de los varios procesos por fusión para unir metales. Su principio radica en la unión de dos partes metálicas aplicando calor, consiguiendo así su unión directa o más comúnmente con la intermediación de un metal de aporte.

El enlace metalúrgico se crea al enfriarse y solidificarse. En el arco de soldadura el calor necesario para derretir el metal es producido por el arco eléctrico y se forma entre la pieza de trabajo y el electrodo que se mueve manual o automáticamente a lo largo de la junta o viceversa según sea el proceso de soldadura.

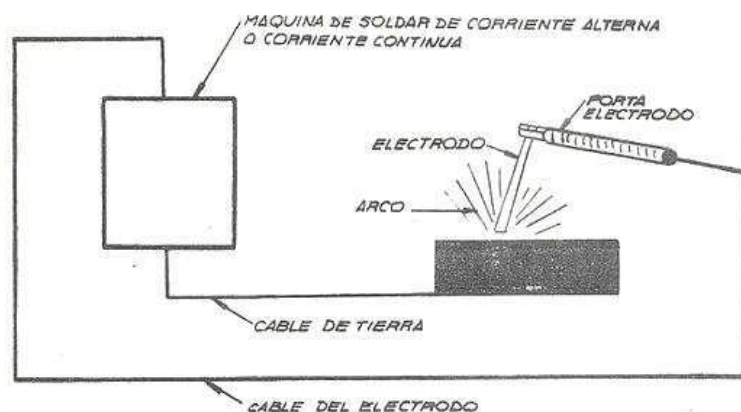


Figura 3. Circuito básico de soldadura manual por arco

El proceso de soldadura por arco protegido es el de mayor aplicación en las soldaduras. Es caracterizado por su versatilidad, flexibilidad y una relativa simplicidad en el equipo. Tiene una amplia aplicación en la industria petrolera.

Entre los procesos de soldadura más importantes están:

- **SMAW (Shielded Metal Arc Welding).**- Proceso que consiste en la unión entre dos metales mediante material de aporte (electrodo revestido).

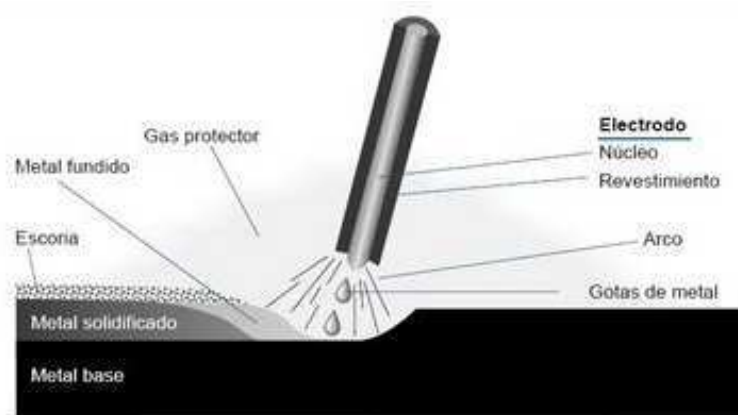


Figura 4. Proceso SMAW

- **GMAW (Gas Metal Arc Welding).**- Es un proceso semiautomático en donde el electrodo es continuo y la protección del arco se la realiza mediante gas el cual puede ser Argón, CO<sub>2</sub> o una mezcla de ellos.

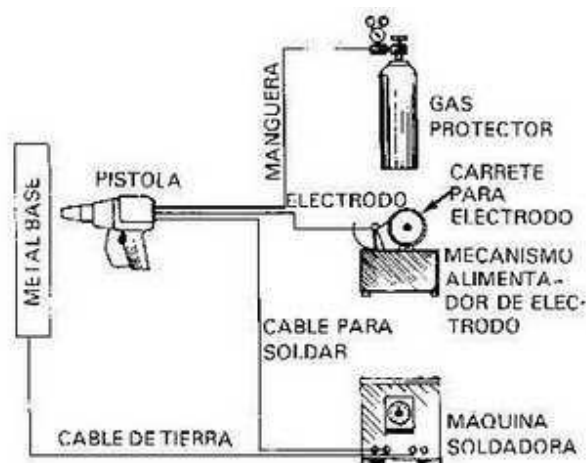


Figura 5. Proceso GMAW

- **GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).**- En este proceso la protección se la realiza mediante un gas inerte, el electrodo es de tungsteno y también se utiliza material de aporte para relleno de la soldadura.

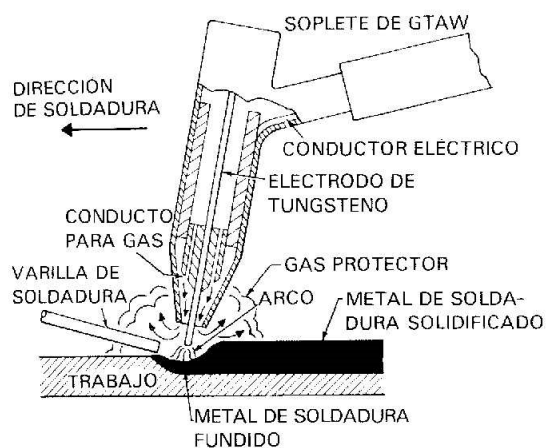


Figura 6. Proceso GTAW

- **FCAW (Flux Cored Arc Welding).**- Proceso en el cual el electrodo es continuo y la protección gaseosa puede ser interna o externamente al electrodo.

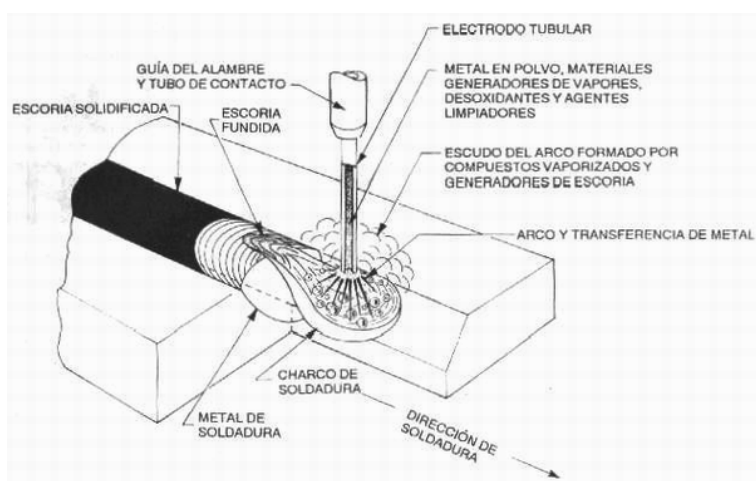


Figura 7. Proceso FCAW

- **SAW (Submerged Arc Welding).**- Proceso de electrodo continuo en donde la protección del arco se realiza mediante un fundente que viene en forma granulada.

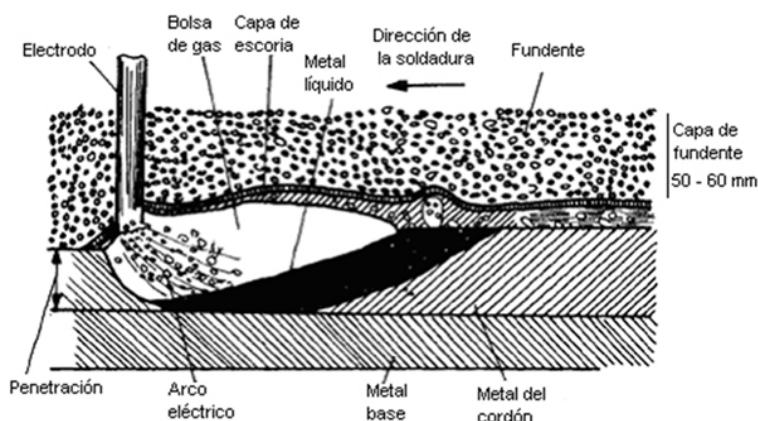


Figura 8. Proceso SAW

#### 1.4.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA

Para la selección del proceso de soldadura se debe considerar la habilidad del soldador entonces así conseguir la calidad requerida a un bajo costo, también deben ser tomados en cuenta la disponibilidad de los consumibles, de los equipos, condiciones del medio de trabajo, el diseño de la junta, el volumen de producción, condiciones del metal base, etc.

Los procesos GTAW y SMAW son los que mayor flexibilidad dan a la fabricación por soldadura debido a su bajo costo, a la facilidad de adaptación del soldador y a la fácil disponibilidad de los consumibles. La susceptibilidad al ambiente de trabajo es baja, no así como sucede en otros procesos como el GMAW en el cual la calidad de soldadura se ve afectada por el viento. El proceso SAW es un proceso exclusivamente de taller y el FCAW es un proceso que todavía en la industria ecuatoriana no es muy utilizado.



El proceso GTAW se utiliza básicamente para los pases de raíz y caliente con el fin de garantizar la soldadura, reduciendo y/o evitando defectos comunes como son: porosidad, falta de fusión, falta de penetración, concavidad interna, mordeduras, escoria, que son muy comunes en otros procesos. Para relleno y capa final generalmente se utiliza proceso SMAW.

#### **1.4.2 DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Es necesario diseñar un procedimiento de soldadura que contengan ambos procesos previamente seleccionados (GTAW - SMAW). El diseño y construcción de tuberías de procesos están cubiertos por la norma ASME B31.3 la misma que establece utilizar el ASME IX para todo lo relacionado con soldadura.

Por tanto se propone el siguiente procedimiento de soldadura (WPS) que será calificado acorde a los requerimientos de ensayos destructivos (tracción y doblado) indicados y mandatorios por el ASME IX.

<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA QW - 482 (WPS)</b>			
<b>ASME Sección IX, Código para Calderos y Recipientes de Presión</b>			
Cliente :	H.F / J.CH	Escrito por :	Fonseca / Chuquin
Especificación del Procedimiento de Soldadura N° :	<b>WPS-Tesis-01</b>	PQR N° que lo Soporta :	<b>PQR-WPS-Tesis-01</b>
Revisión N° :	<b>0</b>	Fecha :	<b>25-nov-10</b> Página : <b>1 de 2</b>
Proceso(s) de Soldadura :	<b>GTAW - SMAW</b>	Tipo(s) :	<b>MANUAL</b>
(Automático, Manual, Mecanizado, o Semi-Automático)			
<b>DISEÑO DE JUNTA A TOPE, RANURA EN V 60° (QW - 402)</b>			
<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>			
P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2		
Especificación Tipo y Grado :	SA -A106		
Rango de espesores calificado :	5 - 22 mm		
Rango de diámetros calificado :	73 mm - ilimitado		
Rango de espesores calificados en filetes	Todo tamaño de Filete en cualquier espesor de Material Base		
Rango de diámetros calificado en Filetes :	Todo Diámetro		
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>		<b>NOTAS</b>	
Especificación N°. (SFA)	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)		EL O LOS SOLDADORES QUE EJECUTEN ESTE PROCEDIMIENTO MEDIANTE EL PQR RESPECTIVO, QUEDAN CALIFICADOS
AWS N°. (Clasificación)	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)		
F N°	6 (GTAW), 4 (SMAW)		
A N°	1		
Diámetro del Material de Aporte	2.4 mm / 3.2 mm		
Pasadas:	6-7		
Otro	ER-70S-6 (Pase de Raiz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)		

Figura 9. Procedimiento de soldadura WPS – Parte 1

<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>							
<b>QW - 482 (WPS)</b>							
<b>ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión</b>							
WPS N°.		WPS-Tesis-01		Revisión :		0	Página :
							2 de 2
<b>POSICIONES (QW- 405)</b>				<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>			
Posición(es) de la Junta :		6G		Rango de Temperatura :		N/A	
Sentido de Avance :		Subiendo		Periodo de Tiempo :		N/A	
Posición(es) del Filete :		N/A					
<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>				<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>			
Temperatura de Pre calentamiento Min. :		N/A		Protección del Arco :		GTAW, Ar 100%, 10 lt/min	
Temperatura entre pasadas Max. :		180 ° C		Gas de Arrastre :		N/A	
Temperatura mínima a mantener durante la soldadura :		N/A		Gas para Purga :		N/A	
Otro :				Otro :		N/A	
<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>							
Intensidad de Corriente AC o DC :		DC		Polaridad			
Amperios (Rango) :		80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)		CCEN (directa)		Pase de Raíz y de Refuerzo	
Voltios (Rango) :		10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)		CCEP (invertida)		Rellenos y Presentación	
Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :				EWTh-2, 2.4 mm			
<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>							
Cordón angosto o cordón tejido :				Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno y Presentación (Cordón Tejido, SMAW),			
Tamaño de la Boquilla (GTAW) :				6 - 8			
Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :				Cepillado y Esmerilado			
Oscilación :				16 mm Max			
Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :				Varias Pasadas			
Otro :				N/A			
<b>QW- 482 (REGIMEN)</b>							
Pasada N°	Sentido de Avance	Mat. Aporte		Corriente		Rango Volt	Proceso
		Clasif.	Dia. mm	Polaridad	Rango Amp.		
1	subiendo	ER-70S-6	2,4	CCEN	80-130	10-13	GTAW
2	subiendo	ER-70S-6	2,4	CCEN	100-150	12-15	GTAW
3	subiendo	E7018	3.9	CCEP	80-100	24-26	SMAW
n	subiendo	E7018	3.9	CCEP	110-140	24-26	SMAW
NOMBRE:		ESCRITO POR :		VERIFICADO POR :		APROBADO POR :	
		ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN		ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN		ING. PATRICIO ESTUPIÑÁN	
FIRMA:							
FECHA:		23-nov-10		25/11/2010		25/11/2010	

Figura 10. Procedimiento de soldadura WPS – Parte 2

Para calificar el procedimiento se elabora la junta de soldadura acorde al WPS presentado. El número de probetas se extraen según QW-451.1 (ASME IX):

- 2 probetas para el ensayo de tensión.
- 2 probetas para el doblado de cara.

- 2 probetas para el doblado de raíz.

Tabla 7. Probetas para calificar procedimiento de soldadura, traducido al español <sup>(9)</sup>

Espesor $T$ de Muestra de Prueba Soldadura, pulg.	Orden de Espesor $T$ de Metal Base Calificado, pulg. [Nota (1)]		Espesor $t$ de Metal de Soldadura Depositado Calificado, pulg. [Nota (1)]	Tipo y Número de Pruebas Requeridas Pruebas de Tensión y de Doblez Guiado [Nota (4)]			
	Mín.	Máx.	Máx.	Tensión QW-150	Doblez Lateral QW-160	Doblez de Cara QW-160	Doblez de Raíz QW-160
Menos de $\frac{1}{16}$	$T$	$2T$	$2t$	2	...	2	2
$\frac{1}{16}$ a $\frac{3}{16}$ , incl.	$\frac{1}{16}$	$2T$	$2t$	2	Nota (3)	2	2
Arriba de $\frac{3}{16}$ , pero menos de $\frac{3}{4}$	$\frac{3}{16}$	$2T$	$2t$	2	Nota(3)	2	2
$\frac{3}{4}$ hasta menos de $1 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$	$2T$	$2t$ cuando $t < \frac{3}{4}$	2 (5)	4	...	...
$\frac{3}{4}$ hasta menos de $1 \frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$	$2T$	$2T$ cuando $t \geq \frac{3}{4}$	2 (5)	4	...	...
$1 \frac{1}{2}$ y más	$\frac{3}{16}$	8 (2)	$2t$ cuando $t < \frac{3}{4}$	2 (5)	4	...	...
$1 \frac{1}{2}$ y más	$\frac{3}{16}$	8 (2)	8 (2) cuando $t \geq \frac{3}{4}$	2 (5)	4	...	...

NOTAS:

(1) Vea QW-403 (.2, .3, .6, .9, .10), QW-404.32, y QW-407.4 para límites adicionales en orden de espesores calificados. Vea también QW-202(.2, .3, .4) para excepciones permisibles.

(2) Para los procesos de soldar de QW-403.7 solamente; de otra manera según Nota (1) ó  $2T$ , ó  $2t$ , cualquiera que sea aplicable.

(3) Cuatro pruebas de dobléz lateral pueden servir en lugar de las pruebas requeridas de dobléz de cara y de dobléz de raíz, cuando el espesor  $T$  es de  $\frac{3}{16}$  pulg. y de más.

(4) Para combinación de procedimientos de soldar, vea QW-200.4.

(5) Vea QW-151 (.1, .2, .3) para detalles sobre especímenes múltiples cuando los espesores de muestras son de arriba de 1 pulg.

Los resultados se registran en el PQR a continuación. Los resultados de los ensayos debidamente firmados por los responsables para su aprobación se encuentran en los anexos respectivos al igual que los WPS y los PQR.

<b>REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)</b>					
<b>ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión</b>					
<b>Están Registrados los Valores que fueron Usados durante la Soldadura del Cupón de Prueba</b>					
Cliente	H.F / J.CH	Página:	1 de 2		
Registro de la Calificación del Procedimiento N°:	WPS-Tesis-01	Fecha:	26-nov-10		
PQR Nro:	PQR-WPS-Tesis-01	Tipo: (s)	MANUAL		
Proceso(s) de Soldadura:	GTAW - SMAW	(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto).			
Nombre del Soldador:	César Flores	Clock N°	171188756-0	Stamp N°	W-01
<b>DISEÑO DE JUNTA A TOPE, SOLDADURA DE RANURA EN V 60° (QW - 402)</b>					
<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>			<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW - 408)</b>		
P N° Grupo N° a P N° Grupo N°:	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2		Protección del Arco:	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min	
Rango de Espesores Calificado:	5 - 22 mm		Gas de Arrastre:	N/A	
Rango de Diámetros Calificado:	73 mm - ilimitado		Gas para Purga:	N/A	
			Otro:	N/A	
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>			<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)</b>		
Especificación N° (SFA):	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)		Intensidad de Corriente AC o DC:	DC	
AWS N° (Clasificación):	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)		Amperios (Rango):	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)	
F N°:	6 (GTAW), 4 (SMAW)		Volts (Rango):	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)	
A N°:	1		Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno:	SFA 5.12, Ewth 2, 2.4 mm	
Diámetro del Material de Aporte:	2.4 mm / 3.2 mm		Modo de Transferencia del Metal en el Arco para GMAW:	N/A (Goteo por rocío, Goteo por Cortocircuito, etc)	
<b>Pasadas:</b>	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)		Rango para la velocidad de alimentación del electrodo:	N/A	
Otro:			<b>Polaridad</b>	Pase de Raíz y de Refuerzo Relleno y Presentación	
<b>POSICIONES (QW - 405)</b>			<b>TÉCNICA (QW - 410)</b>		
Posición(es) de la Junta:	6G		Cordón angosto o cordón tejido:	Pasas de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno (Cordón Tejido, SMAW), Presentación (Cordón Angosto, SMAW)	
Sentido de Avance:	Hacia Abajo	N/A	Tamaño de la Boquilla (GTAW):	6 - 8	
	Hacia Arriba	ambos procesos	Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc):	Cepillado y Esmerilado	
Posición(es) del Filete:	N/A		Método de Limpieza antes de hacer el depósito por el otro lado de la junta:	N/A	
<b>PRECALENTAMIENTO (QW - 406)</b>			Oscilación:	16 mm Max	
Temperatura de Pre calentamiento Min.:	N/A		Distancia desde el dispositivo de contacto eléctrico con el electrodo hasta el sitio del depósito de soldadura (SAW):	N/A	
Temperatura entre pasadas Max.:	180 °C		Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta):	Varias Pasadas	
Temperatura mínima a mantener durante la:	N/A		Usa un solo electrodo o varios a la vez:	N/A	
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW - 407)</b>			Velocidad de Avance de la Soldadura (Rango):	N/A	
Rango de Temperatura:	N/A		Martillado inmediato al terminar la soldadura:	N/A	
Periodo de Tiempo:	N/A		Otro:	N/A	

Figura 11. Calificación del Procedimiento PQR – Parte 1

<b>REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)</b>							
<b>ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes a Presión</b>							
PQR N°	<b>PQR-WPS-Tesis-01</b>					Página	2 de 2
<b>ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW - 150)</b>							
Probeta N°	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (lbf)	Resistencia a la Rotura (psi)	Localización de la Falla	Calificación
T1	20,8	10,91	226,93	27.000	76.700	FMB	APROBADO
T2	20,2	10,27	207,45	24.800	77.300	FMB	APROBADO
<b>ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO (QW - 160)</b>							
Probeta N°	Resultado						
C1	APROBADO						
C2	APROBADO						
R1	APROBADO						
R2	APROBADO						
<b>ENSAYOS POR IMPACTO (QW - 170)</b>							
Probeta N°	Localización de la Falla	Tam. Probeta	Temp. Ensayo	Valores del Impacto		Drop Weight Break (SI/NO)	
				Libras Fuerza - pie	Corte		
Comentarios:							
<b>ENSAYOS PARA SOLDADURA DE FILETE (QW-180)</b>							
Resultado de las Macrográficas	Tamaño del Filete	Concavidad o Convexidad	Penetración en la raíz del Filete				
	mm	mm					
<b>OTRO TIPO DE ENSAYOS</b>							
Tipo de Ensayo :				N/A			
Composición Química del Depósito de Soldadura :				N/A			
Otros :				N/A			
Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4) :				APROBADO			
Resultado de la Radiografía (QW-302.2) :				no se realizaron			
Ensayos Destructivos Ejecutados por : <b>Dr. Víctor Guerrero</b>				Orden de Trabajo : N/A		Laboratorio : <b>Esc. Politécnica Nacional</b>	
CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REGISTRADOS SON CORRECTOS Y QUE LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y EXAMINADAS DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCIÓN IX.							
Nombre:		<b>CALIFICADO POR:</b>		<b>REVISADO POR :</b>		<b>APROBADO POR:</b>	
		ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN		ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN		ING. PATRICIO ESTUPIÑÁN	
Firma:							
Fecha:		26/11/2010		26/11/2010		26/11/2010	

Figura 12. Calificación del Procedimiento PQR – Parte 2

Con el PQR mostrado anteriormente queda validado y aprobado el WPS propuesto.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR ZAC, UNA VEZ ELABORADA LA JUNTA DE SOLDADURA**

#### **2.1 DEFINICIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR ZAC**

La zona afectada por el calor, ZAC, es la franja en el metal base, aledaña a la junta de soldadura donde ocurre transformaciones a nivel metalográfico y de propiedades mecánicas producto directo de los cambios de temperatura originados por el aporte térmico – energético del cordón de soldadura.

##### **2.1.1 ZAC EN SOLDADURAS CON UNA SOLA PASADA**

Corresponde a la zona limitada entre el metal base y la soldadura. En esta zona las propiedades mecánicas y la microestructura se encuentran alteradas por el calor generado debido al gradiente de temperatura. Por lo general la microestructura en esta región es de tipo ferrítica – perlítica producto de la transformación de la austenita, caracterizada por su fragilidad, es por eso, que ésta es la zona más débil de la soldadura. La mayoría de las fallas de soldadura se originan en la ZAC.

El ancho de la ZAC puede variar con el proceso de soldadura y su técnica. Se distingue prácticamente 3 regiones:

- Región de transición.
- Región de grano grueso.
- Región de grano refinado.

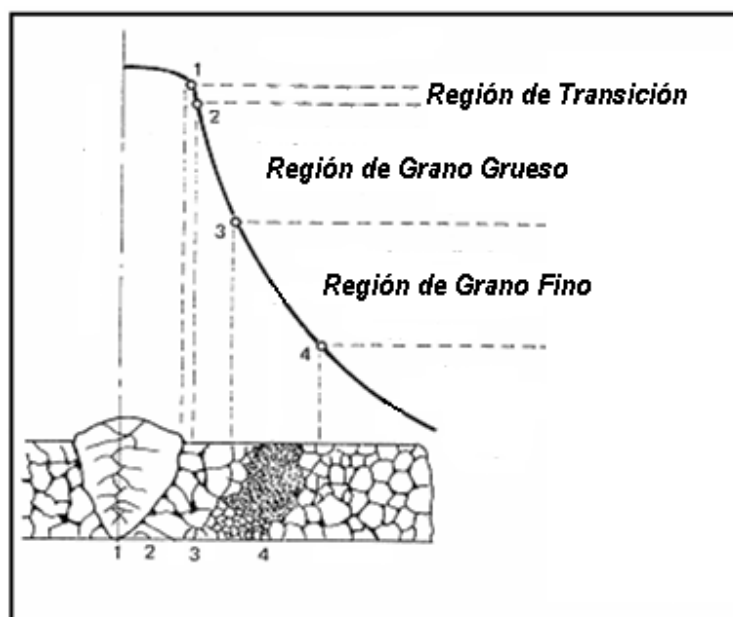


Figura 13. Regiones constitutivas de la ZAC

#### 2.1.1.1 Región de transición

Corresponde al sólido – líquido entre el aporte de soldadura y el metal base. Este límite se produce por el calentamiento en la zona crítica que transformó la perlita en austenita. El metal base junto a la línea de fusión se transforma en ferrita  $\delta$  y la fase líquida se traslada al límite de grano porque la baja solubilidad del carbono y el manganeso en la ferrita (ambos formadores de austenita) tienden a segregarse y fusionarse en los límites de grano. En el retorno de la transformación de la austenita durante el ciclo de enfriamiento, el alto grado de segregación junto a los límites incrementa el arrastre hacia el límite de grano y entonces reduce el grano grueso, modificando así la composición de la austenita, generando así más estructura de ferrita equiaxial junto a la línea de fusión.



### **2.1.1.2 Región de grano grueso**

Corresponde a la zona inmediatamente adyacente al cordón de soldadura. En esta zona el metal base se ha calentado a una temperatura superior a la crítica, por consiguiente, da como resultado el crecimiento de grano o engrosamiento de la estructura, que está en función de la velocidad de enfriamiento.

La microestructura de esta zona está dominada por dos aspectos: el tamaño de grano austenítico y los productos de la transformación de la austenita dentro del grano. El tamaño de grano austenítico está controlado por el ciclo térmico de la soldadura. Para mayores velocidades de enfriamiento y/o contenido de aleación, la ferrita proeutectoide desaparece y los granos de austenita se transforman a estructuras aciculares, es por esto que en esta zona se tiene ferrita acicular y ferrita equiaxial.

### **2.1.1.3 Región de grano refinado**

En esta región el metal ha sido calentado hasta justo por encima de la temperatura crítica en donde el refinamiento de grano se ha completado, por ende, es más fino que la zona anterior. La recristalización se ha completado y se muestra ferrita y perlita finas. En esta zona se produce el tratamiento térmico de normalizado.

La temperatura de recristalización determina la velocidad de nucleación y crecimiento de los granos.

El ciclo térmico de la soldadura es tal que en la mayoría de los metales produce crecimiento de grano en la ZAC, influyendo también en el tamaño de grano del metal de soldadura. En este sentido el tamaño de la zona recristalizada dependerá del tamaño del cordón de soldadura que estará relacionado con los parámetros del proceso y en especial de los números de pases del cordón de soldadura.

En muchos de los aceros la presencia de impurezas como carburos, nitruros, silicatos tienden a impedir el crecimiento de grano, por lo tanto, este fenómeno de

alguna manera podría controlarse, tanto limitando la duración del ciclo térmico de la soldadura como con la inclusión de impurezas.

### 2.1.2 ZAC EN SOLDADURAS CON MULTIPASADAS

En las soldaduras multipasadas existe un mayor refinamiento en la microestructura, por consiguiente, aumenta la tenacidad y se reducen las tensiones residuales. Las razones fundamentales para esto son:

- Cada ciclo térmico de soldadura subsecuente efectivamente refina el grano o normaliza parte del metal de soldadura previo.
- La energía total incorporada por cordón de soldadura es menor, por lo que se reduce el crecimiento de grano.
- Los cordones de soldadura previos pueden proveer un cierto precalentamiento, por lo tanto extienden el tiempo de enfriamiento.
- Los cordones de soldadura subsecuentes tienden a bajar las tensiones residuales producidas por los cordones previos.

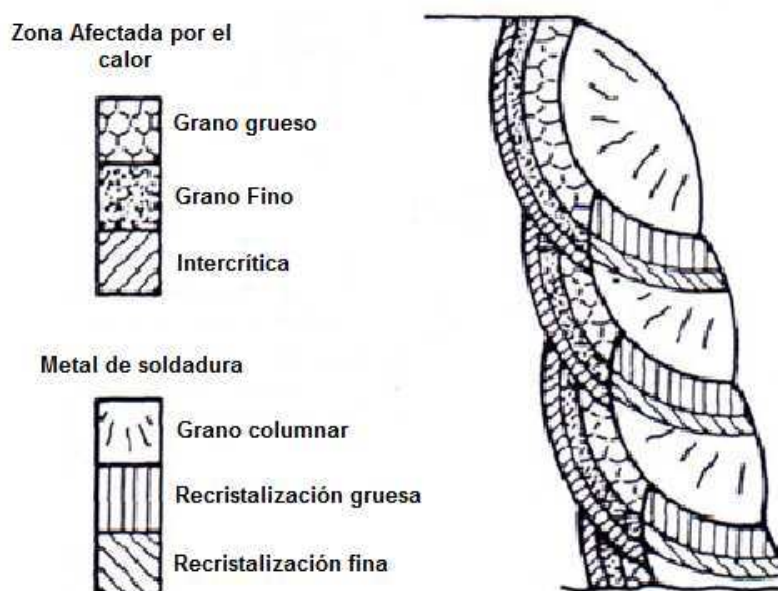


Figura 14. Zonas en soldaduras multipasadas, traducido al español <sup>(10)</sup>

## **2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA SOLDADURA**

### **2.2.1 RESISTENCIA Y TENACIDAD**

En soldadura, en general la resistencia y la dureza de los depósitos es alta, esto se debe a la abundancia de impurezas y elementos de aleación, los que en combinación con las rápidas velocidades de enfriamiento promueven menores temperaturas de transformación. Un factor adicional que probablemente contribuye a la dureza del metal de soldadura es la deformación plástica debido a las tensiones residuales, la que aumenta la densidad de dislocaciones en todos los componentes microestructurales.

Las propiedades al impacto y a la tenacidad de los depósitos soldados no son generalmente altas y se debe fundamentalmente a la heterogeneidad de la microestructura que resulta de su estructura de solidificación columnar relativamente gruesa y de la segregación.

### **2.2.2 FRACTURA**

El proceso de fractura consiste en dos etapas: la iniciación de una fisura y la propagación de la misma.

Los materiales metálicos pueden fallar bajo dos amplias categorías: fractura dúctil y fractura frágil.

La fractura frágil se caracteriza por una alta velocidad de propagación de la fisura y tiene lugar por separación de los planos cristalinos en dirección normal a la tensión actuante. La deformación plástica es mínima. Este tipo de fracturas se observa en materiales BCC y HCP. Este modo de fractura debe evitarse a cualquier costo ya que se produce sin aviso y tiene consecuencias desastrosas e inmediatas.

La fractura dúctil puede tomar diversas formas. Monocristales de metales HCP pueden deslizar sobre sucesivos planos basales hasta que finalmente el metal se

separa por corte. La deformación plástica puede producir una zona de estricción, la fractura comienza en el centro y se extiende por corte. Esta fractura está caracterizada por depresiones en forma de copas que pueden ser equiaxiales, parabólicas o elípticas, según sea el estado de tensiones. El diseño de materiales debe guiarse siempre hacia este tipo de fractura.

### 2.3 ESTUDIO METALOGRAFÍCO DE LA JUNTA DE SOLDADURA

La junta de soldadura se compone de las siguientes partes:

- Metal base.
- Zona afectada por el calor.
- Soldadura.

Estas zonas son fáciles de apreciar realizando una macrografía a 100x de la junta.

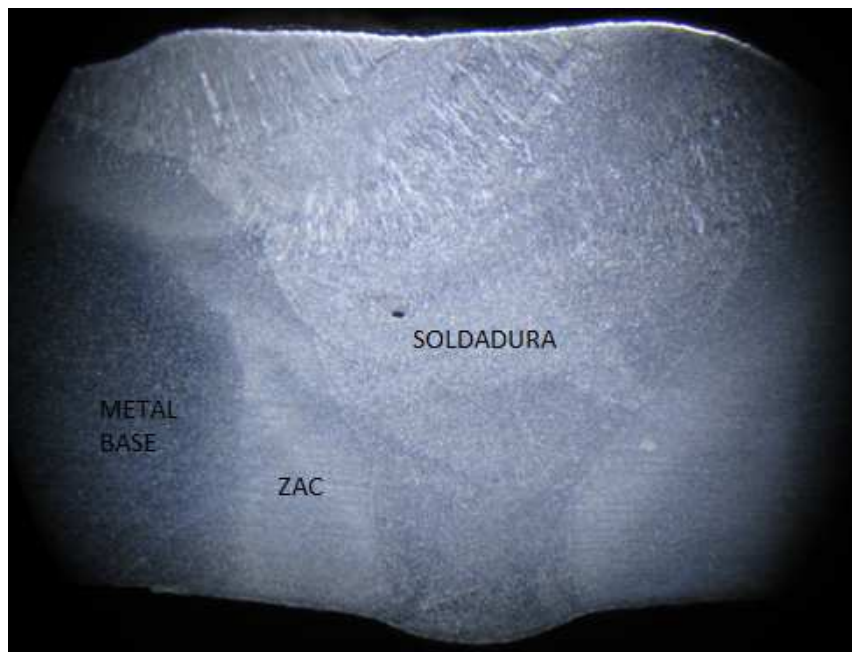


Figura 15. Zonas constitutivas de la junta de Soldadura (10x)

Las nubosidades o distorsiones en la ZAC son producto de los cambios de temperatura en la ejecución de la junta.

Sin embargo a nivel de micrografías es posible distinguir brevemente otras zonas como:

- Transición entre metal base y zona de grano fino.
- Zona de grano fino.
- Transición entre grano fino y ZAC.
- Transición entre ZAC y soldadura.

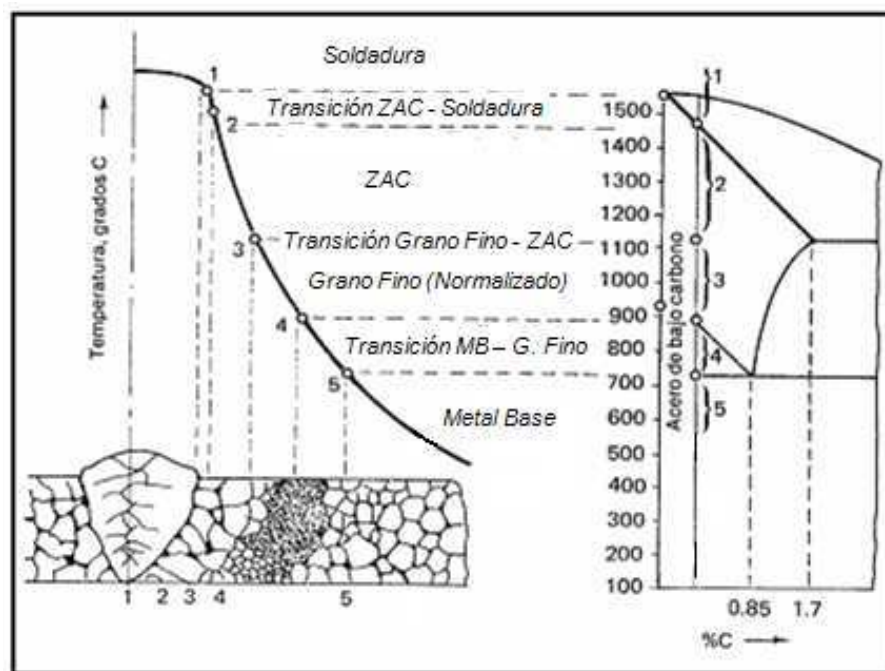


Figura 16. Zonas de la junta de Soldadura a nivel micrográfico

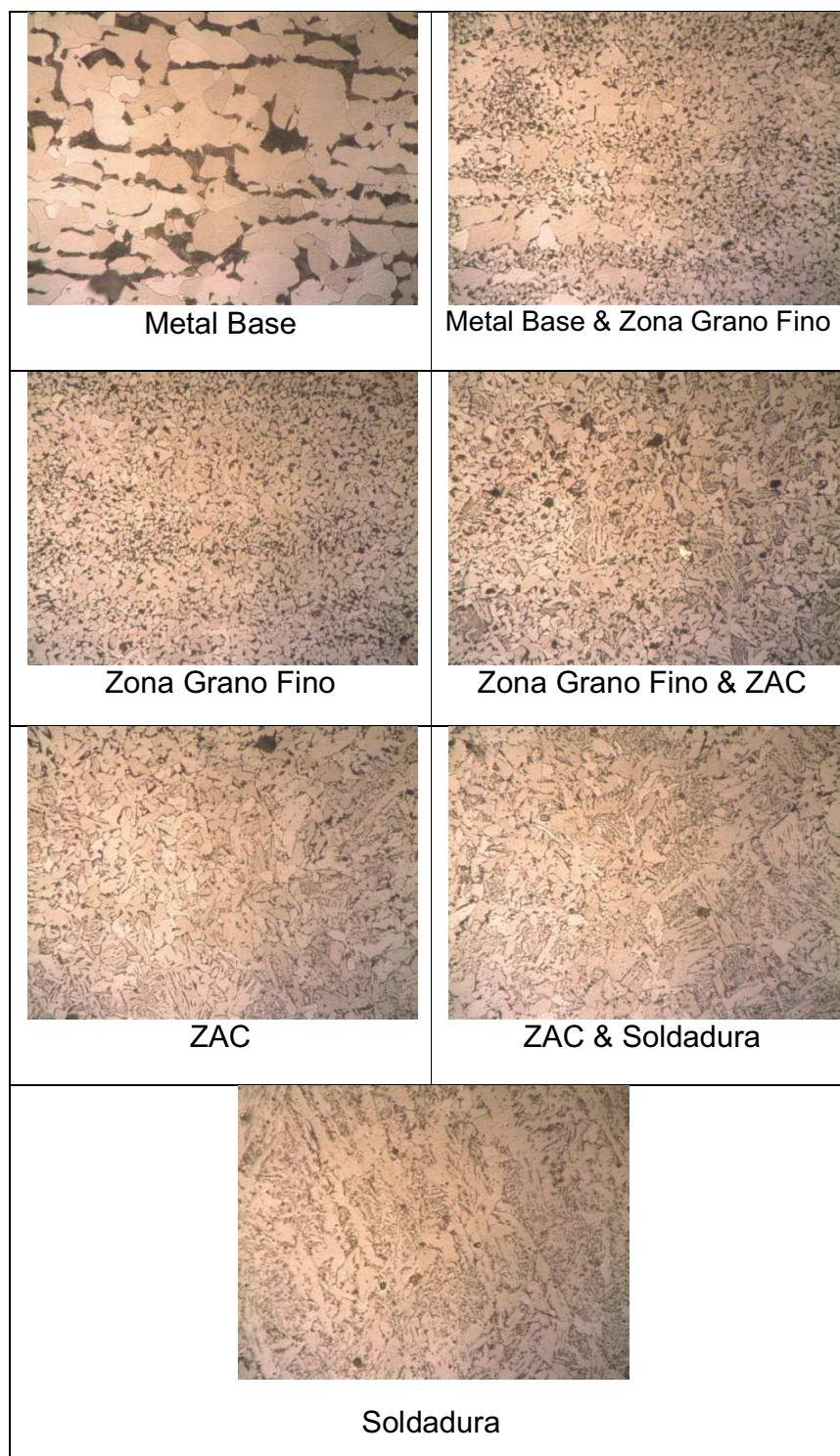


Figura 17. Zonas constituyentes de la junta de soldadura (500x)

En las fotografías anteriores se puede observar la secuencia longitudinal a nivel de micrografía de la soldadura y sus alrededores. Básicamente puede notarse los cambios en tamaño de grano, la distribución, precipitación y forma de la perlita y la ferrita en la microestructura. Estos cambios se deben principalmente a la velocidad de enfriamiento.

### 2.3.1 METAL BASE

De acuerdo a la micrografía se observa que la probeta de acero A-106-B se trata de un acero ferrítico-perlítico de bajo contenido de carbono (hipoeutectoide), con inclusiones de tipo silicato.

Las regiones oscuras corresponden a la perlita la cual se encuentra alineada en dirección longitudinal de la laminación mientras que las blancas son ferrita homogéneamente distribuida en forma de granos equiaxiales. Se observa claramente el sentido de laminación al momento en el cual fue conformada la tubería.

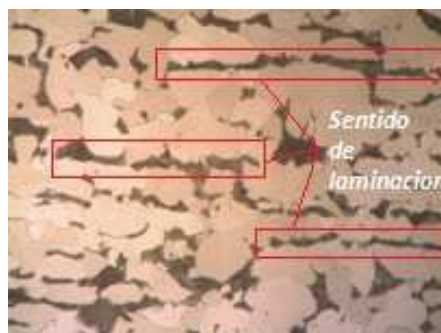


Figura 18. Micrografía del Metal Base (500x)

### 2.3.2 TRANSICIÓN ENTRE METAL BASE Y ZONA DE GRANO FINO

En esta zona se inicia la transformación de la fase de ferrita + perlita, en ferrita + austenita por efecto del incremento de temperatura (723 - 900°C ).



Cuando empieza la fase de enfriamiento se tiene lo contrario, en donde se puede visualizar como fase final la formación de ferrita + colonias de perlita. A esta zona también se la conoce como de recristalización parcial.

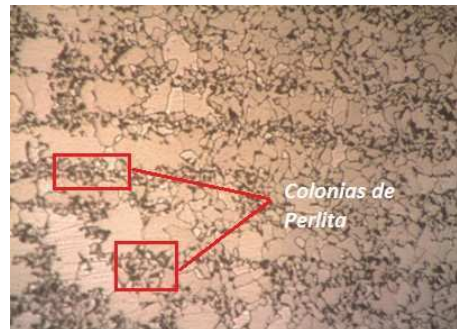


Figura 19. Micrografía de la zona de transición entre Metal Base y Grano Fino (500x)

### 2.3.3 ZONA DE GRANO FINO (NORMALIZADO)

En esta zona la temperatura es mayor a  $900^{\circ}\text{C}$  y menor a  $1100^{\circ}\text{C}$  y corresponde a la fase de austenita pura. Cuando se ingresa a fase de enfriamiento (aire) se produce el tratamiento térmico de normalizado, el cual se caracteriza por afinar el tamaño de grano generando así una distribución más uniforme del tamaño de grano en sí. El efecto de normalizado se consigue entre  $55$  y  $85^{\circ}\text{C}$  por encima de la temperatura crítica superior.

En esta zona de recristalización se experimentan dos condiciones, al inicio se tiene una zona no homogénea y al final una zona totalmente homogeneizada.

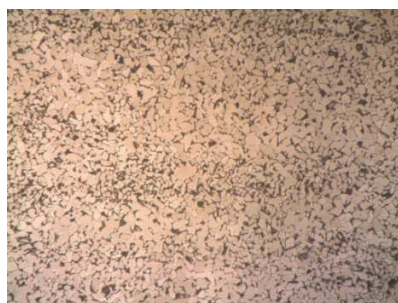


Figura 20. Micrografía de la zona de Grano Fino (500x)



### 2.3.4 TRANSICIÓN ZONA DE GRANO FINO Y ZAC

En esta zona se puede observar el inicio del crecimiento de grano que influye de manera significativa en las propiedades mecánicas de los metales. A temperatura ambiente, un tamaño grande por lo general se asocia con una baja resistencia y baja ductilidad.

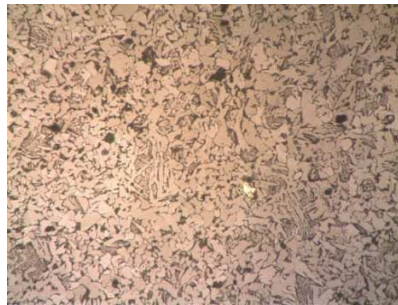


Figura 21. Micrografía de la zona de transición Grano Fino y ZAC (500x)

### 2.3.5 ZAC

A partir de los 1100°C la microestructura del material base se destruye y una nueva microestructura surge. La austenita se transforma primero en ferrita proeutectoide, primero en los límites de grano y luego en perlita. Al enfriar rápido, los granos de ferrita crecen con estructura Widmanstätten. También se forma en el seno del grano de austenita. El resto se transformará en perlita; a esta zona también se la llama zona de crecimiento de grano.

En la ZAC, al hacer varias pasadas, se parte de una estructura columnar que está afectada por el calor. Luego esta ZAC aparece sin rastro de estructura columnar debido a la recristalización.

Generalmente en aceros al carbono esta zona es la de más baja tenacidad.

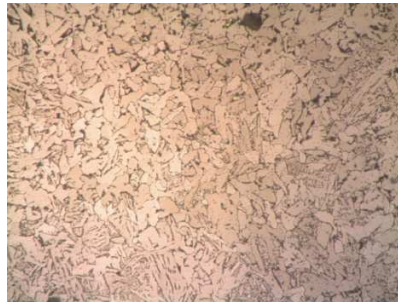


Figura 22. Micrografía de la ZAC (500x)

### 2.3.6 TRANSICIÓN ZAC Y SOLDADURA

En el baño de fusión se tiene microsegregación. Cuando hay crecimiento por frente plano, cerca de la línea de fusión no se distingue la microsegregación. Cuando se da una segunda pasada se hace desaparecer la microsegregación. En las siguientes pasadas como los granos crecieron en la primera, en la segunda serán más grandes ya que se tiene un crecimiento columnar a partir de granos mayores.

Cuanto más pequeño son los granos de la ZAC, más pequeños son los granos del baño fundido.

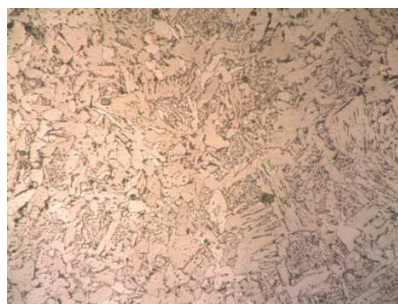


Figura 23. Micrografía de la zona de transición ZAC - Soldadura (500x)

### 2.3.7 SOLDADURA

En esta zona se tiene granos de austenita alargados y de gran tamaño. A medida que se va enfriando aparece ferrita en los límites de grano, luego esta ferrita

comienza a formar ferrita Widmanstatten. La ferrita como tiene que seguir creciendo empieza a solidificar en el centro de grano, y esta es la denominada ferrita acicular. El resto de austenita se transforma en fases de no equilibrio como la perlita.

La ferrita Widmanstatten son agujas de ferrita que crecen desde el límite de grano hacia el interior en placas paralelas. Es muy perjudicial para las propiedades mecánicas.



Figura 24. Micrografía de la soldadura (500x)

## **2.4 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EN LA ZAC SIN REPARACIONES Y PRUEBAS EXPERIMENTALES**

Para el estudio del presente proyecto fue necesaria la fabricación de probetas o carretos para soldadura con el fin de evaluar las propiedades en el metal base, la ZAC y la soldadura en una primera junta, simulando las condiciones del proceso como se ejecuta regularmente en producción.

Para la elaboración de la junta de soldadura es necesario definir todos los parámetros inherentes al proceso como lo son, por citar algunos el voltaje, amperaje, espesores, aporte, parámetros que fueron ya definidos en el procedimiento de soldadura WPS-Tesis-01, el mismo que fue calificado y registrado en PQR-WPS-Tesis-01.

Una vez constituida la junta de soldadura se extrajo múltiples probetas para la ejecución de los siguientes ensayos:

- Ensayo de tracción.
- Estudio metalográfico (100x – 500x).
- Medición de durezas.
- Medición del ancho de la ZAC.
- Medición de los tamaños de grano en cada zona.

#### 2.4.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción son las mismas indicadas en la norma ASME IX y los resultados son los siguientes:

Tabla 8. Resultados del ensayo de tracción en la junta sin reparación

<b>PRIMERA JUNTA DE SOLDADURA</b>						
<b>PROBETA</b>	<b>ancho</b>	<b>espesor</b>	<b>carga a la rotura</b>	<b>resistencia a la tracción</b>	<b>elongación</b>	<b>carga de fluencia</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>lbf</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>	<b>lbf</b>
<b>T1</b>	20,8	10,91	27000	76700	51,5	25800
<b>T2</b>	20,2	10,27	24800	77300	47,1	24100
<b>PROMEDIO</b>	<b>20,5</b>	<b>10,59</b>	<b>25900</b>	<b>77000</b>	<b>49,3</b>	<b>24950</b>

#### 2.4.2 ESTUDIO METALOGRAFICO

Se toman varias fotografías a 500x de las cuales se presenta el siguiente cuadro recopilando las mejores exposiciones micrográficas de la junta de soldadura sin reparación:

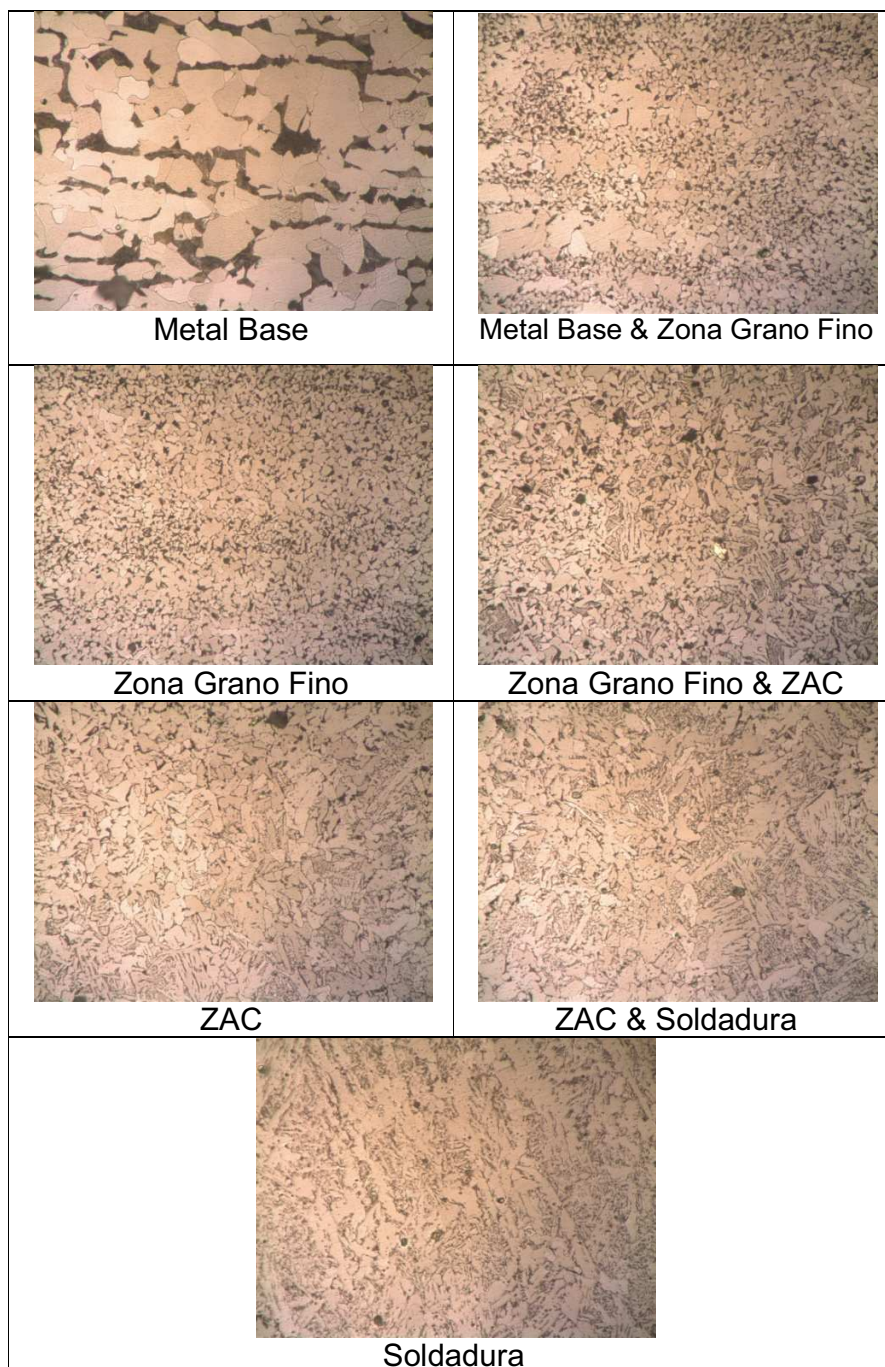


Figura 25. Zonas constituyentes de la junta de soldadura sin reparación (500x)

### 2.4.3 MEDICIÓN DE DUREZAS

Se realiza un barrido de durezas en el metal base, la ZAC, la interfase entre la ZAC y la soldadura y la soldadura, resumiendo dichos valores en la siguiente tabla:

Tabla 9. Valores de Dureza en la junta sin reparación

DUREZA HRB JUNTA SOLDADURA SIN REPARACIÓN												
PROB	PTO	POSICIONES										
		IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
SR2	1	75	78	92	84	86	76	88	87	81	78	77
	2	76	78	88	86	81	82	82	86	85	76	78
PROMEDIO		75,5	78	90	85	83,5	79	85	86,5	83	77	77,5

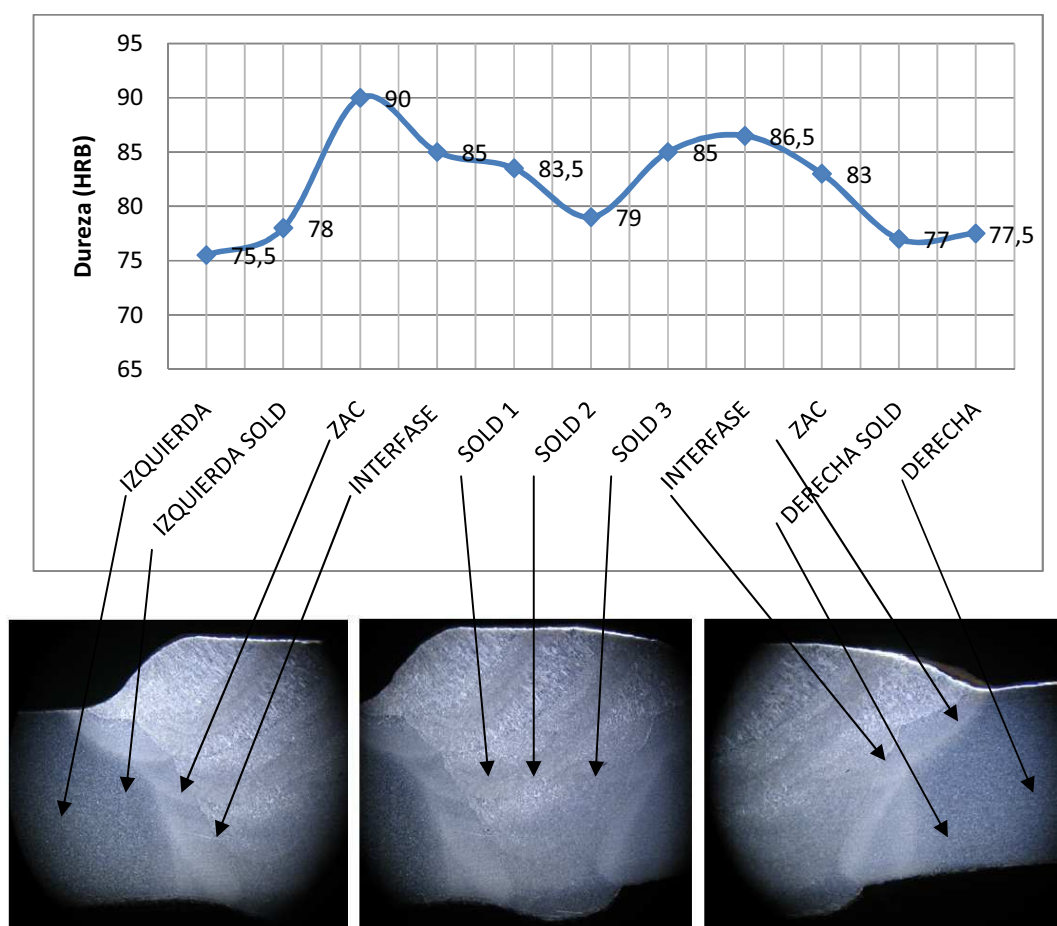


Figura 26. Perfil de durezas en la junta de soldadura sin reparación (10X)



#### 2.4.4 MEDICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC

Se toman cinco medidas del ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC a la derecha y a la izquierda del cordón de soldadura, para lo cual se realizan macrografías a 10x. Los resultados se resumen a continuación:

Tabla 10. Valores del ancho de banda de alta temperatura en la junta sin reparación

MEDICION ANCHO DE LA BANDA mm SIN REPARACIÓN		
PROBETA	SR2	
PUNTOS	derecha	izquierda
1	1,08	1,69
2	2,16	1,49
3	1,29	2,07
4	1,18	1,09
5	1,28	1,59
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,49 mm</b>	

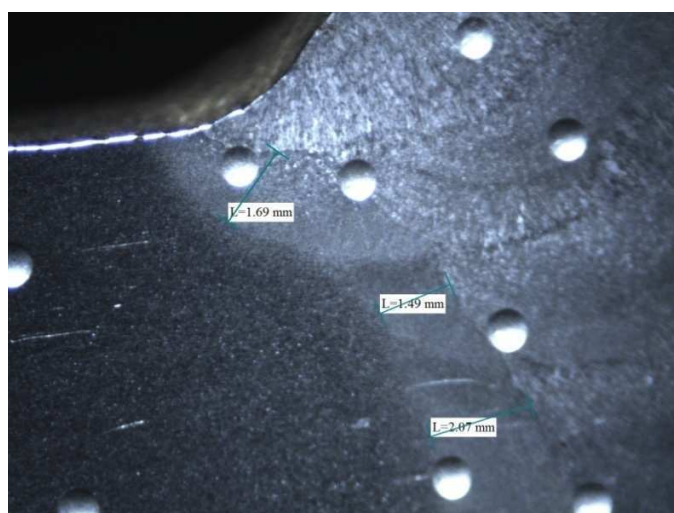


Figura 27. Anchos de la banda de alta temperatura en la junta sin reparación (10x)

## 2.4.5 MEDICIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANO EN CADA ZONA

Se realizan dos tipos de mediciones: la primera en la computadora (software microscopio a 500x) y la segunda mediante comparación con la plantilla ASTM E112 (microscopio a 100x).

Tabla 11. Valores de los tamaños de grano en la junta sin reparación

SIN REPARACIÓN							SIN REPARACIÓN	
ZONAS	TAMAÑO DE GRANO EN MICRAS						TAMAÑO DE GRANO	
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	plantilla	Tamaño grano Según ASTM E112 en Micras
MB	56,06	46,5	43,57	44,33	34,76	<b>45,04</b>	6	44,9
ZT MB-GF	12,38	8,81	13,02	10,63	8,24	<b>10,62</b>		
GF	12,07	7,66	9,56	8,43	15,39	<b>10,62</b>	9	15,9
ZT GF-ZAC	13,58	23,02	15,66	19,84	17,5	<b>17,92</b>		
ZAC	34,98	45	36,45	47,58	31,69	<b>39,14</b>	7	31,8



## CAPÍTULO 3

### ESTUDIO DE LOS CAMBIOS METALÚRGICOS Y MECÁNICOS EN LA ZAC PARA “n” REPARACIONES REALIZADAS

#### 3.1 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS EN LA ZAC

Se considera inicialmente la elaboración de carretos para soldadura con el fin de realizar tres reparaciones íntegras, esto significa, que se desecha totalmente para cada una de ellas el cordón de soldadura. Prácticamente es una simulación real de reparaciones tales como:

- Exceso de penetración.
- Quemones
- Fisuras
- Suma de las anteriores – acumulación de defectos.

Todo lo citado anteriormente son defectos de raíz que conllevan al corte y reparación total de la junta de soldadura y que se encuentran fuera de norma para la construcción de facilidades petroleras. No aplica para defectos puntuales tales como: porosidades, escorias, mordeduras, faltas de fusión y penetración, concavidades y sobre-espesor del refuerzo externo.

Empíricamente se manifiesta que son permisibles hasta dos reparaciones consecuentes para que la disminución de las propiedades mecánicas del material base no sean considerables. Por tanto, se realiza el estudio de las mismas para aseverar o negar este manifiesto.

De manera similar como en la elaboración de la junta de soldadura sin reparación, también es necesario definir los mismos parámetros anteriores que están especificados en los procedimientos de soldadura WPS-Tesis-01-R1 (una reparación), WPS-Tesis-01-R2 (dos reparaciones) y WPS-Tesis-01-R3 (tres

reparaciones) los cuales están calificados con los PQR-WPS-Tesis-01-R1, PQR-WPS-Tesis-01-R2 y PQR-WPS-Tesis-01-R3, todos disponibles en los anexos.

Es necesario ejecutar los mismos ensayos que para una junta soldada sin reparación a fin de poder evaluar cualitativa y cuantitativamente las propiedades del material base, ZAC y cordón de soldadura.

### 3.1.1 ENSAYOS DE TRACCIÓN

Los resultados son los siguientes:

#### 3.1.1.1 Para primera reparación

Tabla 12. Resultados del ensayo de tracción en la junta con una reparación

<b>JUNTA DE SOLDADURA PRIMERA REPARACIÓN</b>						
<b>PROBETA</b>	<b>ancho</b>	<b>espesor</b>	<b>carga a la rotura</b>	<b>resistencia a la tracción</b>	<b>elongación</b>	<b>carga de fluencia</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>lbf</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>	<b>lbf</b>
<b>T1R1</b>	19,68	9,96	23900	78600	50,1	23500
<b>T1R2</b>	18,53	9,55	21600	78900	43,5	21600
<b>PROMEDIO</b>	<b>19,105</b>	<b>9,755</b>	<b>22750</b>	<b>78750</b>	<b>46,8</b>	<b>22550</b>

### 3.1.1.2 Para segunda reparación

Tabla 13. Resultados del ensayo de tracción en la junta con dos reparaciones

<b>JUNTA DE SOLDADURA SEGUNDA REPARACIÓN</b>						
<b>PROBETA</b>	<b>ancho</b>	<b>espesor</b>	<b>carga a la rotura</b>	<b>resistencia a la tracción</b>	<b>elongación</b>	<b>carga de fluencia</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>lbf</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>	<b>lbf</b>
<b>T2R1</b>	20,2	11,18	26600	76200	47,6	26100
<b>T2R2</b>	20,9	11,06	27600	77000	49,3	26400
<b>PROMEDIO</b>	<b>20,55</b>	<b>11,12</b>	<b>27100</b>	<b>76600</b>	<b>48,45</b>	<b>26250</b>

### 3.1.1.3 Para tercera reparación

Tabla 14. Resultados del ensayo de tracción en la junta con tres reparaciones

<b>JUNTA DE SOLDADURA TERCERA REPARACIÓN</b>						
<b>PROBETA</b>	<b>ancho</b>	<b>espesor</b>	<b>carga a la rotura</b>	<b>resistencia a la tracción</b>	<b>elongación</b>	<b>carga de fluencia</b>
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>lbf</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>	<b>lbf</b>
<b>T3R1</b>	20	11,48	27500	77200	47,4	27200
<b>T3R2</b>	19,96	11,11	26300	76500	48	27000
<b>PROMEDIO</b>	<b>19,98</b>	<b>11,295</b>	<b>26900</b>	<b>76850</b>	<b>47,7</b>	<b>27100</b>

## 3.1.2 ESTUDIO METALOGRAFICO

Para cada una de las reparaciones se realizan tomas metalográficas a fin de encontrar o establecer diferencias si fuera el caso, en cada región de la junta de soldadura, desde el metal base hasta el cordón mismo.

Se presenta cuadros resumen para cada una de las reparaciones.

### 3.1.2.1 Para primera reparación

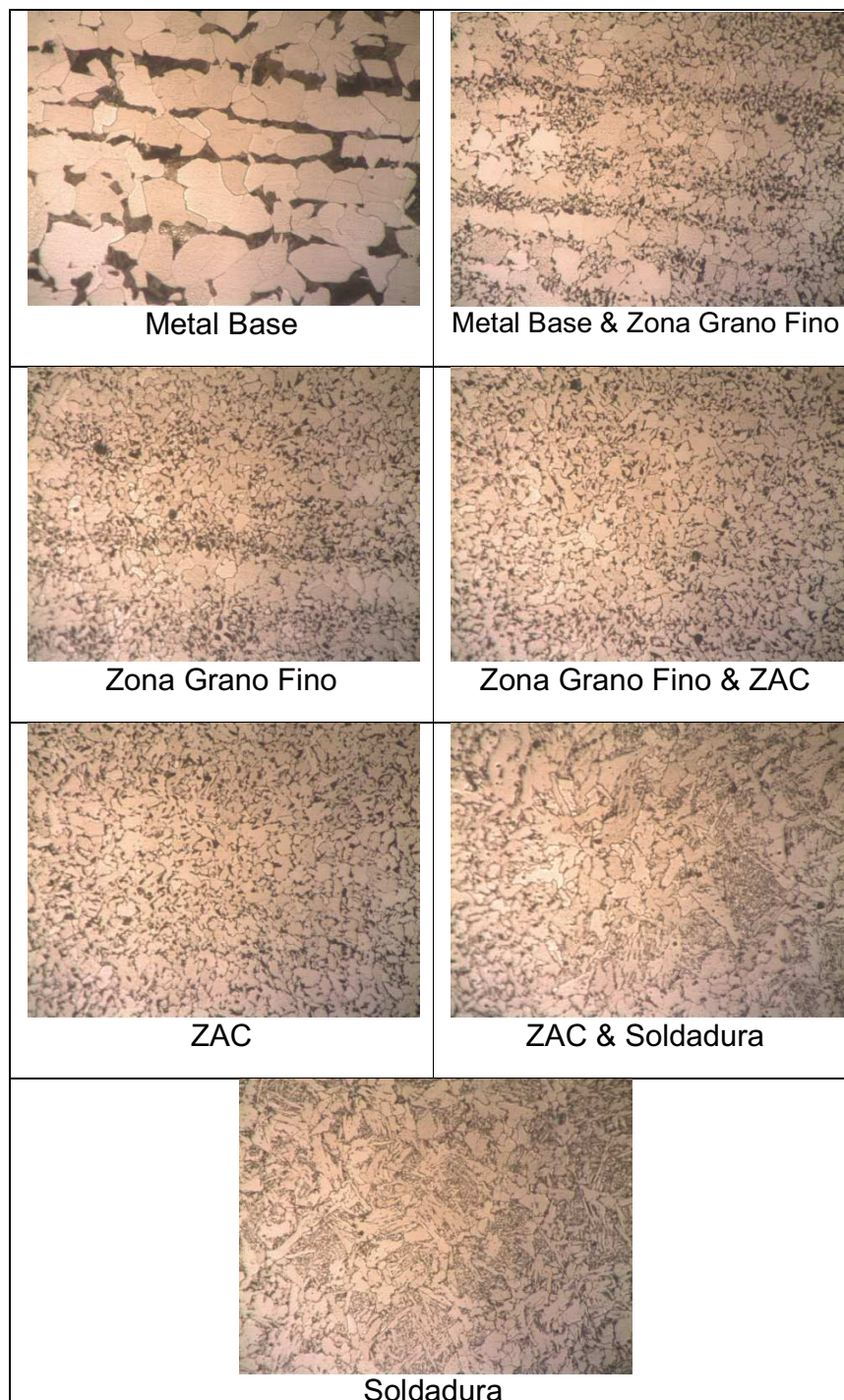


Figura 28. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, primera reparación (500x)

### 3.1.2.2 Para segunda reparación

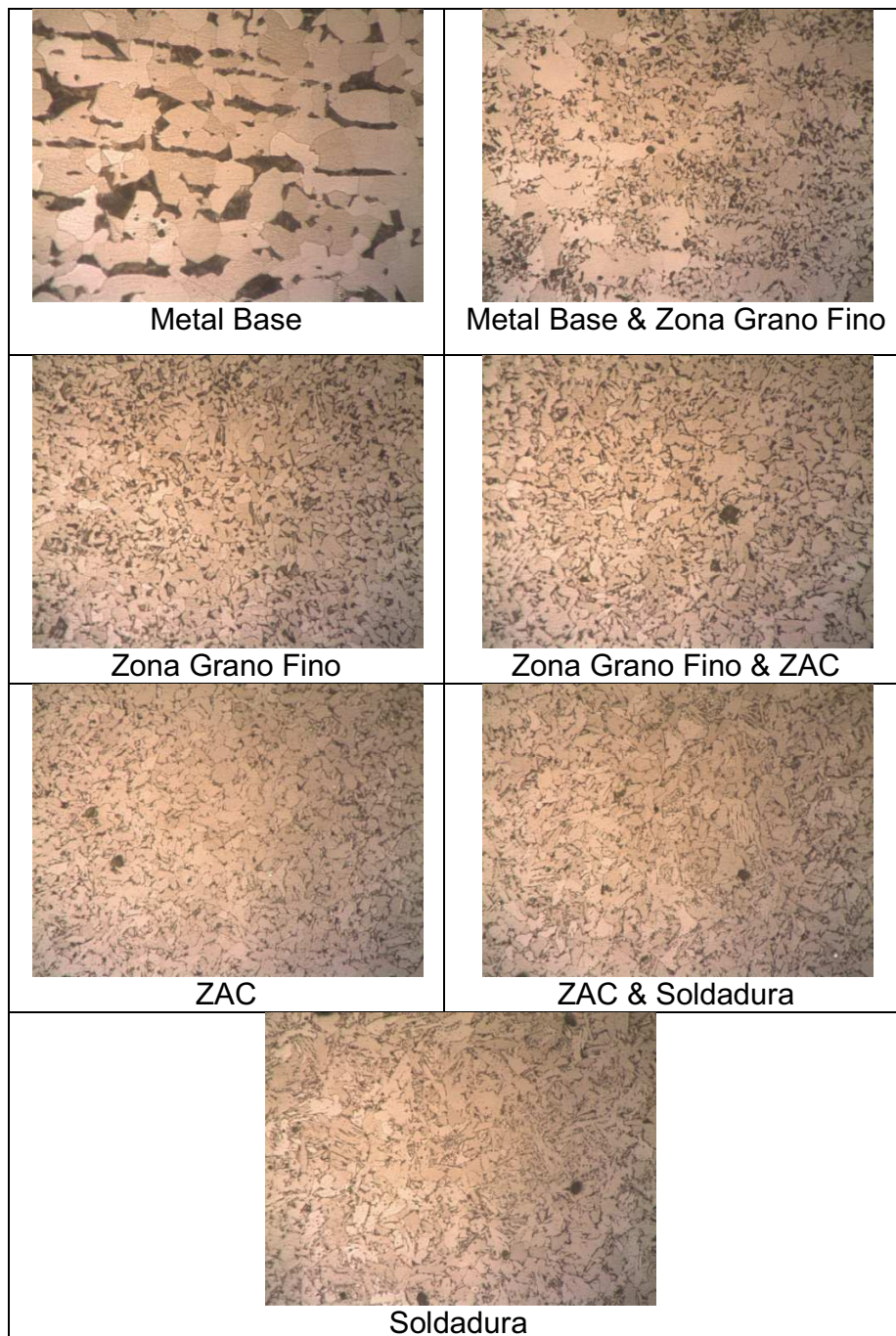


Figura 29. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, segunda reparación (500x)



### 3.1.2.3 Para tercera reparación

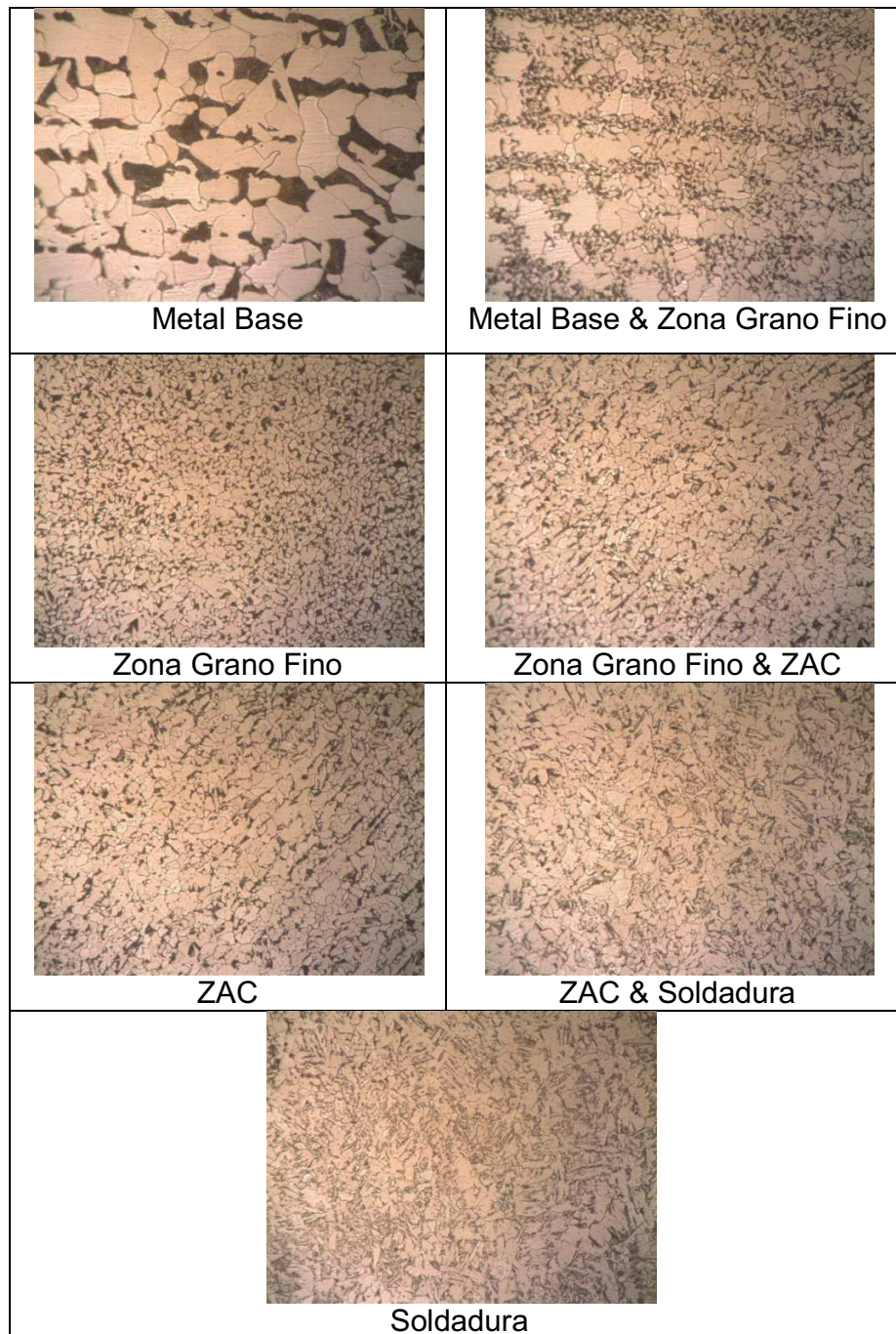


Figura 30. Zonas constituyentes de la junta de soldadura, tercera reparación (500x)

### 3.1.3 MEDICIÓN DE DUREZAS

Se consideran las mismas regiones de estudio donde se realizan las mediciones de dureza y adicional en dos niveles, uno (1) y dos (2) con el fin de obtener promedios mucho más reales. A continuación se presentan los resultados.

#### 3.1.3.1 Para primera reparación

Tabla 15. Valores de Dureza en la junta con una reparación

VALORES DE DUREZA HRB JUNTA SOLDADURA PRIMERA REPARACIÓN												
PROB	PTO	POSICIONES										
		IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
A1	1	76	75	94	86	85	90	84	81	84	72	76
	2	75	79	85	85	84	78	82	82	80	76	79
C1	1	76	75	89	92	86	86	84	87	81	77	79
	2	76	79	84	85	85	84	86	83	84	79	77
D1	1	79	84	90	90	88	94	85	89	83	83	81
	2	76	81	88	87	85	77	85	87	87	83	80
F1	1	78	82	90	88	89	87	84	86	87	76	75
	2	78	80	86	85	77	71	76	84	83	77	75
G1	1	77	79	84	95	88	93	88	84	87	83	78
	2	77	79	88	88	84	79	84	85	83	80	78
<b>PROMEDIO</b>		<b>76,8</b>	<b>79,3</b>	<b>87,8</b>	<b>88,1</b>	<b>85,1</b>	<b>83,9</b>	<b>83,8</b>	<b>84,8</b>	<b>83,9</b>	<b>78,6</b>	<b>77,8</b>

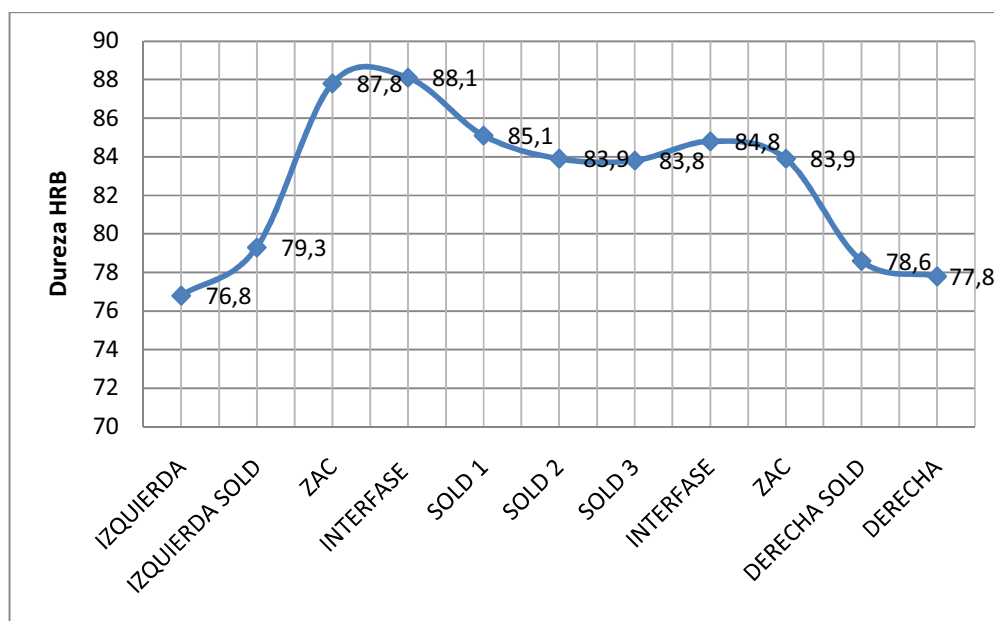


Figura 31. Perfil de durezas en la junta de soldadura, primera reparación

### 3.1.3.2 Para segunda reparación

Tabla 16. Valores de Dureza en la junta con dos reparaciones

VALORES DE DUREZA HRB JUNTA SOLDADURA SEGUNDA REPARACIÓN												
PROB	PTO	POSICIONES										
		IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
F2	1	77	80	90	88	88	93	87	85	88	78	77
	2	82	82	84	84	83	78	84	87	83	79	76
D2	1	79	81	86	82	85	91	90	92	90	82	78
	2	80	83	90	91	86	82	83	84	90	82	79
B2	1	78	82	85	87	89	91	88	89	79	79	76
	2	81	84	92	91	86	78	85	86	88	79	78
PROMEDIO		79,5	82,0	87,8	87,2	86,2	85,5	86,2	87,2	86,3	79,8	77,3



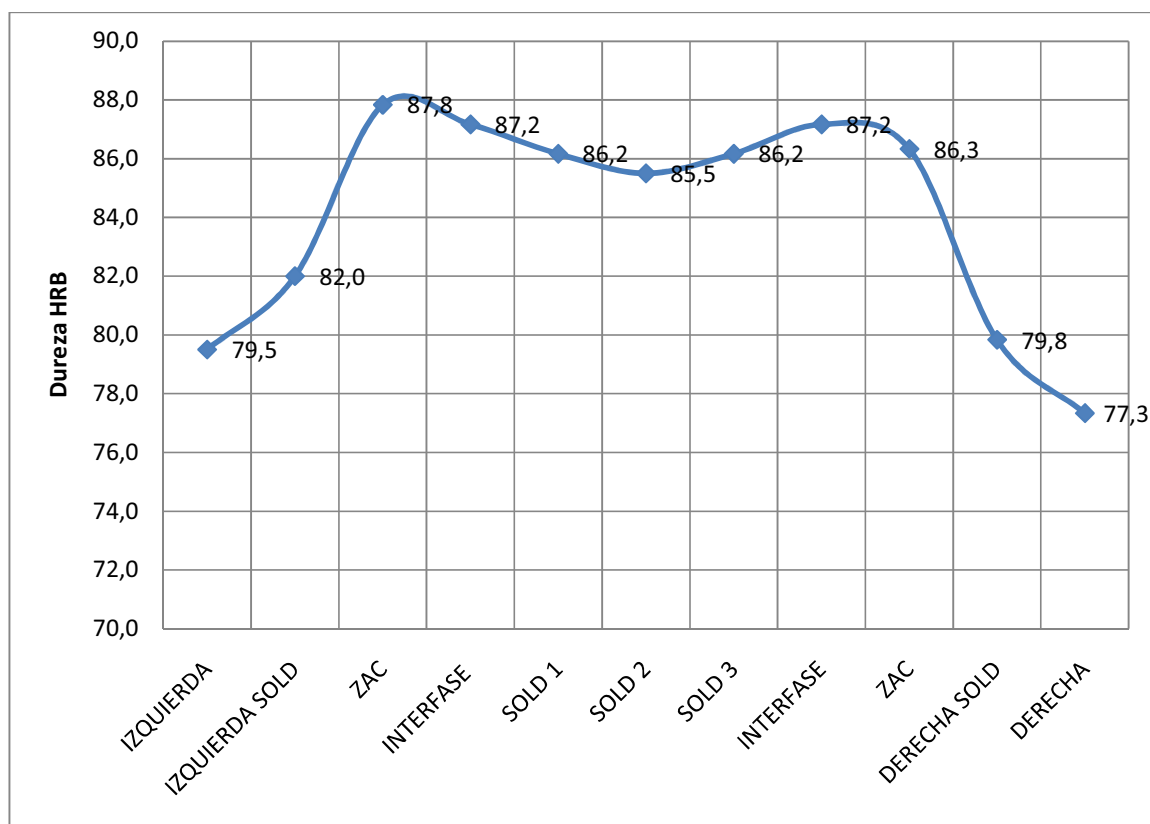


Figura 32. Perfil de durezas en la junta de soldadura, segunda reparación

### 3.1.3.3 Para tercera reparación

Tabla 17. Valores de Dureza en la junta con tres reparaciones

VALORES DE DUREZA HRB JUNTA SOLDADURA TERCERA REPARACIÓN												
PROB	PTO	POSICIONES										
		IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
A3	1	74	80	80	85	87	87	85	85	80	74	71
	2	67	94	83	84	84	70	77	85	85	66	68
F3	1	73	77	83	86	85	88	82	84	85	73	72
	2	78	81	88	89	84	74	82	84	83	84	82
G3	1	77	80	91	94	82	87	84	87	87	78	78
	2	79	84	82	83	80	79	83	84	82	79	78
PROMEDIO		74,7	82,7	84,5	86,8	83,7	80,8	82,2	84,8	83,7	75,7	74,8

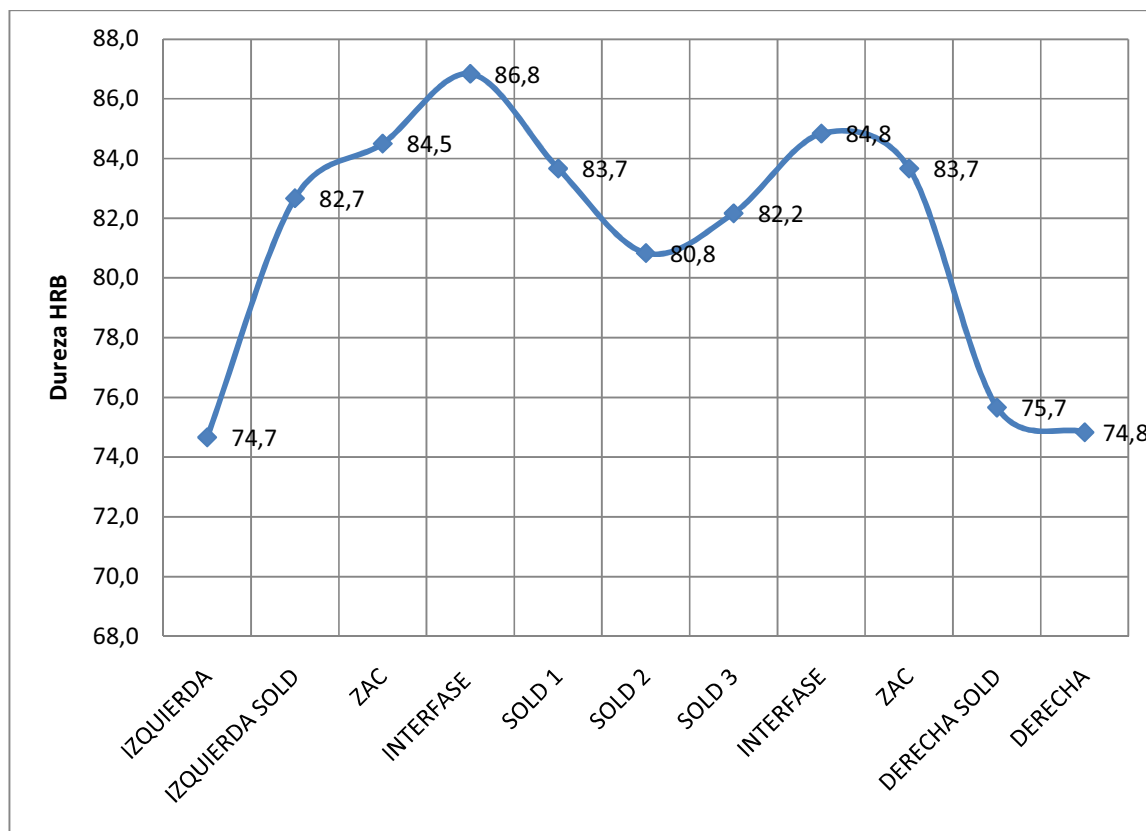


Figura 33. Perfil de durezas en la junta de soldadura, tercera reparación

### 3.1.4 MEDICIÓN DEL ANCHO DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC

Corresponde prácticamente a la pequeña zona aledaña al cordón de soldadura. Se puede apreciar o distinguir como una especie de mancha grisácea inmediatamente junto a la región de fusión parcial, cuyo matiz va desapareciendo a medida que se aleja de ella.

### 3.1.4.1 Para primera reparación

Tabla 18. Valores del ancho de la banda en la junta con una reparación

MEDICION DEL ANCHO DE BANDA mm PRIMERA REPARACIÓN										
PROBETAS	C1		D1		E1		F1		G1	
PUNTOS	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq
1	1,44	0,92	1,39	1,34	1,53	1,15	1,31	1,97	1,46	1,42
2	1,75	1,28	1,63	1,9	1,17	1,11	2,3	1,95	1,55	1,68
3	1,98	2,37	2,59	1,79	2,16	2,77	2,15	2,9	1,15	2,47
4	2,66	3,12	2,84	2,02	1,42	2,17	2,37	2,36	1,63	1,89
5	3,57	3,77	3,19	3,49	2,57	3,03	2,59	3,25	1,88	2,99
<b>PROMEDIO PROBETA</b>	<b>2,286</b>		<b>2,218</b>		<b>1,908</b>		<b>2,315</b>		<b>1,812</b>	
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,1078 mm</b>									

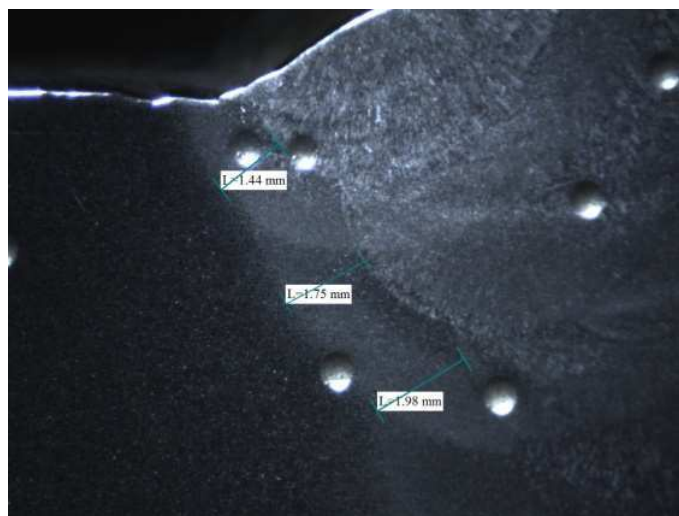


Figura 34. Anchos de la banda en la junta con una reparación (10x)

### 3.1.4.2 Para segunda reparación

Tabla 19. Valores del ancho de la banda en la junta con dos reparaciones

MEDICION DEL ANCHO DE BANDA mm SEGUNDA REPARACIÓN										
PROBETAS	B2		C2		D2		E2		G2	
PUNTOS	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq
1	1,75	2	1,74	1,89	1,31	2,85	0,98	1,74	1,68	1,91
2	2,21	2,45	1,26	1,7	2,03	2,56	1,57	2,12	1,4	2,31
3	2,25	3,01	1,98	2,09	1,16	2	1,43	2,56	1,68	3,18
4	2,72	2,64	2,19	2,58	2,01	2,36	1,54	2,33	2,19	3,58
5	4,68	2,41	2,1	3,24	2,1	2,32	1,31	2,37	3,64	4,92
<b>PROMEDIO PROBETA</b>	<b>2,612</b>		<b>2,077</b>		<b>2,07</b>		<b>1,795</b>		<b>2,649</b>	
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,2406 mm</b>									

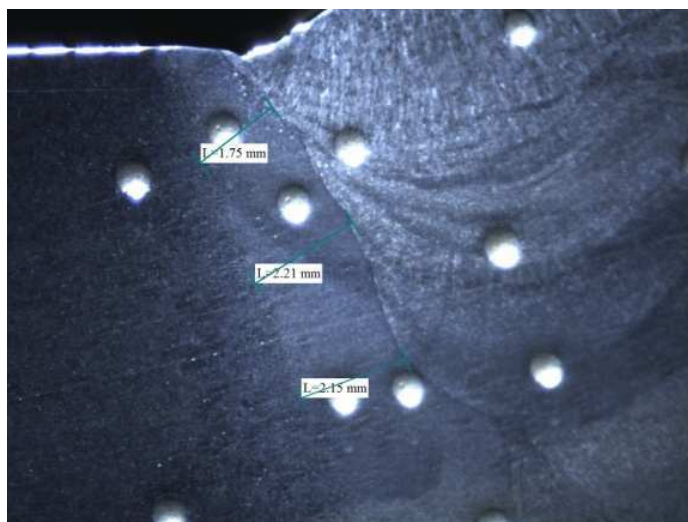


Figura 35. Anchos de la banda en la junta con dos reparaciones (10x)

### 3.1.4.3 Para tercera reparación

Tabla 20. Valores del ancho de la banda en la junta con tres reparaciones

MEDICION DEL ANCHO DE BANDA mm TERCERA REPARACIÓN										
PROBETAS	B3		D3		E3		F3		G3	
PUNTOS	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq
1	1,36	1,64	1,74	1,77	1,56	1,47	1,28	1,8	1,72	2,61
2	1,84	2,08	1,89	2,22	1,81	2,05	2,08	2,36	1,92	2,38
3	2,17	2,23	1,91	1,5	2,64	2,33	2,71	1,5	2,03	2,7
4	2,29	2,16	1,73	2,18	1,79	2,32	1,61	1,47	1,9	3,92
5	3,07	2,76	2,29	2,45	2,25	3,25	2,75	2,33	2,84	4,09
<b>PROMEDIO PROBETA</b>	<b>2,16</b>		<b>1,968</b>		<b>2,147</b>		<b>1,989</b>		<b>2,611</b>	
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,175 mm</b>									

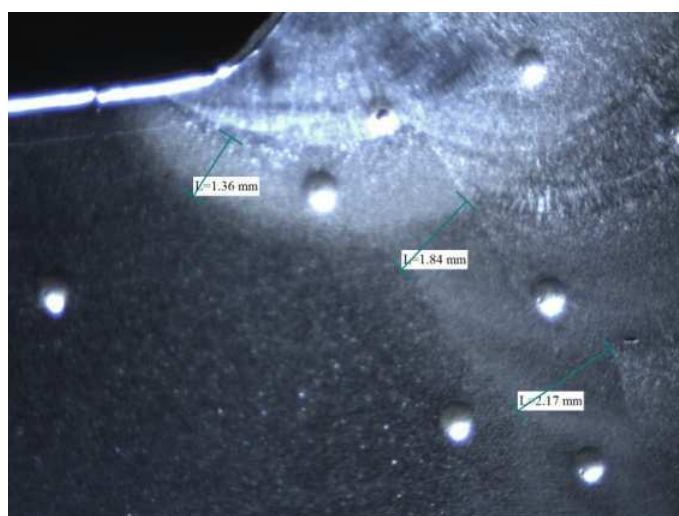


Figura 36. Anchos de la banda en la junta con tres reparaciones (10x)

### 3.1.5 MEDICIÓN DE LOS TAMAÑOS DE GRANO EN CADA ZONA

Gracias a la utilización del microscopio y al software respectivo es posible medir el tamaño del grano identificado en cada zona de estudio, para luego, si se requiere comparar con las plantillas y así establecer la similitud de valores. Sin embargo, lo importante de este ensayo es analizar los cambios de tamaño de grano en función del número de reparaciones, por lo tanto, se registran varias medidas y se promedian las mismas.

#### 3.1.5.1 Para primera reparación

Tabla 21. Valores de los tamaños de grano en la junta con una reparación

PRIMERA REPARACIÓN							PRIMERA REPARACIÓN	
ZONAS	TAMAÑO DE GRANO EN MICRAS						TAMAÑO DE GRANO	
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	plantilla	Tamaño grano según ASTM E112 en Micras
MB	58,75	42,11	49,36	46,93	32,06	<b>45,84</b>	6	44,9
ZT MB-GF	13,4	15,85	14,61	14,61	13,54	<b>14,40</b>		
GF	11,92	14,37	12,96	11	12,51	<b>12,55</b>	10	11,2
ZT GF-ZAC	32,26	28,32	26,97	29,21	32,78	<b>29,91</b>		
ZAC	35,03	34,05	28,05	28,1	36,74	<b>32,39</b>	7	31,8

#### 3.1.5.2 Para segunda reparación

Tabla 22. Valores de los tamaños de grano en la junta con dos reparaciones

SEGUNDA REPARACIÓN							SEGUNDA REPARACIÓN	
ZONAS	TAMAÑO DE GRANO EN MICRAS						TAMAÑO DE GRANO	
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	plantilla	Tamaño grano según ASTM E112 en Micras
MB	46,97	57,07	49,64	55,41	38,54	<b>49,53</b>	6	44,9
ZT MB-GF	9,93	10,3	14,68	8,7	11,12	<b>10,95</b>		
GF	18,69	13,61	12,75	12,13	17,39	<b>14,91</b>	9	15,9
ZT GF-ZAC	31,69	31,44	31,2	31,72	22,52	<b>29,71</b>		
ZAC	26,94	25,75	25,16	23,43	24,19	<b>25,09</b>	8	22,5

### 3.1.5.3 Para tercera reparación

Tabla 23. Valores de los tamaños de grano en la junta con tres reparaciones

TERCERA REPARACIÓN							TERCERA REPARACIÓN	
ZONAS	TAMAÑO DE GRANO EN MICRAS						TAMAÑO DE GRANO	
	1	2	3	4	5	PROMEDIO	plantilla	Tamaño grano según ASTM E112 en Micras
MB	54,81	44,68	37,04	41,89	69,28	<b>49,54</b>	6	44,9
ZT MB-GF	11,82	10,27	10,81	10,72	9,13	<b>10,55</b>		
GF	10,88	11,59	16,75	13,58	10,68	<b>12,70</b>	9	15,9
ZT GF-ZAC	19,1	23,48	22,33	31,29	38,37	<b>26,91</b>		
ZAC	21,93	18,85	19,21	23,02	26,38	<b>21,88</b>	8	22,5

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se realiza un análisis comparativo de propiedades de la junta de soldadura sin reparación frente a las juntas con una, dos y tres reparaciones. Se evalúa las diferencias si las existiesen en lo referente a metalografías, tamaño de grano, anchos de la ZAC, tracciones y medidas de dureza.

Mediante este estudio es posible ratificar o negar la teoría de campo frente al número de reparaciones permisibles en tuberías de proceso.

#### **4.1 ANÁLISIS METALOGRAFICO**

Se consideran las siguientes zonas para este análisis:

- Metal base.
- Transición entre metal base y grano fino.
- Zona de grano fino.
- Transición zona de grano fino y ZAC.
- La ZAC.
- Transición entre la ZAC y soldadura.
- Soldadura.



#### 4.1.1 ESTUDIO METAL BASE

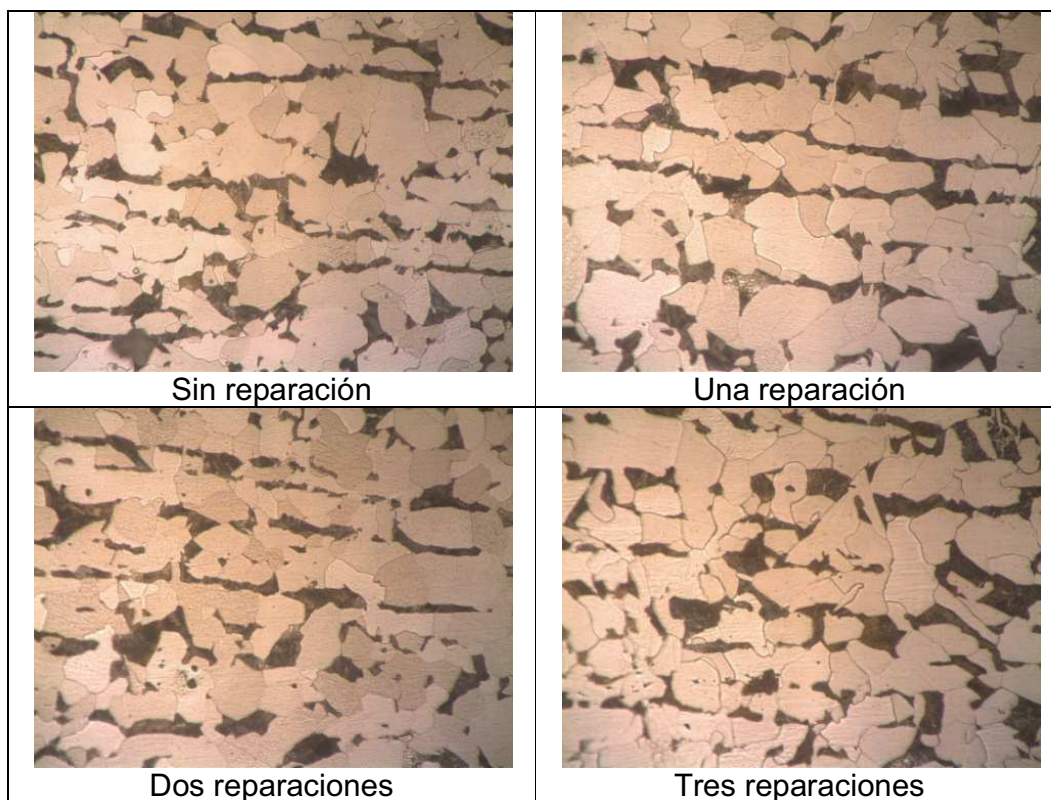


Figura 37. Comparativa de metalografías del Metal Base (500x)

Para el metal base, como se esperaba no sufre ninguna alteración independiente del número de reparaciones que se realice en la junta de soldadura. Presenta una estructura ferrítica-perlítica con laminación en frío. Se puede observar las bandas de perlita alineadas horizontalmente que denotan esta última característica.

#### 4.1.2 TRANSICIÓN ENTRE METAL BASE Y GRANO FINO

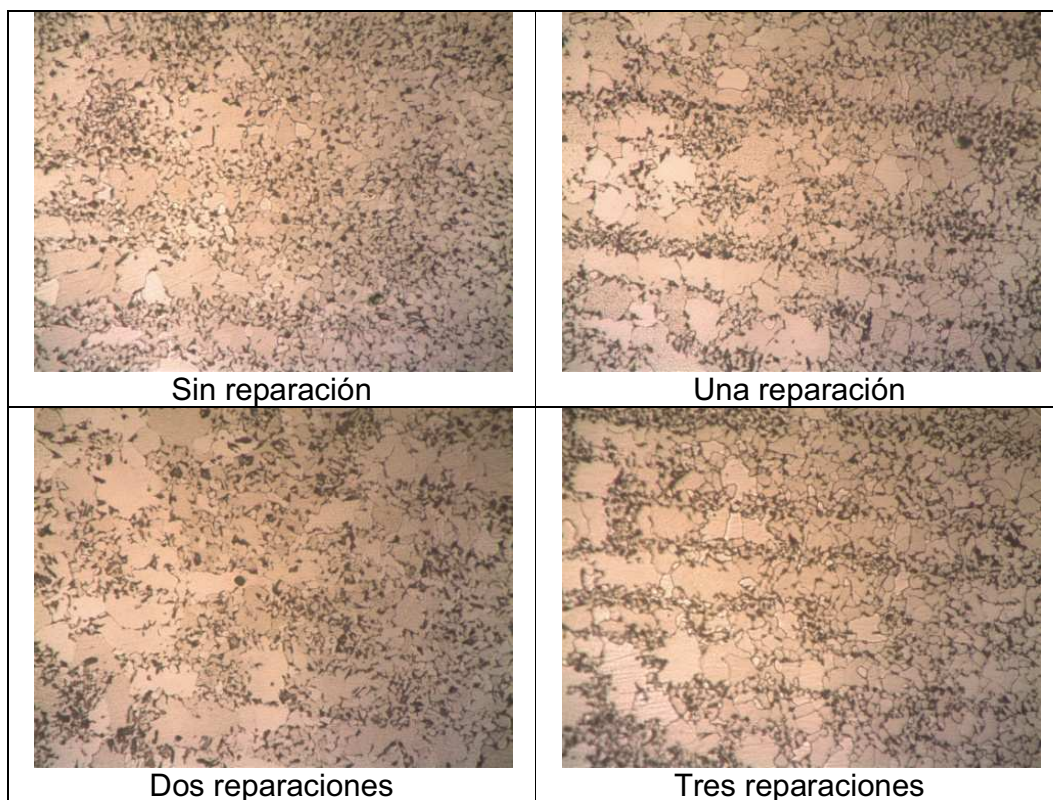


Figura 38. Comparativa de metalografías Metal Base – Grano Fino (500x)

En esta región de transición de metal base a grano fino el sentido de la laminación todavía se conserva. No presentan mayores diferencias en todas las reparaciones por lo cual su estructura es bastante similar.

#### 4.1.3 ZONA DE GRANO FINO

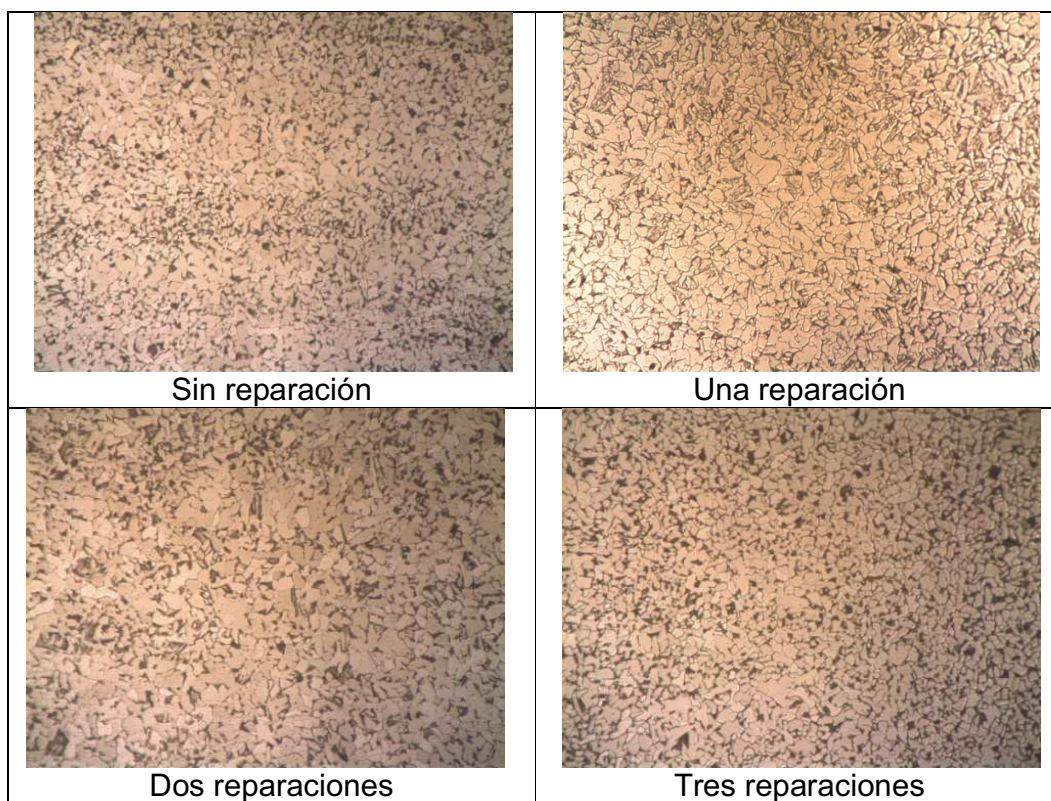


Figura 39. Comparativa de metalografías Grano Fino (500x)

En esta zona el sentido de la laminación se ha perdido, los tamaños de grano son prácticamente iguales en las cuatro fotos. No se observa mayor diferencia entre ellas.



#### 4.1.4 TRANSICIÓN ZONA DE GRANO FINO Y ZAC

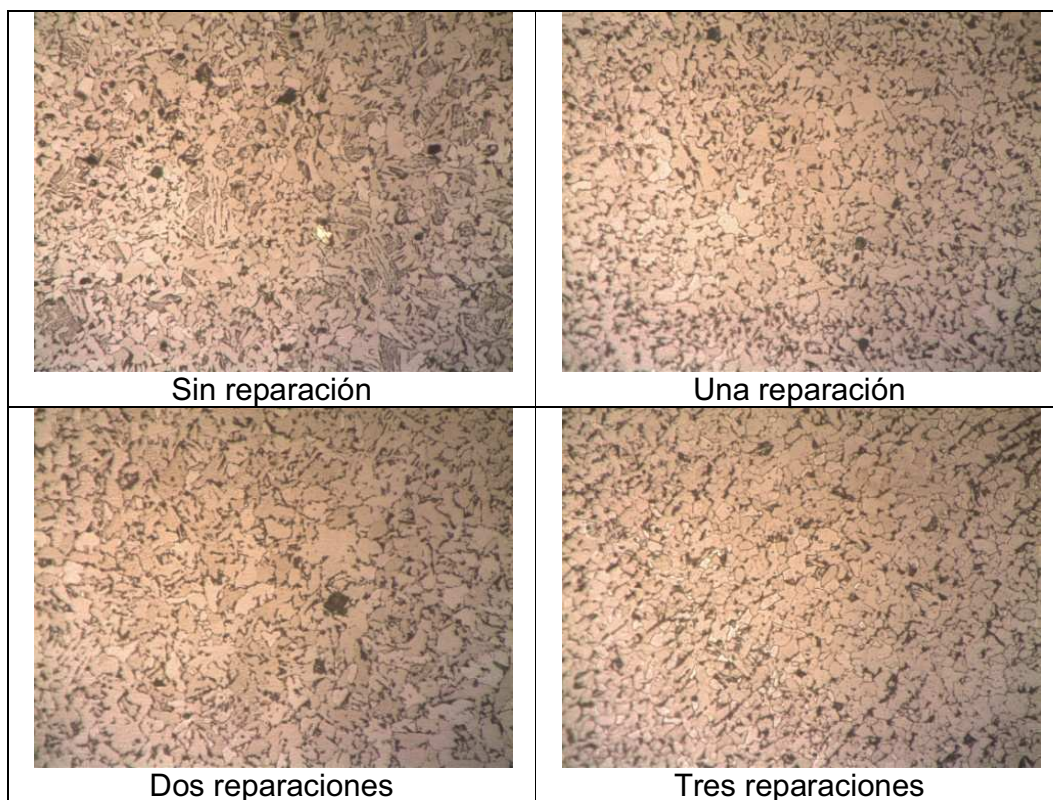


Figura 40. Comparativa de metalografías Grano Fino - ZAC (500x)

En la esquina inferior izquierda de todas las fotografías se aprecia la zona de grano fino e inmediatamente después existe cambio en forma y tamaño de los granos correspondientes a la ZAC. Se mantiene esta situación para las cuatro exposiciones. No existen mayores cambios en las mismas.

#### 4.1.5 LA ZAC

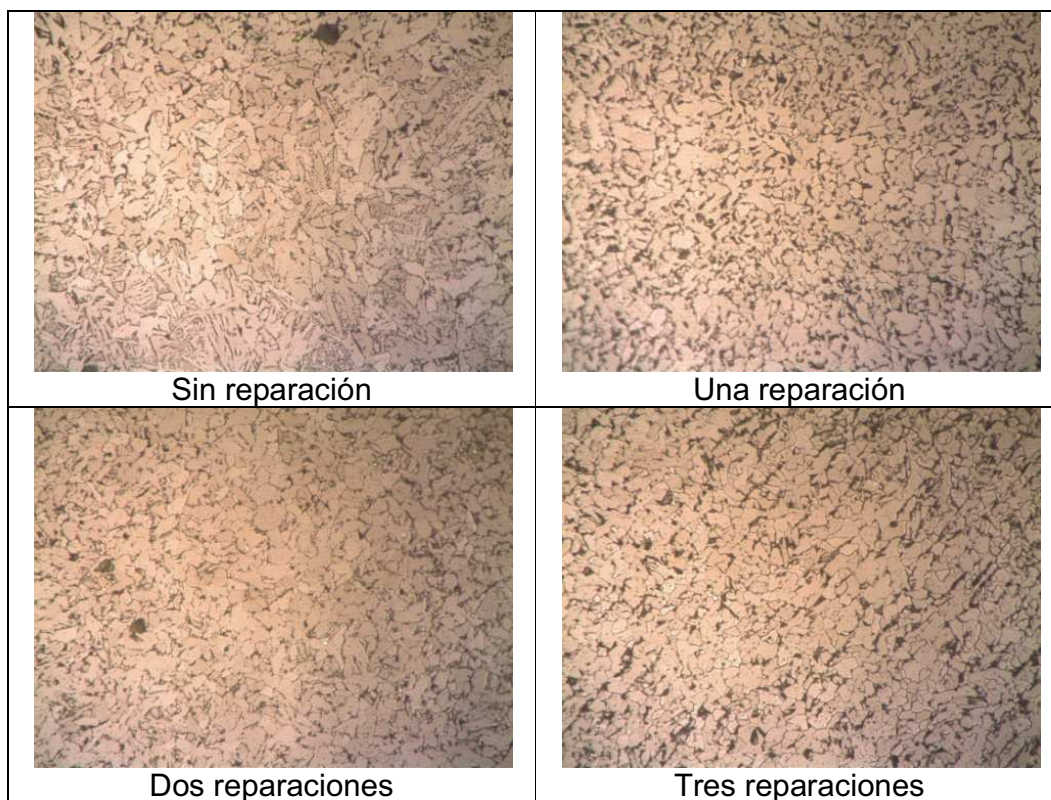


Figura 41. Comparativa de metalografías ZAC (500x)

En esta zona la configuración granular empieza a sufrir transformaciones, es decir, los granos empiezan a perder su equiaxialidad. El crecimiento de grano se hace notorio con respecto a la zona anterior. Se observa también de alguna manera una configuración algo diferente entre las cuatro fotografías y se justifica este hecho por las diferentes velocidades de enfriamiento que en cada una de ellas sucede. Sin embargo, se puede decir que son estructuras similares.

#### 4.1.6 TRANSICIÓN ENTRE LA ZAC Y SOLDADURA

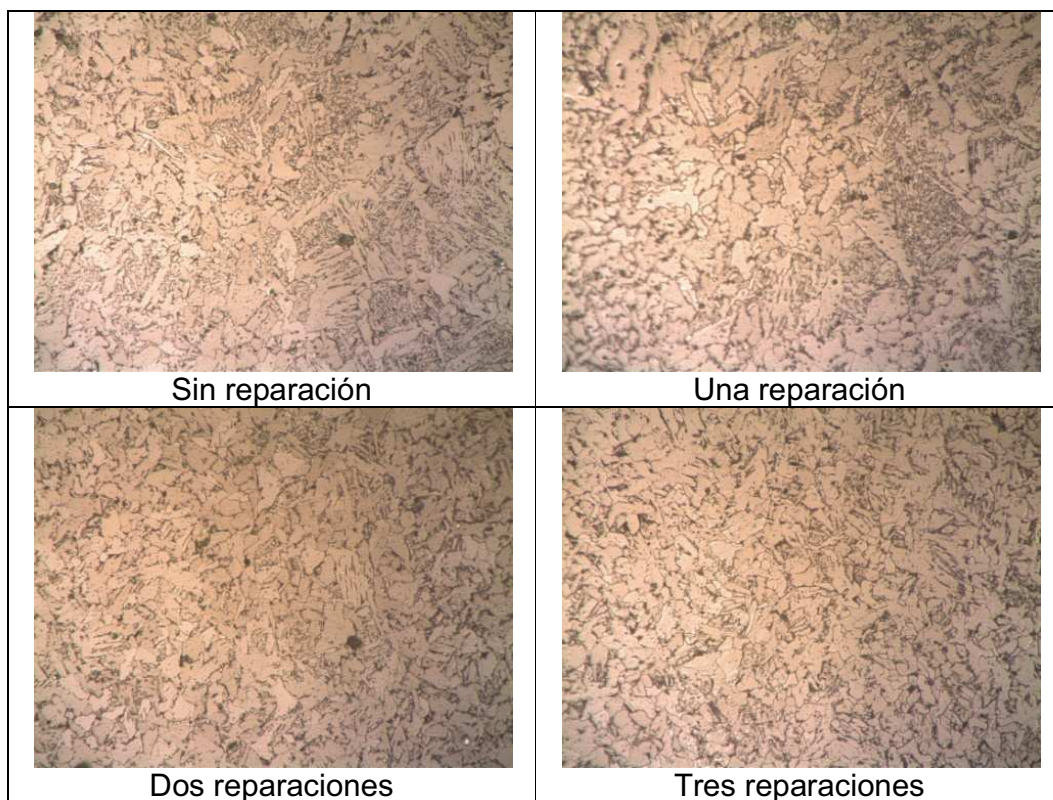


Figura 42. Comparativa de metalografías ZAC – Soldadura (500x)

En esta zona finaliza el crecimiento de grano de la ZAC e inmediatamente aparece la estructura acicular propia de la soldadura que se manifiesta de forma columnar, desapareciendo el concepto de grano.



#### 4.1.7 SOLDADURA

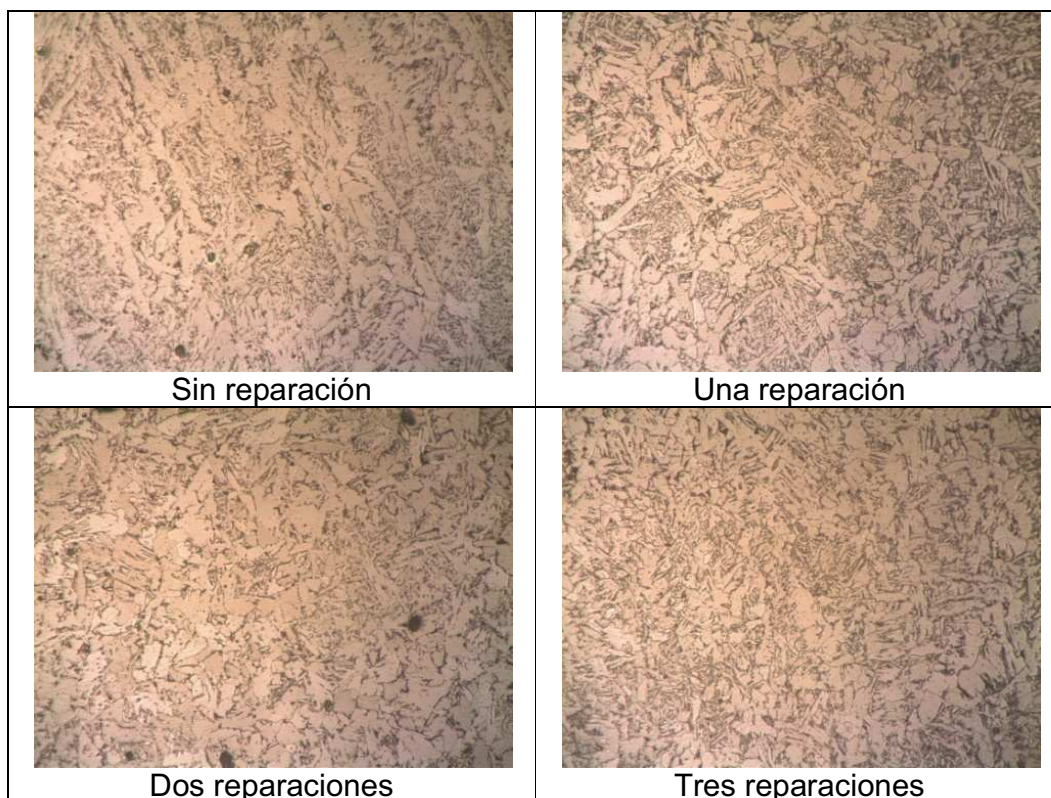


Figura 43. Comparativa de metalografías Soldadura (500x)

En esta zona es donde ocurre la mayor velocidad de enfriamiento. Se tiene granos de austenita alargados y de gran tamaño, a partir de esta austenita lo primero que aparece en los límites de grano es una ferrita denominada alotrófica. A continuación al seguir enfriando esta ferrita comienza a formar ferrita Widmanstätten. La ferrita como tiene que seguir creciendo empieza a solidificar en el centro del grano, es la denominada ferrita acicular. El resto de austenita se transforma en fases de no equilibrio como perlita, vainita y martensita. La ferrita Widmanstätten corresponde a agujas de ferrita que crecen desde el límite de grano hacia el interior en placas paralelas. Es muy perjudicial para las propiedades mecánicas.

## 4.2 ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE GRANO

A continuación se realiza un análisis comparativo del tamaño de grano identificado tanto con el número de reparaciones como con las zonas propias de la junta de soldadura.

Tabla 24. Valores comparativos de los tamaños de grano

CUADRO COMPARATIVO DE TAMAÑOS DE GRANO EN MICRAS				
ZONAS	sin reparación	primera reparación	segunda reparación	tercera reparación
MB	45,05	45,84	49,53	49,54
ZT MB-GF	10,62	14,40	10,95	10,55
GF	10,62	12,55	14,91	12,70
ZT GF-ZAC	17,92	29,91	29,71	26,91
ZAC	39,14	32,39	25,09	21,88

### 4.2.1 EN EL METAL BASE

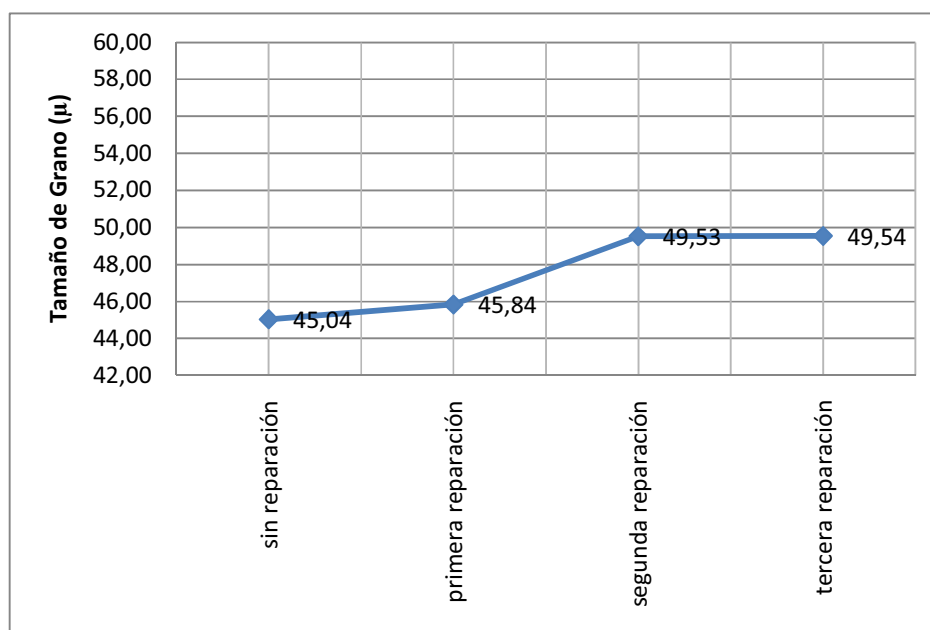


Figura 44. Tamaño de grano en el Metal Base por reparaciones



No existe mayor incremento del tamaño de grano. La desviación que se observa en la segunda y tercera reparación es permisible debido al método que se utiliza para la medición del tamaño de grano, razón por la cual se considera constante y se justifica ya que en esta zona no existe influencia de ninguna índole.

#### 4.2.2 EN LA ZONA DE TRANSICIÓN METAL BASE – GRANO FINO

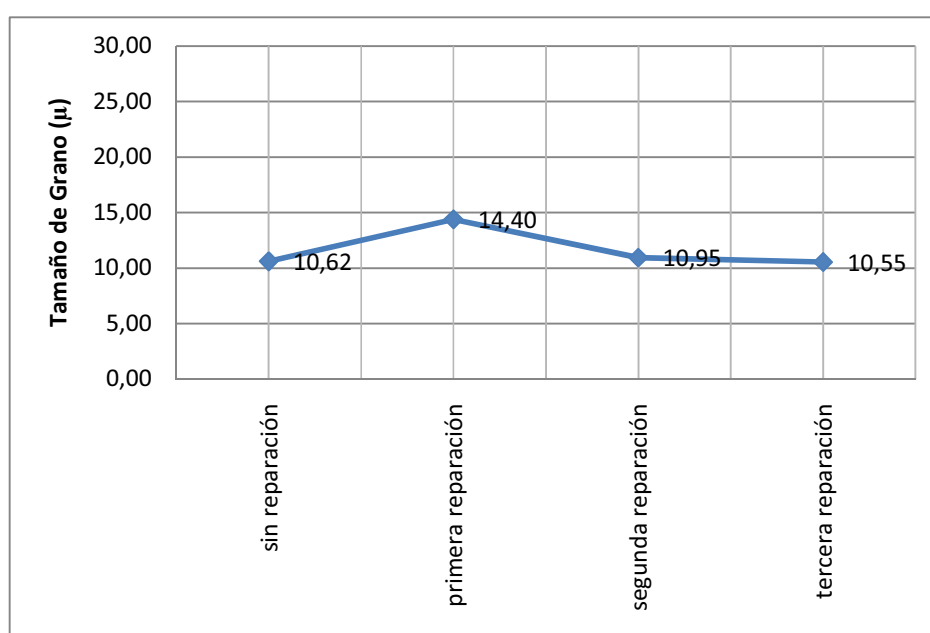


Figura 45. Tamaño de grano zona Metal Base – Grano Fino por reparaciones

Como se puede apreciar en la gráfica prácticamente no existe cambio en el tamaño de grano en ninguna de las juntas. Esta zona corresponde al inicio del refinamiento de grano en donde cada pasada consecutiva mediante el aporte térmico y el ciclo de enfriamiento se encargan de dar homogeneidad al tamaño de grano.

Sin embargo, al comparar con el tamaño de grano del metal base en esta zona de transición, las dimensiones del grano disminuyen en aproximadamente cuatro veces.

### 4.2.3 EN LA ZONA DE GRANO FINO

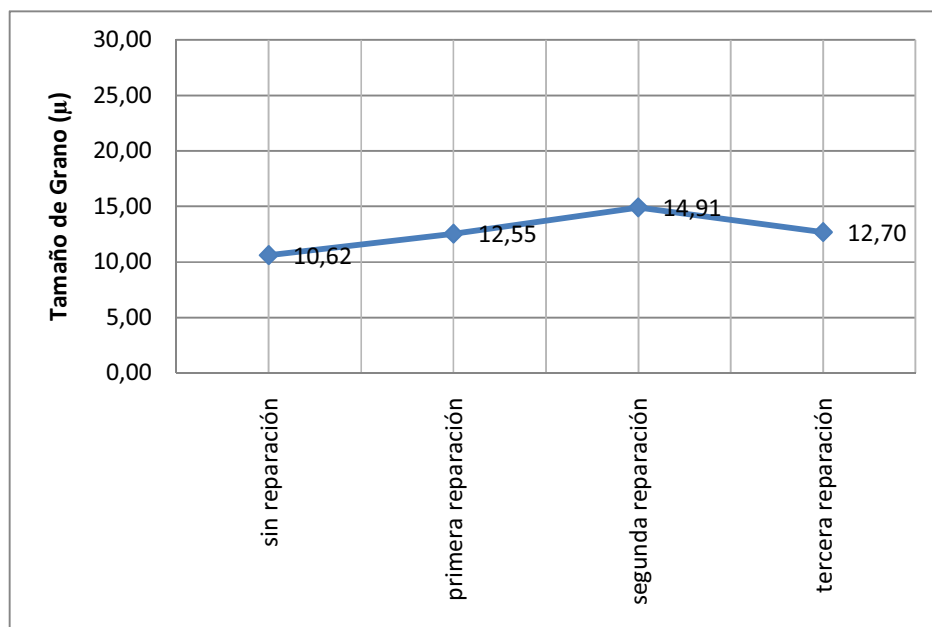


Figura 46. Tamaño de grano en la zona de Grano Fino por reparaciones

El análisis es prácticamente el mismo que en la zona anterior ya que es la continuación a la zona de transición en donde el refinamiento de grano se ha completado totalmente.

#### 4.2.4 EN LA ZONA DE TRANSICIÓN GRANO FINO - ZAC

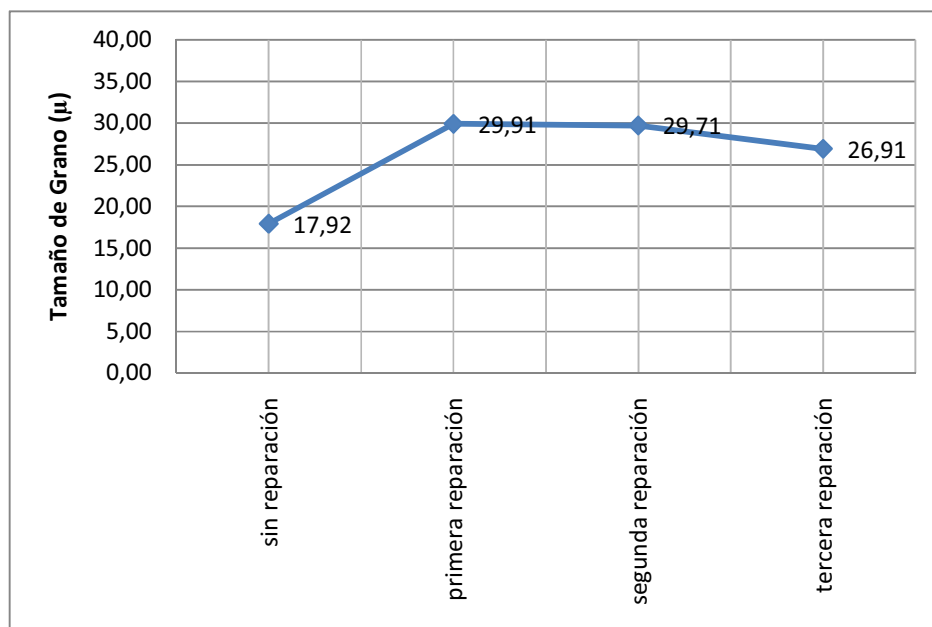


Figura 47. Tamaño de grano zona Grano Fino – ZAC por reparaciones

Comparando el tamaño de grano de la junta reparada por primera vez con la junta sin reparación, el crecimiento de grano es casi el doble debido a que esta zona se encuentra cerca a la región donde ocurren los mayores cambios metalográficos debido al alto aporte de calor generado por la soldadura.

Se observa en la gráfica que una vez realizada la primera reparación crece considerablemente el tamaño de grano pero con las siguientes reparaciones se mantiene constante.

#### 4.2.5 EN LA ZAC

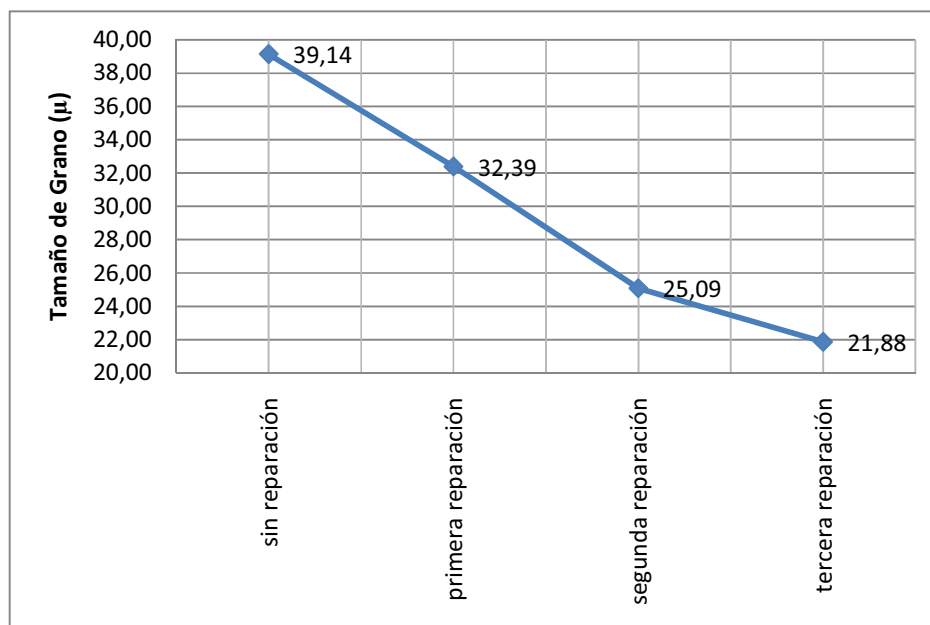


Figura 48. Tamaño de grano en la ZAC por reparaciones

En la ZAC ocurre todo el cambio metalúrgico posible que puede suceder en el metal base y por ende se da el mayor crecimiento de grano lo que sucede en cualquier junta de soldadura con o sin reparaciones.

Sin embargo, la gráfica indica que a medida que se incrementa el número de reparaciones el tamaño de grano en la ZAC va disminuyendo, esto es debido a los aportes de calor los cuales hacen que con cada reparación el grano tienda a refinarse poco a poco.

### 4.3 ANÁLISIS DE LOS ANCHOS DE BANDA DE ALTA TEMPERATURA DENTRO DE LA ZAC

El siguiente cuadro es un resumen de los promedios de todas las mediciones realizadas en las diferentes juntas de soldadura (sin reparación, una, dos y tres

reparaciones) donde básicamente existe una mínima diferencia que puede considerarse despreciable, ya que está en el orden de las décimas de milímetro. El ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC no cambia bajo ningún parámetro, considerando que todas son reparaciones íntegras, es decir, todas las juntas ingresaron al ciclo de corte total y se repararon una, dos y tres veces repitiendo el mismo procedimiento para cada una de ellas.

Tabla 25. Promedios de los anchos de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC

<b>PROMEDIOS ANCHO DE BANDA (mm)</b>	
SIN REPARACIÓN	1,5
PRIMERA REPARACIÓN	2,1
SEGUNDA REPARACIÓN	2,2
TERCERA REPARACIÓN	2,2

El ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC se puede predecir matemáticamente mediante la ecuación de Adams para sistemas bidimensionales laterales aplicables a placas delgadas. Se considera que el espesor de la tubería en estudio (11mm) es una placa delgada ya que las temperaturas superior e inferior en la sección de la tubería son prácticamente las mismas.

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{\sqrt{2\pi e \rho C h Y}}{H_{net}} + \frac{1}{T_f - T_0} \quad (3)^{(11)}$$

Donde:

- $T_p$  = temperatura máxima en un punto de la ZAC [°C]
- $T_0$  = temperatura de precalentamiento [15°C]
- $h$  = espesor del material [mm]
- $\rho$  = densidad del metal base [g/mm<sup>3</sup>]
- $C$  = calor específico del material [J/g °C]

- Y = distancia desde el borde de fusión (ancho de la banda) [mm]  
 Tf = temperatura de fusión [°C]  
 Hnet = calor aportado neto [J/mm]

Para el cálculo del calor aportado se tiene la siguiente fórmula:

$$H_{net} = \frac{V \cdot I \cdot 60}{N} \left[ \frac{J}{in} \right] \quad (4)^{(12)}$$

Donde:

- V = Voltaje [V]  
 I = Amperaje [A]  
 N = Velocidad de avance [in/min]

$$H_{net} = \frac{(15.8)(132)(60)}{(3.3)} = 37920 \frac{J}{in}$$

$$H_{net} = 1493 \frac{J}{mm}$$

Despejando el valor de Y (ancho de la banda) de la primera ecuación se tiene:

$$Y = \left( \frac{1}{T_p - T_0} - \frac{1}{T_f - T_0} \right) \frac{H_{net}}{\sqrt{2\pi e \rho C h}} \quad (5)$$

Tabla 26. Cálculo del ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC

Variables de soldadura		Cálculo del calor aportado	
Voltaje (V)	15	Hneto (J/in)	28929
Amperaje (A)	135	Hneto (J/mm)	1139
Velocidad avance (in/min)	4,2		

<b>Variables ancho ZAC</b>	
Tp: Temperatura puntual (°C), temperatura normalizado	985
To: Temperatura precalentamiento (°C)	15
h: Espesor del material (mm)	10,97
$\rho$ : Densidad el metal base (g/mm <sup>3</sup> )	0,0078
C: Calor específico del metal base (J/g.°C)	0,4184
Tf: Temperatura de fusión (°C)	1510
Hneto: calor aportado neto (J/mm)	1139

<b>Cálculo ancho de la banda</b>	
Y: ancho de la banda (mm)	2,7

Se compara los valores obtenidos de las mediciones realizadas en el laboratorio frente al cálculo matemático, se observa que no existe variación significativa entre 2.2 y 2.7 mm por tanto son acertadas las mediciones.

#### 4.4 ANÁLISIS DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

Tabla 27. Promedio de los valores del Ensayo de Tracción

<b>PROMEDIOS TRACCIONES</b>				
<b>CONDICIÓN</b>	<b>carga a la rotura</b>	<b>resistencia a la tracción</b>	<b>elongación</b>	<b>carga de fluencia</b>
	<b>lbf</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>	<b>lbf</b>
<b>SIN REPARACIÓN</b>	25900	77000	49,3	24950
<b>PRIMERA REPARACIÓN</b>	22750	78750	46,8	22550
<b>SEGUNDA REPARACIÓN</b>	27100	76600	48,45	26250
<b>TERCERA REPARACIÓN</b>	26900	76850	47,7	27100

Estos valores se obtienen de los ensayos para calificación de procedimientos para las diferentes condiciones.

Las diferencias de los valores de las resistencias a la tracción son mínimos al igual que los porcentajes de elongación y la carga de fluencia, por tanto se consideran constantes.

#### 4.5 ANÁLISIS DE DUREZAS

Se realiza un estudio comparativo y también un análisis de gráficas de las medidas de dureza obtenidas en cada una de las regiones que comprenden el metal base, la ZAC y la soldadura.

Del primer estudio es necesario profundizar la medición de durezas hacia dos niveles claramente identificados: la porción sobre la línea media de la soldadura y la porción debajo de esta línea.

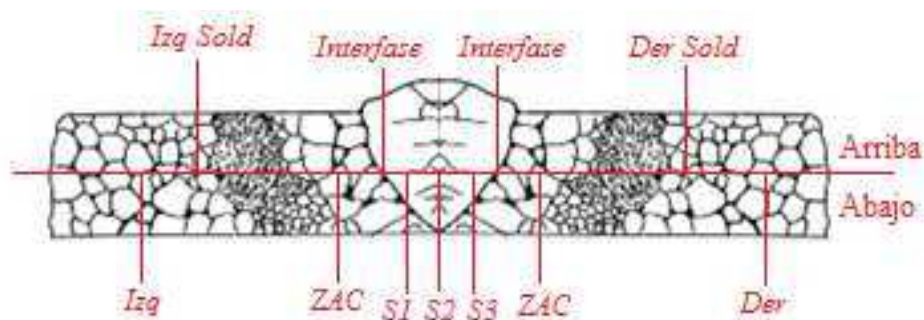


Figura 49. Zonas de medición de Durezas



#### 4.5.1 VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y DEBAJO DE LA JUNTA SIN REPARACIÓN

Tabla 28. Valores de dureza arriba – abajo en la junta sin reparación

VALORES DE DUREZA HRB SIN REPARACIÓN											
REGIONES	POSICIONES										
	IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
ARRIBA	75	78	92	84	86	90	88	87	81	78	77
ABAJO	76	78	88	86	81	77	82	86	85	76	78

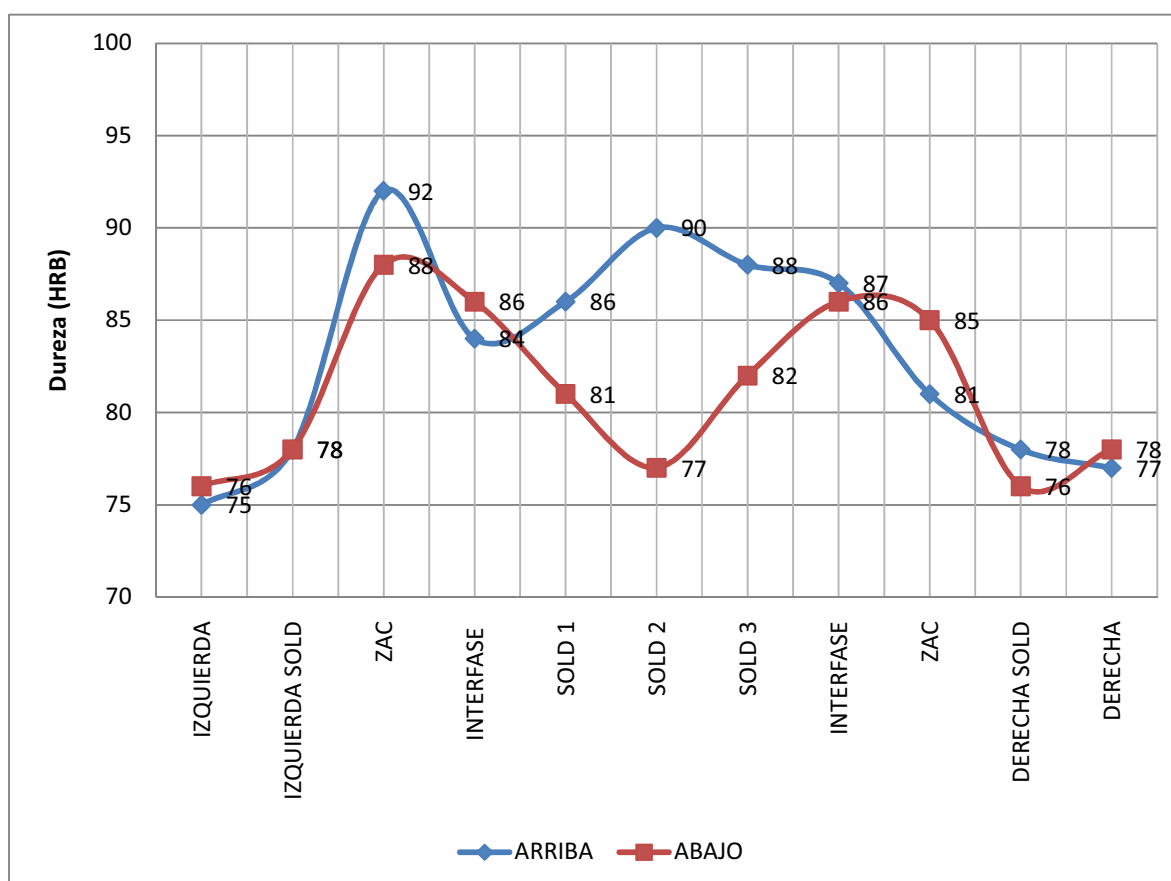


Figura 50. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta sin reparación

#### 4.5.2 VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA PRIMERA REPARACIÓN

Tabla 29. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con una reparación

VALORES DE DUREZA HRB PRIMERA REPARACIÓN											
REGIONES	POSICIONES										
	IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
ARRIBA	77	79	89	90	87	90	85	85	84	78	78
ABAJO	76	80	86	86	83	78	83	84	83	79	78

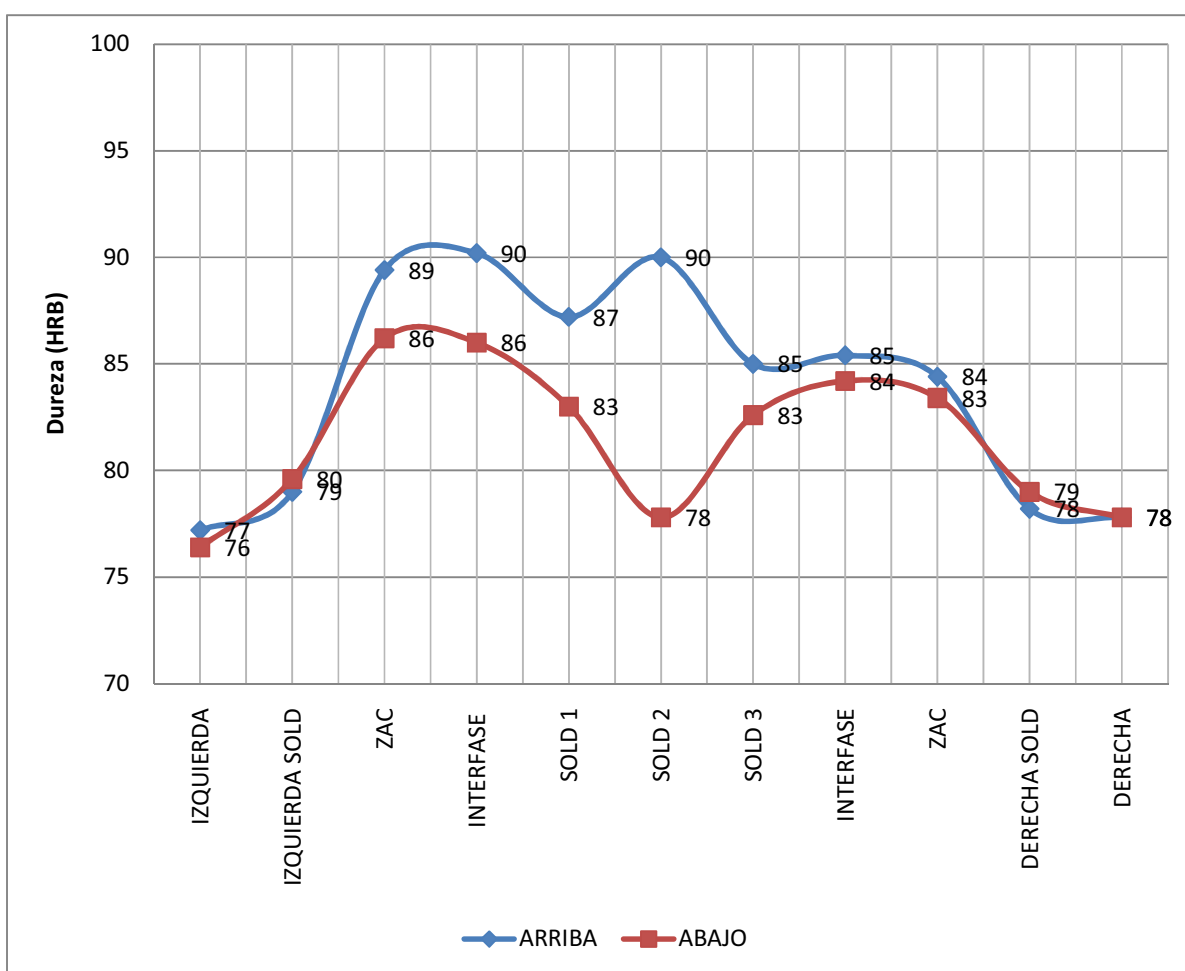


Figura 51. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con una reparación

#### 4.5.3 VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA SEGUNDA REPARACIÓN

Tabla 30. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con dos reparaciones

VALORES DE DUREZA HRB SEGUNDA REPARACIÓN											
REGIONES	POSICIONES										
	IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
ARRIBA	78	81	87	86	87	92	88	89	86	80	77
ABAJO	81	83	89	89	85	79	84	86	87	80	78

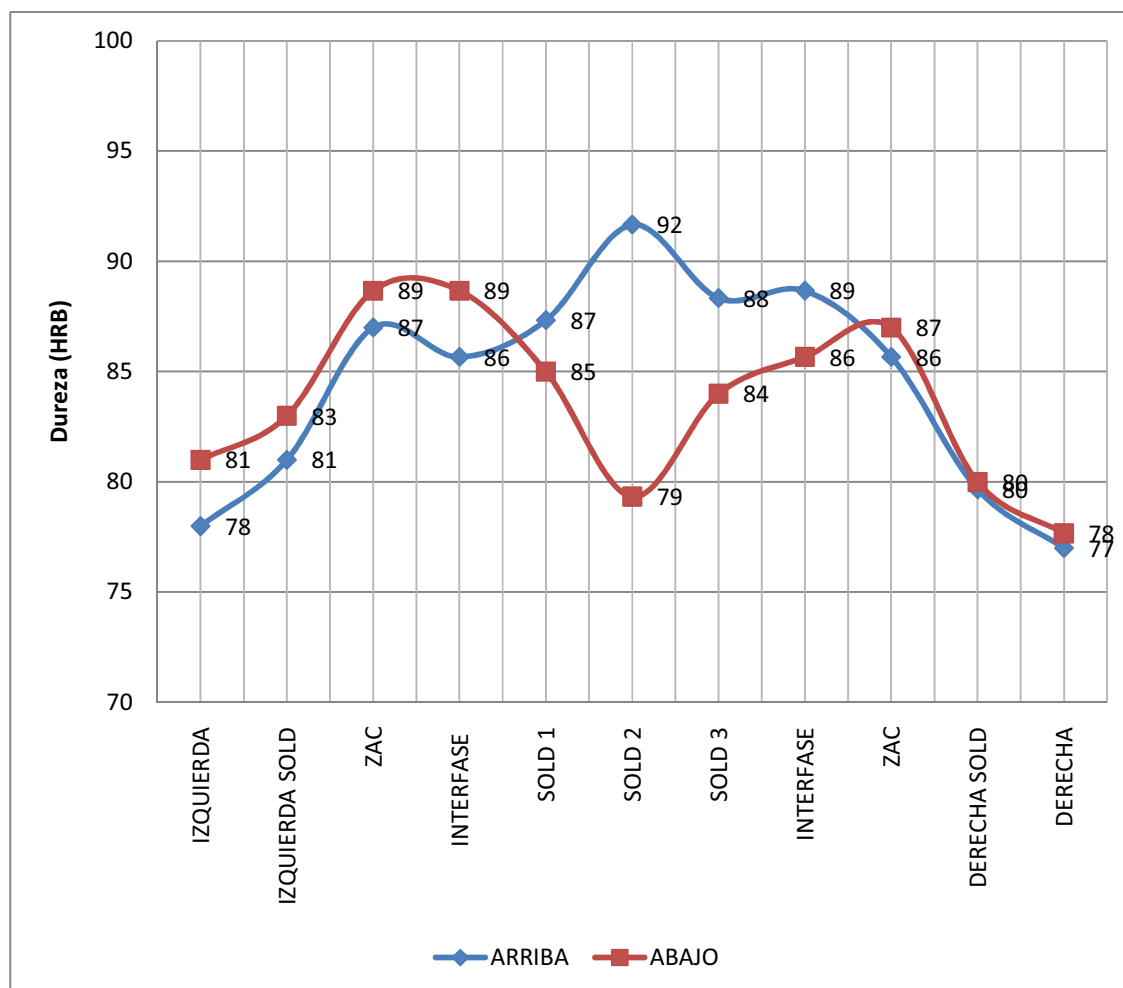


Figura 52. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con dos reparaciones

#### 4.5.4 VALORES DE DUREZA EN LAS REGIONES ARRIBA Y ABAJO EN LA TERCERA REPARACIÓN

Tabla 31. Valores de dureza arriba – abajo en la junta con tres reparaciones

VALORES DE DUREZA HRB TERCERA REPARACIÓN											
REGIONES	POSICIONES										
	IZQ	IZQ SOLD	ZAC	INTER	SOLD 1	SOLD 2	SOLD 3	INTER	ZAC	DER SOLD	DER
ARRIBA	75	79	85	88	85	87	84	85	84	75	74
ABAJO	75	86	84	85	83	74	81	84	83	76	76

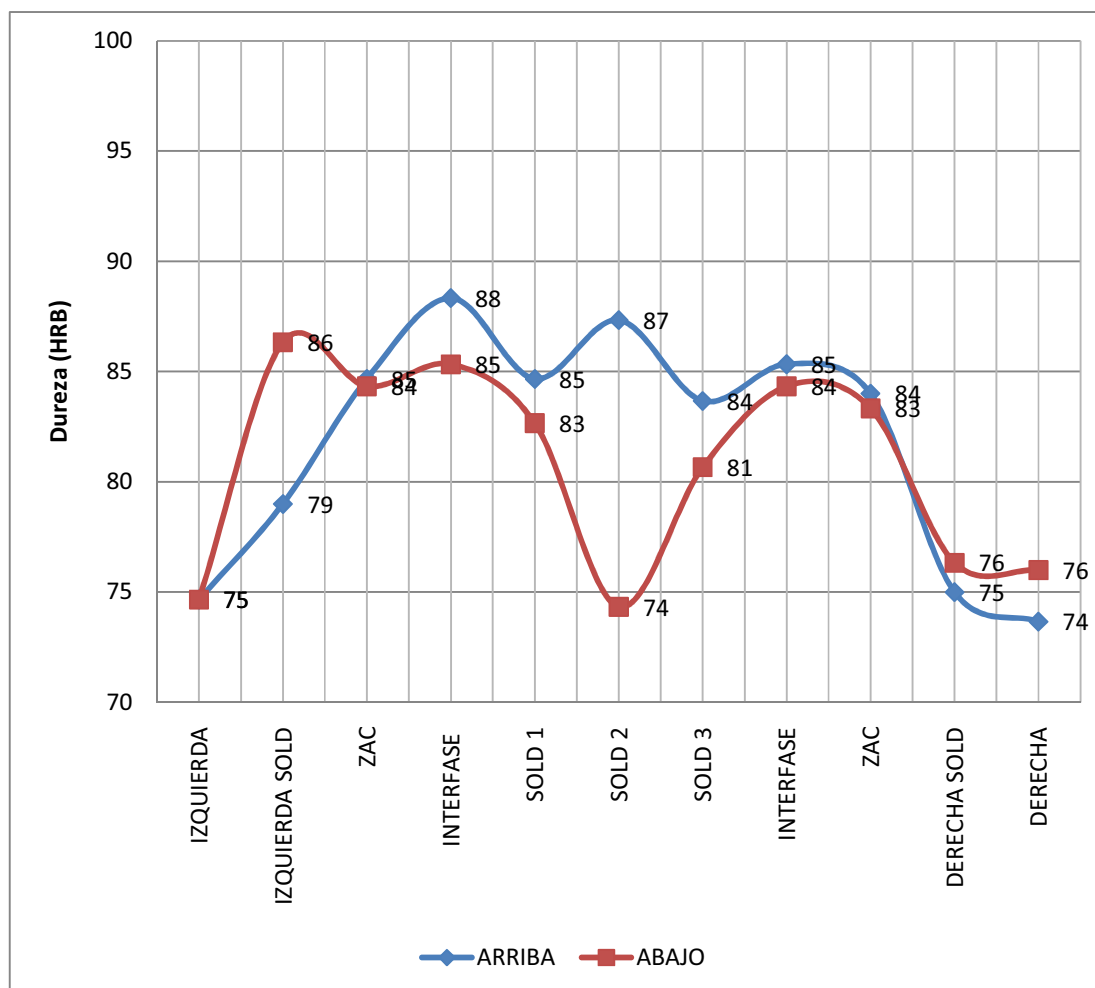


Figura 53. Perfil de durezas arriba – abajo en la junta con tres reparaciones

Como se aprecia en las gráficas anteriores en las juntas sin reparación, una, dos y tres reparaciones existe una diferencia marcada de durezas en las regiones antes descritas como arriba y abajo, entre las interfases (izquierda - derecha). Esta diferencia se sustenta en que cada junta de soldadura se ha conformado por multipasadas las mismas que refinan el grano y por ende la dureza va disminuyendo afectando prácticamente la zona inferior del cordón de soldadura.

Las ZAC derecha e izquierda corresponden a las regiones que presentan los valores de dureza más altos y es en donde se concentran las mayores tensiones residuales producidas por el efecto térmico generado por el cordón de soldadura.

Ahora bien, en el nuevo nivel de estudio: condiciones arriba y abajo también existe una marcada diferencia de mediciones de dureza. En la parte inferior se presentan valores menores de dureza producto de la eliminación de las tensiones residuales ya que cada multipasada genera un tratamiento térmico de normalizado que conlleva a esta disminución de la dureza (abajo). Entonces se mejora las propiedades mecánicas de la junta de soldadura como tal, por lo tanto, la parte inferior de la soldadura se vuelve más dúctil y eso ayuda a que el material no sufra una fractura frágil en esta zona.

A medida de que se va terminando el cordón de soldadura el efecto de normalizado va disminuyendo, y en el último cordón o pase de presentación, prácticamente no existe tratamiento térmico, esto justifica, que los valores de dureza sean mayores a los de la región inferior.

La dureza también depende de la velocidad de enfriamiento y ésta a su vez depende de:

- La temperatura de precalentamiento.
- Del espesor.
- De la geometría de la unión.
- De la energía neta aportada.

El precalentamiento reduce la velocidad de enfriamiento, facilita la difusión del hidrógeno, reduce las tensiones de la ZAC y disminuye el riesgo de formación de poros.

#### 4.5.5 COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE DUREZA EN LA REGIÓN INFERIOR

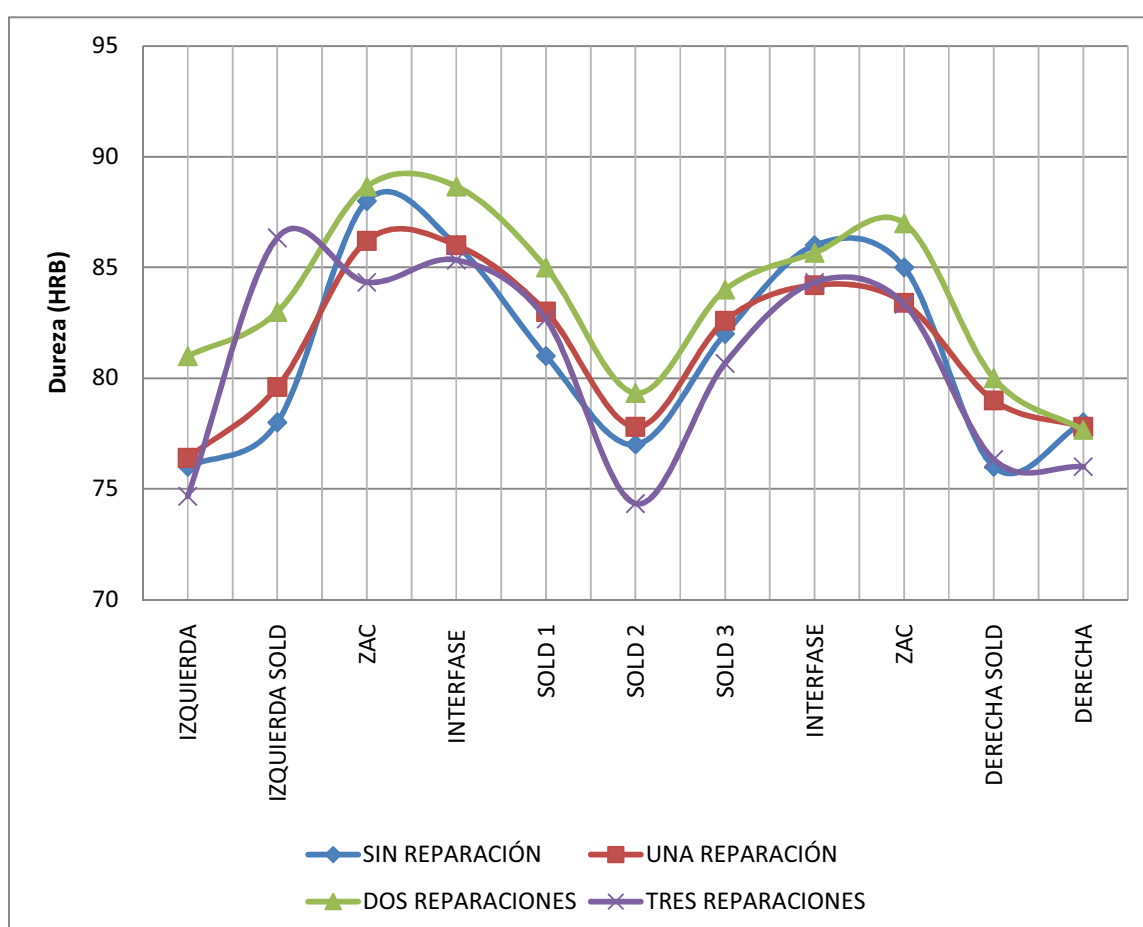


Figura 54. Comparación de durezas en la zona inferior

Esta gráfica presenta una recopilación de todas las medidas de dureza registradas en la región inferior. Se aprecia que todas tienen una misma tendencia y las

diferencias entre ellas pueden considerarse despreciables en cada una de las zonas en análisis.

Tabla 32. Relación Dureza – Resistencia zona inferior

<b>RELACIÓN DUREZA-RESISTENCIA TRACCIÓN</b>		
	<b>METAL BASE</b>	<b>SOLDADURA</b>
<b>DUREZAS PROMEDIO ABAJO HRB</b>	77,2	77,1
<b>DUREZAS PROMEDIO ABAJO HB</b>	141	141
<b>RELACION TRACCIÓN (psi)</b>	70500	70500
<b>RESISTENCIA TRACCIÓN MTR (psi)</b>	72366	
<b>RESISTENCIA MÍNIMA NORMA (psi)</b>	60200	

Recordando la relación entre la dureza de un acero y su resistencia a la tracción:

$$\text{Resistencia a la Tracción} = 500 \cdot HB$$

Donde HB es la dureza en escala Brinell. Es necesario transformar la dureza Rockwell B a Dureza Brinell utilizando la norma de conversión ASTM-E140.

Se promedia los valores de dureza en esta región tanto en el metal base como en la soldadura y se encuentra que son prácticamente las mismas, por tanto, la resistencia a la tracción es también igual y está sobre el parámetro mínimo establecido para este tipo de acero. En esta región los efectos de tratamiento térmico del normalizado, producto de las multipasadas, son la razón de encontrar medidas de dureza similares.

#### 4.5.6 COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE DUREZA EN LA REGIÓN SUPERIOR

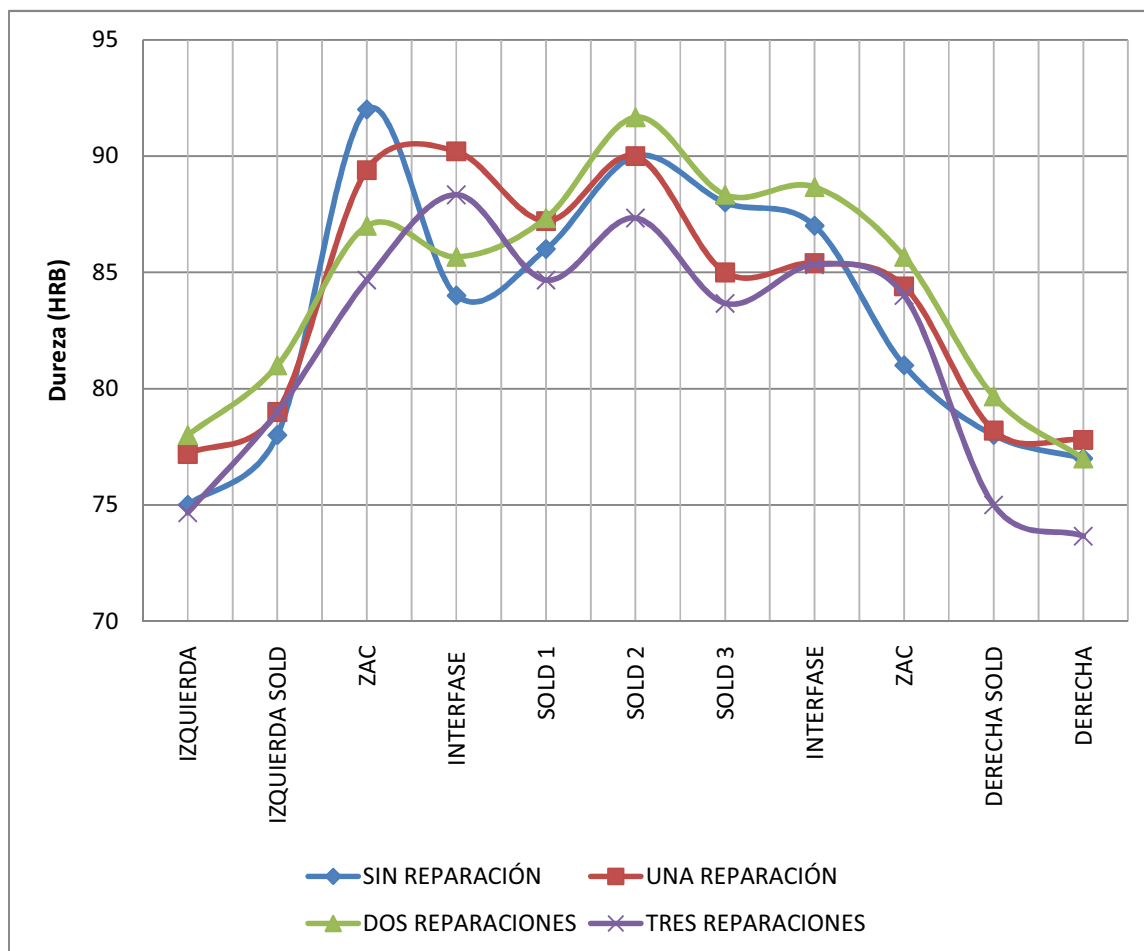


Figura 55. Comparación de durezas en la zona superior

Prácticamente se observa la misma tendencia que el caso anterior, con una particularidad: las medidas de dureza en el punto central de la soldadura son similares en valor a los obtenidos en la ZAC. Esto es correcto y se justifica ya que en la región superior las multipasadas son en menor cantidad por lo tanto el refinamiento de grano disminuye a diferencia de la región inferior.



Tabla 33. Relación Dureza – Resistencia zona superior

<b>RELACIÓN DUREZA-RESISTENCIA TRACCIÓN</b>		
	<b>METAL BASE</b>	<b>SOLDADURA</b>
<b>DUREZAS PROMEDIO ARRIBA HRB</b>	76,3	89,8
<b>DUREZAS PROMEDIO ABAJO HB</b>	139	185
<b>RELACION TRACCIÓN (psi)</b>	69500	92500
<b>RESISTENCIA TRACCIÓN MTR (psi)</b>	72366	
<b>RESISTENCIA MÍNIMA NORMA (psi)</b>	60200	

Aquí la diferencia entre el metal base y la soldadura es significativo. La soldadura presenta mayores valores de dureza que el metal base, en especial el último cordón de soldadura (cordón de presentación) ya que este no sufre ningún tratamiento térmico, por tanto, no sufre ningún cambio ni a nivel metalográfico.

Por consiguiente, se realiza un estudio más minucioso considerando las regiones arriba – abajo en el cordón de soldadura, presentando y evaluando nuevas micrografías y valores de tamaños de grano.

#### **4.6 ANÁLISIS DE REGIÓN SUPERIOR E INFERIOR DE LA JUNTA DE SOLDADURA**

Se realiza los siguientes ensayos:

- Estudio metalográfico regiones arriba – abajo.
- Estudio de tamaños de grano regiones arriba – abajo.

#### 4.6.1 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA SIN REPARACIÓN

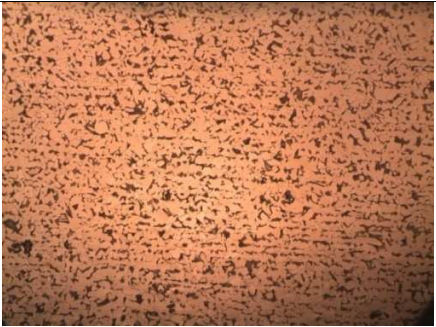
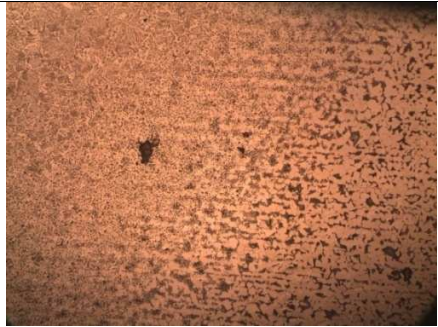
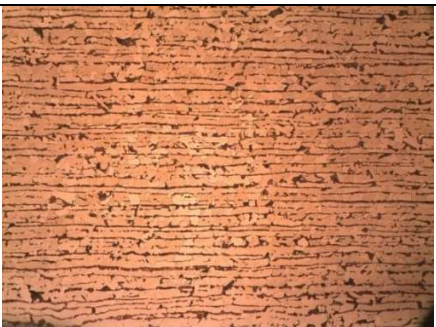
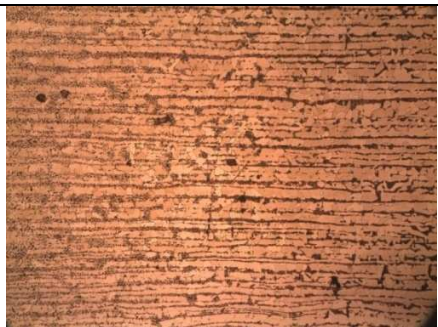
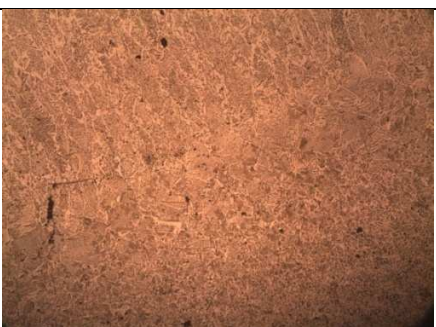



<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="518 694 686 728">Metal Base</p>	 <p data-bbox="949 694 1276 728">M.Base – Recrist - ZAC</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="518 1075 686 1108">Metal Base</p>	 <p data-bbox="933 1075 1292 1108">M.Base - Recristalización</p>
<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="438 1456 758 1489">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1456 1189 1489">Soldadura</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="438 1836 758 1870">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1836 1189 1870">Soldadura</p>

Figura 56. Micrografías arriba – abajo de la junta sin reparación (100x)



#### 4.6.2 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA CON UNA REPARACIÓN

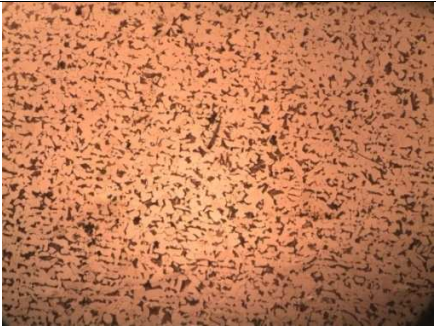
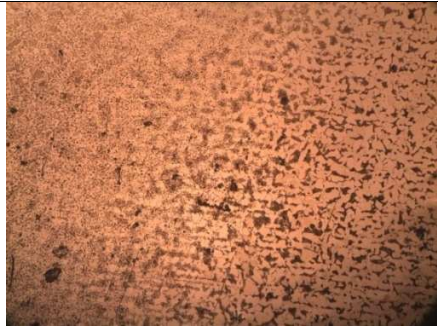
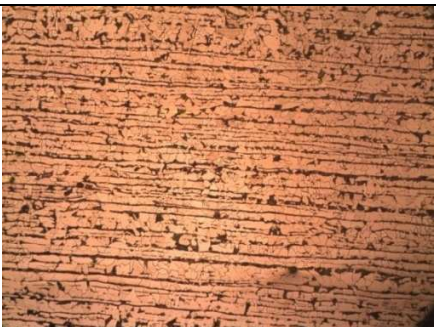
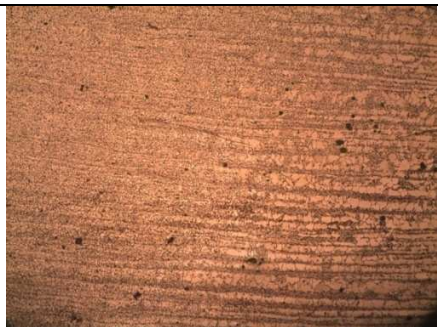
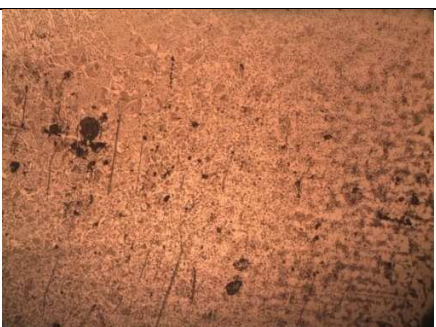



<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="518 694 686 728">Metal Base</p>	 <p data-bbox="949 694 1276 728">M.Base - Recrist - ZAC</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="518 1075 686 1108">Metal Base</p>	 <p data-bbox="933 1075 1292 1108">M.Base - Recristalización</p>
<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="438 1456 766 1489">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1456 1189 1489">Soldadura</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="438 1836 766 1870">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1836 1189 1870">Soldadura</p>

Figura 57. Micrografías arriba – abajo de la junta con una reparación (100x)



#### 4.6.3 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍAS DE LA JUNTA CON DOS REPARACIONES

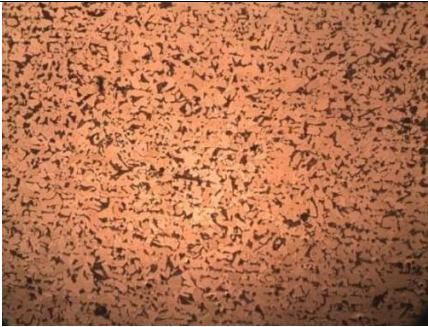
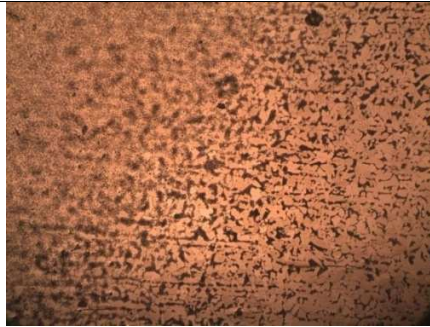
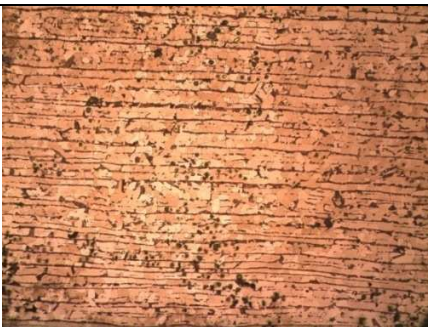
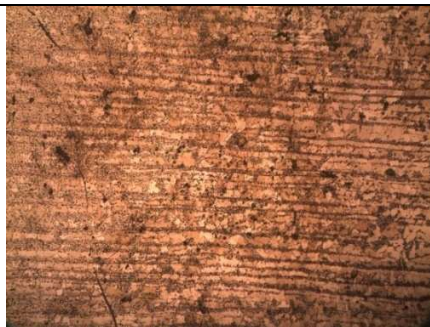



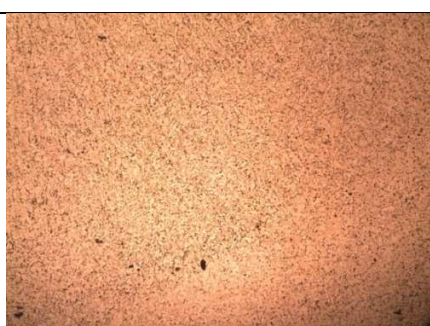
<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="518 694 686 728">Metal Base</p>	 <p data-bbox="949 694 1276 728">M.Base – Recrist - ZAC</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="518 1075 686 1108">Metal Base</p>	 <p data-bbox="933 1075 1300 1108">M.Base - Recristalización</p>
<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="438 1456 758 1489">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1456 1189 1489">Soldadura</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="438 1836 758 1870">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1836 1189 1870">Soldadura</p>

Figura 58. Micrografías arriba – abajo de la junta con dos reparaciones (100x)



#### 4.6.4 ANÁLISIS DE MICROGRAFÍA DE LA JUNTA CON TRES REPARACIONES

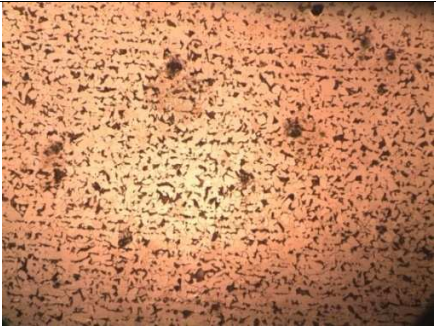
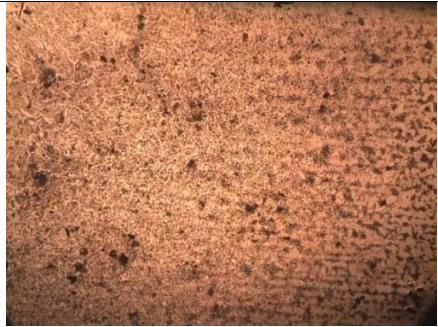
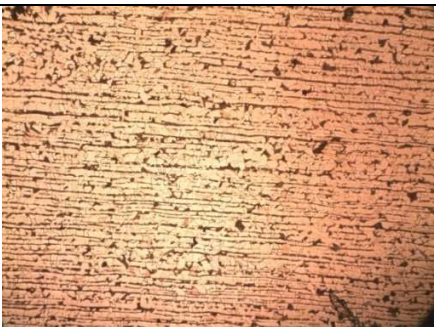
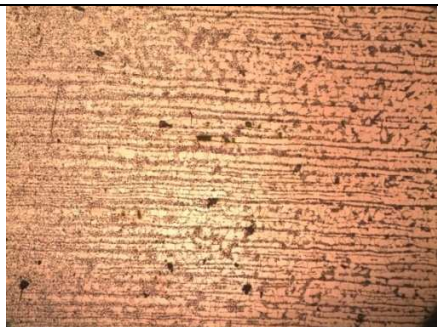
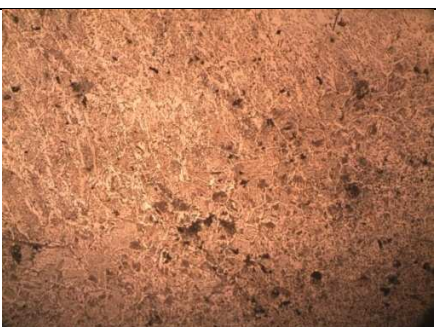



<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="518 694 686 728">Metal Base</p>	 <p data-bbox="949 694 1276 728">M.Base – Recrist - ZAC</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="518 1075 686 1108">Metal Base</p>	 <p data-bbox="933 1075 1292 1108">M.Base - Recristalización</p>
<b>Arriba</b>	 <p data-bbox="438 1456 758 1489">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1456 1189 1489">Soldadura</p>
<b>Abajo</b>	 <p data-bbox="438 1836 758 1870">Recristalización - ZAC</p>	 <p data-bbox="1037 1836 1189 1870">Soldadura</p>

Figura 59. Micrografías arriba – abajo de la junta con tres reparaciones (100x)

Estas micrografías corresponden a exposiciones tomadas a 100x con el objetivo de poder apreciar completamente el cambio estructural de la junta de soldadura a nivel metalográfico. En estas fotografías se aprecia las mismas zonas tanto arriba como abajo en la junta de soldadura. La zona de recristalización se ve más afectada térmicamente en la región inferior debido a los consecuentes tratamientos de normalizado de cada una de las multipasadas, aquí el tamaño de grano es mucho más pequeño ya que el normalizado refina y reduce el tamaño de grano aliviando las tensiones internas producto de la soldadura.

El tamaño de la zona de recristalización en la región superior es menor debido a que no existe la serie de tratamientos térmicos que ocurren en la zona inferior, es por esto que seguido a esta zona se puede ver la ZAC donde el crecimiento de grano respecto al tamaño de la zona de recristalización está bien marcado.

La zona de recristalización y ZAC son totalmente diferentes en la región de arriba a la de abajo. Ambas regiones en la zona de arriba presentan un cambio marcado entre el tamaño de grano de la zona de refinamiento de grano y la ZAC, lo que no ocurre en la parte de abajo, donde el tamaño de grano tanto en la zona de recristalización como en la ZAC se asemejan.

La soldadura en la región de arriba presenta la típica estructura de ferrita acicular, los granos son alargados con terminaciones en punta, no así la región de abajo donde la ferrita acicular ha cambiado de estructura a tipo equiaxial consecuencia de los sucesivos cordones que aportan térmicamente para que dé a lugar el normalizado cuyas consecuencias son totalmente evidentes en la fotografía, observando tamaños de grano equiaxiales, homogéneos y bastante similares a las zonas adyacentes a la junta, como lo son la ZAC y la zona de recristalización.

#### 4.6.5 ANÁLISIS DE TAMAÑOS DE GRANO EN LA JUNTA DE SOLDADURA

Tabla 34. Comparativo Arriba – Abajo de los Tamaños de Grano

CUADRO COMPARATIVO DE TAMAÑOS DE GRANO									
ZONAS	posición	sin reparación		primera reparación		segunda reparación		tercera reparación	
		ASTM E112	Tamaño en micras	ASTM E112	Tamaño en micras	ASTM E112	Tamaño en micras	ASTM E112	Tamaño en micras
MB	arriba	6	44,9	6	44,9	6	44,9	6	44,9
	abajo	6	44,9	6	44,9	6	44,9	6	44,9
GF	arriba	9	15,9	10	11,2	9	15,9	9	15,9
	abajo	10	11,2	11	7,9	11	7,9	11	7,9
ZAC	arriba	7	31,8	7	31,8	8	22,5	8	22,5
	abajo	8	22,5	9	15,9	9	15,9	9	15,9

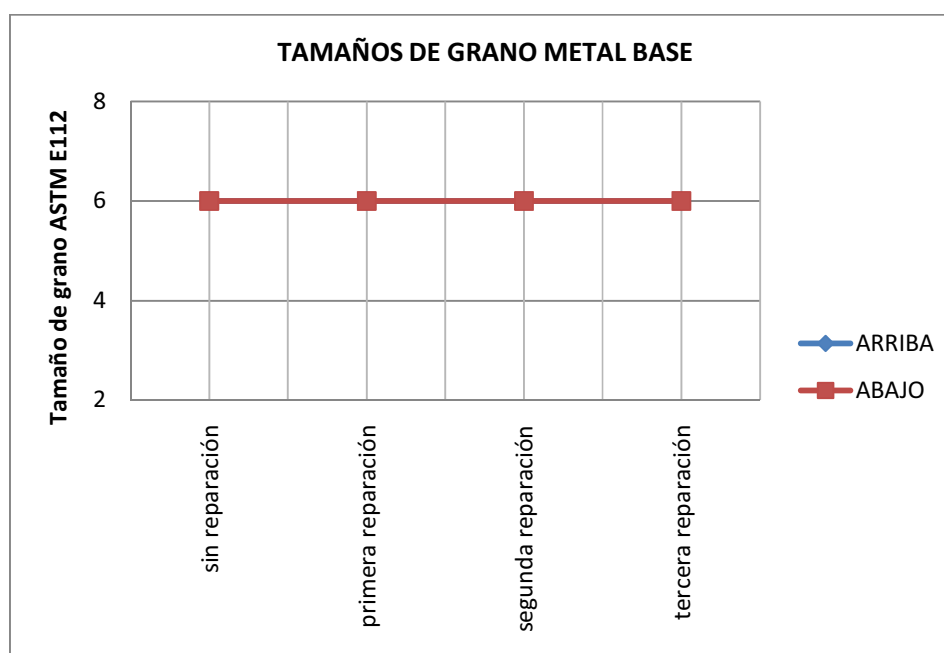


Figura 60. Tamaño de Grano por reparaciones Arriba – Abajo en el Metal Base

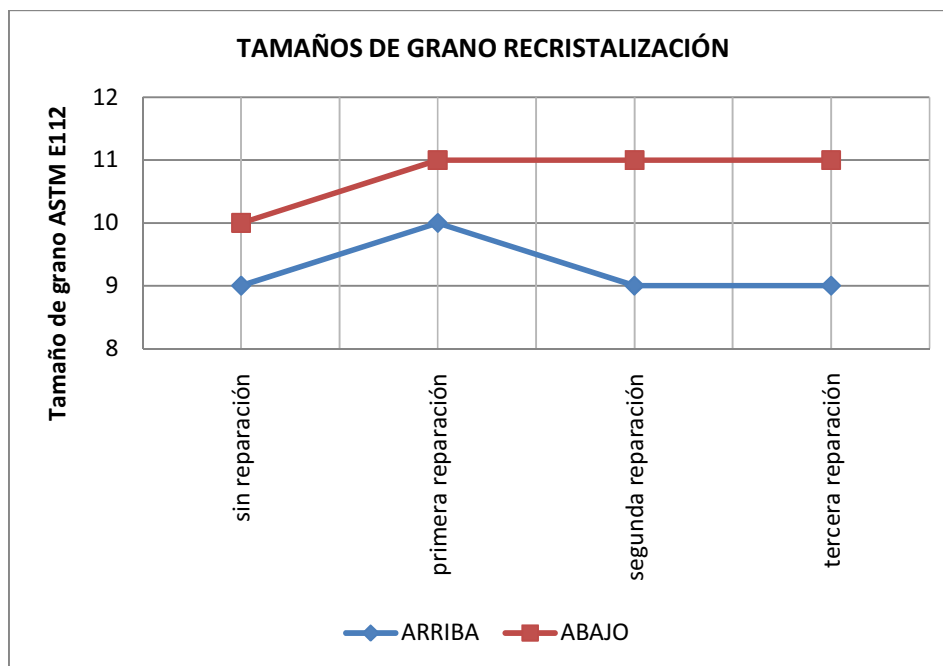


Figura 61. Tamaño de Grano por reparaciones Arriba – Abajo en la zona de Recristalización

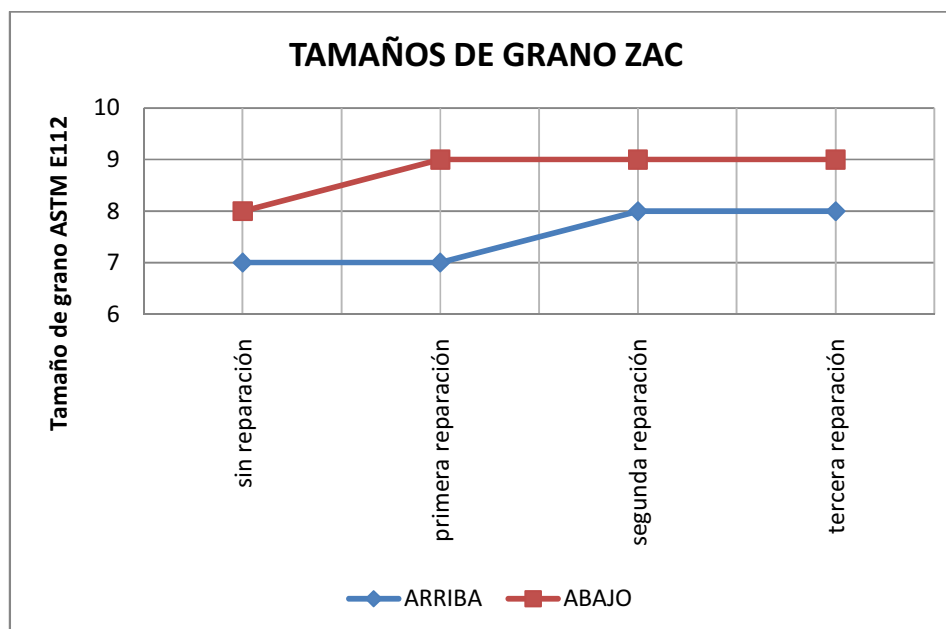


Figura 62. Tamaño de Grano por reparación Arriba – Abajo en la ZAC



Como se observa en la grafica del tamaño de grano del material base, su tamaño es constante, no así en las zonas de recristalización y ZAC donde el tamaño de grano en la región inferior es más pequeño que en la región superior, esto para todas las juntas: sin, primera, segunda y tercera reparación. La explicación es renuente, el tamaño de grano disminuye a medida que se incrementa el número de pasadas en el cordón de soldadura.

El tamaño de grano en la ZAC es mayor que en la zona de recristalización ya que el metal base se ha calentado a una temperatura superior a la crítica dando como resultado el crecimiento de grano o engrosamiento de la estructura que además está en función de la velocidad de enfriamiento.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

Luego de la ejecución de los múltiples ensayos y análisis de resultados se llega a las siguientes conclusiones:

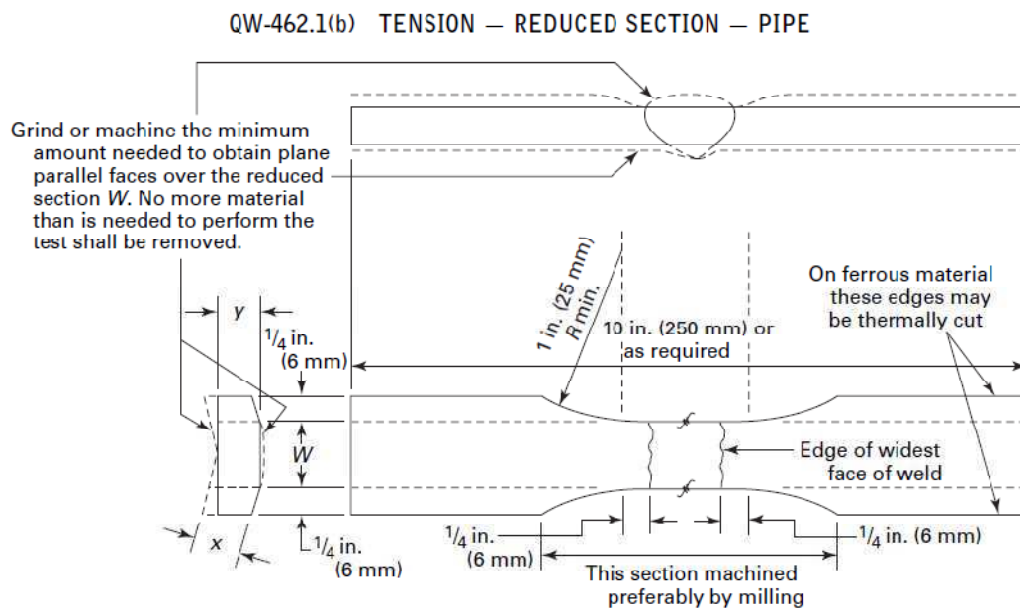
- Con el desarrollo del presente estudio se retira la incertidumbre y se deja en claro que muchas de las reparaciones con defectos de raíz como excesos de penetración, fisuras, acumulación de defectos, no se requiere la eliminación completa de un segmento de tubería o niple, sino únicamente es necesario cortar la junta, con disco de corte u oxicorte, ambos procesos comunes de manufactura en la industria petrolera para luego continuar con el proceso de soldadura respectivo hasta que la junta se encuentre totalmente liberada por los métodos no destructivos convencionales. Por consiguiente se economiza y ahorra, dinero y tiempo respectivamente ya que el método tradicional exige la implantación de un niple de tubería lo que conlleva a la ejecución de dos soldaduras para empatar la tubería de proceso y ahora con el presente estudio se concluye que no es necesario realizarlo como tal, sino más bien todo se reduce a la ejecución de un solo cordón de soldadura que no presenta ninguna afectación microestructural así como tampoco en sus propiedades.
- Se descarta la hipótesis empírica de campo que manifiesta que son permisibles hasta dos reparaciones siempre y cuando la junta de soldadura contenga defectos que exigen corte total, sin embargo para reparaciones de defectos donde no es necesario dicho corte, la zona de afectación de calor por la soldadura en el metal base si se afecta cambiando sus propiedades mecánicas.

- Como requisito esencial para que se cumpla la invariabilidad de propiedades y estructura metalográfica se requiere que las juntas sean cortadas en su totalidad, manual o mecánicamente sin necesidad de extraer un carrete o disminuir la tubería en su longitud, únicamente el ancho generado por el corte propiamente dicho
- Para los valores de dureza, considerando las regiones superior e inferior, en un mismo cordón de soldadura, en cero, una, dos y tres reparaciones, la región superior presenta valores relativamente más altos que la región inferior. Aquí el tratamiento térmico del normalizado producto de los cordones sucesivos (multipasadas) a medida que se incrementan actúan homogeneizando el material de soldadura en la región inferior y por ende la zona aledaña al mismo (ZAC).
- La propiedad mecánica de tracción no se ve afectada por el número de reparaciones en la junta de soldadura, esto se debe a que la banda de alta temperatura dentro de la ZAC desaparece al momento de realizar el corte y al preparar la junta nuevamente (biselado). Por tanto el material no sufre ninguna alteración.
- El ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC es invariante frente al número de reparaciones comparadas con la junta sin intervención. Los parámetros como: el amperaje, voltaje, velocidad de avance, espesor, densidad y calor específico del material, son iguales en cada reparación realizada, por ende, se tiene un ancho de banda de similares dimensiones. Cabe recalcar reiteradamente que la operación de corte y biselado elimina el ancho de la banda de alta temperatura dentro de la ZAC a cada reparación.

- El tamaño de grano en la región inferior se afecta directamente con el número de pasadas que se ejecutan. Cada cordón que sobrepone al inferior, refina la microestructura de este último y también su zona aledaña, es por esto que en la parte de abajo se tiene una microestructura similar en la región de recristalización, ZAC y soldadura y es invariante para el número de reparaciones.
- A medida que se avanza en el relleno de la junta, hasta terminar la misma, la homogenización va desapareciendo y prácticamente el cordón de presentación de la junta de soldadura por ser el último en ejecución, mantiene la estructura metalográfica y propiedades de grano acicular.
- Por tanto el estudio científico, práctico y experimental de la presente tesis deduce con el carácter determinante que en juntas de soldadura en tuberías de proceso SA A106-B que presentan defectos en la raíz como los indicados antes, cuya reparación exige la apertura total de la junta hasta llegar a la raíz y desaparecerla, es indiferente frente al número de reparaciones, ya que no existe ningún tipo de cambio en la Zona Afectada por el Calor a nivel de propiedades y estructura metalográfica

## ÍNDICE DE REFERENCIAS

- (1) ASKELAND DONALD R., Ciencia e Ingeniería de los Materiales, International Thomson Editores, tercera edición, México, 1998, p. 132
- (2) ASME IX, Welding and Brazing Qualifications, New York, 2010, p. 158



- (3) TIMOSHENKO S., Resistencia de Materiales, Espasa-Calpe S.A, Madrid, 1957, p. 56
- (4) ASKELAND DONALD R., Ciencia e Ingeniería de los Materiales, International Thomson Editores, tercera edición, México, 1998, p. 143

## (5) ASME II PART A, Materials, New York, 2010, p. 171

TABLE 1  
CHEMICAL REQUIREMENTS

	Composition, max, %								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulfur	Copper <sup>A</sup>	Nickel <sup>A</sup>	Chromium <sup>A</sup>	Molybdenum <sup>A</sup>	Vanadium <sup>A</sup>
Type S (seamless pipe)									
Open-hearth, electric-furnace, or basic-oxygen:									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Grade E	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Type E (electric-resistance-welded)									
Open-hearth, electric-furnace, or basic-oxygen:									
Grade A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Grade E	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08
Type F (furnace-welded pipe)									
Open-hearth, electric-furnace, or basic oxygen									
Grade A	0.30	1.20	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08

<sup>A</sup> The combination of these five elements shall not exceed 1.00%.

## (6) ASME II PART A, Materials, New York, 2010, p. 172

TABLE 2  
TENSILE REQUIREMENTS

	Type F	Types E and S	
	Open-Hearth, Basic Oxygen, or Electric- Furnace, Grade A	Grade A	Grade B
Tensile strength, min, psi [MPa]	48 000 [330]	48 000 [330]	60 000 [415]
Yield strength, min, psi [MPa]	30 000 [205]	30 000 [205]	35 000 [240]
Elongation in 2 in. [50 mm]	<i>A,B</i>	<i>A,B</i>	<i>A,B</i>

<sup>A</sup> The minimum elongation in 2 in. [50 mm] shall be that determined by the following equation:

$$e = 625\,000 [1940] A^{0.2} / U^{0.9}$$

where:

- $e$  = minimum elongation in 2 in. [50 mm] in percent rounded to the nearest percent
- $A$  = cross-sectional area of the tension specimen, rounded to the nearest 0.01 in.<sup>2</sup> [1 mm<sup>2</sup>], based on the specified outside diameter or the nominal specimen width and specified wall thickness. If the area calculated is equal to or greater than 0.75 in.<sup>2</sup> [500 mm<sup>2</sup>], then the value 0.75 in.<sup>2</sup> [500 mm<sup>2</sup>] shall be used, and
- $U$  = specified tensile strength, psi [MPa]

<sup>B</sup> See Table X4.1 or Table X4.2, whichever is applicable, for minimum elongation values for various size tension specimens and grades.

## (7) ASME II PART A, Materials, New York, 2010, p. 201

TABLE 1  
CHEMICAL REQUIREMENTS

	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade C
Carbon, max <sup>A</sup>	0.25	0.30	0.35
Manganese	0.27–0.93	0.29–1.06	0.29–1.06
Phosphorus, max	0.035	0.035	0.035
Sulfur, max	0.035	0.035	0.035
Silicon, min	0.10	0.10	0.10
Chrome, max <sup>B</sup>	0.40	0.40	0.40
Copper, max <sup>B</sup>	0.40	0.40	0.40
Molybdenum, max <sup>D</sup>	0.15	0.15	0.15
Nickel, max <sup>B</sup>	0.40	0.40	0.40
Vanadium, max <sup>E</sup>	0.08	0.08	0.08

<sup>A</sup> For each reduction of 0.01% below the specified carbon maximum, an increase of 0.06% manganese above the specified maximum will be permitted up to a maximum of 1.35%.

<sup>B</sup> These five elements combined shall not exceed 1%.

## (8) ASME II PART A, Materials, New York, 2010, p. 202

TABLE 2  
TENSILE REQUIREMENTS

	Grade A		Grade B		Grade C	
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
Tensile strength, min, psi (MPa)	48 000 [330]		60 000 [415]		70 000 [485]	
Yield strength, min, psi (MPa)	30 000 [205]		35 000 [240]		40 000 [275]	
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %:						
Basic minimum elongation transverse strip tests, and for all small sizes tested in full section	35	25	30	16.5	30	16.5
When standard round 2 in. [50 mm] gage length test specimen is used	28	20	22	12	20	12
For longitudinal strip tests	A		A		A	
For transverse strip tests, a deduction for each 1/32 in. [0.8 mm] decrease in wall thickness below 3/16 in. [7.9 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage shall be made		1.25		1.00		1.00

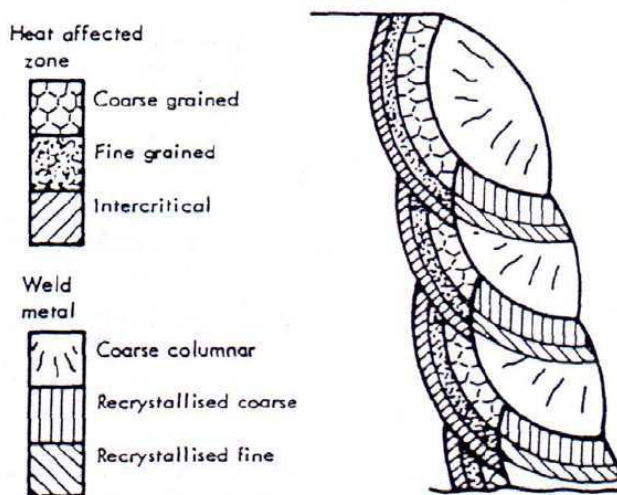
(9) ASME IX, Welding and Brazing Qualifications, New York, 2010, p. 144

**QW-450 SPECIMENS**  
**QW-451 Procedure Qualification Thickness Limits and Test Specimens**

**QW-451.1**  
**GROOVE-WELD TENSION TESTS AND TRANSVERSE-BEND TESTS**

Thickness <i>T</i> of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Notes (1) and (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Face Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than $\frac{3}{16}$ (1.5)	<i>T</i>	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	---	2	2
$\frac{3}{16}$ to $\frac{3}{8}$ (1.5 to 10), incl.	$\frac{3}{16}$ (1.5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (5)	2	2
Over $\frac{3}{8}$ (15), but less than $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	Note (5)	2	2
$\frac{3}{8}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
$\frac{3}{8}$ (19) to less than $1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{3}{16}$ (5)	2 <i>T</i>	2 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	2 <i>t</i> when <i>t</i> < $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
$1\frac{1}{2}$ (38) to 6 (150), incl.	$\frac{3}{16}$ (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when <i>t</i> ≥ $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
Over 6 (150)	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---
Over 6 (150)	$\frac{3}{16}$ (5)	1.33 <i>T</i>	1.33 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ $\frac{3}{4}$ (19)	2 [Note (4)]	4	---	---

(10) VEDIA – SVOBODA, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, 2004, p. 143



(11) VEDIA – SVOBODA, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, 2004, p. 40

(12) VEDIA – SVOBODA, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, 2004, p. 30



## BIBLIOGRAFÍA

- KENNETH EASTERLING, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding. Second Edition. 1992
- IBRAHIM KHAN, Welding science and technology. 2007.
- VEDIA & SVOBODA, Introducción a la metalurgia de la Soldadura. 2004.
- LANCASTER J. F., Metallurgy of Welding. Sixth Edition. 1999.
- HOOBASAR RAMPAUL, Pipe Welding Procedures. Second Edition. 2003.
- SINDO KOU, Welding Metallurgy. Second Edition. 2003.
- LARS-ERIK LINDGREN, Computational welding mechanics.
- LINCOLN WELDING HANDBOOK, Third Edition.
- ASME IX, Welding and Brazing Qualifications, New York, 2010
- ASME II PART A, Materials, New York, 2010.
- TIMOSHENKO S., Resistencia de Materiales, Espasa-Calpe S.A, Madrid, 1957
- ASKELAND DONALD R., Ciencia e Ingeniería de los Materiales, International Thomson Editores, tercera edición, México, 1998

## **ANEXOS**

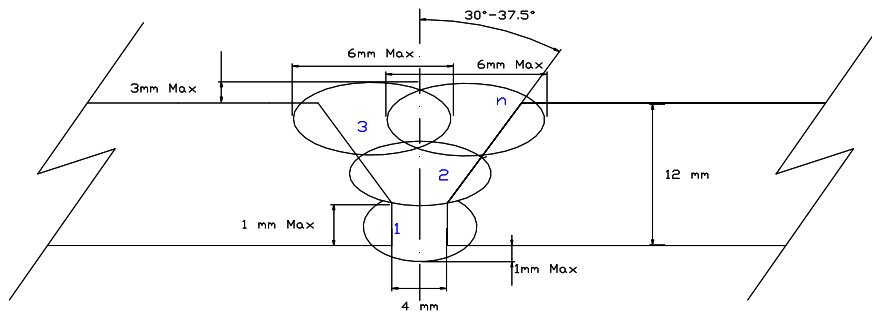
ANEXO 1  
WPS Y PQR (JUNTA SIN REPARACIÓN)

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
QW - 482 (WPS)**

**ASME Sección IX, Código para Calderos y Recipientes de Presión**

Cliente :	H.F / J.CH	Escrito por :	Fonseca / Chuquín
Especificación del Procedimiento de Soldadura N° :	WPS-Tesis-01	PQR N° que lo Soporta :	PQR-WPS-Tesis-01
Revisión N° :	0	Fecha :	25-nov-10
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	Tipo(s) :	MANUAL
		(Automático, Manual, Mecanizado, o Semi-Automático)	

**DISEÑO DE JUNTA A TOPE, RANURA EN V 60° (QW - 402)**



**MATERIAL BASE (QW - 403)**

P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2
Especificación Tipo y Grado :	SA -A106
Rango de espesores calificado :	5 - 22 mm
Rango de diámetros calificado :	73 mm - ilimitado
Rango de espesores calificados en filetes	Todo tamaño de Filete en cualquier espesor de Material Base
Rango de diámetros calificado en Filetes :	Todo Diámetro

**MATERIAL DE APORTE (QW - 404)**

Especificación N°. (SFA)	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)
AWS N°. (Clasificación)	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)
F N°	6 (GTAW), 4 (SMAW)
A N°	1
Diámetro del Material de Aporte	2.4 mm / 3.2 mm
Pasadas:	6-7
Otro	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)

**NOTAS**

EL O LOS SOLDADORES QUE EJECUTEN ESTE  
PROCEDIMIENTO MEDIANTE EL PQR RESPECTIVO,  
QUEDAN CALIFICADOS



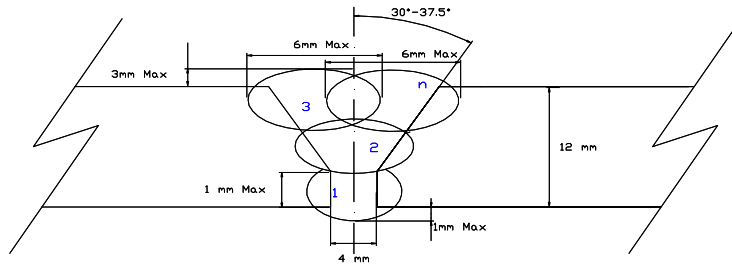
## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión

Están Registrados los Valores que fueron Usados durante la Soldadura del Cupón de Prueba

Cliente	H.F / J.CH	Página:	1 de 2
Registro de la Calificación del Procedimiento N° :	WPS-Tesis-01	Fecha:	26-nov-10
PQR Nro:	PQR-WPS-Tesis-01	Tipo: (s)	MANUAL
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto).	
Nombre del Soldador :	César Flores	Clock N°	171188756-0
		Stamp N°	W-01

### DISEÑO DE JUNTA A TOPE, SOLDADURA DE RANURA EN V 60° (QW - 402)



<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>		<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>	
P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2	Protección del Arco :	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min
Rango de Espesores Calificado :	5 - 22 mm	Gas de Arrastre :	N/A
Rango de Diámetros Calificado :	73 mm - ilimitado	Gas para Purga :	N/A
		Otro :	N/A
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>	
Especificación N°. (SFA) :	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)	Intensidad de Corriente AC o DC :	DC
AWS N°. (Clasificación) :	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)	Amperios (Rango) :	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)
F N° :	6 (GTAW), 4 (SMAW)	Voltios (Rango) :	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)
A N° :	1	Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :	SFA 5.12, Ewth 2, 2.4 mm
Diámetro del Material de Aporte :	2.4 mm / 3.2 mm	Modo de Transferencia del Metal en el Arco para GMAW :	N/A (Goteo por rorcio, Goteo por Cortocircuito, etc)
Pasadas:	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)	Rango para la velocidad de alimentación del electrodo :	N/A
Otro :		<b>Polaridad</b>	<b>Pase de Raíz y de Refuerzo</b> <b>Relleno y Presentación</b>
<b>POSICIONES (QW- 405)</b>		<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>	
Posicion(es) de la Junta :	6G	Cordón angosto o cordón tejido :	Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno (Cordón Tejido, SMAW), Presentación (Cordón Angosto, SMAW)
Sentido de Avance :	Hacia Abajo N/A Hacia Arriba ambos procesos	Tamaño de la Boquilla (GTAW) :	6 - 8
Posición(es) del Filete :	N/A	Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :	Cepillado y Esmerilado
<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>	
Temperatura de Pre calentamiento Min. :	N/A	Método de Limpieza antes de hacer el depósito por el otro lado de la junta :	N/A
Temperatura entre pasadas Max. :	180 °C	Oscilación :	16 mm Max
Temperatura mínima a mantener durante la	N/A	Distancia desde el dispositivo de contacto eléctrico con el electrodo hasta el sitio del depósito de soldadura (SAW) :	N/A
		Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :	Varias Pasadas
		Usa un solo electrodo o varios a la vez :	N/A
		Velocidad de Avance de la Soldadura (Rango) :	N/A
		Martillado inmediato al terminar la soldadura :	N/A
		Otro :	N/A

## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes a Presión

PQR N°	PQR-WPS-Tesis-01	Página	2 de 2
--------	------------------	--------	--------

### ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW - 150)

Probeta N°	Ancho	Espesor	Area	Carga Máxima	Resistencia a la Rotura	Localización de la Falla	Calificación
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(lbf)	(psi)		
T1	20,8	10,91	226,93	27.000	76.700	FMB	APROBADO
T2	20,2	10,27	207,45	24.800	77.300	FMB	APROBADO

### ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO (QW - 160)

Probeta N°	Resultado
C1	APROBADO
C2	APROBADO
R1	APROBADO
R2	APROBADO

### ENSAYOS POR IMPACTO (QW - 170)

Probeta N°	Localización de la Falla	Tam. Probeta	Temp. Ensayo	Valores del Impacto		Drop Weight Break (SI/NO)
				Libras Fuerza - pie	Corte	

Comentarios:

### ENSAYOS PARA SOLDADURA DE FILETE (QW-180)

Resultado de las Macrografías	Tamaño del Filete	Concavidad o Convexidad	Penetración en la raíz del Filete
	mm	mm	

### OTRO TIPO DE ENSAYOS

Tipo de Ensayo :	N/A
Composición Química del Depósito de Soldadura :	N/A
Otros :	N/A

Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4) :	<b>APROBADO</b>
Resultado de la Radiografía (QW-302.2) :	<b>no se realizaron</b>
Ensayos Destructivos Ejecutados por : <b>Dr. Victor Guerrero</b>	Orden de Trabajo : N/A <span style="float: right;">Laboratorio : Esc. Politécnica Nacional</span>

CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REGISTRADOS SON CORRECTOS Y QUE LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y EXAMINADAS DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCIÓN IX.

	CALIFICADO POR:	REVISADO POR :	APROBADO POR:
Nombre:	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. PATRICIO ESTUPIÑÁN
Firma:			
Fecha:	26/11/2010	26/11/2010	26/11/2010

ANEXO 2  
WPS Y PQR (JUNTA UNA REPARACIÓN)

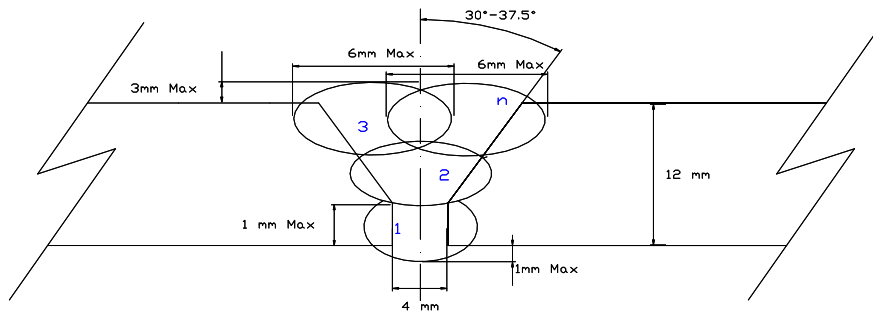


**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
QW - 482 (WPS)**

**ASME Sección IX, Código para Calderos y Recipientes de Presión**

Cliente :	H.F / J.CH	Escrito por :	Fonseca / Chuquín
Especificación del Procedimiento de Soldadura N° :	WPS-Tesis-01-R1	PQR N° que lo Soporta :	PQR-WPS-Tesis-01-R1
Revisión N° :	0	Fecha :	25-nov-10
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	Tipo(s) :	MANUAL
		(Automático, Manual, Mecanizado, o Semi-Automático)	

**DISEÑO DE JUNTA A TOPE, RANURA EN V 60° (QW - 402)**



**MATERIAL BASE (QW - 403)**

P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2
Especificación Tipo y Grado :	SA -A106
Rango de espesores calificado :	5 - 22 mm
Rango de diámetros calificado :	73 mm - ilimitado
Rango de espesores calificados en filetes	Todo tamaño de Filete en cualquier espesor de Material Base
Rango de diámetros calificado en Filetes :	Todo Diámetro

**MATERIAL DE APORTE (QW - 404)**

Especificación N°. (SFA)	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)
AWS N°. (Clasificación)	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)
F N°	6 (GTAW), 4 (SMAW)
A N°	1
Diámetro del Material de Aporte	2.4 mm / 3.2 mm
Pasadas:	6-7
Otro	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)

**NOTAS**

EL O LOS SOLDADORES QUE EJECUTEN ESTE PROCEDIMIENTO MEDIANTE EL PQR RESPECTIVO, QUEDAN CALIFICADOS



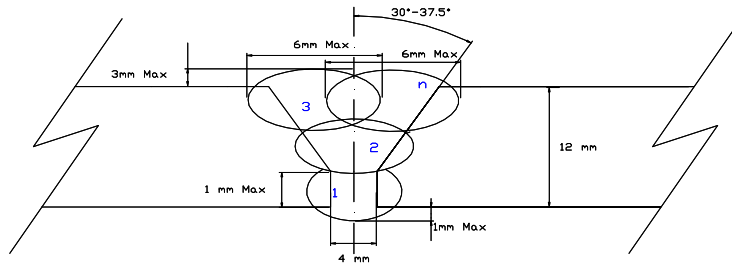
## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión

Están Registrados los Valores que fueron Usados durante la Soldadura del Cupón de Prueba

Cliente	H.F / J.CH	Página:	1 de 2
Registro de la Calificación del Procedimiento N° :	WPS-Tesis-01-R1	Fecha:	26-nov-10
PQR Nro:	PQR-WPS-Tesis-01-R1	Tipo: (s)	MANUAL
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto).	
Nombre del Soldador :	César Flores	Clock N°	171188756-0
		Stamp N°	W-01

### DISEÑO DE JUNTA A TOPE, SOLDADURA DE RANURA EN V 60° (QW - 402)



<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>		<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>	
P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2	Protección del Arco :	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min
Rango de Espesores Calificado :	5 - 22 mm	Gas de Arrastre :	N/A
Rango de Diámetros Calificado :	73 mm - ilimitado	Gas para Purga :	N/A
		Otro :	N/A
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>	
Especificación N°. (SFA) :	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)	Intensidad de Corriente AC o DC :	DC
AWS N°. (Clasificación) :	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)	Amperios (Rango) :	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)
F N° :	6 (GTAW), 4 (SMAW)	Voltios (Rango) :	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)
A N° :	1	Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :	SFA 5.12, Ewth 2, 2.4 mm
Diámetro del Material de Aporte :	2.4 mm / 3.2 mm	Modo de Transferencia del Metal en el Arco para GMAW :	N/A (Goteo por rocio, Goteo por Cortocircuito, etc)
Pasadas:	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)	Rango para la velocidad de alimentación del electrodo :	N/A
Otro :		<b>Polaridad</b>	<b>Pase de Raíz y de Refuerzo</b> <b>Relleno y Presentación</b>
<b>POSICIONES (QW- 405)</b>		<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>	
Posición(es) de la Junta :	6G	Cordón angosto o cordón tejido :	Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno (Cordón Tejido, SMAW), Presentación (Cordón Angosto, SMAW)
Sentido de Avance :	Hacia Abajo N/A Hacia Arriba ambos procesos	Tamaño de la Boquilla (GTAW) :	6 - 8
Posición(es) del Filete :	N/A	Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :	Cepillado y Esmerilado
<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>	
Temperatura de Pre calentamiento Min. :	N/A	Método de Limpieza antes de hacer el depósito por el otro lado de la junta :	N/A
Temperatura entre pasadas Max. :	180 °C	Oscilación :	16 mm Max
Temperatura mínima a mantener durante la	N/A	Distancia desde el dispositivo de contacto eléctrico con el electrodo hasta el sitio del depósito de soldadura (SAW) :	N/A
		Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :	Varias Pasadas
		Usa un solo electrodo o varios a la vez :	N/A
		Velocidad de Avance de la Soldadura (Rango) :	N/A
		Martillado inmediato al terminar la soldadura :	N/A
		Otro :	N/A

## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes a Presión

PQR N° PQR-WPS-Tesis-01-R1 Página **2 de 2**

### ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW - 150)

Probeta N°	Ancho	Espesor	Area	Carga Máxima	Resistencia a la Rotura	Localización de la Falla	Calificación
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(lbf)	(psi)		
T1R1	19,68	9,96	196,01	23.900	78.600	FMB	APROBADO
T1R2	18,53	9,55	176,96	21.600	78.900	FMB	APROBADO

### ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO (QW - 160)

Probeta N°	Resultado
CR1	APROBADO
1R R1	APROBADO
2R R1	APROBADO

### ENSAYOS POR IMPACTO (QW - 170)

Probeta N°	Localización de la Falla	Tam. Probeta	Temp. Ensayo	Valores del Impacto		Drop Weight Break (SI/NO)
				Libras Fuerza - pie	Corte	

Comentarios:

### ENSAYOS PARA SOLDADURA DE FILETE (QW-180)

Resultado de las Macrografías	Tamaño del Filete	Concavidad o Convexidad	Penetración en la raíz del Filete
	mm	mm	

### OTRO TIPO DE ENSAYOS

Tipo de Ensayo : N/A  
Composición Química del Depósito de Soldadura : N/A  
Otros : N/A

Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4) : **APROBADO**

Resultado de la Radiografía (QW-302.2) : **no se realizaron**

Ensayos Destructivos Ejecutados por : **Dr. Victor Guerrero** Orden de Trabajo : N/A Laboratorio : Esc. Politécnica Nacional

CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REGISTRADOS SON CORRECTOS Y QUE LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y EXAMINADAS DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCIÓN IX.

	CALIFICADO POR:	REVISADO POR :	APROBADO POR:
Nombre:	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. PATRICIO ESTUPIÑÁN
Firma:			
Fecha:	26/11/2010	26/11/2010	26/11/2010

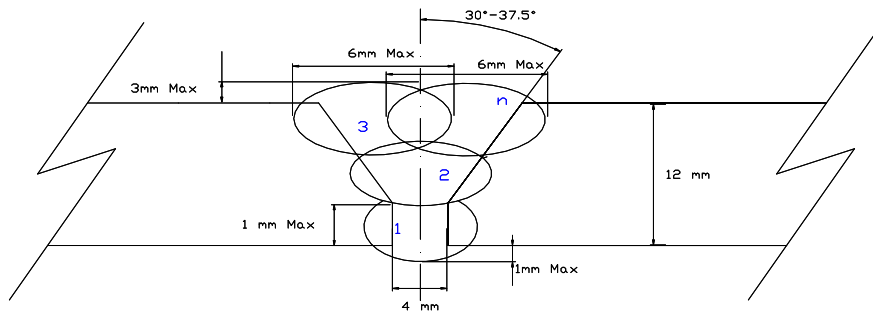
ANEXO 3  
WPS Y PQR (JUNTA DOS REPARACIONES)

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
QW - 482 (WPS)**

**ASME Sección IX, Código para Calderos y Recipientes de Presión**

Cliente :	H.F / J.CH	Escrito por :	Fonseca / Chuquín
Especificación del Procedimiento de Soldadura N° :	WPS-Tesis-01-R2	PQR N° que lo Soporta :	PQR-WPS-Tesis-01-R2
Revisión N° :	0	Fecha :	25-nov-10
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	Tipo(s) :	MANUAL
		(Automático, Manual, Mecanizado, o Semi-Automático)	

**DISEÑO DE JUNTA A TOPE, RANURA EN V 60° (QW - 402)**



**MATERIAL BASE (QW - 403)**

P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2
Especificación Tipo y Grado :	SA -A106
Rango de espesores calificado :	5 - 22 mm
Rango de diámetros calificado :	73 mm - ilimitado
Rango de espesores calificados en filetes	Todo tamaño de Filete en cualquier espesor de Material Base
Rango de diámetros calificado en Filetes :	Todo Diámetro

**MATERIAL DE APORTE (QW - 404)**

Especificación N°. (SFA)	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)
AWS N°. (Clasificación)	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)
F N°	6 (GTAW), 4 (SMAW)
A N°	1
Diámetro del Material de Aporte	2.4 mm / 3.2 mm
Pasadas:	6-7
Otro	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)

**NOTAS**

EL O LOS SOLDADORES QUE EJECUTEN ESTE  
PROCEDIMIENTO MEDIANTE EL PQR RESPECTIVO,  
QUEDAN CALIFICADOS



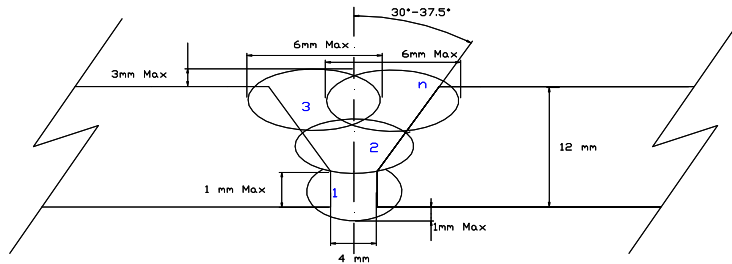
## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión

Están Registrados los Valores que fueron Usados durante la Soldadura del Cupón de Prueba

Cliente	H.F / J.CH	Página:	1 de 2
Registro de la Calificación del Procedimiento N° :	WPS-Tesis-01-R2	Fecha:	26-nov-10
PQR Nro:	PQR-WPS-Tesis-01-R2	Tipo: (s)	MANUAL
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto).	
Nombre del Soldador :	César Flores	Clock N°	171188756-0
		Stamp N°	W-01

### DISEÑO DE JUNTA A TOPE, SOLDADURA DE RANURA EN V 60° (QW - 402)



<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>		<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>	
P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2	Protección del Arco :	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min
Rango de Espesores Calificado :	5 - 22 mm	Gas de Arrastre :	N/A
Rango de Diámetros Calificado :	73 mm - ilimitado	Gas para Purga :	N/A
		Otro :	N/A
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>	
Especificación N°. (SFA) :	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)	Intensidad de Corriente AC o DC :	DC
AWS N°. (Clasificación) :	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)	Amperios (Rango) :	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)
F N° :	6 (GTAW), 4 (SMAW)	Voltios (Rango) :	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)
A N° :	1	Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :	SFA 5.12, Ewth 2, 2.4 mm
Diámetro del Material de Aporte :	2.4 mm / 3.2 mm	Modo de Transferencia del Metal en el Arco para GMAW :	N/A (Goteo por rocio, Goteo por Cortocircuito, etc)
Pasadas:	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)	Rango para la velocidad de alimentación del electrodo :	N/A
Otro :		<b>Polaridad</b>	<b>Pase de Raíz y de Refuerzo</b> <b>Relleno y Presentación</b>
<b>POSICIONES (QW- 405)</b>		<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>	
Posición(es) de la Junta :	6G	Cordón angosto o cordón tejido :	Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno (Cordón Tejido, SMAW), Presentación (Cordón Angosto, SMAW)
Sentido de Avance :	Hacia Abajo N/A Hacia Arriba Ambos Procesos	Tamaño de la Boquilla (GTAW) :	6 - 8
Posición(es) del Filete :	N/A	Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :	Cepillado y Esmerilado
<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>	
Temperatura de Pre calentamiento Min. :	N/A	Método de Limpieza antes de hacer el depósito por el otro lado de la junta :	N/A
Temperatura entre pasadas Max. :	180 °C	Oscilación :	16 mm Max
Temperatura mínima a mantener durante la	N/A	Distancia desde el dispositivo de contacto eléctrico con el electrodo hasta el sitio del depósito de soldadura (SAW) :	N/A
		Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :	Varias Pasadas
		Usa un solo electrodo o varios a la vez :	N/A
		Velocidad de Avance de la Soldadura (Rango) :	N/A
		Martillado inmediato al terminar la soldadura :	N/A
		Otro :	N/A



## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes a Presión

PQR N°	PQR-WPS-Tesis-01-R2	Página	2 de 2
--------	---------------------	--------	--------

### ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW - 150)

Probeta N°	Ancho	Espesor	Area	Carga Máxima	Resistencia a la Rotura	Localización de la Falla	Calificación
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(lbf)	(psi)		
T2R1	20,2	11,18	225,84	26.600	76.200	FMB	APROBADO
T2R2	20,9	11,06	231,15	27.600	77.000	FMB	APROBADO

### ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO (QW - 160)

Probeta N°	Resultado
C R2	APROBADO
1R R2	APROBADO
2R R2	APROBADO

### ENSAYOS POR IMPACTO (QW - 170)

Probeta N°	Localización de la Falla	Tam. Probeta	Temp. Ensayo	Valores del Impacto		Drop Weight Break
				Libras Fuerza - pie	Corte	(SI/NO)

Comentarios:

### ENSAYOS PARA SOLDADURA DE FILETE (QW-180)

Resultado de las Macrografías	Tamaño del Filete	Concavidad o Convexidad	Penetración en la raíz del Filete
	mm	mm	

### OTRO TIPO DE ENSAYOS

Tipo de Ensayo :	N/A
Composición Química del Depósito de Soldadura :	N/A
Otros :	N/A

Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4) :	<b>APROBADO</b>
Resultado de la Radiografía (QW-302.2) :	<b>no se realizaron</b>
Ensayos Destructivos Ejecutados por : <b>Dr. Victor Guerrero</b>	Orden de Trabajo : N/A <span style="float: right;">Laboratorio : Esc. Politécnica Nacional</span>
CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REGISTRADOS SON CORRECTOS Y QUE LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y EXAMINADAS DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCIÓN IX.	

	CALIFICADO POR:	REVISADO POR :	APROBADO POR:
Nombre:	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING.PATRICIO ESTUPIÑÁN
Firma:			
Fecha:	26/11/2010	26/11/2010	26/11/2010

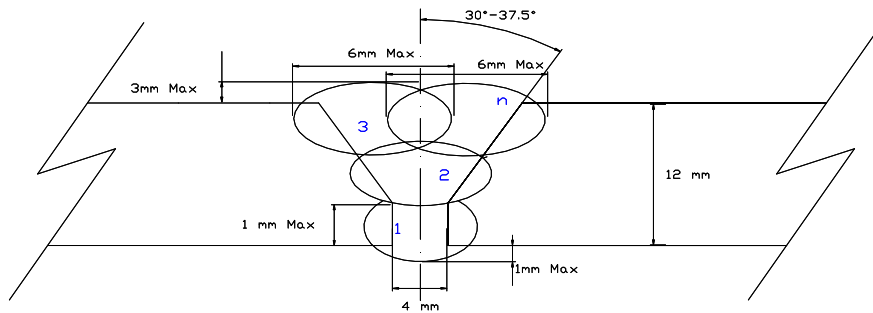
ANEXO 4  
WPS Y PQR (JUNTA TRES REPARACIONES)

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
QW - 482 (WPS)**

**ASME Sección IX, Código para Calderos y Recipientes de Presión**

Cliente :	H.F / J.CH	Escrito por :	Fonseca / Chuquín
Especificación del Procedimiento de Soldadura N° :	WPS-Tesis-01-R3	PQR N° que lo Soporta :	PQR-WPS-Tesis-01-R3
Revisión N° :	0	Fecha :	25-nov-10
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	Tipo(s) :	MANUAL
		(Automático, Manual, Mecanizado, o Semi-Automático)	

**DISEÑO DE JUNTA A TOPE, RANURA EN V 60° (QW - 402)**



**MATERIAL BASE (QW - 403)**

P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2
Especificación Tipo y Grado :	SA -A106
Rango de espesores calificado :	5 - 22 mm
Rango de diámetros calificado :	73 mm - ilimitado
Rango de espesores calificados en filetes	Todo tamaño de Filete en cualquier espesor de Material Base
Rango de diámetros calificado en Filetes :	Todo Diámetro

**MATERIAL DE APORTE (QW - 404)**

Especificación N°. (SFA)	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)
AWS N°. (Clasificación)	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)
F N°	6 (GTAW), 4 (SMAW)
A N°	1
Diámetro del Material de Aporte	2.4 mm / 3.2 mm
Pasadas:	6-7
Otro	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)

**NOTAS**

EL O LOS SOLDADORES QUE EJECUTEN ESTE  
PROCEDIMIENTO MEDIANTE EL PQR RESPECTIVO,  
QUEDAN CALIFICADOS

**ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA  
QW - 482 (WPS)**

**ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión**

WPS N°. WPS-Tesis-01-R3 Revisión : 0 Página : 2 de 2

<b>POSICIONES (QW- 405)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>	
Posición(es) de la Junta :	6G	Rango de Temperatura :	N/A
Sentido de Avance :	Subiendo	Periodo de Tiempo :	N/A
Posición(es) del Filete :	N/A		

<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>		<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>	
Temperatura de Precalentamiento Min. :	N/A	Protección del Arco :	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min
Temperatura entre pasadas Max. :	180 ° C	Gas de Arrastre :	N/A
Temperatura mínima a mantener durante la soldadura :	N/A	Gas para Purga :	N/A
		Otro :	N/A

<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>			
Intensidad de Corriente AC o DC :	DC	Polaridad	
Amperios (Rango) :	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)	CCEN (directa)	Pase de Raíz y de Refuerzo
Voltios (Rango) :	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)	CCEP (invertida)	Rellenos y Presentación
Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :	EWTh-2, 2.4 mm		

<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>	
Cordón angosto o cordón tejido :	Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno y Presentación (Cordón Tejido, SMAW),
Tamaño de la Boquilla (GTAW) :	6 - 8
Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :	Cepillado y Esmerilado
Oscilación :	16 mm Max
Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :	Varias Pasadas
Otro :	N/A

<b>QW- 482 (REGIMEN)</b>							
Pasada N°	Sentido de Avance	Mat. Aporte		Corriente		Rango Volt	Proceso
		Clasif.	Dia. mm)	Polaridad	Rango Amp.		
1	subiendo	ER-70S-6	2,4	CCEN	80-130	10-13	GTAW
2	subiendo	ER-70S-6	2,4	CCEN	100-150	12-15	GTAW
3	subiendo	E7018	3,9	CCEP	80-100	24-26	SMAW
n	subiendo	E7018	3,9	CCEP	110-140	24-26	SMAW

	ESCRITO POR :	VERIFICADO POR :	APROBADO POR :
<b>NOMBRE:</b>	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING.PATRICIO ESTUPIÑÁN
<b>FIRMA:</b>			
<b>FECHA:</b>	25-nov-10	25/11/2010	25/11/2010

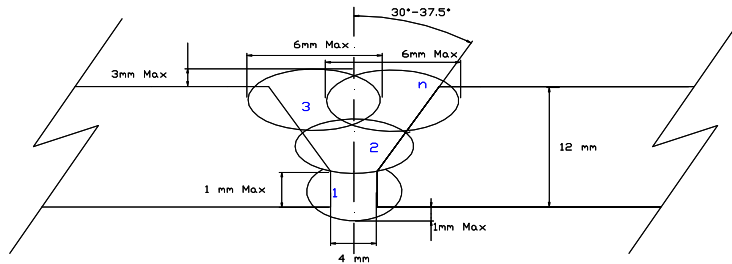
## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes de Presión

Están Registrados los Valores que fueron Usados durante la Soldadura del Cupón de Prueba

Cliente	H.F / J.CH	Página:	1 de 2
Registro de la Calificación del Procedimiento N° :	WPS-Tesis-01-R3	Fecha:	26-nov-10
PQR Nro:	PQR-WPS-Tesis-01-R3	Tipo: (s)	MANUAL
Proceso(s) de Soldadura :	GTAW - SMAW	(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto).	
Nombre del Soldador :	César Flores	Clock N°	171188756-0
		Stamp N°	W-01

### DISEÑO DE JUNTA A TOPE, SOLDADURA DE RANURA EN V 60° (QW - 402)



<b>MATERIAL BASE (QW - 403)</b>		<b>GAS DE PROTECCIÓN (QW- 408)</b>	
P N° Grupo N° a P N° Grupo N° :	P N° 1 GRUPO N° 1 & 2 a P N° 1 GRUPO N° 1 & 2	Protección del Arco :	GTAW, Ar 100%, 10 lt/min
Rango de Espesores Calificado :	5 - 22 mm	Gas de Arrastre :	N/A
Rango de Diámetros Calificado :	73 mm - ilimitado	Gas para Purga :	N/A
		Otro :	N/A
<b>MATERIAL DE APORTE (QW - 404)</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW- 409)</b>	
Especificación N°. (SFA) :	SFA - 5.18 (GTAW); 5.1 (SMAW)	Intensidad de Corriente AC o DC :	DC
AWS N°. (Clasificación) :	ER-70S-6 (GTAW); E7018 (SMAW)	Amperios (Rango) :	80 - 150 (GTAW) 120 - 190 (SMAW)
F N° :	6 (GTAW), 4 (SMAW)	Voltios (Rango) :	10 - 15 (GTAW) 24 - 26 (SMAW)
A N° :	1	Tipo y Diámetro del Electrodo de Tungsteno :	SFA 5.12, Ewth 2, 2.4 mm
Diámetro del Material de Aporte :	2.4 mm / 3.2 mm	Modo de Transferencia del Metal en el Arco para GMAW :	N/A (Goteo por rocio, Goteo por Cortocircuito, etc)
Pasadas:	ER-70S-6 (Pase de Raíz y Refuerzo) E7018 (Relleno y Presentación)	Rango para la velocidad de alimentación del electrodo :	N/A
Otro :		<b>Polaridad</b>	<b>Pase de Raíz y de Refuerzo</b> <b>Relleno y Presentación</b>
<b>POSICIONES (QW- 405)</b>		<b>TÉCNICA (QW- 410)</b>	
Posición(es) de la Junta :	6G	Cordón angosto o cordón tejido :	Pases de Raíz, Refuerzo (Cordón Tejido, GTAW), Relleno (Cordón Tejido, SMAW), Presentación (Cordón Angosto, SMAW)
Sentido de Avance :	Hacia Abajo N/A Hacia Arriba ambos procesos	Tamaño de la Boquilla (GTAW) :	6 - 8
Posición(es) del Filete :	N/A	Limpieza antes, durante y después de la Soldadura (Cepillado, Esmerilado, etc) :	Cepillado y Esmerilado
<b>PRECALENTAMIENTO (QW- 406)</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA (QW- 407)</b>	
Temperatura de Pre calentamiento Min. :	N/A	Método de Limpieza antes de hacer el depósito por el otro lado de la junta :	N/A
Temperatura entre pasadas Max. :	180 °C	Oscilación :	16 mm Max
Temperatura mínima a mantener durante la	N/A	Distancia desde el dispositivo de contacto eléctrico con el electrodo hasta el sitio del depósito de soldadura (SAW) :	N/A
		Una sola pasada o varias pasadas (por cada lado de la junta) :	Varias Pasadas
		Usa un solo electrodo o varios a la vez :	N/A
		Velocidad de Avance de la Soldadura (Rango) :	N/A
		Martillado inmediato al terminar la soldadura :	N/A
		Otro :	N/A

## REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO QW - 483 (PQR)

ASME Sección IX, Código para Calderas y Recipientes a Presión

PQR N° PQR-WPS-Tesis-01-R3 Página **2 de 2**

### ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW - 150)

Probeta N°	Ancho	Espesor	Area	Carga Máxima	Resistencia a la Rotura	Localización de la Falla	Calificación
	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(lbf)	(psi)		
T3 R1	20	11,48	229,60	27.500	77.200	FMB	APROBADO
T3 R2	19,96	11,11	221,76	26.300	76.500	FMB	APROBADO

### ENSAYOS DE DOBLADO GUIADO (QW - 160)

Probeta N°	Resultado
C R3	APROBADO
1R R3	APROBADO
2R R3	APROBADO

### ENSAYOS POR IMPACTO (QW - 170)

Probeta N°	Localización de la Falla	Tam. Probeta	Temp. Ensayo	Valores del Impacto		Drop Weight Break
				Libras Fuerza - pie	Corte	(SI/NO)

Comentarios:

### ENSAYOS PARA SOLDADURA DE FILETE (QW-180)

Resultado de las Macrografías	Tamaño del Filete	Concavidad o Convexidad	Penetración en la raíz del Filete
	mm	mm	

### OTRO TIPO DE ENSAYOS

Tipo de Ensayo :	N/A
Composición Química del Depósito de Soldadura :	N/A
Otros :	N/A

Resultado de la Inspección Visual (QW-302.4) : **APROBADO**  
Resultado de la Radiografía (QW-302.2) : **no se realizaron**

Ensayos Destructivos Ejecutados por : **Dr. Victor Guerrero** Orden de Trabajo : N/A Laboratorio : Esc. Politécnica Nacional

CERTIFICAMOS QUE LOS DATOS REGISTRADOS SON CORRECTOS Y QUE LAS PRUEBAS FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y EXAMINADAS DE ACUERDO AL CODIGO ASME SECCIÓN IX.

	CALIFICADO POR:	REVISADO POR :	APROBADO POR:
Nombre:	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING. H. FONSECA; ING. J. CHUQUÍN	ING.PATRICIO ESTUPIÑÁN
Firma:			
Fecha:	26/11/2010	26/11/2010	26/11/2010

ANEXO 5  
SOPORTES PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA



## INFORME TÉCNICO

Quito, 26 de noviembre de 2010

**TRABAJO SOLICITADO POR:** Ing. Henry Fonseca  
Ing. Juan Chuquín

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de acero pertenecientes a los Ing. Henry Fonseca e Ing. Juan Chuquín y entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

### RESULTADOS

**1. MUESTRA:** Trece (13) probetas de acero para ensayo de doblado y ocho (8) probetas para ensayo de tracción bajo el código ASME IX.

### 2. ENSAYO DE DOBLADO BAJO EL CÓDIGO ASME IX

Identificación	Doblado	Observaciones	Calificación
C1	Cara	No se observan discontinuidades	Aprueba
C2	Cara	No se observan discontinuidades	Aprueba
R1	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
R2	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
C R1	Cara	No se observan discontinuidades	Aprueba
1R R1	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
2R R1	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
C R2	Cara	No se observan discontinuidades	Aprueba
1R R2	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
2R R2	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
C R3	Cara	No se observan discontinuidades	Aprueba
1R R3	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba
2R R3	Raíz	No se observan discontinuidades	Aprueba



### 3. ENSAYO DE TRACCIÓN BAJO EL CÓDIGO ASME IX

Resistencia a la tracción material base: ASTM A-106 Gr B: 60 ksi (414 MPa)

Identificación	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga a la Rotura		Resistencia a la tracción		Observación	Calificación
			(lbf)	(kN)	(ksi)	(MPa)		
T1	20,80	10,91	27.000	120,1	76,7	529	FMB	Aprobado
T2	20,20	10,27	24.800	110,3	77,3	533	FMB	Aprobado
T1R1	19,68	9,96	23.900	106,3	78,6	542	FMB	Aprobado
T1R2	18,53	9,55	21.600	96,1	78,9	544	FMB	Aprobado
T2R1	20,20	11,18	26.600	118,3	76,2	525	FMB	Aprobado
T2R2	20,90	11,06	27.600	122,8	77,0	531	FMB	Aprobado
T3R1	20,00	11,48	27.500	122,3	77,2	532	FMB	Aprobado
T3R2	19,96	11,11	26.300	117,0	76,5	528	FMB	Aprobado

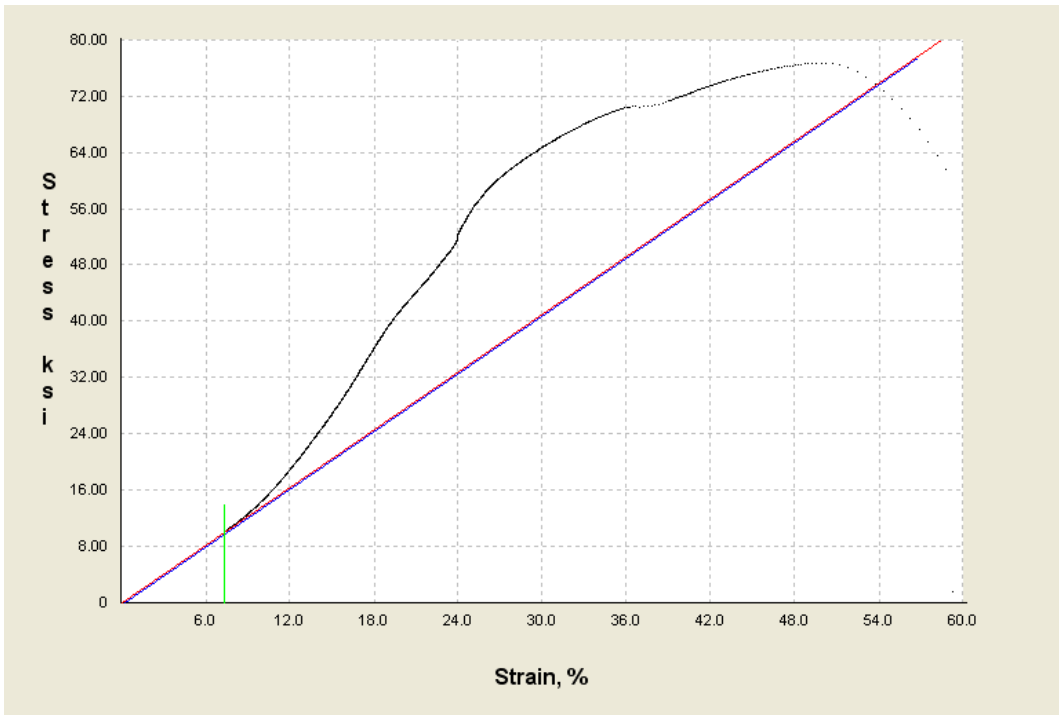
\* FMB: Fractura en el material base

FJS: Fractura en la junta soldada

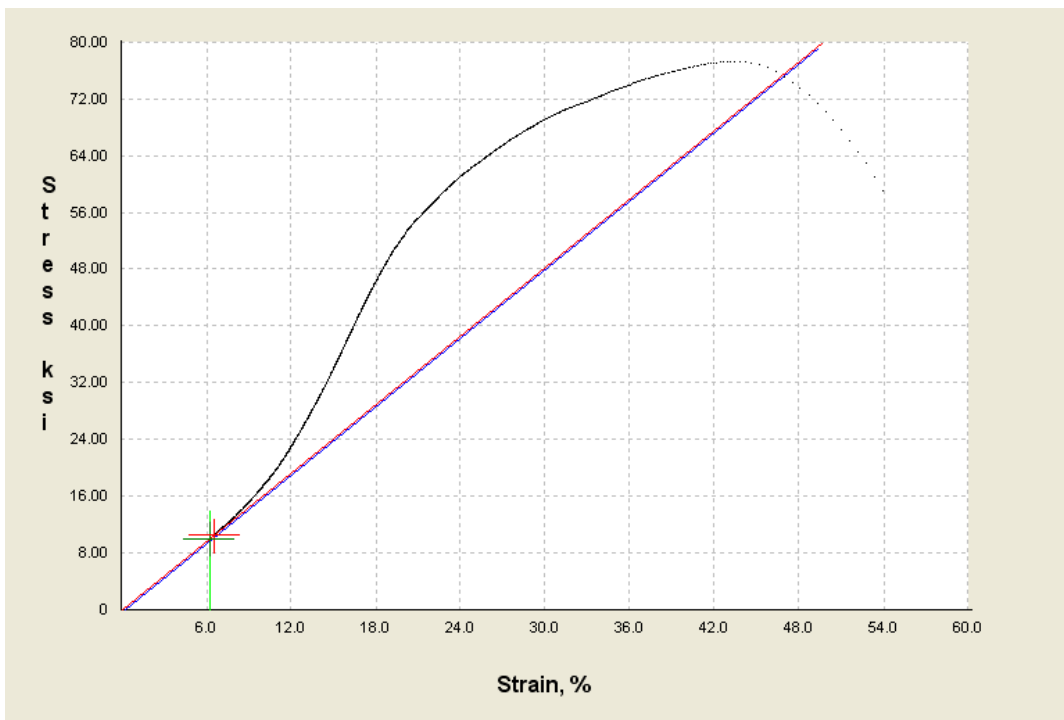


Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.  
**JEFE DEL LABORATORIO DE  
ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

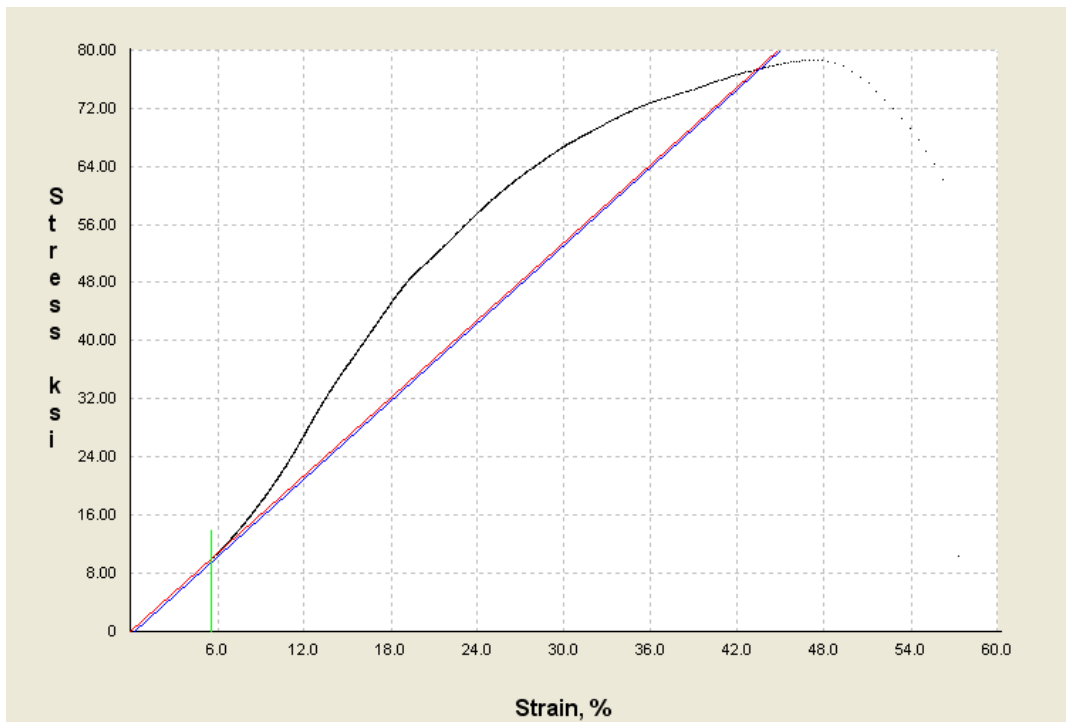
ANEXO: Gráficas esfuerzo vs. deformación



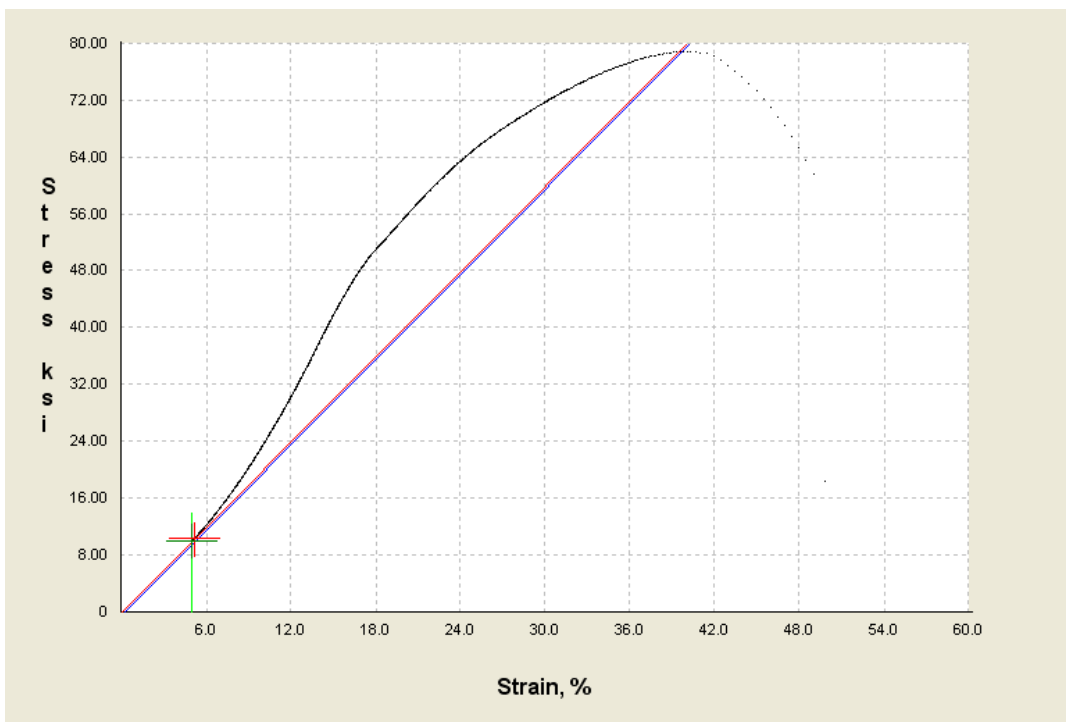
Gráfica 1. Curva esfuerzo deformación para la probeta T1.



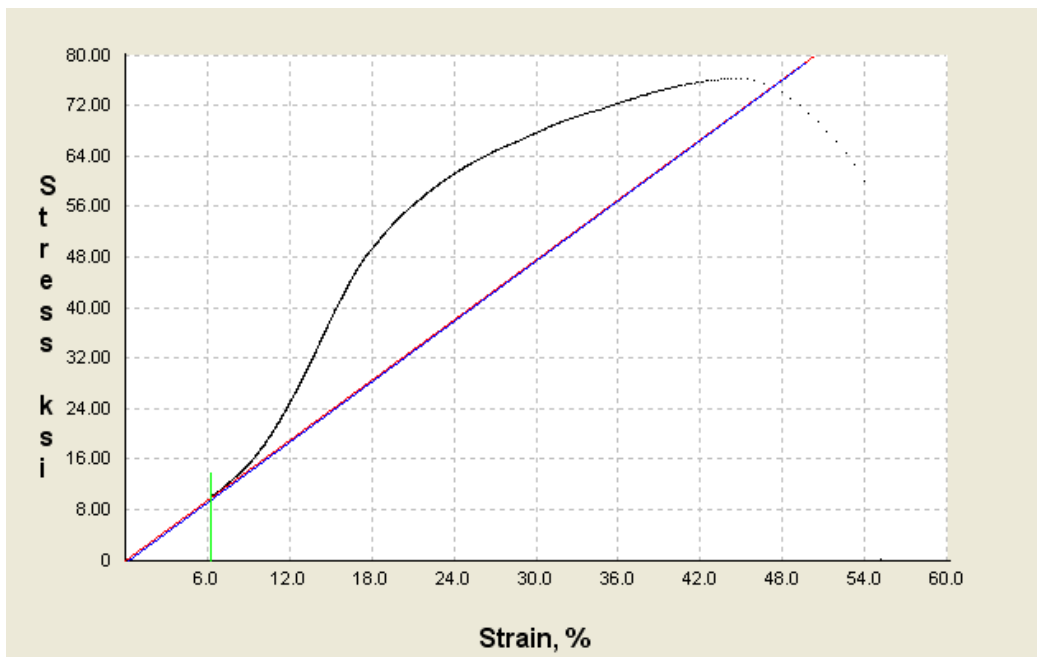
Gráfica 2. Curva esfuerzo deformación para la probeta T2.



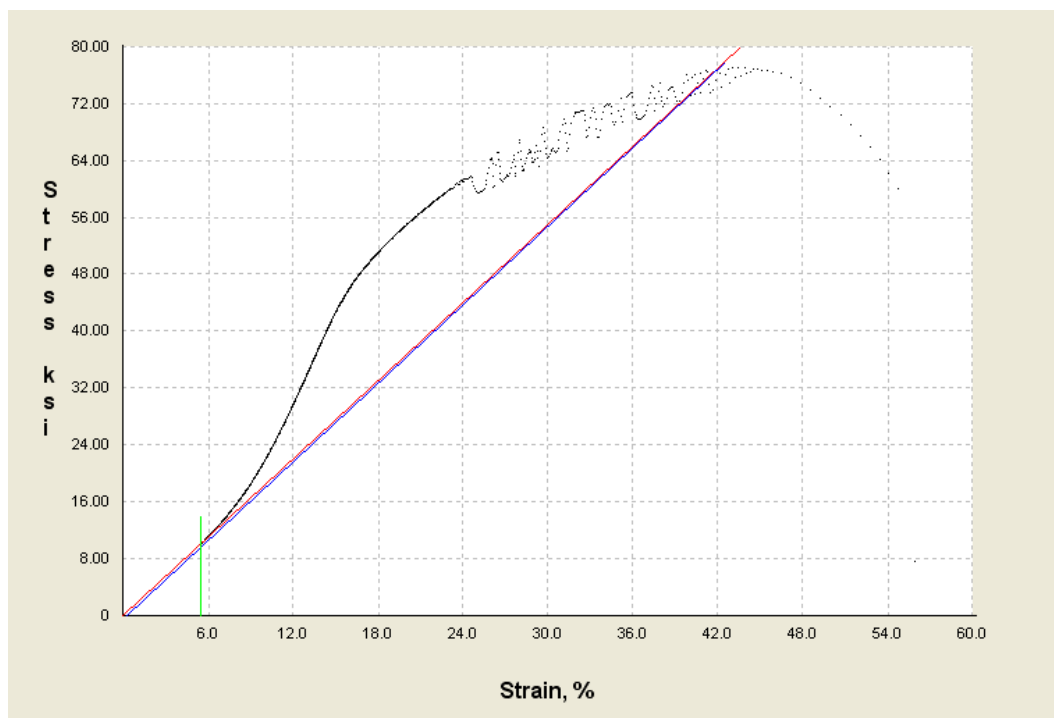
Gráfica 3. Curva esfuerzo deformación para la probeta T1R1



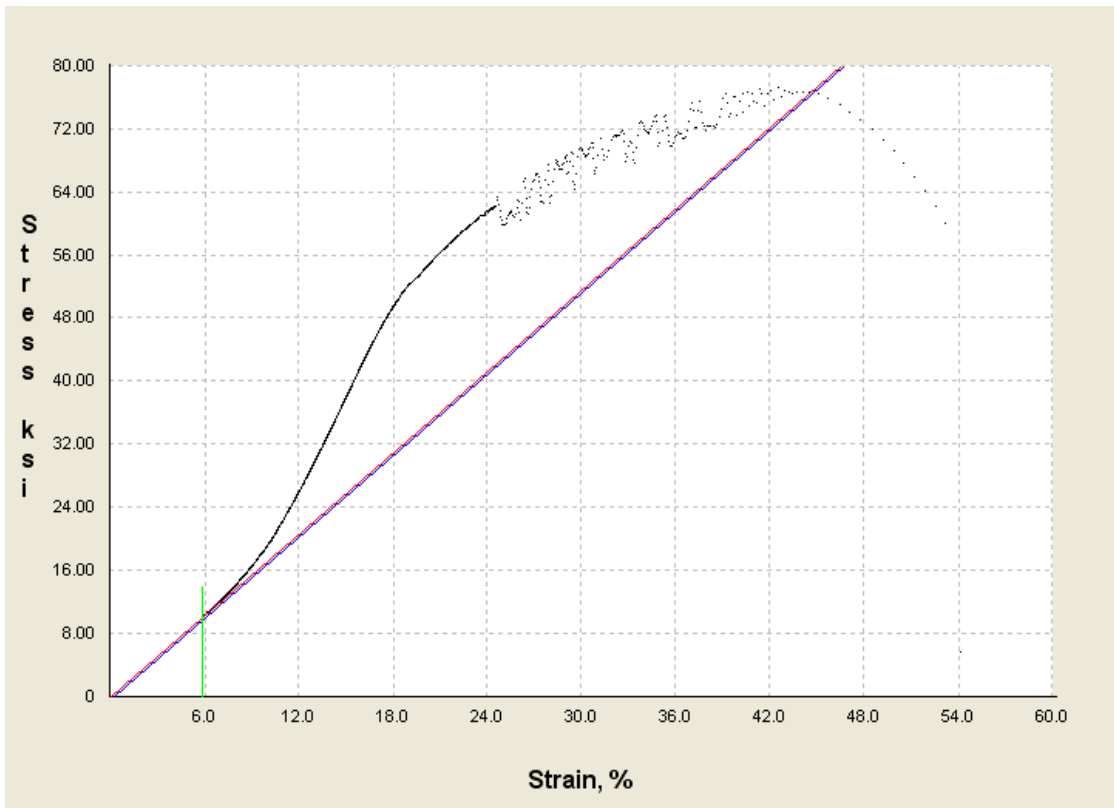
Gráfica 4. Curva esfuerzo deformación para la probeta T1R2



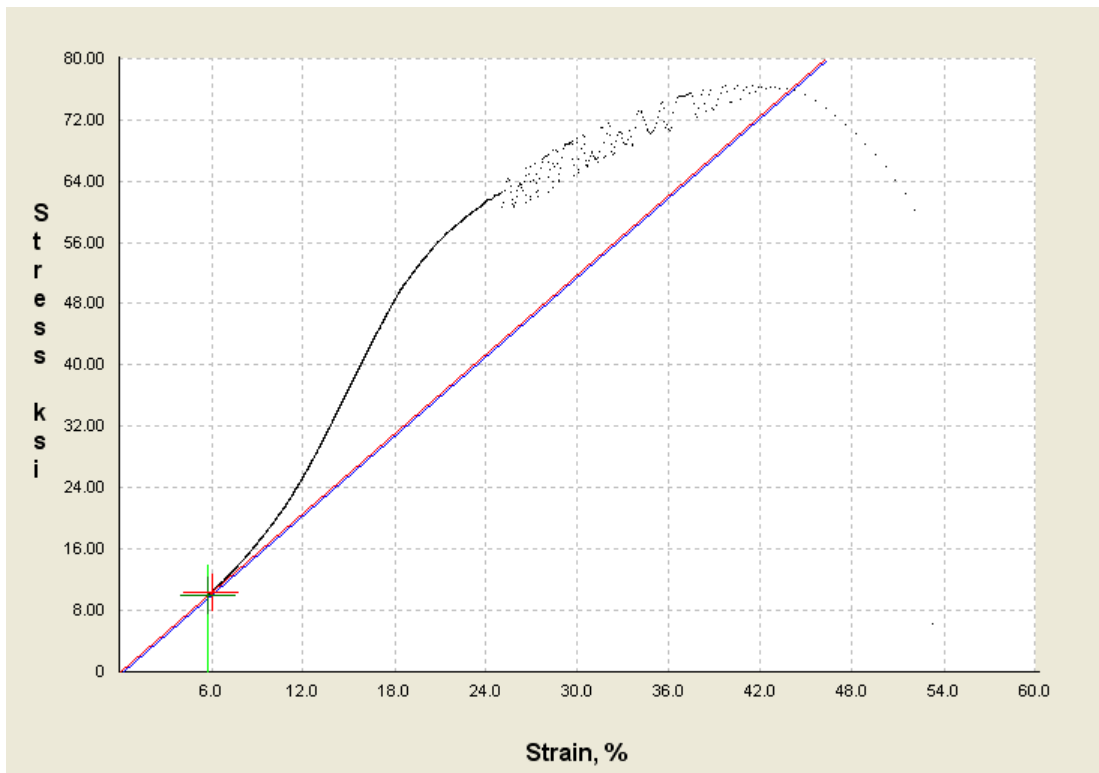
Gráfica 5. Curva esfuerzo deformación para la probeta T2R1



Gráfica 6. Curva esfuerzo deformación para la probeta T2R2



Gráfica 7. Curva esfuerzo deformación para la probeta T3R1



Gráfica 8. Curva esfuerzo deformación para la probeta T3R2

ANEXO 6  
CERTIFICADOS DEL MATERIAL DE LA TUBERIA



**TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO**

EN 10204:2004 / 3.1, DIN 50049-3.1.B

**CERTIFICADO DE CALIDAD  
MILL TEST CERTIFICATE**



Nº 0000192345 / 1 Rev. 0

PAG. 1/ 3

CLIENTE:  
CUSTOMER

PEDIDO/PARTIDA: 02386-00  
P. ORDER / ITEM 000001

PRODUCTO: TUBERIA SIN SOLDADURA LAMINADA EN CALIENTE  
ARTICLE HOT FINISHED SEAMLESS TUBES

REF. FABRICA: 0300009674  
WORK ORDER 000010

EXTREMOS: BISELADOS  
ENDS BEVELLED ENDS

PROTECCION SUPERF: LACIA NECA EXTERIOR  
EXT. COATING OIL OXY LACQUERED

NORMA / GRADO: ASTM/A5M1 A/SA 58.07/105.06h A11 5L  
A11. STANDARD AND GRADE 30K/PSI  
(GR. B / X42

PROCESO FUSION: HORNO ELECTRICO  
MELTING PROCESS ACHERO TOTALMENTE CALMADO  
ELECTRIC FURNACE // FULLY KILNED

ESPEC. ADICIONALES: NACE MK0175/ISO 15156, ED 2003  
ADDITIONAL SPECS

FABRICACION DE PALANQUILLA: COLADA CONTINUA  
BILLET MANUFACTURE CONTINUOUS CASTING

REQUISITOS SUP.:  
SUP. REQUIREMENTS

DIMENSIONES: 6.625" OD X 0.432" X  
DIMENSIONS 40-42 FT.

MARCAS: ESTAMPADO SPAIN  
MARKING MARK STAMPING

PINTADO ATENCILLADO

TR 5L-0011 (SKELCO APD) (MM/AA) ASTM/ASME A/SA55 A/SA106 G 5/8 0.432 B/  
X42 PS1 S 28000 PSI (LONG. TUBO EN PIES) FT (PESO/TUBO EN KGS) KG TIN  
(COLADA) NACE MR0175 ED.2003

CODIGO COLOR /COLOUR CODE

TRAT. TERMICO: NORM. BRUTO LAM. ENER. AL AIRE / AS ROLLED  
HEAT TREATMENT 520 °C

LISTA DE BULTOS / PACKING LIST: 091835

**DESCRIPCION SUMINISTRADO / DESCRIPTION OF DELIVERY**

ITEM FABRICA ITEM ITEM	ITEM CLIENTE CUSTOMER ITEM	LONG INDIV (P) INDIVIDUAL LENGTH	COLADA CAST NR.	Nº TUBOS QUANTITY	LONG. TOTAL (P) LENGTH	PESO (KG) WEIGHT	PROBETAS Nº SPECIMEN NR.
000010	1	40.000 - 42.000	101298	15	614.994	6184	1 - 2
			101299	206	8.444.461	109848	3 - 4
			101301	72	1.033.204	39718	5 - 6
			101300	164	6.761.322	88847	7 - 8
			101322	145	5.040.418	77632	9 - 10
TOTAL				604	24.794.399	324279	

TUBOS REUNIDOS GARANTIZA QUE TODOS LOS TUBOS SUMINISTRADOS POR ESTE CERTIFICADO CUMPLEN LOS REQUISITOS DEL PEDIDO Y CON LAS ESPECIFICACIONES ARRIBA MENCIONADAS.  
TUBOS REUNIDOS CERTIFY THAT ALL THE TUBES SUPPLIED BY THIS CERTIFICATE COMPLY WITH ORDER REQUIREMENTS AND ABOVE MENTIONED SPECIFICATIONS

AMURRIO 20.05.2008

CONTROL DE CALIDAD DE TUBOS REUNIDOS  
TUBOS REUNIDOS QUALITY CONTROL

I. URRUTIKOLETUA



# TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO

EN 10204:2004 / 3.1 DIN 50049-3.1.B

## CERTIFICADO DE CALIDAD MILL TEST CERTIFICATE



Nº 0000192345 /1 Rev. 0

PAG. 2/ 3

### ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS / N.D.T.

ENSAYO / TEST	% CONTROL / TEST RATE (%)	REQUISITOS / REQUIREMENT	RESULTADO / RESULT
VISUAL Y DIMENSIONAL / VISUAL & DIMENSIONAL INSP.	100%		O.K.
P. HIDROSTATICA / HYDROTEST	100%	2800.0 PSI 5 SEC.	O.K.
INSP. POR PASO DE ANILLO / RING CALIBRE INSPECTION	100%		O.K.

### ENSAYOS TECNOLOGICOS Y METALURGICOS / TECHNOLOGICAL AND METALLURGICAL TEST

APLASTADO / FLATTENING AC/ A/SAS3/SAT16/5L -OK

### ANALISIS DE COLADA / CAST ANALYSIS

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	Ti	Nb	B	C.E.
MIN.	0.29	0.10													
MAX.	0.27	0.06	0.030	0.008	0.008	0.400	0.400	0.150	0.400	0.080	0.050	0.020		0.0010	0.40
101298	0.15	0.75	0.22	0.016	0.002	0.100	0.090	0.030	0.320	0.001	0.009	0.007	0.007	0.0001	0.33
101299	0.15	0.76	0.22	0.014	0.004	0.110	0.110	0.020	0.400	0.001	0.007	0.001	0.007	0.0001	0.34
101301	0.15	0.75	0.25	0.014	0.001	0.070	0.080	0.020	0.230	0.001	0.007	0.001	0.007	0.0001	0.31
101310	0.17	0.76	0.26	0.016	0.001	0.090	0.080	0.030	0.260	0.001	0.008	0.002	0.007	0.0001	0.34
101322	0.15	0.75	0.19	0.009	0.004	0.100	0.120	0.040	0.280	0.001	0.004	0.001	0.007	0.0001	0.33

### ANALISIS DE PRODUCTO / PRODUCT ANALYSIS

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	Ti	Nb	B	(1)	(2)	C.E.	
MIN.	0.29	0.10																
MAX.	0.27	0.06	0.030	0.008	0.008	0.400	0.400	0.150	0.400	0.080	0.050	0.020		0.0010	0.00	0.15	999.00	0.40
101298	0.16	0.73	0.24	0.016	0.004	0.110	0.090	0.030	0.330	0.006	0.009	0.002	0.007	0.0001				0.34
101298	0.15	0.75	0.25	0.016	0.005	0.110	0.090	0.030	0.330	0.006	0.012	0.002	0.006	0.0001	0.57	0.02		0.33
101299	0.15	0.76	0.22	0.014	0.004	0.110	0.110	0.020	0.400	0.001	0.004	0.001	0.007	0.0001	0.57	0.02		0.33
101299	0.15	0.76	0.22	0.014	0.004	0.110	0.110	0.020	0.400	0.001	0.004	0.001	0.007	0.0001	0.64	0.01		0.34
101301	0.15	0.74	0.26	0.014	0.003	0.080	0.080	0.030	0.230	0.005	0.010	0.006	0.006	0.0001	0.64	0.01		0.34
101301	0.15	0.76	0.28	0.015	0.003	0.080	0.080	0.030	0.230	0.004	0.012	0.007	0.007	0.0001	0.43	0.02		0.32
101310	0.17	0.77	0.27	0.018	0.002	0.090	0.090	0.030	0.260	0.008	0.009	0.003	0.005	0.0001	0.42	0.02		0.32
101310	0.16	0.79	0.27	0.018	0.003	0.090	0.090	0.030	0.270	0.006	0.010	0.003	0.009	0.0001	0.50	0.02		0.35
101322	0.15	0.74	0.24	0.014	0.005	0.100	0.120	0.050	0.290	0.005	0.006	0.002	0.007	0.0001	0.49	0.02		0.34
101322	0.16	0.74	0.22	0.016	0.005	0.120	0.100	0.020	0.390	0.007	0.005	0.002	0.006	0.0001	0.57	0.01		0.34
														0.0001	0.65	0.02		0.35

(1) Cr + Ni + Mo + Cu + V  
(2) Nb + Ti + V

AMURRIO 20.08.2008

CONTROL DE CALIDAD DE TUBOS REUNIDOS  
TUBES QUALITY CONTROL

I. URKUTIKOETXEA





# TUBOS REUNIDOS, S.A. - AMURRIO

EN 10204:2004 / 3.1 DIN 50049-3.1.B

## CERTIFICADO DE CALIDAD MIL TEST CERTIFICATE



Nº 0000192345 / I Rev. 0

ENSAYO DE TRACCION TENSILE TEST							ENSAYO DE IMPACTO - CHARPY V IMPACT TEST						
Nº	L/T	HP	DIMENSION (Inches)	T.ELAST. YIELD POINT (Psi)	R.TRACC. T STRENGTH (Psi)	ALARG. ELONG. (%)	DURIZA HARDNESS (HRB)	L/T	DIMENS (Inches)	Tª (°C)	RESILIENCIA IMPACT TEST (Joules)	A.DUCTIL TENSAR AREA (%)	ESTRICCION RED. AREA (%)
				42100	60200								
1	L	P	0.957 x 0.425	45646	74655	32							
2	L	P	0.965 x 0.425	45276	74044	32							
3	L	P	0.969 x 0.445	45333	73589	34							
4	L	P	0.969 x 0.449	44935	72949	34							
5	L	P	0.985 x 0.461	46613	71509	36							
6	L	P	0.965 x 0.465	46215	70958	36							
7	L	P	0.965 x 0.459	44935	72064	34							
8	L	P	0.969 x 0.453	44750	72166	34							
9	L	P	0.965 x 0.445	43215	72583	40							
10	L	P	0.969 x 0.449	42650	71669	40							

→ (\*) : L = LONGITUDINAL // T - TRANSVERSAL  
 (\*\*) : T = Full size tube // P - Strip specimen  
 (\*\*\*) : yield point (0.2%)  
 (\*\*\*\*) : Ro = 2" (50,8 mm)