

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Tema: “Estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su incidencia en las Propiedades Mecánicas del Material aplicado a la Recuperación de Rodetes Hidráulicos”

Trabajo de Investigación, previo a la obtención de Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico

Autor: Ing. Juan José Auz Mogrovejo

Director: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

AMBATO – ECUADOR

2017

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y
Mecánica**

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ingeniero Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Magister, e integrado por los señores: Ingeniero Christian Byron Castro Miniguano, Magister., Ingeniero César Hernán Arroba Arroba, Magister, e Ingeniero Gustavo David Patín Manobanda, Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas del Material aplicado a la Recuperación de Rodetes Hidráulicos”, elaborado y presentado por el señor: Ingeniero Juan José Auz Mogrovejo, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal

Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. César Hernán Arroba Arroba, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Gustavo David Patín Manobanda, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas del Material aplicado a la Recuperación de Rodetes Hidráulicos”, le corresponde exclusivamente al: Ingeniero Juan José Auz Mogrovejo, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Wilson Henry Vaca Ortega, Magister, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Juan José Auz Mogrovejo

c.c.180249126-4

AUTOR

Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

c.c.180372912-6

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ing. Juan José Auz Mogrovejo
c.c.180249126-4

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....	i
A la unidad académica de titulación	ii
Autoría del trabajo de investigación	iii
Derechos de autor.....	iv
Índice general de contenidos.....	v
Agradecimiento	xviii
Dedicatoria	xix
Resumen ejecutivo	xx
Introducción	- 1 -

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1 Tema:	- 2 -
1.2 Planteamiento del problema.....	- 2 -
1.2.1 Contextualización	- 2 -
1.2.2 Análisis crítico	- 4 -
1.2.3 Prognosis	- 5 -
1.2.4 Formulación del problema.....	- 6 -
1.2.5 Preguntas directrices	- 6 -
1.2.6 Delimitación del problema	- 6 -
1.2.6.1 Delimitación temporal.....	- 6 -
1.2.6.2 Delimitación espacial	- 6 -
1.2.6.3 Delimitación de contenidos	- 7 -
1.3 Justificación	- 7 -
1.4 Objetivos de la investigación.....	- 8 -
1.4.1 Objetivo general:	- 8 -
1.4.2 Objetivos específicos:.....	- 8 -

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos.....	9 -
2.1.1 Antecedentes.....	9 -
2.1.2 Simbología, nomenclatura y abreviaciones	11 -
2.1.3 Fundamentación teórica.....	13 -
2.1.3.1 Aceros inoxidables	13 -
2.1.3.2 Clasificación de los aceros inoxidables.....	13 -
2.1.3.3 Aceros inoxidables martensíticos.....	14 -
2.1.3.4 Elementos aleantes en los aceros inoxidables	17 -
2.1.3.5 Diagrama de fases de los aceros inoxidables	17 -
2.1.3.6 Acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.....	20 -
2.1.3.7 Diagrama de fases del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM	23 -
2.1.3.8 Soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM	24 -
2.1.3.9 Metalurgia de la soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM	29 -
2.1.3.10 Diagramas de constitución.....	31 -
2.1.3.11 Procesos de soldadura.....	33 -
2.1.3.12 Tratamiento térmico.....	38 -
2.1.3.13 Tipos de tratamientos térmicos	39 -
2.1.3.14 Tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM	40 -
2.1.3.15 Propiedades mecánicas de los materiales	46 -
2.1.3.16 Ensayo de tracción	46 -
2.1.3.17 Ensayo de impacto	50 -
2.1.3.18 Prueba de dureza.....	51 -
2.1.3.19 Ensayos metalográficos	52 -
2.2 Fundamentación filosófica.....	54 -
2.3 Fundamentación legal	54 -
2.4 Categorías fundamentales.....	55 -

2.5 Hipótesis	- 55 -
2.6 Señalamiento de variables	- 55 -
2.6.1 Variable independiente	- 55 -
2.6.2 Variable dependiente	- 55 -

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Enfoque.....	- 56 -
3.2 Modalidad básica de la investigación.....	- 56 -
3.2.1 De campo.....	- 56 -
3.2.2 Experimental.....	- 56 -
3.2.3 Bibliográfica	- 57 -
3.3 Nivel o tipo de la investigación	- 57 -
3.3.1 Exploratoria	- 57 -
3.3.2 Descriptiva.....	- 57 -
3.3.3 Asociación de variables	- 57 -
3.4 Población y muestra.....	- 58 -
3.4.1 Población	- 58 -
3.4.2 Muestra	- 58 -
3.5 Operacionalización de las variables.....	- 59 -
3.5.1 Variable independiente:.....	- 59 -
3.5.2 Variable dependiente:	- 59 -
3.6 Recolección de la información	- 60 -
3.7 Procesamiento de la información.....	- 60 -
3.7.1 Plan de procesamiento	- 60 -
3.7.2 Plan de análisis e interpretación de resultados	- 61 -

CAPÍTULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Proceso para la obtención y análisis de resultados	- 62 -
4.2 Determinación de los parámetros de investigación	- 64 -
4.2.1 Caracterización del material base y material de aporte	- 67 -

4.2.2	Parámetros de soldadura	- 70 -
4.2.3	Parámetros del tratamiento térmico	- 73 -
4.2.4	Definición de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas ..	- 77 -
4.3	Presentación de los resultados	- 81 -
4.3.1	Análisis del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM como viene de fábrica	- 81 -
4.3.1.1	Ensayo de tracción del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM como viene de fábrica.....	- 82 -
4.3.1.2	Ensayo de impacto del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM como viene de fábrica.....	- 83 -
4.3.1.3	Ensayo de dureza del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM como viene de fábrica.....	- 84 -
4.3.1.4	Metalografía del acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM como viene de fábrica	- 85 -
4.3.2	Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico.....	- 86 -
4.3.2.1	Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico	- 87 -
4.3.2.2	Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico	- 88 -
4.3.2.3	Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico	- 89 -
4.3.2.4	Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico.....	- 90 -
4.3.3	Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación.....	- 93 -
4.3.3.1	Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	- 95 -
4.3.3.2	Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	- 96 -
4.3.3.3	Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	- 97 -

4.3.3.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación.....	- 98 -
4.3.4 Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación	- 101 -
4.3.4.1 Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación.....	- 103 -
4.3.4.2 Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación.....	- 104 -
4.3.4.3 Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación.....	- 105 -
4.3.4.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación	- 106 -
4.3.5 Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación.....	- 109 -
4.3.5.1 Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	- 111 -
4.3.5.2 Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	- 112 -
4.3.5.3 Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	- 113 -
4.3.5.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación.....	- 114 -
4.3.6 Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación	- 117 -
4.3.6.1 Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación.....	- 119 -
4.3.6.2 Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación.....	- 120 -
4.3.6.3 Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación.....	- 121 -
4.3.6.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación	- 122 -

4.3.7 Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación.....	- 125 -
4.3.7.1 Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	- 127 -
4.3.7.2 Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	- 128 -
4.3.7.3 Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	- 129 -
4.3.7.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación.....	- 130 -
4.3.8 Análisis de la soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación	- 133 -
4.3.8.1 Ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación.....	- 135 -
4.3.8.2 Ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación.....	- 136 -
4.3.8.3 Ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación.....	- 137 -
4.3.8.4 Metalografía soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación	- 138 -
4.4 Análisis de resultados	- 141 -
4.4.1 Análisis de resultados del ensayo de tracción.....	- 141 -
4.4.2 Análisis de resultados del ensayo de impacto.....	- 149 -
4.4.3 Análisis de resultados del ensayo de dureza.....	- 154 -
4.4.4 Análisis de resultados de metalografía	- 157 -
4.4.5 Análisis general de las propiedades mecánicas resultantes	- 161 -
4.5 Verificación de la hipótesis.....	- 163 -

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	- 168 -
5.2 Recomendaciones	- 171 -

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos.....	- 173 -
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	- 174 -
6.3 Justificación	- 174 -
6.4 Objetivos.....	- 175 -
6.4.1 Objetivo general:	- 175 -
6.4.2 Objetivos específicos:.....	- 175 -
6.5 Análisis de factibilidad	- 175 -
6.6 Fundamentación.....	- 176 -
6.6.1 Ficha de especificaciones de calidad	- 176 -
6.6.2 Especificación del procedimiento de soldadura	- 178 -
6.6.3 Especificación del tratamiento térmico post soldadura	- 178 -
6.6.4 Propiedades mecánicas	- 181 -
6.6.4.1 Cálculos del ensayo de tracción	- 182 -
6.6.4.2 Cálculos del ensayo de impacto	- 185 -
6.6.4.3 Resultados del ensayo de dureza.....	- 185 -
6.6.4.4 Resultados del ensayo metalográfico	- 186 -
6.7 Metodología.....	- 187 -
6.7.1 Diagrama de procesos de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas.....	- 187 -
6.7.2 Procedimiento de recuperación de rodets	- 189 -
6.8 Administración.....	- 210 -
6.9 Previsión de la evaluación	- 211 -
Bibliografía	- 212 -
Anexos	- 217 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM. ...	21
Tabla 2.2 Propiedades de aceros utilizados en fabricación de turbinas.	22
Tabla 2.3 Propiedades mecánicas de la aleación CA6-NM según ASTM A743.....	23
Tabla 2.4 Propiedades mecánicas para metales de aporte similares al 13-4.....	34
Tabla 2.5 Usos de gases de protección para el proceso GMAW.	37
Tabla 2.6 Técnicas de ensayo de dureza.	52
Tabla 4.1 Propiedades mecánicas nominales de la aleación ASTM A743 CA6-NM.	67
Tabla 4.2 Composición química del metal base ASTM A743 CA6-NM.	68
Tabla 4.3 Composición química y propiedades mecánicas del electrodo Selectarc M13/4 ER 410NiMo.	68
Tabla 4.4 Cromo y Níquel equivalente del metal base y aporte.	69
Tabla 4.5 Parámetros de Soldadura.....	72
Tabla 4.6 Variables de tratamiento térmico recomendadas en estudios previos.....	75
Tabla 4.7 Parámetros principales del tratamiento térmico post soldadura.....	76
Tabla 4.8 Variables para el cálculo del tamaño de muestra de tracción.	78
Tabla 4.9 Identificación de las probetas de tracción.	78
Tabla 4.10 Identificación de las probetas de impacto.	79
Tabla 4.11 Identificación de las probetas de dureza y metalográficas.....	81
Tabla 4.12 Resultados ensayo de tracción acero ASTM A743 CA6-NM.	141
Tabla 4.13 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico.	141
Tabla 4.14 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación.	141
Tabla 4.15 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación.....	142
Tabla 4.16 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación.	142

Tabla 4.17 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación.....	- 142 -
Tabla 4.18 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación.	- 143 -
Tabla 4.19 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación.....	- 143 -
Tabla 4.20 Resultados ensayo de impacto acero ASTM A743 CA6-NM.	- 149 -
Tabla 4.21 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico.	- 149 -
Tabla 4.22 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación.	- 150 -
Tabla 4.23 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación.....	- 150 -
Tabla 4.24 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación.	- 150 -
Tabla 4.25 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación.....	- 151 -
Tabla 4.26 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación.	- 151 -
Tabla 4.27 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación.....	- 151 -
Tabla 4.28 Resultados ensayo de dureza acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.	- 154 -
Tabla 4.29 Valores promedio de dureza acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.	- 157 -
Tabla 4.30 Comparación de las microestructuras obtenidas.....	- 158 -
Tabla 4.31 Tamaño promedio de los listones de martensita.	- 160 -
Tabla 6.1 Registro de valores del ensayo de tracción.	- 182 -
Tabla 6.2 Datos del ensayo de tracción para determinar el módulo de elasticidad.	- 184 -
Tabla 6.3 Resultados del ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.	- 185 -

Tabla 6.4 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.	- 185 -
Tabla 6.5 Resultados ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.....	- 186 -
Tabla 6.6 Estructura metalográfica soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.....	- 186 -
Tabla 6.7 Tamaño promedio de listones de martensita en acero ASTM A743 CA6-NM soldado y revenido a 600 °C por 2 horas.....	- 187 -
Tabla 6.8 Costos del proyecto de investigación.....	- 210 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Microestructura martensítica con ferrita δ , acero inoxidable 410. ...	15 -
Figura 2.2 Carburos en los límites de grano del acero inoxidable 420.	16 -
Figura 2.3 Diagrama de equilibrio de fases hierro-cromo.	18 -
Figura 2.4 Sistema ternario Fe-Cr-Ni.	19 -
Figura 2.5 Estructura martensítica de la fundición CA6-NM.	21 -
Figura 2.6 Diagrama de equilibrio pseudobinario Fe-Cr-Ni.	23 -
Figura 2.7 Esquema de la variación de la microestructura de una soldadura. ...	25 -
Figura 2.8 Zonas presentes en un cordón de soldadura.	27 -
Figura 2.9 Cambios estructurales en la ZAT de un acero inoxidable 13-4.	28 -
Figura 2.10 Secuencia de transformaciones después de la solidificación para aceros martensíticos blandos.	30 -
Figura 2.11 Microestructura del acero ASTM A743 CA6NM y del recubrimiento de soldadura ER410NiMo.	31 -
Figura 2.12 Diagrama de Schaeffler de 1949.	32 -
Figura 2.13 Proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa. ...	34 -
Figura 2.14 Equipo para el proceso de soldadura GMAW.	35 -
Figura 2.15 Diagrama de transformación de enfriamiento continuo para el acero CA6-NM.	41 -
Figura 2.16 Microestructura del acero ASTM A743 CA6NM homogenizado y luego de revenido a diferentes temperaturas.	44 -
Figura 2.17 Propiedades mecánicas y contenido de austenita en el acero inoxidable CA6-NM en función de la temperatura de revenido.	45 -
Figura 2.18 Variación de la dureza del acero 13Cr-4Ni en función de la temperatura de revenido.	46 -
Figura 2.19 Aplicación de una fuerza uniaxial en una máquina de tracción. ...	47 -
Figura 2.20 Curva esfuerzo-deformación.	48 -
Figura 2.21 a) Pruebas de Charpy y de Izod, b) dimensiones de las probetas. ...	51 -
Figura 4.1 Ranura en cupón de soldadura de 250x130x22 mm.	66 -
Figura 4.2 Ranura en cupón de soldadura de 60x60x13.5 mm.	66 -
Figura 4.3 Estructura del metal de soldadura en el Diagrama de Schaeffler. ...	69 -

Figura 4.4 Esquema para medición de dureza en probetas soldadas.	80 -
Figura 4.5 Variación de la Resistencia a la Fluencia “Sy”.	144 -
Figura 4.6 Variación de la Resistencia a la Tracción “St”.....	145 -
Figura 4.7 Variación del porcentaje de Elongación “EL”.....	146 -
Figura 4.8 Variación del Módulo de Elasticidad “E”.	147 -
Figura 4.9 Comparación de los resultados del ensayo de tracción.	148 -
Figura 4.10 Variación de la Energía de Impacto Absorbida.....	152 -
Figura 4.11 Variación de la Dureza, recuperación del acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C por 1 hora.	154 -
Figura 4.12 Variación de la Dureza, recuperación del acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C por 2 horas.....	156 -
Figura 4.13 Propiedades mecánicas resultantes del acero ASTM A743 grado CA6- NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.	161 -
Figura 4.14 Distribución t student para $df= 3$ y $\alpha = 0.05$, cola izquierda.....	164 -
Figura 4.15 Distribución t student para $df= 2$ y $\alpha = 0.05$, cola izquierda.....	166 -
Figura 4.16 Distribución t student para $df= 2$ y $\alpha = 0.05$, cola derecha.	167 -

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 4.1 Preparación de material base acero ASTM A743 CA6-NM.....	- 65 -
Ilustración 4.2 Placas de acero ASTM A743 grado CA6-NM.....	- 65 -
Ilustración 4.3 Placas de soldadura de 250x130x22 mm. con ranura central de 20x8 mm. sección en U.	- 66 -
Ilustración 4.4 Proceso de soldadura GMAW robotizada.....	- 70 -
Ilustración 4.5 Control de la temperatura de interpase.	- 71 -
Ilustración 4.6 Soldadura GMAW robotizada, placas de 250x130x22 mm.	- 72 -
Ilustración 4.7 Placas soldadas ASTM A743 CA6-NM de 250x130x22 mm. .-	- 73 -
Ilustración 4.8 Placas mecanizadas ASTM A743 CA6-NM de 60x60x13.5 mm.....	- 73 -
Ilustración 4.9 Probetas de tracción de 250 x 20 mm. espesor 19 mm.....	- 79 -
Ilustración 4.10 Probetas de impacto Charpy tipo A de 10x10x55 mm.	- 80 -
Ilustración 4.11 Zona de fractura de probetas de impacto.	- 153 -
Ilustración 4.12 Zona de fractura probeta de impacto “Como Soldado”.	- 153 -
Ilustración 4.13 Micrografía zona de fusión soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, sin TTPS, 200X, Vilella.....	- 159 -
Ilustración 6.1 Micrografía zona de fusión soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, 600 °C x 2 h, 500X, Vilella.....	- 187 -
Ilustración 6.2 Nomenclatura zonas del rodete tipo Francis.....	- 191 -
Ilustración 6.3 Ensayo por tintas penetrantes, banda zona de entrada.	- 196 -
Ilustración 6.4 Pulido inicial, banda zona de entrada.....	- 197 -
Ilustración 6.5 Soldadura GMAW, laberinto inferior.	- 200 -
Ilustración 6.6 Mecanizado sobre medida, corona zona exterior.....	- 203 -
Ilustración 6.7 Control final, mediciones en la banda zona de entrada.....	- 209 -

AGRADECIMIENTO

A mi esposa e hijo, a mis padres y mis hermanos, por su apoyo paciencia y confianza permanente. Gracias por poder contar con ustedes.

A los compañeros de CELEC EP Unidad de Negocio Hidroagoyán, en especial a quienes forman parte del CIRT y taller mecánico gracias por su colaboración prestada y sugerencias para que el desarrollo de este trabajo se haga realidad.

A las autoridades y maestros de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA, por sus conocimientos y experiencias compartidas, de manera especial a mi tutor Henry Vaca.

A mis familiares, amigos y colegas por haber compartido y ser parte de esta etapa de mi vida.

DEDICATORIA

Es un pequeño paso, pero muy importante en nuestra vida como respuesta a un gran esfuerzo....

Dedicado a Verónica y José Mateo con mucho cariño por su paciencia, apoyo y comprensión incondicional.

A mis padres y hermanos, quienes se han preocupado por mi bienestar y superación, gracias por su apoyo y por la confianza depositada.

A mí querida tía Fanny y mi entrañable mami Blanca por su cariño y preocupación a cada momento.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA/DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

TEMA:

Estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas del Material aplicado a la Recuperación de Rodetes Hidráulicos.

AUTOR: Ing. Juan José Auz Mogrovejo

DIRECTOR: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

FECHA: 07 de Junio de 2017

RESUMEN EJECUTIVO

El acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM es utilizado en la fabricación de rodets y demás componentes de turbinas hidráulicas por brindar una buena combinación entre las propiedades mecánicas y resistencia a la cavitación y corrosión. Debido a su bajo contenido de carbono posee una buena soldabilidad; sin embargo, es necesario realizar el tratamiento térmico posterior a la soldadura para aliviar esfuerzos y afinar la microestructura y propiedades mecánicas de manera de recuperar características similares a las del material original.

A través del presente trabajo se estudió el efecto del tratamiento térmico del acero ASTM A743 grado CA6-NM luego de aplicar depósitos de soldadura multipasada de tipo acumulación o restauración del espesor del metal base utilizando el proceso GMAW robotizado con electrodo ER 410NiMo sobre cupones ranurados que reproducen parte de la superficie desgastada de un rodete hidráulico. Los cupones soldados se sometieron a diferentes tratamientos térmicos con el propósito de comparar las propiedades mecánicas del material soldado sin tratamiento térmico y con revenido post soldadura a una temperatura de 600 °C durante dos tiempos de sostenimiento diferentes, una y dos horas; además, éste proceso se realizó para uno, dos y tres ciclos de recuperación por soldadura más tratamiento térmico.

Se planteó 8 casos de estudio que incluyeron el material base original, la soldadura sin tratamiento térmico y seis casos de revenido post soldadura a los cuales se realizó ensayos de tracción, impacto, dureza y metalografía para caracterizar y establecer la variación de las propiedades mecánicas. De dicho análisis se determinó que el tratamiento térmico post soldadura aplicado permite mejorar las propiedades que son afectadas por el proceso de soldadura. La mejor combinación de propiedades mecánicas fue obtenida para el revenido a 600 °C durante 2 horas en la primera recuperación. Se comprobó que inclusive en la tercera recuperación las propiedades del material se encuentran dentro de los parámetros requeridos por el estándar ASTM A743. Finalmente se propone un procedimiento para la recuperación de rodets hidráulicos tipo Francis como una alternativa para el mantenimiento de las turbinas a menor costo.

Descriptor: Tratamiento térmico, revenido, acero inoxidable, propiedades mecánicas, tracción, impacto, dureza, metalografía, soldadura, rodete, martensita.

AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY
CIVIL AND MECHANICS ENGINEERING FACULTY
POSTGRADUATE DIRECTORATE
MASTER'S DEGREE IN MECHANICAL DESIGN

THEME:

ASTM A743 grade CA6-NM Martensitic Stainless Steel Post Welding Heat Treatment Study and its Incidence in the Mechanical Properties of the Material Applied to the Recovery of Hydraulic Runners.

AUTHOR: Ing. Juan José Auz Mogrovejo

DIRECTED BY: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

DATE: June 7th, 2017

EXECUTIVE SUMMARY

ASTM A743 grade CA6-NM Martensitic Stainless Steel is used in the manufacture of runners and other components of hydraulic turbines to provide a good combination between mechanical properties and resistance to cavitation and corrosion. Due to its low carbon content it has good weldability; however, it is necessary to perform post-weld heat treatment to alleviate stress and to fine tune the microstructure and mechanical properties in order to recover characteristics similar to those of the original material.

Through the present work the effect of the heat treatment of ASTM A743 grade CA6-NM steel was studied after applying deposits of multi-step welding of accumulation type or restoration the thickness of the base metal using a GMAW robotized process with ER410NiMo electrodes on slotted coupons which reproduce part of the worn surface of a hydraulic runner.

The welded coupons were subjected to different heat treatments in order to compare the mechanical properties of the weld material without heat treatment and with post-weld tempering at a temperature of 600 °C during two different holding times, one and two hours; in addition, this process was performed for one, two and three cycles of recovery by welding plus heat treatment.

Eight cases of study were considered, including the original base material, the weld without heat treatment and six cases of post-welding tempering, which were subjected to tests of tension, impact, hardness and metallography to characterize and establish the variation of the mechanical properties. From this analysis it was determined that the post-weld heat treatment applied allows to improve the properties that are affected by the welding process. The best combination of mechanical properties was obtained for tempering at 600 °C during two hours in the first recovery. It was verified that even in the third recovery the properties of the material are within the parameters required by the standard ASTM A743. Finally, a procedure is proposed for the recovery of Francis hydraulic runners as an alternative for the maintenance of turbines at a lower cost.

Keywords: Heat treatment, tempering, stainless steel, mechanical properties, tension, impact, hardness, metallography, welding, runner, martensite.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo la influencia de los materiales sobre nuestras vidas ha sido de tal dimensión que en un principio las edades de la humanidad han sido catalogadas según los historiadores de acuerdo con los materiales utilizados en la época, a partir de los cuales nos encontramos anegados en un mundo con materiales de diversa naturaleza. Es así como a partir del acero al carbono se ha llegado a una generación de materiales denominados súper aleaciones entre los cuales encontramos a los aceros inoxidable, materiales que exhiben extraordinarias y versátiles propiedades mecánicas que les hacen idóneos para ser utilizados en una variedad de industrias, entre ellas la de generación de energía.

La búsqueda de materiales adecuados que puedan utilizarse en rodets de turbinas de generación de energía hidroeléctrica ha conducido a la producción del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM, aplicación en la que se encuentra expuesto a problemas de desgaste por cavitación y erosión, así como agrietamiento en zonas de elevados esfuerzos.

Se ha determinado que los rodets reemplazados por deterioro pueden ser recuperados por medio de soldadura. A través del presente trabajo se busca caracterizar las propiedades mecánicas del acero ASTM A743 grado CA6-NM, al ser sometido al proceso por soldadura de recuperación y a diferentes tratamientos térmicos posteriores hasta un tercer ciclo de recuperación con la finalidad de determinar la afectación de las propiedades del material demostrando que la aplicación de tratamiento permite mejorar las propiedades deterioradas por soldadura.

Finalmente se propone un procedimiento para la recuperación de rodets hidráulicos tipo Francis de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, como una alternativa al proceso de mantenimiento, lo cual significa volver a poner en servicio los rodets que han sido reemplazados cuyos resultados se traducen en mayor producción y un considerable ahorro económico.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

“ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6-NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Al presentarse deterioro, los rodets hidráulicos pueden ser recuperados, usualmente por soldadura. Gracias a su bajo contenido de carbono el acero ASTM A743 grado CA6-NM posee una buena soldabilidad; aun así luego de la reparación es necesario realizar tratamiento térmico para afinar la microestructura y propiedades mecánicas del acero.

A nivel mundial, actualmente el acero inoxidable ASTM A743 CA6-NM es muy utilizado en la fabricación de rodets y en general en aplicaciones hidráulicas. El tratamiento térmico en estos aceros ha sido estudiado por varios autores.

En Polonia, Edmund Tasak, Aneta Ziewiec, B. Wasilewska y J. Walczyk, en el 2009, en su investigación sobre la influencia del tratamiento térmico post soldadura en la microestructura y propiedades de juntas soldadas de acero inoxidable al cromo-níquel con martensita suave determinaron que la soldadura conduce a alta segregación de los componentes en el proceso de solidificación y la temperatura de recocido excesiva conduce a la disminución de la tenacidad del material.

En la Décimo Tercera Conferencia Internacional sobre Fractura, realizada en Junio de 2013 en Beijing China, A. Trudel, M. Brochu y M. Lévesque presentaron el estudio de los efectos de los esfuerzos residuales sobre la propagación de grietas de fatiga en la soldadura de un acero inoxidable CA6NM. La comparación reveló que la grieta se propaga a mayor velocidad en las muestras como soldadas que en las tratadas térmicamente. Esto demuestra la importancia de un buen control residual de estrés a través de un tratamiento térmico posterior a la soldadura.

En el continente Americano, A. Akhiate, E. Braud, D. Thibault y M. Brochu de la Escuela Politécnica de Montreal y del Instituto de Investigación Hidráulica de Québec, en el año 2014, abordaron sobre los efectos del contenido de carbono y tratamiento térmico sobre la microestructura del acero inoxidable martensítico 13Cr-4Ni en placas que fueron normalizadas, templadas al aire y revenidas a 550 y 610 °C, observándose que independientemente de la condición de revenido, la dureza y resistencia del material es mayor en el acero con más alto contenido de carbono mientras que la dureza decrece con el incremento de la temperatura y tiempo de sostenimiento de revenido.

A nivel sudamericano, la revista Scientia et Technica de la Universidad Tecnológica de Pereira, ha publicado diversos estudios relacionados con ingeniería de materiales, entre ellos Julián Osorio, Hernando Pacheco y Alejandro Toro investigaron el efecto del tratamiento térmico post soldadura sobre la microestructura del acero inoxidable grado CA6NM para la construcción de rodets hidráulicos de manera de conseguir características similares a las del material original que lo hacen adecuado durante la fabricación de dispositivos hidráulicos.

En la Universidad Nacional de la Plata y el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas de la Plata, en el 2004, P. Bilmes, C. Llorente, C. Gervasi y L. Gassa estudiaron el efecto de los tratamientos térmicos post soldadura sobre la corrosión por picado de depósitos de aceros inoxidables soft martensíticos, en el cual determinan la ocurrencia de endurecimientos debido a la soldadura, por lo que la aplicación de tratamientos térmicos de ablandamiento resulta una práctica imprescindible.

En el Ecuador la utilización del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM se encuentra limitada a aplicaciones hidráulicas, específicamente en componentes de turbinas, procedentes del exterior, motivo por el cual no existen mayores investigaciones acerca de la soldadura y su tratamiento térmico, a pesar que estos procesos son ampliamente utilizados para realizar reparaciones localizadas sobre rodets hidráulicos e inclusive reparaciones integrales de los demás componentes de turbina.

Cristian Hurtado y Patricio Oyervide en su trabajo de investigación para la implementación de un procedimiento de inspección y reparación por soldadura de rodets Pelton en la central El Molino, al tratar sobre el tratamiento térmico, lo consideran necesario para eliminar las tensiones internas producidas al aplicar soldadura. No se profundiza en los cambios microestructurales ni propiedades mecánicas.

Como se puede apreciar, algunos autores consideran que en estos aceros el tratamiento térmico post soldadura (TTPS) es necesario para ajustar las propiedades finales de los depósitos de soldadura, por lo que a razón de los avances tecnológicos del país y de manera específica en la industria hidroeléctrica, en la cual se está trabajando para recuperar los rodets fuera de servicio, mayores estudios son necesarios dentro de la ingeniería para evidenciar el efecto del tratamiento térmico sobre el material así como la capacidad de soportar sucesivas recuperaciones.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Para la generación hidroeléctrica del país, el agua de muchas cuencas hidrográficas tiene alto contenido de sólidos que desgastan agresivamente las partes de las turbinas como el rodete, además de otros daños como cavitación y fisuras. Cuando el estado de estos componentes se encuentra fuera de los estándares operativos es necesario reemplazarlos, lo que involucra altos costos debido a que son de fabricación extranjera. Esta realidad aunado a la escasa investigación y desarrollo y al no iniciarse un proceso tecnológico de reparación de los rodets hidráulicos, ha llevado a que estos elementos sean considerados hasta hace poco como chatarra, perdiendo la oportunidad de recuperar su vida útil y revalorizarlos monetariamente.

Por medio de soldadura se puede recuperar estas piezas a un costo significativamente menor, no obstante, las altas temperaturas alcanzadas ocasionan elevadas tasas de calentamiento y enfriamiento que conllevan a transformaciones en fase sólida del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, del cual comúnmente se encuentran fabricados los rodets. Las grandes dimensiones y geometría irregular favorecen diferencias de temperatura entre el interior y la superficie produciendo gradientes de temperatura; además, los aceros inoxidables presentan un mayor coeficiente de expansión térmica y más bajo coeficiente de conducción térmica, por lo que durante la soldadura y en su posterior solidificación se produce acumulación de tensiones internas, las cuales reducen las propiedades mecánicas del material. Así, el tratamiento térmico post soldadura es necesario para aliviar esfuerzos y ajustar las propiedades mecánicas finales del depósito a través de la evolución microestructural de las zonas afectadas por el calor, con lo cual se busca conseguir propiedades homogéneas y similares a las del material original.

Sin embargo, este proceso tiene como *restricción el número de dos ocasiones* que estas piezas pueden volver a ser reconstruidas, debido al paulatino deterioro del material base a causa de los ciclos de calentamiento y enfriamiento durante la soldadura y tratamiento térmico, lo cual aún no se ha determinado de manera científica ni existen suficientes datos sobre el procedimiento que muestren el efecto de la temperatura de revenido y tiempo de sostenimiento sobre las propiedades mecánicas del material.

1.2.3 PROGNOSIS

Sin el presente estudio se realizaría el tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM con insuficiente control de los principales parámetros; lo que producirá depósitos de material con indeseables y heterogéneas propiedades mecánicas, además de un posible deterioro o la pérdida funcional anticipada de elementos mecánicos altamente exigidos. En general no se dispondría de datos que permitan cuantificar y comparar los cambios que sufre el material y hasta cuando recupera las propiedades similares al material original.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se puede recuperar las propiedades mecánicas del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM mediante la aplicación del tratamiento térmico post soldadura en la recuperación de rodets hidráulicos?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cuáles son los parámetros determinantes para realizar el tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM?
- ¿Cuál será la estructura metalográfica y las propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM soldado y tratado térmicamente?
- ¿Cuál será la variación de la estructura metalográfica, dureza, resistencia a la tracción e impacto de la soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de realizarse los tratamientos térmicos de revenido?
- ¿Qué deterioro presentará el material base debido a tres sucesivos tratamientos térmicos post soldadura y tendrá la capacidad de someterse a un tratamiento adicional?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM se realizó desde Julio de 2016 hasta Junio de 2017.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

El presente estudio se llevó a cabo en la biblioteca y laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi Chico, cantón Ambato. La fabricación, preparación de probetas y análisis mecánicos se realizaron en las instalaciones de CELEC EP Unidad de Negocio Hidroagoyán, ubicada en Baños de Agua Santa y en los laboratorios LenMav y de la Escuela Politécnica del Chimborazo de la ciudad de Riobamba.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS

Esta investigación se realizó dentro de las líneas de investigación de la maestría en Diseño Mecánico e involucra a las siguientes asignaturas: Ingeniería de Materiales, Tecnología de soldadura, Tratamientos Térmicos, Manufactura y Metalografía

1.3 JUSTIFICACIÓN

El estudio del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM es **importante** debido a que se necesita evaluar el efecto en las propiedades mecánicas y el deterioro del material base a consecuencia de sucesivos depósitos de soldadura y tratamiento térmico, de manera de establecer los parámetros adecuados con los cuales se puede obtener propiedades similares a las del material original dentro del proceso de recuperación de rodets hidráulicos.

La reparación de rodets es trascendental para el sector eléctrico ecuatoriano y en general para el país, ya que a consecuencia del desgaste es necesario reemplazarlos pero su costo es elevado por múltiples razones. Sin embargo, se ha determinado que los rodets que se encuentran fuera de servicio pueden volver a ser reutilizados luego de un proceso de recuperación, del cual es parte el tratamiento térmico.

En el ámbito nacional para realizar este procedimiento en piezas de grandes dimensiones ha sido necesario recurrir por la capacidad instalada a empresas extranjeras y en rodets pequeños que se haya realizado tratamiento térmico no existen datos ni estudios de los efectos ocasionados, con lo cual el aporte de esta investigación constituye una importante oportunidad de crecimiento tecnológico, con el **interés** de CELEC EP, empresa pública que patrocina la implementación del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas CIRT, por realizar esta investigación para incorporar a los estudios necesarios del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, lo que servirá de experiencia para la recuperación de piezas del mismo material disponibles en las centrales eléctricas del país, lo cual determina **el impacto** de llevar a cabo este estudio.

El desarrollo de esta investigación resulta **factible**, por cuanto se encuentra bibliografía del acero inoxidable utilizado; existe la factibilidad técnica para lo cual se dispone del material necesario y los equipos de soldadura y tratamiento térmico en las instalaciones de CELEC EP Unidad de Negocio Hidroagoyán, así como los laboratorios para los ensayos necesarios, disponibles en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA, en el CIRT y laboratorios externos. Existe la viabilidad económica, para ello se cuenta con el financiamiento por parte del investigador.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL:

Determinar el efecto del tratamiento térmico posterior a la soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM sobre las propiedades mecánicas del material durante la recuperación de rodets hidráulicos.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar los parámetros determinantes del tratamiento térmico post soldadura más adecuado para recuperar la estructura metalográfica y homogenizar las propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM.
- Caracterizar la estructura metalográfica, dureza, resistencia a la tracción y al impacto del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM como soldado y luego de realizarse uno, dos y tres procesos de tratamiento térmico post soldadura.
- Analizar la influencia del proceso de tratamiento térmico post soldadura en la morfología de la estructura metalográfica y propiedades mecánicas del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM.
- Determinar el efecto de los sucesivos tratamientos térmicos post soldadura en la degradación de las propiedades del material base y evaluar la capacidad del material para someterse a procesos de tratamiento posteriores al tercer tratamiento térmico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 ANTECEDENTES

En estudios de tesis, investigaciones, publicaciones y otros, podemos encontrar información referente a la soldabilidad del acero inoxidable, tratamiento térmico y las propiedades mecánicas de materiales que ayudarán a guiar la presente investigación. Los trabajos de mayor relevancia se describen a continuación:

Elizabeth Hoyos en su Tesis de Maestría presentada en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, bajo el tema: “Efecto de la Técnica de Pases de Revenido en las Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A743: Grado CA6NM”, en el 2009 presenta como alternativa para realizar tratamientos térmicos in situ, cuya técnica busca aprovechar el calor presente al depositar un cordón de soldadura para tratar térmicamente la zona de afectación térmica ZAT del metal base generada por un cordón previo. En la caracterización de un cordón simple sobre placa, la región austenítica presentó valores mayores de dureza, asociados a la formación de martensita fresca en el enfriamiento. Los resultados indican que con este procedimiento es posible reducir los niveles de dureza de la región austenítica de la ZAT hasta en un 12% en el proceso real y un 20% por simulación, efecto asociado con el revenido parcial de la martensita, pese a esto los valores obtenidos no son aceptables para la operación del componente¹.

En la Universidad Nacional de Lomas de Zamora y la Universidad de Buenos Aires, Agustín Gualco y otros, autores del trabajo presentado en el Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica 2012, bajo el título “Efecto del tratamiento

¹ (HOYOS Pulgarín, 2009)

térmico post-soldadura sobre la resistencia al desgaste abrasivo de depósitos de soldadura de acero martensítico” estudiaron la microestructura del metal depositado con un alambre tubular bajo protección gaseosa de Ar-2%CO, mediante el proceso de soldadura semi-automático, extrajeron y mecanizaron probetas que fueron sometidas a dos temperaturas de tratamiento térmico: 550 y 680 °C, durante 2 horas. Sobre las muestras tratadas térmicamente y en condición como soldado se determinó la composición química local, se caracterizó la microestructura, se midió microdureza Vickers y se determinó la resistencia al desgaste abrasivo según norma ASTM G-65. Para la condición como soldado la microestructura estuvo constituida principalmente por martensita y austenita retenida. Para las distintas condiciones de tratamiento térmico, se observó descomposición de la austenita retenida a martensita y precipitación de carburos, asociados al revenido de la martensita. La resistencia al desgaste fue aproximadamente 3% mayor en las muestras tratadas a 550 °C, debido a la mayor dureza de la matriz².

El efecto del contenido de austenita sobre las propiedades mecánicas de un depósito de soldadura de acero inoxidable supermartensítico fue presentado en el Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica por S. Zappa, J. Carlón, H. Svoboda y E. Surian, del cual se desprende que el incremento de austenita retenida permite mejorar la ductilidad y la tenacidad mientras que la dureza se ve reducida. En estos aceros los tratamientos térmicos son habitualmente utilizados para ajustar las propiedades finales del depósito a través de la evolución microestructural.³

F. Mirakhorli, X. Cao, X-T. Pham, P. Wanjara y J. Fihey de la Escuela Superior de Tecnología de Montreal y del Consejo de Investigación Nacional de Canadá, en el año 2015 presentaron en la conferencia de metalurgia COM 2015 su estudio “Soldadura híbrida con arco eléctrico-laser de acero inoxidable martensítico CA6NM: Microestructura y propiedades mecánicas revenido post soldadura”, en el cual se caracterizaron las microestructuras desde la zona de fusión a la zona afectada por la temperatura y el material base después del revenido posterior a la soldadura a 600 °C durante 1 hora; mediante microscopía óptica y electrónica de

² (GUALCO, y otros, 2012)

³ (ZAPPA, y otros, 2012)

barrido se observó que la zona de fusión consistía principalmente en listones de martensita revenida y partes de ferrita delta residual. Los valores de resistencia a la tracción y la energía de impacto Charpy de todas las soldaduras con penetración completa en la condición revenida fueron aceptables de acuerdo con la norma ASTM, ASME y cumple con el requerimiento mínimo de 755 MPa de acuerdo con la especificación ASTM A743⁴.

2.1.2 SIMBOLOGÍA, NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES

- α .- Nivel de significación.
- δ .- Ferrita.
- ϵ .- Deformación.
- σ .- Esfuerzo.
- γ' .- Austenita retenida.
- AR.- Reducción de área.
- A_{c1} .- Temperatura de inicio de formación de austenita en calentamiento.
- A_{c3} .- Temperatura de terminación de formación de austenita en calentamiento.
- A_{c4} .- Temperatura de inicio de formación de ferrita δ durante el calentamiento.
- A_{c5} .- Temperatura de terminación de formación de ferrita δ en calentamiento.
- E.- Módulo de Elasticidad.
- E_i .- Energía de impacto.
- EL.- Elongación.
- F_y .- Carga de Fluencia.
- F_u .- Carga Máxima.
- L_f .- Longitud final.
- L_o .- Longitud inicial.
- MB.- Material base.
- Ms.- Martensita revenida
- M_{sf} .- Martensita fresca.
- n.- Tamaño de muestra.

⁴ (MIRAKHORLI, y otros, 2015)

- Sy.- Resistencia a la Fluencia.
- St.- Resistencia a la tracción.
- Tp.- Temperatura de precalentamiento.
- TTPS.- Tratamiento térmico post soldadura.
- ZF.- Zona de fusión.
- ASM.- American Society for Metals, Sociedad Americana de Metales.
- AISI.- American Iron and Steel Institute, Instituto Americano del Hierro y Acero.
- ALFÁGENO.- Elemento estabilizador de la fase ferrítica dentro de la composición de un acero inoxidable.
- ASTM.- American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- CIRT.- Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas.
- DUCTILIDAD.- Propiedad mecánica que determina el grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura.
- DUREZA.- Medida de la resistencia a la deformación plástica localizada de un material, en presencia de esfuerzos de contacto local.
- FASE.- En metalografía una fase representa una proporción homogénea de un sistema que tiene características físicas y químicas uniformes.
- GAMMÁGENO.- Elemento estabilizador de la fase austenítica dentro de la composición de un acero inoxidable.
- GMAW.- Gas Metal Arc Welding, proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa.
- MICROESTRUCTURA.- En aleaciones metálicas, la microestructura se caracteriza por el número de fases y por la proporción y distribución de estas.
- REVENIDO.- Tratamiento térmico que tiene como fin reducir las tensiones internas de la pieza. Mejora las características mecánicas reduciendo la fragilidad, disminuyendo ligeramente la dureza.
- TENACIDAD.- Es la medida de la capacidad de un material de absorber energía antes de la fractura.
- ZAT/ZAC.- Zona de afectación térmica o zona afectada por el calor.

2.1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.3.1 ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidables son un grupo de aceros de alta aleación basados en los sistemas hierro-cromo, hierro-cromo carbono y hierro-cromo-níquel. El cromo es el principal elemento de aleación, por lo que para considerar a un acero como inoxidable debe contener un mínimo de 10.5% en peso de cromo (Cr); además, se adicionan otros elementos de aleación principalmente níquel, molibdeno, manganeso, silicio y titanio con el fin de mejorar ciertas propiedades.⁵

La adición de cromo le confiere al acero la propiedad de ser mucho más resistente a la corrosión la cual se incrementa con adiciones de níquel y molibdeno. Gracias a la gran afinidad del Cr por el oxígeno, permite la formación de una capa de óxido de cromo sobre la superficie del acero, la cual le confiere pasividad, lo que significa que éste no se corroe de forma activa.⁶ La capa pasiva, del orden de 1 - 10 nm, no es inerte ni tiene una composición o espesor determinados e invariables, sino que depende de la composición del acero, del tratamiento que se aplique a la superficie y del efecto corrosivo del ambiente al que se expone.⁷

Cabe señalar que aceros con 12% o más de Cr han presentado corrosión debido a que el Cr ha sido tomado para formar carburos u otros compuestos.

2.1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Estos aceros se clasifican en cinco familias, cuatro de ellas basadas en la estructura metalográfica formada en la aleación, la cual determina sus propiedades mecánicas y también su soldabilidad; mientras que la quinta corresponde a aleaciones basadas en el tipo de tratamiento térmico usado:

- a. Aceros inoxidables ferríticos
- b. Aceros inoxidables austeníticos

⁵ (LIPPOLD, y otros, 2005 pág. 2)

⁶ (CALLISTER, 2005 pág. 369)

⁷ (ITEA, 2000 pág. 9)

- c. Aceros inoxidables martensíticos
- d. Aceros inoxidables dúplex ferrítico-austeníticos
- e. Aceros inoxidables endurecibles por precipitación

2.1.3.3 ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS

Los aceros inoxidables martensíticos son aleaciones de hierro, cromo y carbono que atraviesan el campo gamma del diagrama de equilibrio Fe-Cr y por lo tanto pueden austenizarse y templarse martensíticamente. Contienen entre 12% y 18% de cromo como su principal elemento de aleación más otros elementos de estabilización de austenita tales como el carbono, el nitrógeno, el níquel y manganeso, para producir mediante el temple una estructura martensítica. Pueden estar aleados con pequeñas cantidades de níquel (hasta 2.5%) y molibdeno (hasta 0.6%) para mejorar la resistencia a la corrosión y tenacidad. Poseen una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (BCT) en la condición de templado.^{8 9}

Durante el calentamiento la formación de austenita sucede muy rápidamente, sin embargo, durante el enfriamiento la transformación a ferrita es extremadamente lenta. En consecuencia estos aceros tienen una alta tendencia a transformarse en martensita, elevando su dureza y resistencia al desgaste, aun enfriándolas en aire donde el enfriamiento es muy lento.

La martensita es una fase rica en carbono, frágil y extraordinariamente dura.¹⁰ El alto contenido de elementos de aleación causa que la transformación de austenita a martensita sea rápida por lo que presentan mayor sensibilidad a las variables del tratamiento térmico. En la Figura 2.1 (a) y (b) se puede observar la estructura martensítica de un acero inoxidable 410 (441 HV) en estado bruto de colada, que contiene parches de ferrita δ de diferente tamaño, atacado químicamente con el reactivo de Vilella.

⁸ (ITEA, 2000 págs. 11-12)

⁹ (ASM International, 2004)

¹⁰ (CHANGO, 2014 pág. 6)

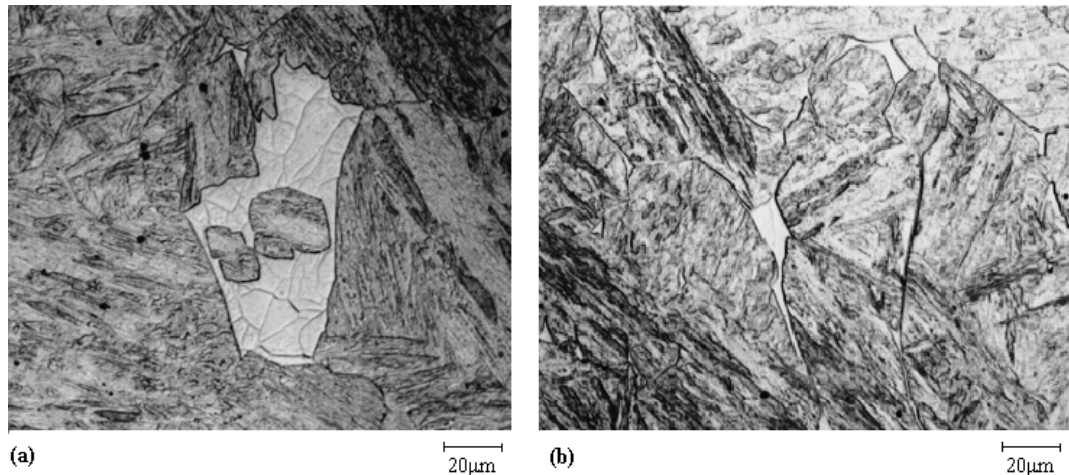


Figura 2.1 Microestructura martensítica con ferrita δ , acero inoxidable 410.

Fuente: ASM International. 2004. ASM Handbook, Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels. 2004. pág. 1644. Vol. 9.

La apariencia de la martensita varía con el contenido de carbono. Con el aumento del carbono la martensita se vuelve más fina, cambiando de listón a la morfología de placa y la cantidad de austenita residual retenida incrementa.¹¹

La composición química debe balancearse cuidadosamente para evitar la formación de ferrita δ a la temperatura de austenización de manera de lograr las mejores propiedades mecánicas, esta temperatura debe ser adecuadamente controlada para evitar además el crecimiento de grano. Los grados martensíticos son generalmente inmune a la formación de la fase sigma σ .¹²

Las aleaciones de mayor contenido de carbono presentan una menor resistencia a la corrosión en condición de temple y revenido debido a la mayor susceptibilidad a la precipitación de carburos de cromo que presentan estos materiales. El incremento en la resistencia obtenida por tratamiento térmico depende del contenido de carbono de la aleación y de la estabilidad de ferrita δ a la temperatura de austenización. El incremento del carbono aumenta la resistencia y dureza pero en detrimento de la ductilidad y tenacidad.¹³

¹¹ (ASM International, 2004 pág. 1632)

¹² (ASM International, 2004 pág. 1631)

¹³ (ASM International, 2004)

Los aceros inoxidable martensíticos combinan una excelente resistencia mecánica con una adecuada tenacidad en sus estados de revenido. Son magnéticos, pueden trabajarse en frío sin dificultad, pueden maquinarse satisfactoriamente, se trabajan fácilmente en caliente y tiene una baja conductividad térmica.

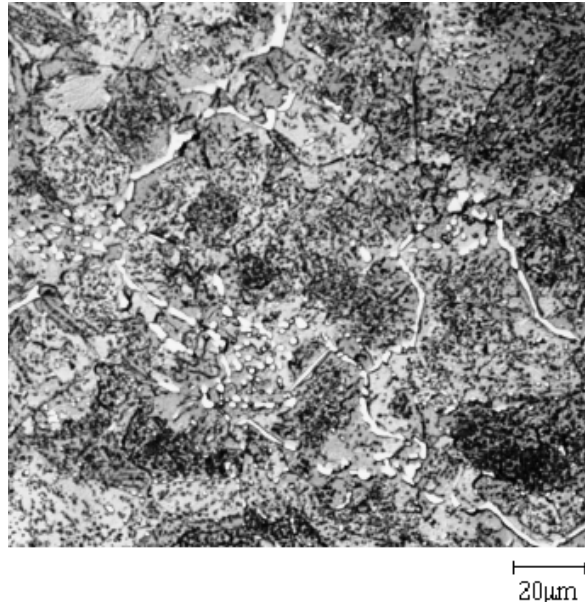


Figura 2.2 Carburos en los límites de grano del acero inoxidable 420.

Fuente: ASM International. ASM Handbook, Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels. 2004. pág. 1635. Vol. 9.

Es muy importante controlar el tamaño y la distribución de carburo en estas aleaciones. Si el carburo se precipita en los límites de grano, después del temple y revenido Figura 2.2, reducirá drásticamente la tenacidad y la ductilidad.

Aceros Inoxidables Martensíticos de Bajo Carbono

Estudios y modelos realizados para evaluar la dependencia de la resistencia a la corrosión con el cromo y carbono presentes en el acero inoxidable, muestran que a bajos niveles de carbono la resistencia a la corrosión aumenta, lo cual evidencia que los aceros inoxidables martensíticos con bajo contenido de carbono son más resistentes a la corrosión que los aceros martensíticos convencionales.¹⁴

¹⁴ (ROJAS, 2009 pág. 11)

A un grupo de estos aceros martensíticos se los denomina aceros martensíticos blandos, son aceros que tienen contenidos de C más bajo y de Ni más alto, los cuales se desarrollaron para proporcionar tenacidad y reducir la susceptibilidad al agrietamiento, es decir mejorar la limitada soldabilidad de los aceros martensíticos convencionales, conservando los niveles de resistencia necesarios. Esto es posible si el contenido de C se conserva por debajo de 0.05% en peso y el contenido de Ni entre 3.5-6% en peso.^{15 16}

Estos aceros son utilizados en la fabricación de componentes hidráulicos como turbinas, cuerpos de válvulas, propulsores, entre otros.

2.1.3.4 ELEMENTOS ALEANTES EN LOS ACEROS INOXIDABLES

Los elementos de aleación se pueden clasificar como estabilizadores de austenita y estabilizadores de ferrita. Los elementos estabilizadores de austenita de mayor importancia son el carbono, níquel, nitrógeno y manganeso. Estos mejoran la retención de la austenita conforme se enfría el acero.

Los estabilizadores de ferrita de importancia son el cromo y los formadores fuertes de carburos.¹⁷ Adicionalmente y de manera esencial todos los aceros inoxidable contienen intencionalmente manganeso y silicio, además de otros aleantes que en función del tipo y cantidad permiten formar un amplio conjunto de materiales con propiedades específicas.

2.1.3.5 DIAGRAMA DE FASES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Los diagramas de fases son representaciones gráficas a varias temperaturas, presiones y composiciones, que permiten describir las transformaciones y la estabilidad de las fases, los cuales pueden ser utilizados para entender y predecir la evolución de la microestructura en condiciones de equilibrio durante el calentamiento o enfriamiento.

¹⁵ (SANTOS, 2000 págs. 12-15)

¹⁶ (ROJAS, 2009 pág. 11)

¹⁷ (DOYLE, 1988 pág. 116)

Diagrama de Equilibrio de la Aleación Hierro-Cromo

“Todas las aleaciones de Fe-Cr solidifican como ferrita dentro de un rango muy estrecho; en el diagrama del sistema hierro-cromo de la Figura 2.3 se puede observar a elevadas temperaturas la completa solubilidad del Cr en el Fe. Para bajas concentraciones de cromo, un lazo de austenita, conocido como sector gamma, existe en el rango de temperatura de 912 a 1394 °C. Las aleaciones con una concentración mayor a 12.7% en peso de Cr serán completamente ferríticas a elevada temperatura, mientras que aquellas que tienen menor contenido de Cr formarán al menos algo de austenita llegando a ser completamente austeníticas a temperaturas dentro del lazo gamma y bajo el 12% en peso de Cr. Sujeta a un enfriamiento rápido, esta austenita puede transformarse en martensita”.¹⁸

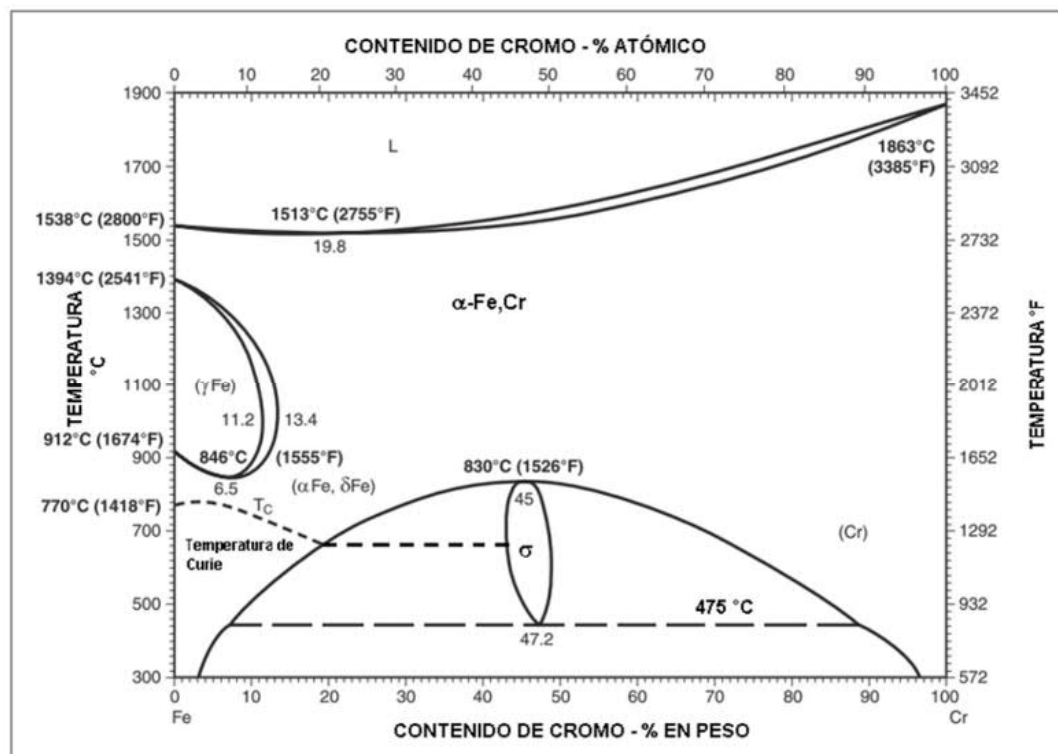


Figura 2.3 Diagrama de equilibrio de fases hierro-cromo.

Fuente: AWS. Welding Handbook, Materials and Applications, Part 1. Vol 4, 2011, pág. 258.

En el sistema hierro-cromo está presente a baja temperatura la fase de equilibrio sigma, la cual tiene estructura cristalina tetragonal que se forma con mayor facilidad

¹⁸ (LIPPOLD, y otros, 2005 pág. 9)

en aleaciones que exceden el 20% de Cr con una cinética de formación que requiere tiempo prolongado en el rango de temperatura de 600 a 800 °C. Esta fase es dura y quebradiza, por lo que su presencia en aceros inoxidable es indeseable.¹⁹

El carbono es un elemento promotor de la fase austenita, por lo que el campo gamma se expande hacia la derecha haciendo que la austenita se encuentre estable a elevadas temperaturas a contenidos mucho mayores de Cr, permitiendo así que las aleaciones de hasta un 17% de Cr se puedan austenizar y templarse.²⁰

Sistema Hierro-Cromo-Níquel

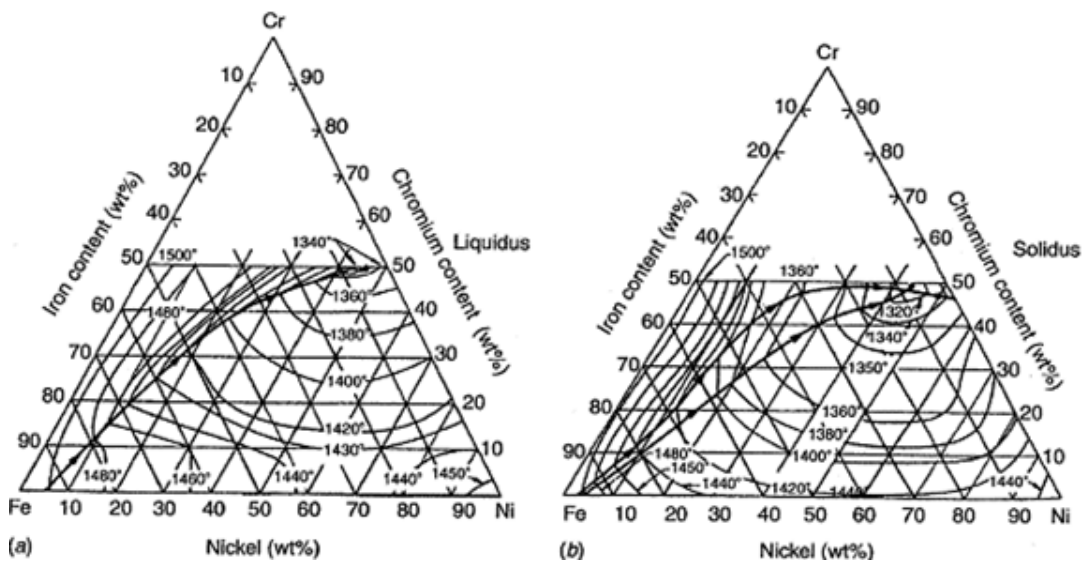


Figura 2.4 Sistema ternario Fe-Cr-Ni.

Fuente: Lippold, J. y otros. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. 2005, pág.13.

La adición de níquel al sistema Fe-Cr expande el campo de la fase gamma y permite que la austenita permanezca estable a temperatura ambiente. Los diagramas de liquidus (a) y solidus (b) del sistema Fe-Cr-Ni se observan en la Figura 2.4, cuyas superficies definen el inicio y la terminación de la solidificación respectivamente.

¹⁹ (LIPPOLD, y otros, 2005 pág. 10)

²⁰ (ACUÑA, y otros, 2013 pág. 14)

2.1.3.6 ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6-NM

Según la American Society for Testing and Materials el acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM es una aleación de la categoría de los aceros martensíticos de bajo carbono. La designación proporciona información inicial sobre su composición química, la primera letra: C indica que es una aleación resistente a la corrosión a temperaturas inferiores a 650 °C, la letra: A se refiere a la relación entre los contenidos de Cr y Ni, el número que sigue a las letras: 6 indica el porcentaje máximo de carbono multiplicado por 100; y la presencia de otros elementos de aleación como níquel y molibdeno es determinado por últimas letras de la designación.²¹

“De las aleaciones listadas por el Instituto de Aleaciones de Fundición para aceros inoxidables fundidos resistentes a la corrosión, la CA6-NM es esencialmente martensítica cuando se enfría desde la temperatura de austenización (alrededor de 980 °C). La estructura martensítica de ésta aleación depende de un balance adecuado de bajo contenido de carbono (0.06% máximo) y el contenido de níquel (nominalmente 4%)”.²² Estas aleaciones desarrollan la máxima resistencia y resistencia a la corrosión en el estado templado y revenido.

La Figura 2.5 muestra la estructura martensítica de la fundición CA6-NM (341 HV) atacado químicamente con el reactivo de Ralph (a), en (b) nótese la pequeña cantidad de ferrita δ señalado con flechas; y, con 15 ml de HCl-10 ml de ácido acético-10 ml de HNO₃, figuras (c) y (d). Este último ataque, aunque bastante fuerte, no reveló la estructura del todo, pero al pasar a contraste diferencial de interferencia Nomarski (d) los detalles pueden ser mejor revelados.²³

²¹ (HOYOS Pulgarín, 2009 pág. 2)

²² (ASM International, 2004 pág. 1640)

²³ (ASM International, 2004 pág. 1641)

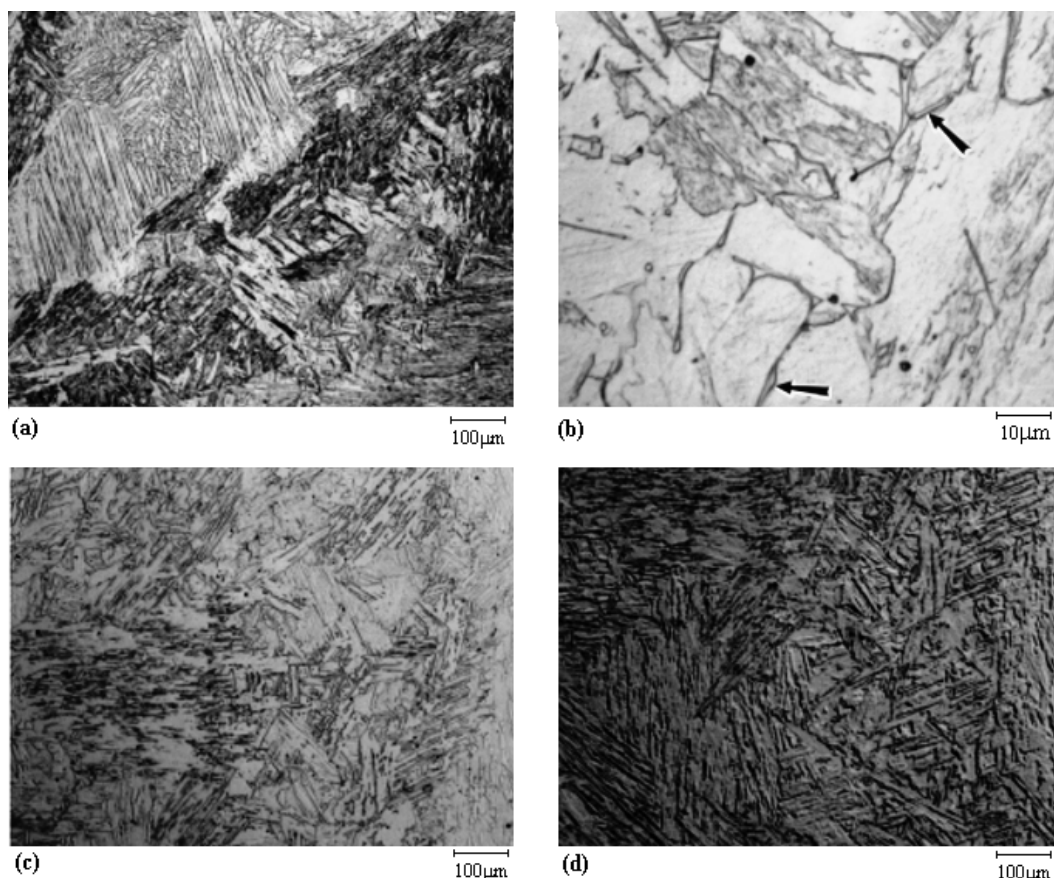


Figura 2.5 Estructura martensítica de la fundición CA6-NM.

Fuente: ASM International. ASM Handbook, Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels. 2004. págs. 670-700. Vol. 9.

La composición química según la norma ASTM A743, Anexo A.1, se muestra en la Tabla 2.1. La combinación de los tres principales elementos de aleación (Cr, Ni y C) permite obtener una microestructura de matriz martensítica a temperatura ambiente y cada uno de estos actúa como estabilizador de una determinada fase.

Tabla 2.1 Composición química nominal del acero ASTM A743 CA6-NM.

ASTM A743 Grado	Composición wt %							
	Carbono máx	Manganeso máx	Silicio máx	Fósforo máx	Azufre máx	Cromo	Níquel	Molibdeno
CA6-NM	0.06	1	1	0.04	0.03	11.5 – 14.00	3.5 – 4.5	0.4 - 1

Fuente: ASTM A 743/A 743M: Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application. 2013, pág. 3.

Este acero también conocido como 13-4 por sus contenidos de cromo y níquel respectivamente, presenta excelente combinación de resistencia, soldabilidad, tenacidad y resistencia al daño por corrosión y cavitación.

En la Tabla 2.2 se presentan las propiedades mecánicas de diferentes aleaciones utilizadas en la fabricación de turbinas hidráulicas, donde se muestra el acero 13-4 con la resistencia a la tracción más alta reportada, su dureza promedio se encuentra entre 270 HB y 310 HB. Según la norma ASTM A743 el acero inoxidable CA6-NM debe tener una dureza Brinell de máximo 285 HB.

Tabla 2.2 Propiedades de aceros utilizados en fabricación de turbinas.

Acero Inoxidable	Esfuerzo a tensión (MPa)	Límite Elástico (MPa)	Elongación (%)	Resistencia al impacto (J)	Microestructura	Naturaleza
13Cr1Ni 0.1C,0.4Mo	630	470	18	39	Martensita	Duro y Frágil
13Cr6Ni 0.06C,0.4Mo	800	550	16	70	Martensita-70 Austenita-30	
17Cr4Ni 0.06C	880	650	12	59	Martensita+ Austenita+Ferrita	Duro y dúctil
13Cr4Ni 0.06C,0.4Mo	823	686	23	81	Martensita+ Austenita	Duro
16Cr5Ni 0.05C,1.5Mo	880	600	21	100	Martensita-65 Austenita-35	Duro y dúctil

Fuente: Baena, J. Interdependencia entre las condiciones de operación y el desgaste en rodets tipo Pelton fabricados en acero ASTM A743 grado CA6-NM. 2008, pág. 12.

Las propiedades mecánicas de resistencia a la tensión, fluencia, elongación y porcentaje de reducción de área del acero inoxidable martensítico de acuerdo con el estándar ASTM A743 para el grado CA6-NM, ver Anexo A.1, se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas de la aleación CA6-NM según ASTM A743.

ASTM A743 Grado CA6- NM	Resistencia a la tensión, mínimo		Resistencia a la fluencia, mínimo		Elongación en 2 plg. (50 mm), mínimo, % ^A	Reducción de área, mínimo, %
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
	110	[755]	80	[550]	15	35

Fuente: ASTM A 743/A 743M: Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application. 2013, pág. 5.

2.1.3.7 DIAGRAMA DE FASES DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6-NM

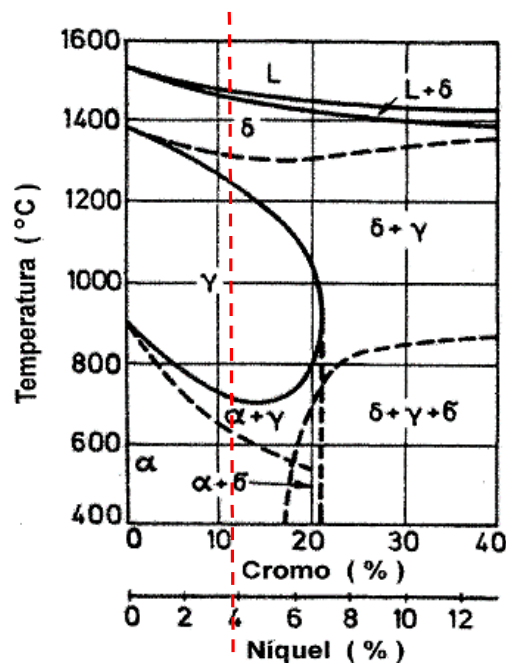


Figura 2.6 Diagrama de equilibrio pseudobinario Fe-Cr-Ni.

Fuente: Santos, Aldo. Desarrollo de procedimiento de reparo por soldagem em aços inoxidáveis martensíticos, com metal de adição similar sem TTP. 2000, pág. 13.

La aleación A743 grado CA6-NM con 13% de Cr y 4% de Ni solidifica como ferrita delta, con una pequeña zona intermedia en que coexiste material líquido y sólido, hasta alcanzar el 100% de ferrita en el rango entre 1500 a 1300 °C aproximadamente. La formación de austenita, fase γ , ocurre como proceso difusional en estado sólido en el rango de temperaturas de 1300 a 1230 °C, en condiciones de equilibrio. El enfriamiento subsiguiente da lugar a la transformación

$\gamma \rightarrow \alpha'$, la típica reacción martensítica no difusional, que debido a los elementos de aleación del acero CA6-NM puede darse aún con tasas de enfriamiento lentas.^{24 25}

Para menores contenidos de carbono, 0.05% por ejemplo, una mezcla de austenita y ferrita se presenta a elevadas temperaturas, resultando en una microestructura consistente de ferrita y martensita al enfriarse rápidamente, estas microestructuras son poco deseables debido a la disminución de las propiedades mecánicas.²⁶

Bajo condiciones de solidificación con tasas de enfriamiento reales “algo de ferrita queda estabilizada químicamente en el material y de igual forma, durante el proceso de tratamiento térmico de homogenización y posterior revenido algo de austenita queda retenida”, por lo que después del enfriamiento completo la microestructura final será una matriz martensítica blanda y tenaz con pequeñas fracciones de ferrita delta y austenita residual estable, en el rango de 1 - 10%, dependiendo del tipo de aleación. “En aceros con 13% Cr con concentraciones de 0.04 a 0.06 % de C se pueden precipitar carburos de la forma $M_{23}C_6$ en los límites de grano de la austenita reduciendo en algunos casos la tenacidad y resistencia a corrosión del material”.²⁷

2.1.3.8 SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6-NM

La soldadura altera considerablemente la microestructura del metal soldado y de la zona de afectación térmica con respecto al metal base (Figura 2.7). “Esto puede constituir un cambio en el balance de fases, en la formación de constituyentes intermetálicos, en el crecimiento de grano, en la segregación de la aleación e impurezas y otras reacciones.” Como resultado, esto conlleva a la degradación de las propiedades y del desempeño del material.²⁸

²⁴ (ROJAS, 2009 pág. 13)

²⁵ (HOYOS Pulgarín, 2009 pág. 6)

²⁶ (LIPPOLD, y otros, 2005 pág. 12)

²⁷ (ROJAS, 2009 págs. 13-14)

²⁸ (MEDRANO, 2006 pág. 2)

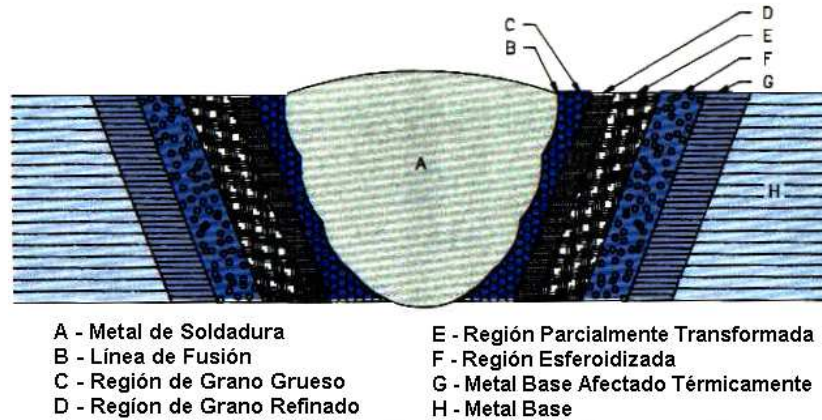


Figura 2.7 Esquema de la variación de la microestructura de una soldadura.

Fuente: Laufgang, S. Aceros Inoxidables. Tratamiento Térmico de Soldadura, Termo Soldex S.A. 2003, pág. 30.

La soldabilidad de las aleaciones martensíticas varía con la composición, particularmente con la cantidad de carbono, la cual afecta principalmente a la dureza de la zona afectada térmicamente, por lo cual la tendencia a la fisuración en frío inducida por hidrógeno incrementa considerablemente y la tenacidad disminuye. Esto puede ser revertido parcialmente con el precalentamiento previo a la soldadura.

Precalentamiento y temperatura entre pases

Según Wallace J. la soldadura involucra la aplicación de una fuente de calor de alta intensidad y corta duración localizada lo que significa un rápido enfriamiento del metal de soldadura y rápido calentamiento y enfriamiento del metal base. Esto puede conducir al fisuramiento en caliente durante la soldadura o después de ella, fisuramiento en frío, elevada dureza, tensiones residuales y distorsión de la parte que se está soldando. Precalentar minimiza estos efectos mediante la reducción del gradiente térmico y de la tasa de enfriamiento, proporciona más tiempo para difundir el hidrógeno desde la zona de soldadura y reduce el contenido de humedad en la superficie del metal base que es una fuente de absorción de hidrógeno, el cual

promueve la fragilización. Los principales factores para considerar la temperatura de precalentamiento son la composición química y el espesor del material.²⁹

Según la AWS la temperatura de precalentamiento usualmente está en el rango de 205 a 315 °C. El contenido de carbono es el factor más importante, otros factores son el espesor, el metal de aporte y el proceso de soldadura.³⁰

Las soldaduras en áreas no acentuadas y secciones ligeras se pueden realizar sin precalentamiento. Según Schoefer E., la aleación CA6-NM normalmente puede ser soldada a temperatura ambiente 21 °C. Las piezas se pueden precalentar en el intervalo de 100-150 ° C y la temperatura entre pases puede mantenerse a 260-315 °C para grandes soldaduras en secciones sometidas a grandes esfuerzos.³¹

La soldadura del acero martensítico CA6-NM requiere el control de la temperatura de interfase, cuyo valor debe estar por debajo de la temperatura de transformación martensítica (Ms) para asegurar que el cordón de soldadura transforme a martensita antes que el siguiente cordón sea depositado permitiendo el efecto de revenido. Akselsen O. et al, sugirieron el cálculo de las temperaturas de inicio y final de transformación martensítica Ms y Mf, en función de los componentes de la aleación se pueden calcular usando la expresión de Andrews:³²

$$Ms = 539 - 423x \%C - 30.4x\%Mn - 12.1x\%Cr - 17.7x\%Ni - 7.5x\%Mo \quad 2.1$$

$$Mf \cong Ms - 130^{\circ}C \quad 2.2$$

Material de Aporte

La Sociedad Americana de Fundidores de Acero, la AWS, firmas comerciales, así como diferentes estudios presentados en la bibliografía sugieren la utilización de material de aporte que tenga composición química similar a la del metal base para evitar alteraciones sustanciales en la microestructura y distorsiones del material.

²⁹ (Steel Founders Society of America, 1980 págs. 65-68)

³⁰ (American Welding Society, 2011 págs. 279-281)

³¹ (Steel Founders Society of America , 2004 pág. 16)

³² (AKSELSEN, 2004 pág. 163)

Se utiliza en general el tipo 410NiMo con el contenido de carbono en el medio o en el mínimo del rango especificado para evitar excesivo endurecimiento de la soldadura. Para las soldaduras que no lleven tratamiento térmico post soldadura se especifica usualmente como material de aporte los tipos austeníticos 308 o 309, para proveer buena tenacidad al metal de soldadura en la condición soldada.

Zonas Presentes en la Soldadura

En la soldadura por fusión tiene lugar el fenómeno de solidificación que crea en la pieza discontinuidades que definen las zonas que se indican en la Figura 2.8:³³

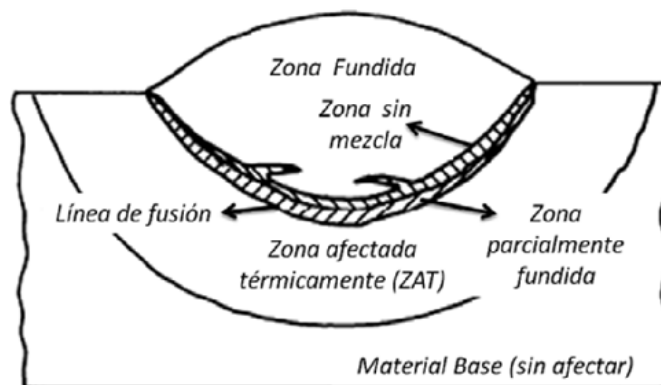


Figura 2.8 Zonas presentes en un cordón de soldadura.

Fuente: ASM International. 2004. ASM Metals Handbook, Welding, Brazing, and Soldering. "Corrosion of Weldments". 1993. págs. 1065-1069. Vol. 6.

Zona de fusión.- Es aquella donde se produce la fusión y posterior solidificación del metal de aporte, si existe, con el metal base.

Línea de fusión.- Es la interfaz entre la zona de fusión y la región en estado sólido, normalmente es la zona más propicia a inicio de fisuras.

Zona afectada térmicamente (ZAT/ ZAC).- Es la región del metal base que sufre ciclos de calentamiento y enfriamiento debido al aporte térmico de la soldadura, en la cual se producen transformaciones microestructurales en fase sólida.

³³ (MORRAL, y otros, 2004 pág. 1051)

El gradiente de temperatura en la ZAT conduce a un gradiente correspondiente de la microestructura y por lo tanto diferentes regiones ZAT pueden ser identificadas. Según Carrouge D., las regiones debidas a una soldadura de raíz de un solo pase en un acero inoxidable martensítico similar al A743 grado CA6-NM se han caracterizado por Enerhaug y otros, como se muestra en la figura a continuación:³⁴

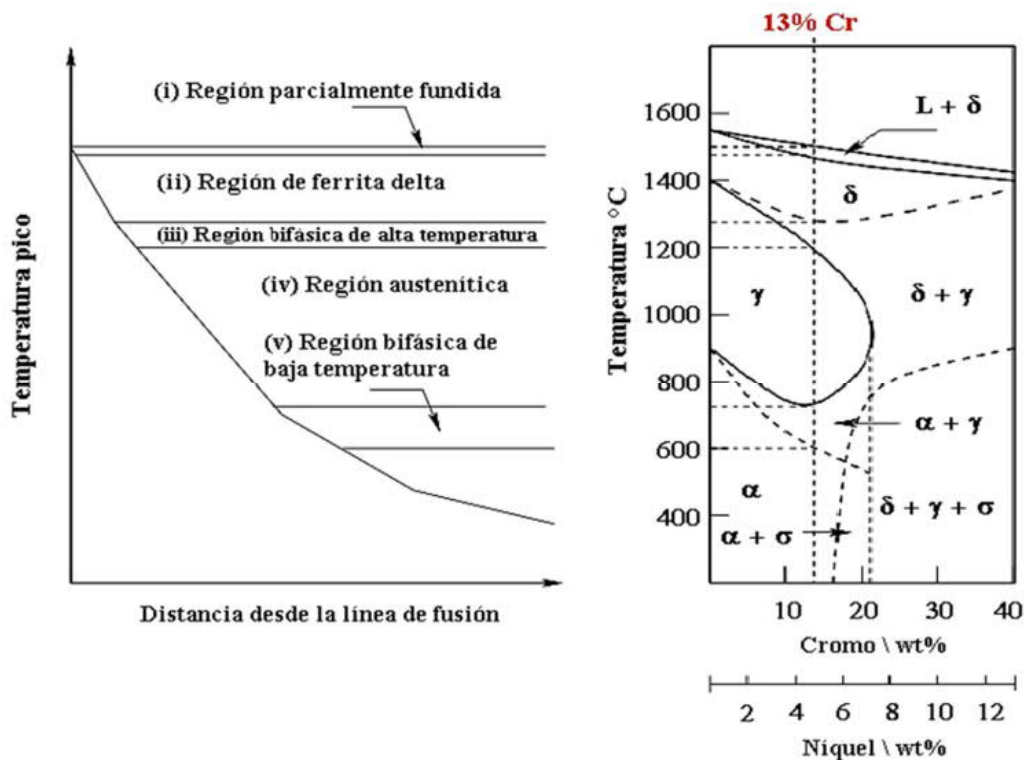


Figura 2.9 Cambios estructurales en la ZAT de un acero inoxidable 13-4.

Fuente: Adaptado de Carrouge, D. Phase transformations in the heat affected zone of low carbon 13%Cr stainless steels. 2002, pág. 30.

- i. Región parcialmente fundida, adyacente al límite de fusión.
- ii. Región que transforma completamente en δ -ferrita en el calentamiento con crecimiento de grano significativo, también llamada ZAT de grano grueso.
- iii. Región bifásica de alta temperatura, caracterizada por la transformación parcial de la austenita en ferrita δ en el calentamiento.
- iv. Región que transforma completamente en austenita en el calentamiento.

³⁴ (CARROUGE, y otros, 2002 págs. 28-30)

- v. Región bifásica de baja temperatura pico, caracterizada por la transformación parcial de la martensita revenida en austenita durante el calentamiento.

2.1.3.9 METALURGIA DE LA SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6-NM

La transformación de fases predominante en la soldadura del acero inoxidable martensítico es la transformación austenita a martensita, que sucede en la zona de fusión y regiones de la ZAT que han sido calentadas dentro del campo austenítico. “En el diagrama de fases Fe-Cr-Ni de la Figura 2.6 se representa de manera aproximada una aleación 13Cr-4Ni, la cual solidifica completamente como ferrita delta hasta llegar al 100% de ferrita en un intervalo aproximado entre 1500 y 1300 °C. Al inicio de la solidificación hay la tendencia que en la ferrita delta que se forma haya más alta concentración de cromo en los núcleos que en las zonas periféricas, formadas a temperaturas inferiores”. La segregación de carbono durante la solidificación puede resultar en la formación de austenita o una mezcla de ferrita y austenita al final de la misma.³⁵

Durante el enfriamiento dentro de la zona bifásica ($\delta + \gamma$) la ferrita puede ser retenida debido a una transformación incompleta a austenita. Además, las zonas periféricas que solidificaron con menor contenido de Cr facilitan la formación de austenita combinada con delgadas estructuras de ferrita delta, ricas en Cr, que pueden permanecer durante el enfriamiento, incluso posterior a alcanzar la temperatura ambiente. Al final el contenido de ferrita dependerá además de la composición de la aleación, de las velocidades de enfriamiento.³⁶

La formación de austenita ocurre en el rango aproximado de 1300 a 1230 °C. Con el enfriamiento subsecuente se produce la reacción martensítica, $\gamma \rightarrow \alpha'$, que para la composición de la aleación CA6-NM puede producirse aún con velocidades de enfriamiento lentas. En la Figura 2.10 se puede apreciar esquemáticamente la

³⁵ (RAJASEKHAR, 2015 págs. 5-6)

³⁶ (HOYOS Pulgarín, 2009 pág. 6)

secuencia de transformación completa después de la solidificación, en donde L: líquido, Fp: Ferrita primaria, A: austenita y M: martensita.³⁷

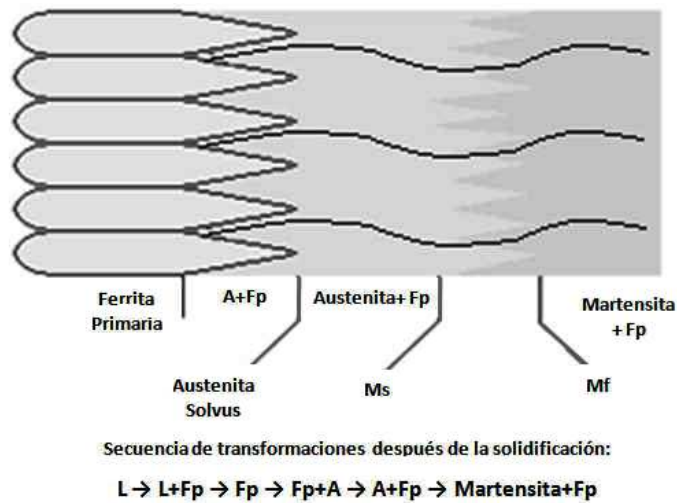


Figura 2.10 Secuencia de transformaciones después de la solidificación para aceros martensíticos blandos.

Fuente: Hoyos, Elizabeth. Efecto de la técnica de pases de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743 grado CA6NM. 2009, pág. 6.

Este tipo de solidificación indica que algo de ferrita delta permanece sin cambios a la temperatura ambiente, correspondiente a las regiones inter-dendríticas que se muestran en la Figura 2.11 (b) con las flechas blancas. La Figura 2.11 muestra la microestructura del acero ASTM A743 grado CA6NM (a) y su recubrimiento de soldadura con electrodo ER410NiMo (b). Se observa una microestructura martensítica con una morfología similar a una aguja, aunque en el revestimiento una estructura dendrítica también puede ser vista. El acero sin recubrimiento tiene una dureza media de 280 HV_{62.5}, 15% austenita retenida y 4% de ferrita delta.³⁸

³⁷ (HOYOS Pulgarín, 2009 págs. 2-6)

³⁸ (ESCOBAR, y otros, 2010 pág. 304)

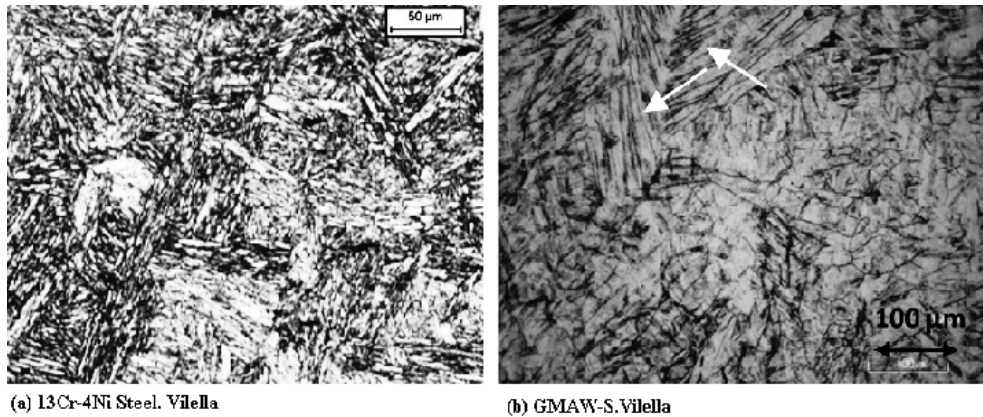


Figura 2.11 Microestructura del acero ASTM A743 CA6NM y del recubrimiento de soldadura ER410NiMo.

Fuente: Escobar, J., y otros. Cavitation Erosion of Welded Martensitic Stainless Steel Coatings. 2010, pág. 304.

La alta templabilidad de estas aleaciones hace que se produzca martensita tanto en el cordón de soldadura como en la ZAT adyacente.

2.1.3.10 DIAGRAMAS DE CONSTITUCIÓN

Los diagramas de constitución permiten conocer los cambios de microestructura que ocurre en la soldadura de los aceros inoxidable, empleando el concepto de níquel y cromo equivalente a efectos de predecir el comportamiento que va a tener el elemento soldado. Se han desarrollado varios diagramas de constitución, los cuales se basan en las composiciones químicas.

Diagrama de Schaeffler

El diagrama de Schaeffler procede a partir del diagrama de Maurer (1939) que muestra las estructuras que va a presentar un acero al Cr-Ni de acuerdo a los porcentajes verdaderos de estos dos aleantes.

Anton Schaeffler correlacionando conceptos de química y microestructura y en base a estudios previos mejoró el diagrama de Maurer al considerar las propiedades alfa de los elementos de aleación con el equivalente en Cr y las propiedades gamma de los elementos de aleación con el equivalente en Níquel por intermedio de coeficientes de

equivalencia, llegando a obtener un diagrama en 1948, pero un año después desarrolla la versión final de su diagrama el cual se muestra en la Figura 2.12 y que es actualmente utilizado. Este diagrama permite incrementar la capacidad de predecir cuantitativamente la microestructura del metal de soldadura a través de las composiciones del metal base y del material de aporte.

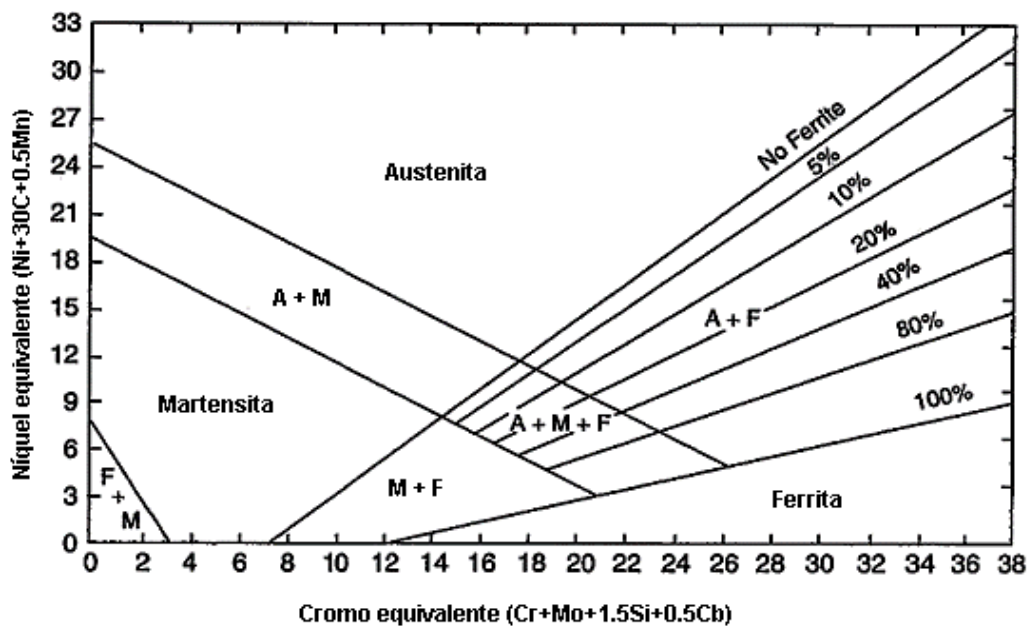


Figura 2.12 Diagrama de Schaeffler de 1949.

Fuente: Lippold, J. y otros. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*. 2005, pág. 31.

El diagrama de Schaeffler muestra el dominio de las fases ferrítica, martensítica y austenítica propias de los aceros inoxidables cuando son enfriados a las velocidades de soldadura. Para su empleo es necesario conocer la composición química del metal base y del material de aporte. La fórmula de Schaeffler para determinar el cromo y níquel equivalente está dada por el porcentaje en peso de los elementos de aleación, como se muestran a continuación:

$$\text{Cromo equivalente} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Cb \quad 2.3$$

$$\text{Níquel equivalente} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn \quad 2.4$$

En el diagrama se ubican los dos puntos con la composición equivalente, tanto para el material base como para el aporte y en la línea de unión de éstos se encuentra el

punto que representa la mezcla final que se obtendrá en la soldadura, dependiendo del grado de dilución.

Con los valores de cromo equivalente y níquel equivalente se puede determinar la cantidad de ferrita delta presente en el metal de soldadura por medio de la expresión de Seferian³⁹:

$$\text{Ferrita delta} = 3(\text{Cr}_{\text{eq}} - 0.93\text{Ni}_{\text{eq}} - 6.7) \quad 2.5$$

Una pequeña cantidad de ferrita delta evita la fisuración en caliente, también se mejora la resistencia mecánica y algunas veces la resistencia a la corrosión. Sin embargo, la cantidad de ferrita delta no conviene que sea mayor que 12 a 15% debido a que ella, como se observó en el diagrama Fe-Cr, se transforma en fase sigma durante el calentamiento ya sea en servicio o durante el proceso de fabricación o por tratamiento térmico post soldadura, aumentando los riesgos de fragilización.⁴⁰

2.1.3.11 PROCESOS DE SOLDADURA

Los métodos de soldadura han sido clasificados y caracterizados por la Sociedad Americana de Soldadura AWS. Los aceros inoxidable debido a sus buenas características de soldabilidad pueden ser soldados por procesos como: GMAW, SMAW, GTAW. La selección del proceso tiene relevancia tanto por los costos de ejecución y productividad así como por la calidad de los depósitos de material soldado y los efectos del calentamiento sobre el material base también varían.

En la Tabla 2.4 se muestra las propiedades mecánicas obtenidas para metales de aporte similares al 13-4 empleando diferentes procesos de soldadura, se puede ver que mientras más limpio es el proceso, los valores obtenidos de tenacidad resultan superiores.

³⁹ (OLSON, 1985 pág. 283)

⁴⁰ (LAUFGANG, 2003 pág. 33)

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas para metales de aporte similares al 13-4.

Proceso de Soldadura	Condición de tratamiento térmico	Propiedades Mecánicas				%C en el metal de soldadura
		Se _{0.2%} (MPa)	S _t (MPa)	Elong. (%)	E _i Charpy (J)	
GMAW	Revenido a 600°C/2h	775	885	18.9	88	0.022
GTAW	Revenido a 600°C/2h	742	855	21.7	132	0.018
	Como soldado	834	1062	12.8	31	
SMAW	Revenido a 600°C/2h	621	879	18	58	0.028
	950°C/1h enfriado al aire+revenido a 600°C/2h	637	825	20.8	68	

Fuente: Hoyos, Elizabeth. Efecto de la técnica de pases de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743: grado CA6-NM. 2009, pág. 11.

Soldadura por Arco Eléctrico con Protección Gaseosa (Gas Metal Arc Welding - GMAW)

Es un proceso de soldadura por arco en que éste se establece entre un electrodo metálico continuo de aporte y el charco de soldadura de metal base. La protección se obtiene por completo de un gas suministrado que puede ser inerte o activo.

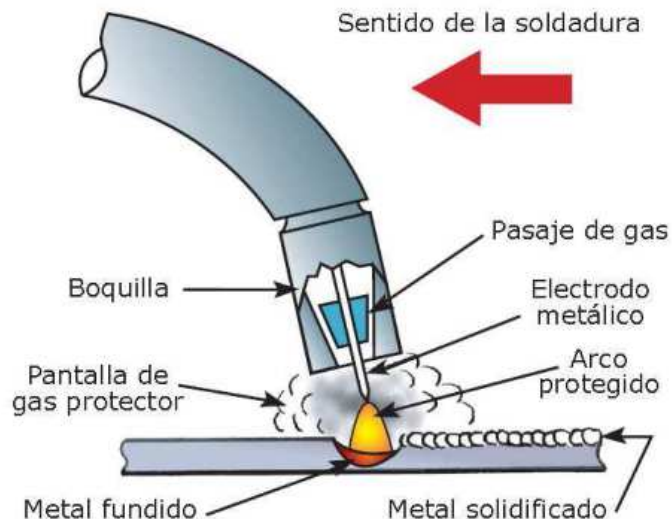


Figura 2.13 Proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa.

Fuente: Santillán, F. Calidad en inspección de soldadura. 2013, pág. 38.

El principio es similar a la soldadura por arco, con la diferencia que en GMAW se emplea un alambre continuo, sólido y desnudo y la protección del gas, como se observa en la Figura 2.13, que le dan a este método la capacidad de producir cordones más limpios, no forma escoria sino una película vítrea ligera. El alambre tiene las funciones de servir como electrodo y como metal de aporte, al no haber agentes limpiadores ni fundentes, se requiere cuidados y limpieza adecuados para obtener soldaduras libres de poros y otras discontinuidades. Existen dos variantes las cuales se diferencian por el tipo de gas:

El método MIG utiliza un gas inerte (argón, helio o una mezcla de ambos). Se emplea generalmente para soldar aceros inoxidable, cobre, aluminio, chapas galvanizadas y aleaciones ligeras. Simultáneamente a la alimentación con alambre tiene lugar una adición del gas inerte que enfría las superficies y protege el metal de la acción del aire ambiental. Esta previene la oxidación.

La soldadura MAG es un tipo de soldadura que utiliza un gas protector químicamente activo: dióxido de carbono, argón más dióxido de carbono, argón más oxígeno. Se utiliza básicamente para aceros no aleados o de baja aleación.⁴¹

Equipo de Soldadura

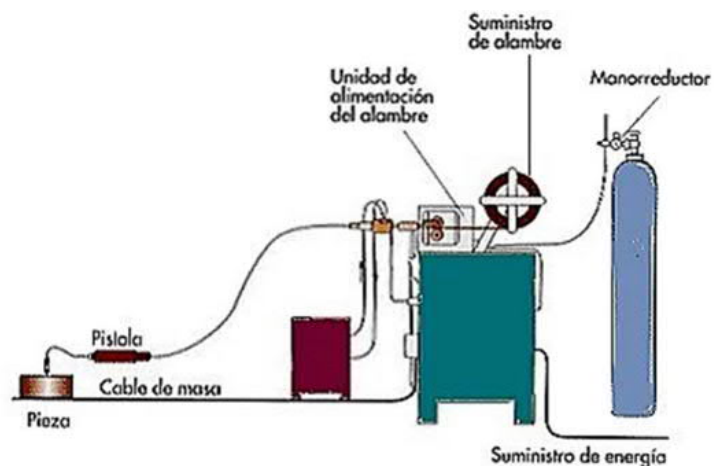


Figura 2.14 Equipo para el proceso de soldadura GMAW.

Fuente: Asta, Eduardo. Soldadura de reparación y mantenimiento. Aplicaciones a la Industria Petrolera. Disponible en: <http://slideplayer.es/slide/5554807/>, pág. 5.

⁴¹ (Tecnología de la Soldadura, 2004 pág. 4)

El equipo básico empleado en este proceso consiste en una fuente de energía de voltaje constante, una unidad de alimentación de electrodo, fuente para suministro de gas de protección y antorcha o pistola.

Variables de Soldadura

Las variables de soldadura son los factores que se pueden ajustar para controlar la calidad de una soldadura. Existen tres grupos de variables que son:⁴²

Variables preseleccionadas

Son aquellas que se fijan antes de empezar el trabajo de soldadura. Estas son: a) diámetro del alambre electrodo, b) composición química del alambre electrodo y c) tipo y caudal del gas de protección.

Variables primarias

Son aquellas que controlan el proceso, la forma del cordón, la estabilidad del arco, el régimen de soldadura y la cantidad de soldadura depositada. Estas son: a) corriente de soldadura, b) voltaje de arco y c) velocidad de avance.

Variables secundarias

Pueden ser modificadas de manera continua, no afectan directamente al cordón, sino que afectan a las variables primarias. Estas son: a) velocidad de alimentación del alambre, b) distancia libre del electrodo, c) ángulo de boquilla y d) distancia entre la tobera del gas y la pieza.

Gases de Protección

Los gases empleados constituyen variables de soldadura que afectan este proceso y tiene una gran influencia sobre las características de las uniones soldadas. La Tabla 2.5 muestra algunas aplicaciones, características y gases o mezcla de gases de protección empleados en soldadura por arco metálico protegido con gas. La

⁴² (BECARÍA, 2005 págs. 65-66)

selección del mejor gas protector se basa en la consideración del material que se va a soldar y el tipo de transferencia de metal que se empleará.

Tabla 2.5 Usos de gases de protección para el proceso GMAW.

Tipo de gas	Mezclas típicas	Usos principales
Argón	N.A.	Metales no ferrosos|
Helio	N.A.	Aleaciones de aluminio, magnesio y cobre
Dióxido de Carbono	N.A.	Aceros al carbono y de baja aleación
Argón + Helio	20% - 80% He	Aleaciones de aluminio, magnesio y níquel
Argón + Oxígeno	1-2% O ₂ 3-5% O ₂	Acero inoxidable Acero al carbono y de baja aleación
Argón + Dióxido de Carbono	20-50% CO ₂	Acero al carbono y de baja aleación
Helio + Argón + Dióxido de Carbono	90 He-7-1/2Ar-2-1/2 CO ₂ 60-70He-25-35Ar-5 CO ₂	Acero inoxidable (corto circuito) Acero de baja aleación
Nitrógeno	N.A.	Aleaciones de cobre

Fuente: Soldadura de estructuras metálicas Código AWS D1.1, 2005. Becarías, Jairo. pág. 70

Consumibles, Especificaciones y Clasificaciones

La especificación aplicable para los electrodos de acero inoxidable empleados en este proceso es la AWS A5.9.⁴³

El sistema para identificar la clasificación de los electrodos de acuerdo con las especificaciones AWS para metales de aporte sigue un modelo estándar. Para el caso de los electrodos de aceros inoxidables, la designación está compuesta por los términos “ER” para los alambres sólidos que pueden ser usados como electrodos o varillas desnudas (o puede ser “EC” para alambres trenzados, tubulares o compuestos, o “EQ” para electrodos en forma de tira), seguido un número de tres

⁴³ (SANTILLÁN, 2013 pág. 45)

dígitos que designa la composición química del metal de aporte. Por ejemplo ER410.

En algunos casos la clasificación puede incluir símbolos de elementos químicos y las letras L, H, LR, que denotan respectivamente: contenido de carbono en la parte baja del intervalo especificado, contenido de carbono restringido a la parte superior del intervalo especificado y contenido bajo de elementos residuales.

2.1.3.12 TRATAMIENTO TÉRMICO

El tratamiento térmico es una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas. Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación o descomposición de la austenita. El tratamiento térmico no modifica la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales, la granulometría y su patrón de esfuerzos residuales. La naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan en consecuencia las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero.⁴⁴

Etapas del Tratamiento Térmico

Un tratamiento térmico en general consta de las siguientes tres etapas:

- a. Calentamiento hasta la temperatura fijada.- La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.
- b. Permanencia a la temperatura fijada.- Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida.
- c. Enfriamiento.- Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

⁴⁴ (AVNER, 1988 pág. 252)

2.1.3.13 TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Recocido.- Este proceso consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura y enfriarlo después muy lentamente (incluso en el horno) a lo largo del intervalo de transformación, para: a) mejorar la plasticidad, ductilidad y tenacidad, b) eliminar la acritud y tensiones y c) afinar el grano y homogeneizar o producir una microestructura específica.⁴⁵

Normalizado.- Se utiliza para afinar el tamaño de grano y producir una distribución de tamaños más uniforme en los aceros que se han deformado plásticamente, incrementando la tenacidad del material.⁴⁶

Temple.- Es un tratamiento térmico de endurecimiento que se caracteriza por enfriamientos bruscos (continuos o escalonados) en un medio adecuado: agua, aceite o aire, para transformar la austenita lograda durante el calentamiento, en martensita, que es el constituyente duro típico de los aceros templados. Mediante el temple se consigue aumentar la dureza y la resistencia mecánica.

Revenido.- Los aceros sometidos a temple suelen quedar demasiado duros y frágiles debido a las tensiones internas que se generan al producirse la transformación martensítica. Para corregir este estado y obtener una dispersión excepcionalmente fina de Fe_3C , conocida como martensita revenida, primero se temple la austenita para producir martensita y después se realiza el revenido. El revenido consiste en calentar el acero hasta una temperatura inferior a la de transformación A_{C1} , después de haberle realizado un temple o un normalizado, seguido de un enfriamiento controlado para transformar la martensita en formas más estables. Mediante el revenido se consigue:

- a. Disminuir la resistencia mecánica y la dureza.
- b. Aumentar la plasticidad y la tenacidad.
- c. Aliviar tensiones en el material.

⁴⁵ (CALLISTER, 2005 pág. 338)

⁴⁶ (CALLISTER, 2005 pág. 340)

d. Precipitar carburos y formar austenita estable.

El enfriamiento puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

Austenita retenida

Durante el temple, al transformar la austenita en martensita se produce una gran expansión en volumen, lo que origina grandes tensiones residuales en el acero. Las placas de martensita formada rodean y aíslan pequeños depósitos de austenita, que se deforman para dar espacio a la martensita de menor densidad; para avanzar con la transformación es necesario que la martensita circundante se deforme para dar lugar a que los restantes depósitos de austenita se transformen. Sin embargo, debido a que la martensita fuerte se resiste a la transformación, la martensita existente se agrieta o permanece atrapada en la estructura como austenita retenida.⁴⁷

Durante el revenido la martensita revenida se ablanda, se hace más dúctil y puede deformarse, permitiendo que después que la austenita retenida se enfríe por debajo de las temperaturas M_s y M_f se transforme en martensita. Es posible que sea necesario un segundo paso de revenido para eliminar la martensita dura y quebradiza obtenida a partir de la austenita retenida.

2.1.3.14 TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM

Debido a la alta templabilidad del acero A743 grado CA6-NM, ocasionado por su composición química, ocurre la transformación martensítica aún con altos tiempos de enfriamiento como se observa en la Figura 2.15.

⁴⁷ (ASKELAND, y otros, 2011 pág. 505)

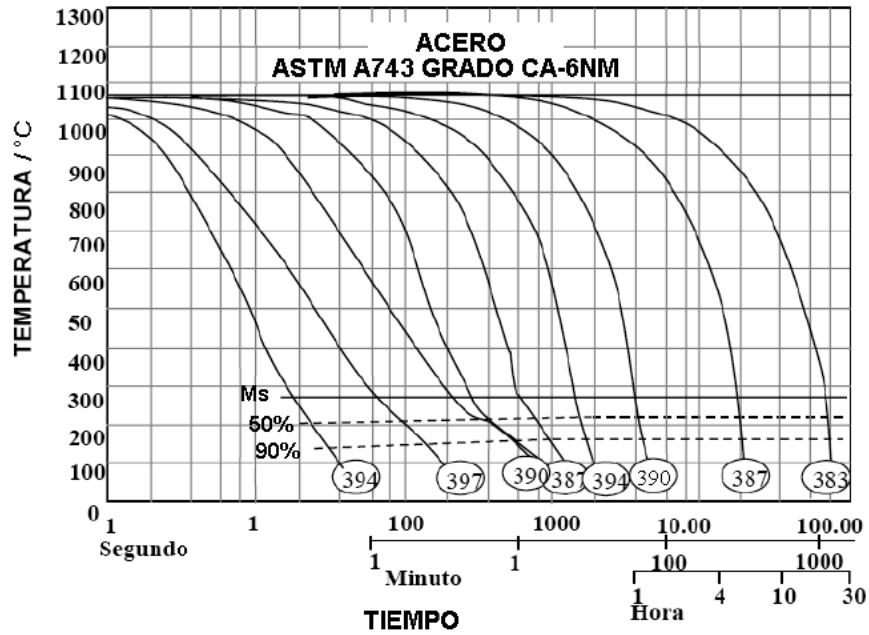


Figura 2.15 Diagrama de transformación de enfriamiento continuo para el acero CA6-NM.

Fuente: ROJAS, J. Identificación y Cuantificación de Fases en Acero Inoxidable ASTM A743 GRADO CA6NM Mediante la Técnica de Difracción de Rayos X. 2009, pág. 17.

La soldadura del acero inoxidable martensítico conlleva una considerable expansión volumétrica y alteración de la microestructura original del material debido al proceso de temple al que se somete durante el enfriamiento. Además, debido a que los aceros inoxidables presentan mayor coeficiente de expansión térmica y más bajo coeficiente de conducción térmica que los aceros al carbono, durante la soldadura y en su posterior solidificación se produce acumulación de tensiones internas que reducen las propiedades mecánicas del material, siendo necesario tratamiento térmico de alivio de tensiones.⁴⁸

Una alta dureza en la ZAT o del metal base no es recomendable por la inherente fragilidad de las mismas. *Para evitar fisuración de los cordones de soldadura, aliviar tensiones, recuperar la estructura alterada y consecuentemente mejorar las propiedades mecánicas de la soldadura (ablandamiento) se realizan tratamientos térmicos post soldadura de Revenido*, cuyas variables deben ser adecuadamente

⁴⁸ (ALMEIDA, y otros, 2009 pág. 35)

seleccionadas para no perjudicar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable.

49

Según la norma ASTM A743 el revenido de la aleación CA6-NM se efectúa en el intervalo de temperatura de 565 a 620°C. Según Akhiate A. y otros, el revenido de este acero se realiza a una temperatura ligeramente superior a la de inicio de transformación a austenita A_{c1} 570 – 600 °C.

En el ASM Metals Handbook, volumen 4 Tratamiento Térmico, encontramos el revenido de aleaciones martensíticas en el rango de 595 a 620 °C para mejorar la ductilidad a niveles de resistencia más bajos, evitando el revenido dentro del rango de 370 a 595 °C para sortear la baja resistencia al impacto resultante.

La Sociedad Americana de Fundidores de Acero recomienda en el Manual de Funciones de Acero, realizar el revenido post soldadura a una temperatura dentro del rango de 593 a 620 °C y luego enfriar en aire. Respecto al tiempo de sostenimiento que se debe mantener el material a la temperatura de revenido debe ser el necesario para que toda la masa consiga una temperatura uniforme, siendo determinado por el espesor de la sección.⁵⁰

El tiempo empleado debe ser tal que los carburos de hierro-cromo que estuvieran presentes se mantengan en solución y se evite la descarburación, el excesivo crecimiento de grano, fragilización y fisuración por enfriamiento. Como regla general, el tiempo de permanencia hasta alcanzar una temperatura homogénea en toda la masa debe ser de tres minutos por cada 0.1 pulgadas de espesor, una hora por cada pulgada de espesor,⁵¹ o de 30 a 60 minutos para espesores de hasta 0.5 pulgadas⁵². Según el ASM Metals Handbook, volumen 4 Tratamiento Térmico, para secciones de hasta 13 mm. (0.5 plg.) de espesor se recomienda un tiempo de sostenimiento de 30 a 60 minutos y por cada pulgada o fracción de espesor adicional incrementar 30 minutos más.

⁴⁹ (LAUFGANG, 2003 pág. 18)

⁵⁰ (Steel Founders Society of America , 2004 pág. 16)

⁵¹ (MEDRANO, 2006 págs. 65-69)

⁵² (ACUÑA, y otros, 2013 pág. 10)

Se debe limitar la velocidad de enfriamiento por las tensiones térmicas que pudiesen generar (aproximadamente 200°C por hora por pulgada de espesor).

El revenido ejecutado como tratamiento térmico posterior a la soldadura promueve la reducción de la dureza de la martensita y la precipitación de austenita estable (tipo 1) sub-microscópica finamente distribuida, que permanece después del enfriamiento y junto con la martensita revenida otorga al material una combinación de dureza y tenacidad adecuadas para el uso en rodets hidráulicos. La microestructura obtenida a temperatura ambiente usualmente consiste de martensita en la que una cierta cantidad de austenita reformada está dispersa a lo largo de los límites de los listones de martensita y de granos de austenita primaria. La cantidad de austenita, se conoce, depende del tiempo y temperatura de revenido, además de ser función de la composición química.⁵³

En la Figura 2.16 se muestra la microestructura del acero CA6-NM en estado homogenizado (a) y sometido a tratamientos térmicos de revenido a diferentes temperaturas con tiempo de sostenimiento de 3h. (b) Revenido a 580°C, (c) Revenido a 620°C y (d) Revenido a 640°C. En la Figura (a) la microestructura en estado bruto de fundición donde se pueden observar los paquetes de listones de martensita conformando una estructura gruesa. Las figuras (b) y (c) muestran como los listones de martensita empiezan a descomponerse en estructuras cada vez más finas a medida que aumenta la temperatura de revenido hasta 620°C, lo cual ocurre por la precipitación de carburos desde la martensita. En la figura (d) se observa la microestructura martensítica revenida a una temperatura de 640 °C.

⁵³ (AKHIATE, y otros, 2014)

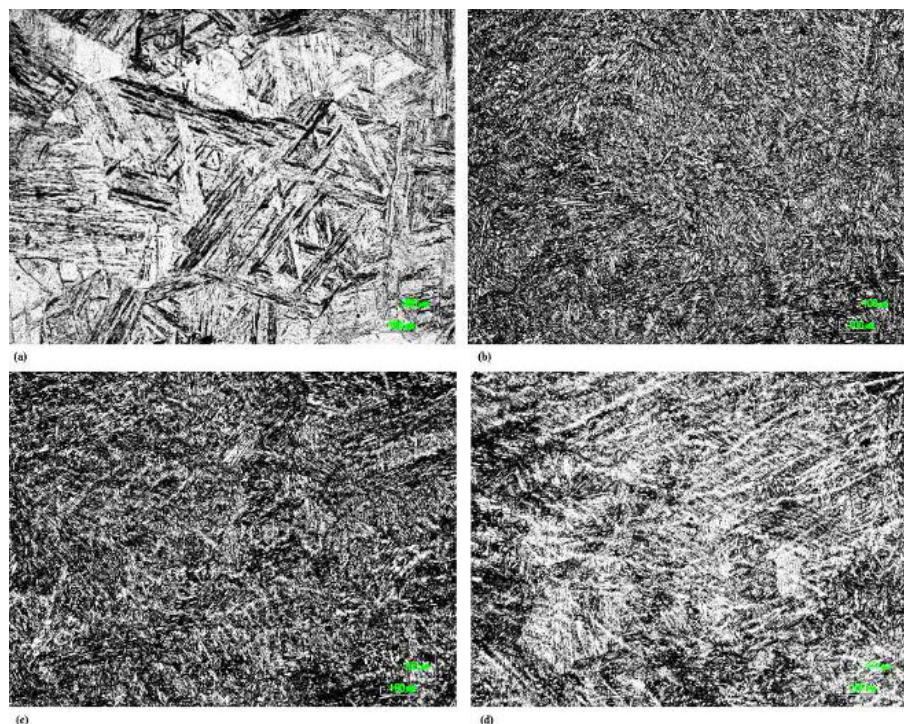


Figura 2.16 Microestructura del acero ASTM A743 CA6NM homogenizado y luego de revenido a diferentes temperaturas.

Fuente: ROJAS, J. Identificación y Cuantificación de Fases en Acero Inoxidable ASTM A743 GRADO CA6NM Mediante la Técnica de Difracción de Rayos X. 2009, pág. 52.

Las transformaciones que se producen durante el revenido tienen características decisivas en la tenacidad de los aceros CA6-NM. La tenacidad óptima es resultante además del revenido de la martensita, de la presencia de austenita formada entre 550 y 600 °C, la cual no se transforma en martensita después del enfriamiento. Se ha verificado mediante pruebas dilatométricas que el comienzo de la aparición de austenita se produce alrededor de 550 °C, hasta alcanzar un contenido máximo de aproximadamente 30% a 615 °C. Por encima de esta temperatura se produce una reducción de la austenita formada y además el surgimiento de una austenita inestable capaz de transformarse en martensita después del enfriamiento.⁵⁴

Una amplia gama de propiedades mecánicas pueden obtenerse a través de la elección de la temperatura de revenido. En la Figura 2.17 se muestra valores de las

⁵⁴ (SANTOS, 2000 págs. 16-17)

propiedades mecánicas y los tipos de contenido de austenita (estable o inestable) como una función de la temperatura de revenido.

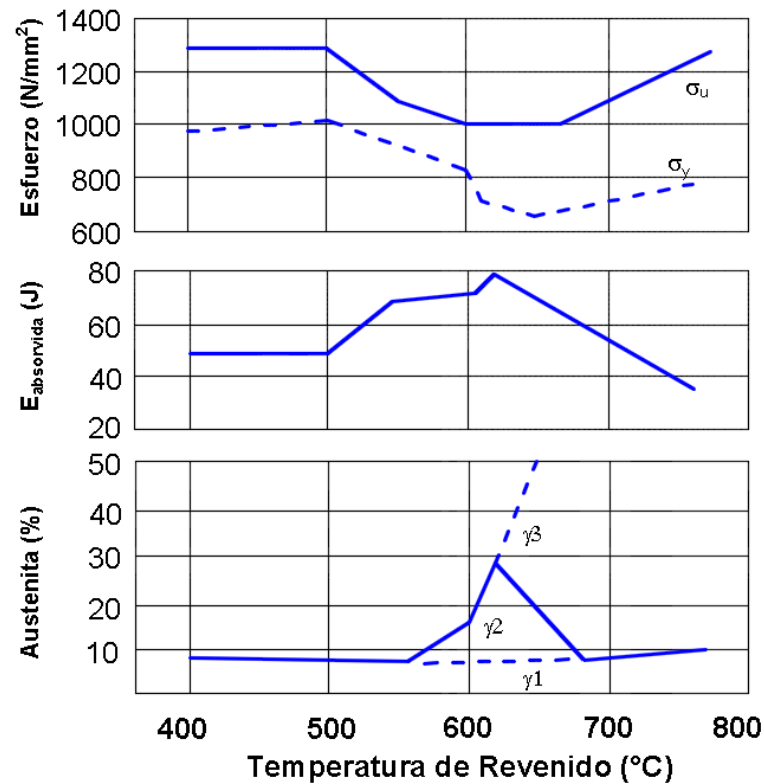


Figura 2.17 Propiedades mecánicas y contenido de austenita en el acero inoxidable CA6-NM en función de la temperatura de revenido.

Fuente: Hoyos, Elizabeth. Efecto de la técnica de pases de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743: grado CA6NM. 2009, pág. 9.

γ₁: Austenita residual estable, finamente dispersa en la matriz.

γ₂: Austenita inestable, que transforma en martensita.

El acero CA6-NM presenta un comportamiento particular en sus propiedades mecánicas a diferentes temperaturas de revenido, presentando una caída en la dureza para el revenido de 650 °C aproximadamente como se observa en la Figura 2.18. Esta caída en la dureza se asocia fundamentalmente al contenido de austenita retenida en el material después del revenido, encontrando una mayor cantidad de

austenita retenida para temperaturas de revenido entre 600 y 620 °C, como lo muestra la Figura 2.17.⁵⁵

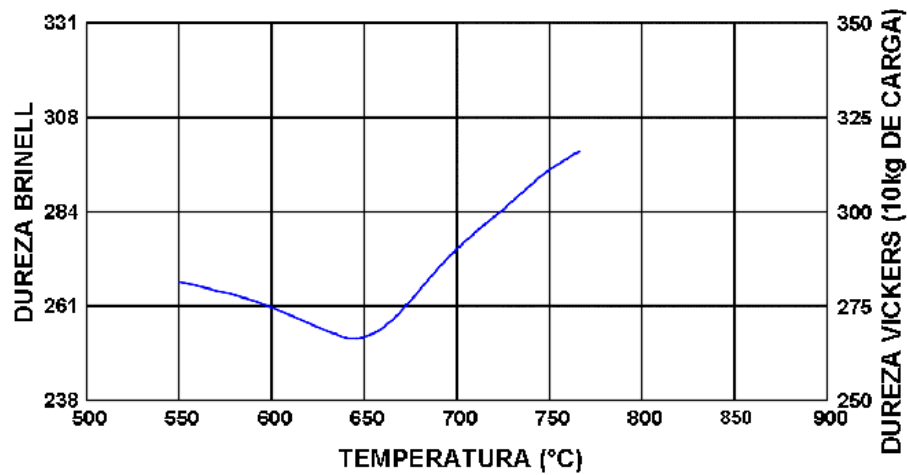


Figura 2.18 Variación de la dureza del acero 13Cr-4Ni en función de la temperatura de revenido.

Fuente: Baena, J. Interdependencia entre las condiciones de operación y el desgaste en rodetes tipo Pelton fabricados en acero ASTM A743 grado CA6NM. 2008, pág. 13.

2.1.3.15 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su composición y microestructura, cuyo comportamiento refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material, o sea, su deformación. Algunas de las propiedades mecánicas de mayor importancia son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez, las cuales se pueden determinar realizando ensayos de laboratorio que reproducen las condiciones de uso hasta el punto en que se produce la falla del material.⁵⁶

2.1.3.16 ENSAYO DE TRACCIÓN

A través de este ensayo se obtienen los datos para elaborar el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria. Con una máquina de ensayos, como la que se muestra en la Figura 2.19, se somete a un espécimen de prueba a deformación, normalmente hasta

⁵⁵ (BAENA, 2008 pág. 12)

⁵⁶ (CALLISTER, 2005 pág. 114)

la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente de manera lenta y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. ⁵⁷

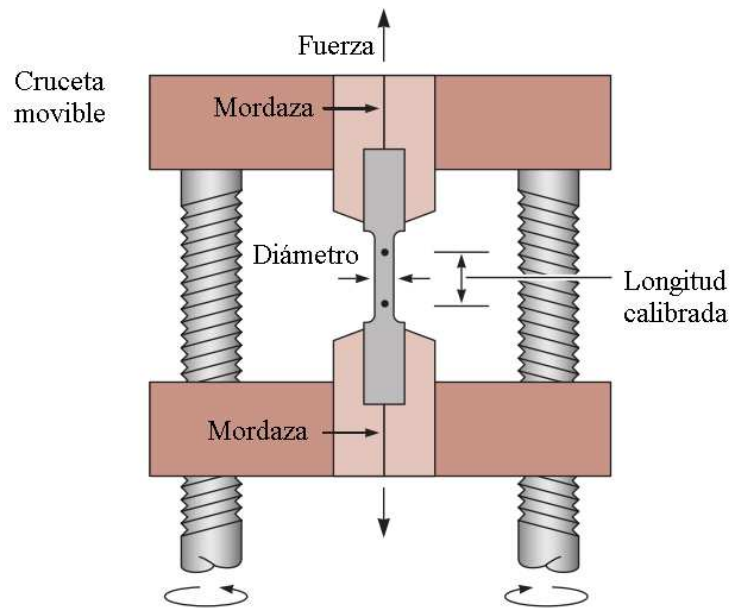


Figura 2.19 Aplicación de una fuerza uniaxial en una máquina de tracción.

Fuente: Askeland, D. y otros. Ciencia e ingeniería de materiales. 2012, pág. 204.

Según Callister W. la longitud de prueba se utiliza en el cálculo de la ductilidad. El esfuerzo se obtiene dividiendo la carga entre el área transversal inicial del espécimen. La tensión nominal se define mediante la relación entre la carga instantánea aplicada F y el área de la sección original antes de aplicar la carga A_0 ; las unidades de tensión son psi (sistema U.S.) o MPa (SI):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad 2.6$$

La deformación nominal se define como:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad 2.7$$

En donde l_0 es la longitud original antes de aplicar la carga y l_i es la longitud instantánea, que representa el alargamiento producido por deformación. La

⁵⁷ (CALLISTER, 2005 págs. 115-116)

deformación es adimensional, aunque a menudo se utiliza pulgadas por pulgada o metros por metro.⁵⁸ Se utiliza la curva esfuerzo-deformación, Figura 2.20, para registrar los resultados de una prueba de tracción.

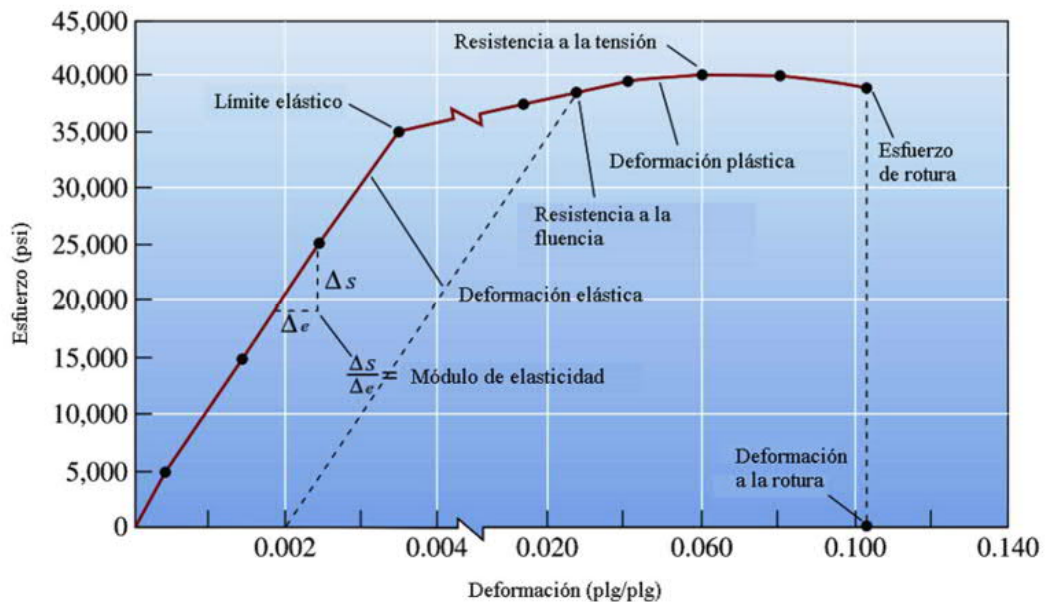


Figura 2.20 Curva esfuerzo-deformación.

Fuente: Askeland, D. y otros. Ciencia e ingeniería de materiales. 2012, pág. 206.

Propiedades obtenidas del Ensayo de Tracción

a. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad o módulo de Young (E) es la pendiente de la curva de esfuerzo-deformación unitaria en la región elástica. A esta relación entre el esfuerzo y la deformación en la región elástica se le conoce como ley de Hooke.⁵⁹

$$\sigma = E \epsilon \quad 2.8$$

Esta relación muestra que la deformación es proporcional a la tensión por lo que la deformación se denomina deformación elástica, es decir, que al suspender la carga el elemento recuperará su longitud inicial. En los metales, las fuerzas de unión de

⁵⁸ (CALLISTER, 2005)

⁵⁹ (ASKELAND, y otros, 2011 pág. 200)

los átomos y por tanto el módulo de elasticidad es insensible a la microestructura dado que el valor está dominado por la rigidez de los enlaces atómicos.⁶⁰

b. Fluencia y límite elástico

A medida que se incrementa el esfuerzo en la prueba de tracción, el material fluye y muestra deformación elástica y plástica. El valor del esfuerzo crítico necesario para iniciar la deformación plástica se conoce como límite elástico del material o límite de fluencia. Para los metales que experimentan la transición elastoplástica de forma gradual, el punto de fluencia puede determinarse como la desviación inicial de la linealidad de la curva esfuerzo-deformación, punto que se denomina a menudo límite proporcional. En tales casos, la posición de este punto no puede ser determinada con precisión. Por tanto se ha establecido una convención por la cual se traza una línea recta paralela a la línea elástica, desplazada por una deformación 0.002. La tensión correspondiente a la intersección de esta línea con el diagrama esfuerzo-deformación se denomina límite elástico S_y .⁶¹

c. Resistencia a la tracción

La tensión necesaria para continuar la deformación aumenta hasta un máximo en la Figura 2.20 y después disminuye hasta que finalmente se produce la fractura. El esfuerzo obtenido en la fuerza aplicada más alta es la resistencia a la tracción (S_T).

Ductilidad

La ductilidad es la capacidad de un material a deformarse plásticamente hasta la fractura cuando se aplica una fuerza. Existen dos medidas comunes de la ductilidad:

⁶⁰ (CALLISTER, 2005 págs. 118-120)

⁶¹ (CALLISTER, 2005 pág. 125)

d. Porcentaje de elongación a la rotura

Cuantifica la deformación plástica permanente hasta la rotura, midiendo la distancia entre las marcas calibradas en la probeta antes y después de la prueba. Se lo determina con la siguiente expresión:

$$\%EL = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \quad 2.9$$

Donde l_f es la longitud en el momento de la fractura y se obtiene al medir la distancia calibrada volviendo a juntar las partes separadas y l_o es la longitud de prueba original. Siempre que una parte considerable de la deformación plástica a la rotura esté confinada en la región de la estricción, la magnitud de %EL dependerá de la longitud de prueba, por consiguiente se debe especificar el valor de l_o cuando se menciona el alargamiento relativo. A mayor %EL, mayor será la ductilidad.⁶²

e. Porcentaje de reducción en el área de rotura

Describe la cantidad de adelgazamiento experimentado por la probeta:

$$\%AR = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \quad 2.10$$

Donde A_o es el área de la sección transversal inicial y A_f es el área de la sección final en la superficie de la fractura.

2.1.3.17 ENSAYO DE IMPACTO

Cuando un material se somete a una carga súbita e intensa, en la cual la rapidez de deformación es extremadamente alta, puede tener un comportamiento mucho más frágil comparado con el que se observa en el ensayo de tracción. El ensayo de resistencia al impacto se utiliza a menudo para evaluar la fragilidad del material bajo estas condiciones. La resistencia al choque es una medida de la tenacidad de un material, la que se define como la capacidad de absorción de energía antes de

⁶² (CALLISTER, 2005 pág. 129)

que aparezca la fractura súbita. Se han diseñado algunos procedimientos de prueba, incluyendo el ensayo de Charpy y de Izod, Figura 2.21.⁶³

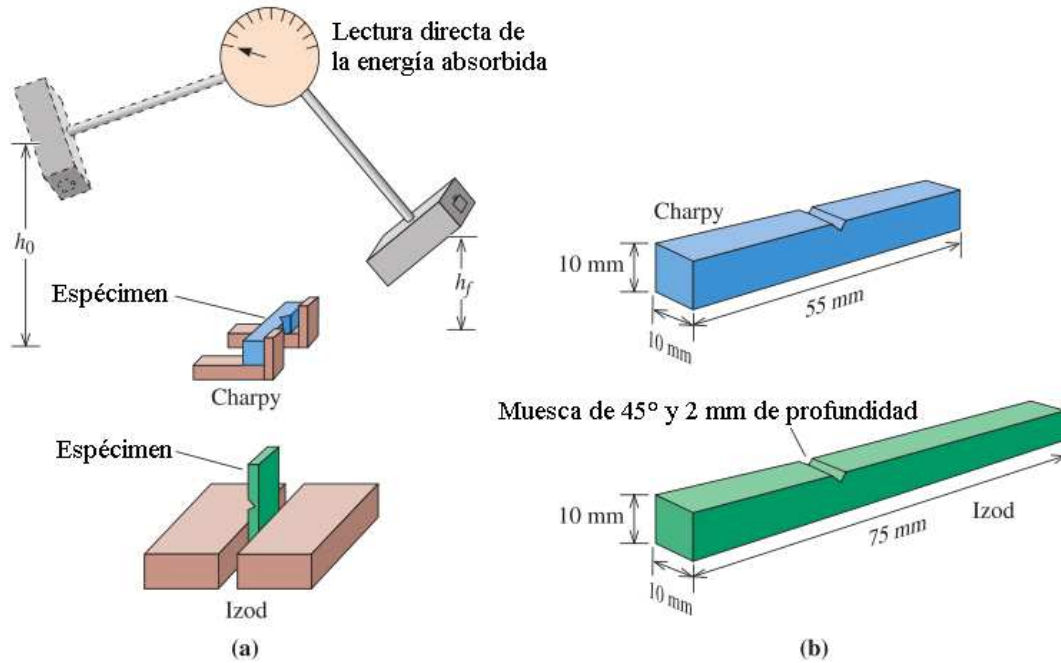


Figura 2.21 a) Pruebas de Charpy y de Izod, b) dimensiones de las probetas.

Fuente: Askeland, D. y otros. Ciencia e ingeniería de materiales. 2012, pág. 207.

El ensayo consiste en romper de un sólo golpe en el punto medio de una probeta apoyada en sus extremos y determinar la energía necesaria para la rotura. La energía de impacto la transmite un martillo basculante que incide en oscilación libre contra la probeta desde una altura h_0 hasta llegar a una altura menor h_f . Si se conoce las alturas inicial y final, se puede calcular la diferencia en su energía potencial. Esta diferencia es la energía de impacto absorbida durante ruptura de la probeta y se lo expresa en lb*pie o Joule (J) para el ensayo de Charpy.⁶⁴

2.1.3.18 PRUEBA DE DUREZA

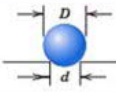



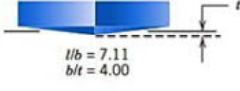

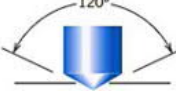

La dureza es una medida de la resistencia de un material a la deformación plástica localizada. La prueba de dureza mide la resistencia a la penetración de la superficie

⁶³ (ASKELAND, y otros, 2011 pág. 227)

⁶⁴ (ASKELAND, y otros, 2011 pág. 227)

del material por un penetrador que es forzado sobre la superficie en condiciones controladas de carga y velocidad de aplicación.

Tabla 2.6 Técnicas de ensayo de dureza.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> ⎧ Diamond cone; ⎧ 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres 			<ul style="list-style-type: none"> 60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg } 	

^a For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, d₁, and l are all in mm.

Fuente: Callister, W. Materials science and engineering : An introduction. 2007, pág. 156.

En la Tabla 2.6 se detallan las técnicas de ensayo de dureza mayormente utilizadas. En estos ensayos se mide la profundidad o tamaño de la huella resultante, lo cual se relaciona con un número de dureza; cuanto más blando es el material, mayor y más profunda es la huella y menor es el número de dureza.⁶⁵

El ensayo de dureza Rockwell utiliza una esfera de acero de diámetro pequeño para materiales blandos y un cono de diamante para materiales más duros. La profundidad de la penetración es medida de manera automática por la máquina y se convierte a un número de dureza Rockwell (HR).

2.1.3.19 ENSAYOS METALOGRAFICOS

La metalografía consiste en realizar un estudio microscópico de la estructura del material para examinar sus características estructurales y determinar los

⁶⁵ (CALLISTER, 2005 pág. 136)

componentes en una muestra metálica haciendo uso de varios niveles de magnificación. Con ello es posible determinar el tamaño de grano, tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas; además la microestructura revelará el tratamiento mecánico y térmico del metal.⁶⁶

El examen estructural de los materiales y aleaciones por vía microscópica es una de las principales herramientas que posee el metalurgista, ya sea en investigación científica como en el control de la calidad de los materiales, teniendo en cuenta la conocida relación estructura – propiedades. En microscopía normalmente se utiliza el microscopio óptico y el electrónico.⁶⁷

Microscopía Óptica

La microscopía óptica consiste en hacer pasar luz visible de una fuente difractada, reflejada o refractada en el sujeto de estudio a través de lentes ópticos simples o múltiples, para lograr una vista ampliada de la muestra. La imagen resultante generalmente es impresa en una placa fotográfica.

Para revelar los detalles importantes de la microestructura es primordial preparar prolijamente las superficies a través de operaciones de desbaste y pulido, utilizando abrasivos cada vez más finos, hasta que quede como un espejo. Se revela la microestructura tratando la superficie con un reactivo químico. Las etapas necesarias para preparar adecuadamente una muestra metalográfica son: a) extracción de la muestra, b) esmerilado burdo o grueso, c) montaje (en caso de ser necesario), d) pulido intermedio, e) pulido fino, f) ataque.

La selección del reactivo de ataque se la realiza en base al tipo de metal y por la estructura específica que se desea observar, cuidando que el tiempo sea el adecuado para evitar daños por quemadura en la superficie. El método de preparación de muestras metalográficas se encuentra normalizado en la norma ASTM E3.

⁶⁶ (AVNER, 1988 págs. 27-28)

⁶⁷ Práctica de Laboratorio de Materiales UTA, 2013.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

A través del estudio del tratamiento térmico posterior a la soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM, se podrá caracterizar la microestructura y las propiedades mecánicas luego de múltiples operaciones de soldadura y tratamiento térmico y a la vez determinar el deterioro paulatino del material base en rodets hidráulicos como resultado de las recurrentes reparaciones, con una orientación bajo el paradigma crítico propositivo; crítico porque se analizará la realidad y el efecto de las variables que intervienen en el problema bajo una relación causa-efecto y propositiva porque busca plantear alguna alternativa de solución al problema investigado.

Mediante este enfoque se podrá plantear alternativas de solución al problema y la flexibilidad del enfoque permitirá realizar los cambios o ajustes necesarios en la investigación debido a los cambios en el aspecto ambiental, físico y tecnológico.

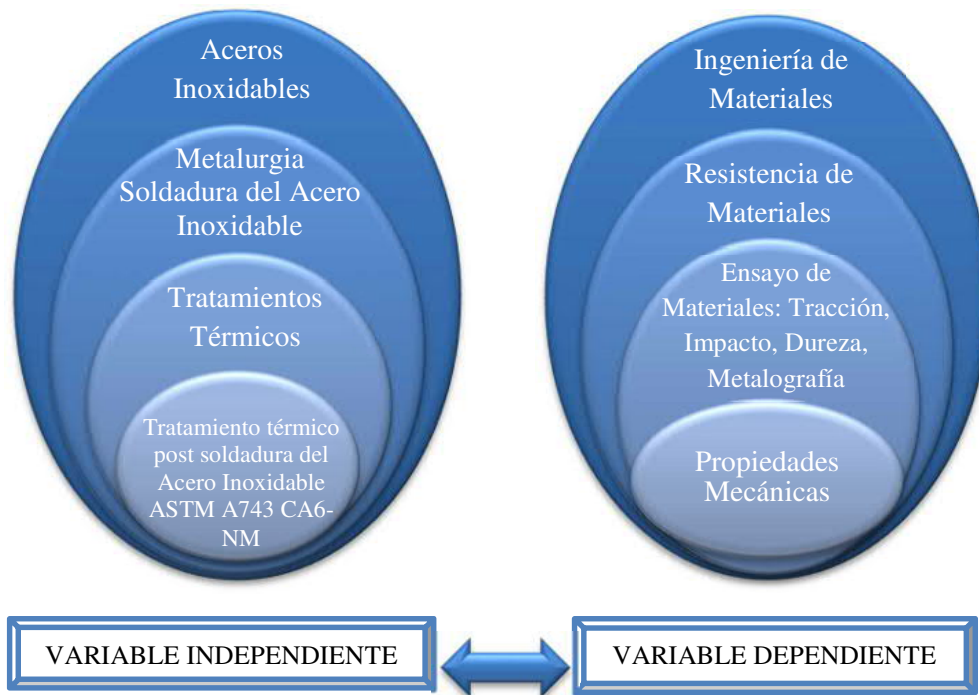
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación estará fundamentada mediante la aplicación de las siguientes normas:

- a. ASTM A743/A743M Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application
- b. ASTM A370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- c. ASTM E3 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens
- d. ASTM E8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- e. ASTM E10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials
- f. ASTM E18 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
- g. ASTM E23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials
- h. ASTM E111 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus

- i. ASTM E407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys
- j. CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.5 HIPÓTESIS

El tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM permitirá mejorar las propiedades mecánicas del material.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

La presente investigación se guió bajo un enfoque cualitativo y cuantitativo en la que se manejarán variables continuas, que intervienen en la realización del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, las cuales se pueden cuantificar y analizar; además, se determinó el efecto de dicho proceso en el material, a través de la realización de ensayos para evaluar las propiedades mecánicas.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 DE CAMPO

Fue preciso realizar investigación de campo para conocer detalladamente el proceso de recuperación de rodets hidráulicos y trasladar dicho procedimiento para ser efectuado sobre probetas que permitan evaluar el comportamiento del material ante diversas condiciones de tratamiento térmico.

3.2.2 EXPERIMENTAL

El presente estudio requirió llevar a cabo la parte experimental en probetas de acero inoxidable martensítico sobre las que se replicó el proceso de soldadura utilizado en rodets y se realizó tratamientos térmicos para luego obtener valores a través de los ensayos mecánicos de tracción, dureza e impacto y pruebas metalográficas que se realizaron en laboratorio para evaluar el efecto del tratamiento post soldadura.

3.2.3 BIBLIOGRÁFICA

La investigación se complementa con una modalidad bibliográfica para conceptualizar las variables y los parámetros que intervienen en el estudio y obtener información teórica científica a través de fuentes tales como libros, revistas, publicaciones electrónicas, tesis de grado entre otras que ayuden a sustentar los resultados obtenidos.

3.3 NIVEL O TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

3.3.1 EXPLORATORIA

Se contempla un nivel de investigación exploratoria como solución a un problema que ha sido poco explorado y reconocido dentro de la ingeniería de materiales en nuestro medio, para dar solución, obtener información científica y concreta e identificar relaciones potenciales entre las variables: tratamiento térmico post soldadura y propiedades mecánicas.

3.3.2 DESCRIPTIVA

Científicamente describir es medir. Este es un estudio cuyo propósito es describir como se manifiesta y cuál es la incidencia en torno al tratamiento térmico del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, en base a los valores obtenidos de las propiedades mecánicas sometidas a análisis.

3.3.3 ASOCIACIÓN DE VARIABLES

Este tipo de estudio busca determinar la relación existente entre las variables, puesto que mediante la misma se podrá determinar el comportamiento en cuanto a las propiedades mecánicas del acero inoxidable martensítico bajo diversas condiciones de tratamiento térmico.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN

Esta investigación se llevó a cabo sobre probetas estandarizadas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM sometidas a soldadura de recuperación y TTPS, en las que se analizaron ocho casos de estudio:

0. Material base original
1. Como soldadas (sin TTPS)
2. Sujetas a un *primer* proceso de revenido a 600 °C por “1” hora.
3. Sujetas a un *segundo* proceso de revenido a 600 °C por “1” hora.
4. Sujetas a un *tercer* proceso de revenido a 600 °C por “1” hora.
5. Sujetas a un *primer* proceso de revenido a 600 °C por “2” horas.
6. Sujetas a un *segundo* proceso de revenido a 600 °C por “2” horas.
7. Sujetas a un *tercer* proceso de revenido a 600 °C por “2” horas.

Para cada condición, las probetas de los ocho casos de estudio se sometieron a los siguientes ensayos para evaluar las propiedades mecánicas:

1. Ensayo de Tracción: Según ASTM A370 – 16, ASTM E8/E8M – 15a y ASTM E111 – 04
2. Ensayo de Dureza: Según ASTM A370 – 16 y ASTM E18 – 15
3. Ensayo de Impacto: Según ASTM A370 – 16 y ASTM E23 – 12c
4. Ensayo Metalográfico: Según ASTM E3 – 11 y ASTM E407 – 07^{ε1}

Por lo tanto la población sobre la cual se realiza esta investigación constituye todas las probetas de estudio hechas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.

3.4.2 MUESTRA

No se tiene muestra pre definida debido a que la investigación se trata de un estudio de casos en el que se determina el número de especímenes de prueba para cada ensayo.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El Tratamiento Térmico Post Soldadura es una combinación de ciclos de calentamiento y enfriamiento controlado del material bajo determinados parámetros, en una forma tal que producirá propiedades deseadas.	Parámetros de tratamiento térmico	Temperatura (°C)	600	Observación
		Tiempo de sostenimiento (horas)	1 – 2	Normas Ficha de toma de datos
	Ciclos	Número de TTPS	0 – 3	De campo Ficha de reporte de ensayos de laboratorio

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE:

Propiedades mecánicas.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Es el conjunto de propiedades inherentes al material, que dependen de su composición y microestructura, cuyo comportamiento refleja la relación entre la carga aplicada y la respuesta del material, se evalúan a través de ensayos.	Tracción	Resistencia a la tracción (MPa)	750–850	De campo
		Resistencia a la fluencia (MPa)	650–750	Observación
	Dureza	Elongación (%)	0 – 25	Ensayos de laboratorio Ficha de reporte de ensayos de laboratorio
		Dureza (HRC)	24 – 40	
	Resistencia al Impacto	Energía de Impacto (J)	0 – 70	
	Microestructura	Componentes metalográficos	Martensita/ Martensita revenida/ Austenita	

3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información es conforme a la operacionalización de las variables, por lo que los datos de los parámetros de tratamiento térmico y de las propiedades mecánicas se recolectaron mediante ensayos experimentales en probetas de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM sujetas a diferente número de tratamiento térmico post soldadura, a través de la técnica de observación directa.

Para el registro se utilizó un diario de campo y fichas técnicas de toma de datos y de reporte de ensayos de laboratorio. Se llevó una bitácora de notas para el registro de la información relevante encontrada en libros, tesis, investigaciones, documentos electrónicos y prácticas de campo.

3.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.7.1 PLAN DE PROCESAMIENTO

Para el procesamiento de la información se planificó lo siguiente:

1. Revisión bibliográfica y de campo acerca de los parámetros y procedimiento de soldadura de recuperación de los rodets de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM que actualmente se está aplicando en el Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas CIRT de CELEC EP y que se acogerá para el desarrollo de esta investigación.
2. Determinación de los parámetros para el tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM: temperatura de revenido y tiempo de sostenimiento.
3. Selección del material, comprobación de la composición química a través de espectrometría óptica de emisión y extracción.
4. Aplicación de soldadura de relleno del material según el procedimiento WPS utilizado en el CIRT.
5. Realización del tratamiento térmico post soldadura a la temperatura y tiempo de sostenimiento determinado en el numeral 2.

6. Fabricación de las probetas para los ensayos de: tracción, dureza, impacto y análisis metalográfico.
7. Reproducción de las operaciones de los numerales 4, 5 y 6 para los ensayos en condición de dos y tres procesos de tratamiento térmico post soldadura.
8. Realización de los ensayos destructivos de: tracción, dureza, impacto, análisis metalográfico, bajo las diferentes condiciones de tratamiento térmico.
9. Tabulación de datos, condiciones generales y resultados. Se utilizaron herramientas de síntesis como tablas, gráficos, fotografías y listados.

3.7.2 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis e interpretación de resultados se planificó lo siguiente:

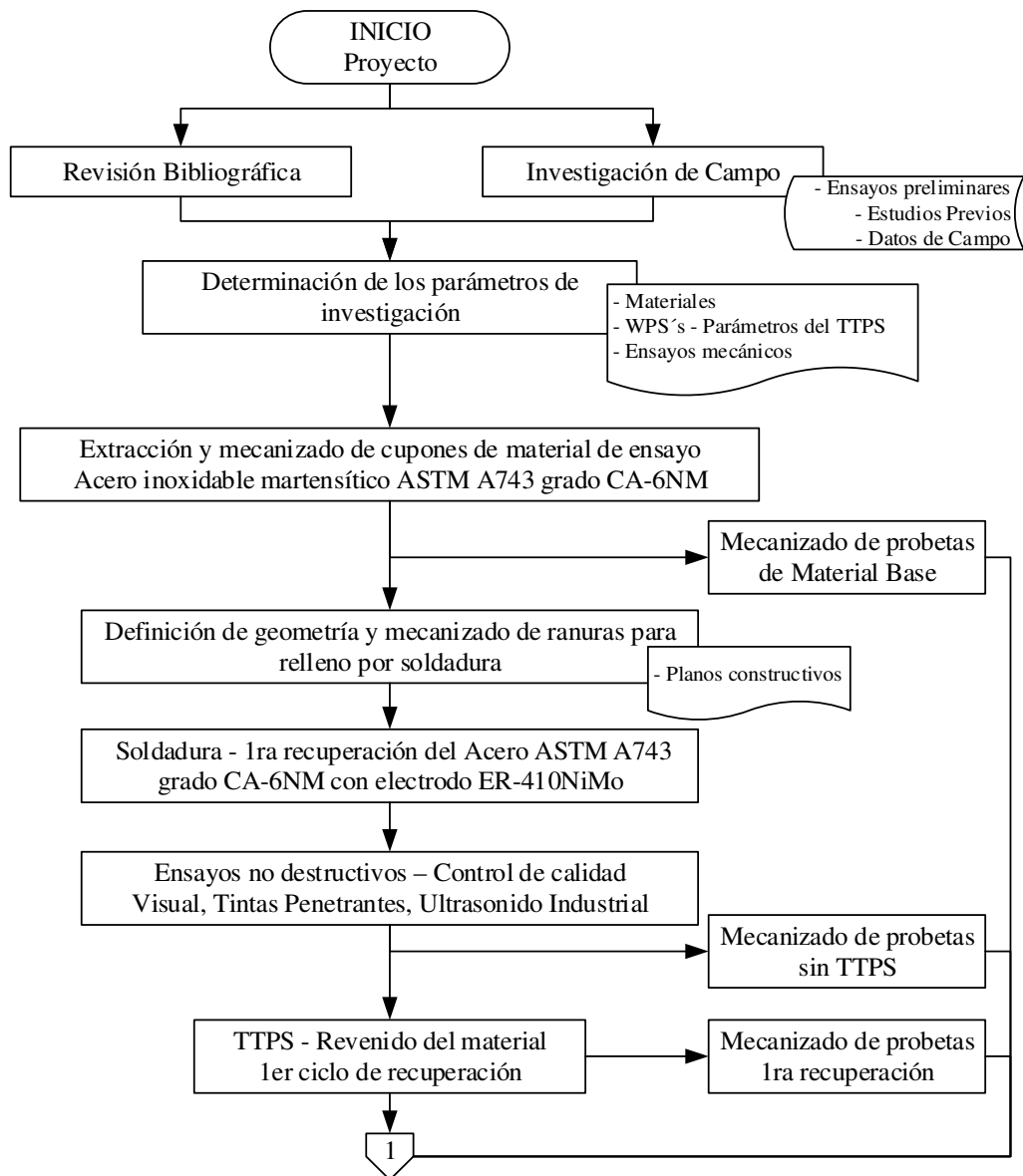
1. Determinación y cálculo de las propiedades mecánicas y análisis metalográfico a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio: Resistencia a la tracción, Resistencia a la fluencia, Elongación, Módulo de Elasticidad, Dureza, Energía de Impacto Absorbida, Resistencia al Impacto, Estructura metalográfica.
2. Contrastación de los resultados con los valores establecidos en la norma de especificación del material o producto.
3. Comparar los resultados de las propiedades mecánicas obtenidas en cada una de las condiciones de tratamiento térmico del material.
4. Relacionar los resultados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.
5. Comprobación de la hipótesis.
6. Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

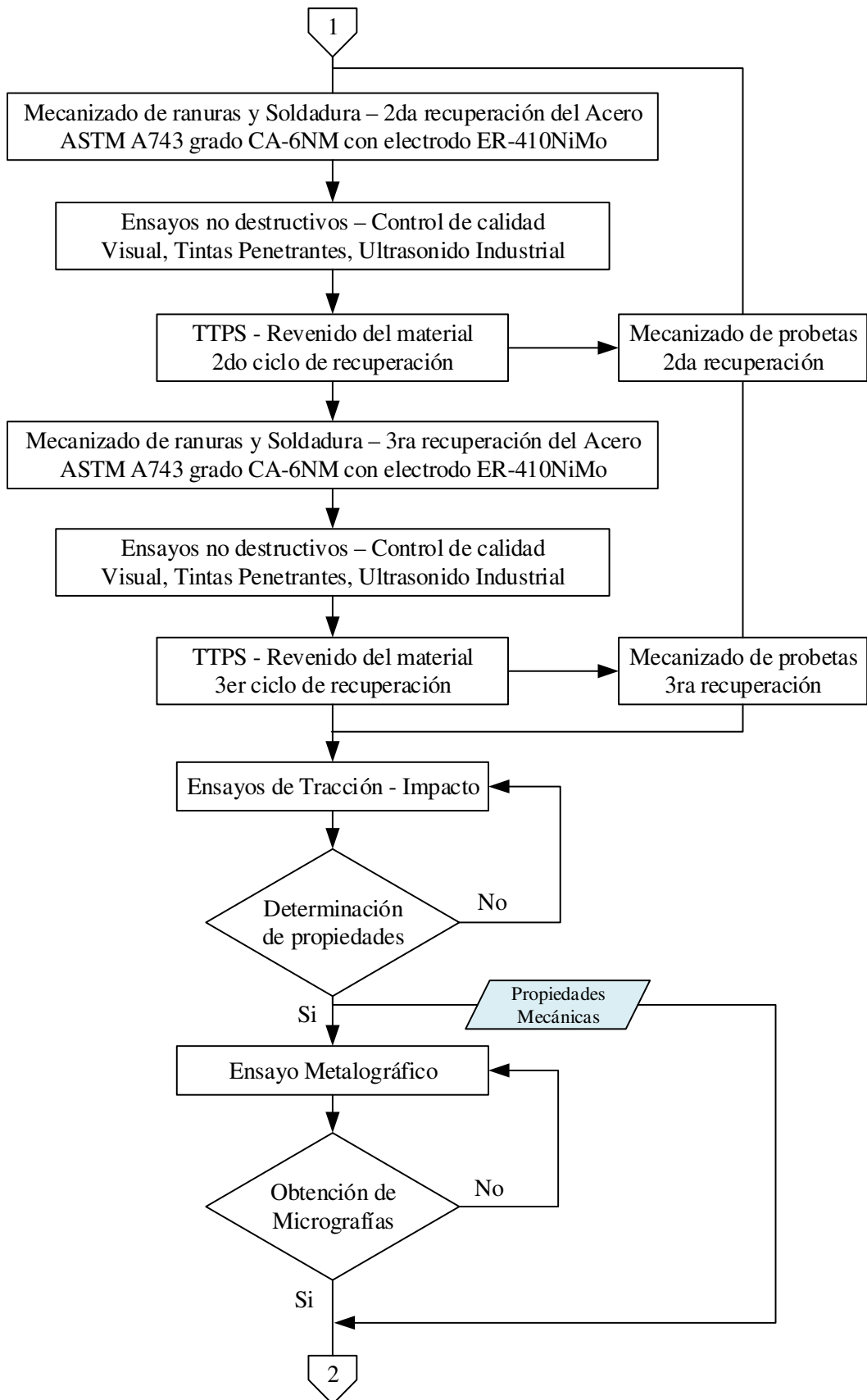
CAPÍTULO IV

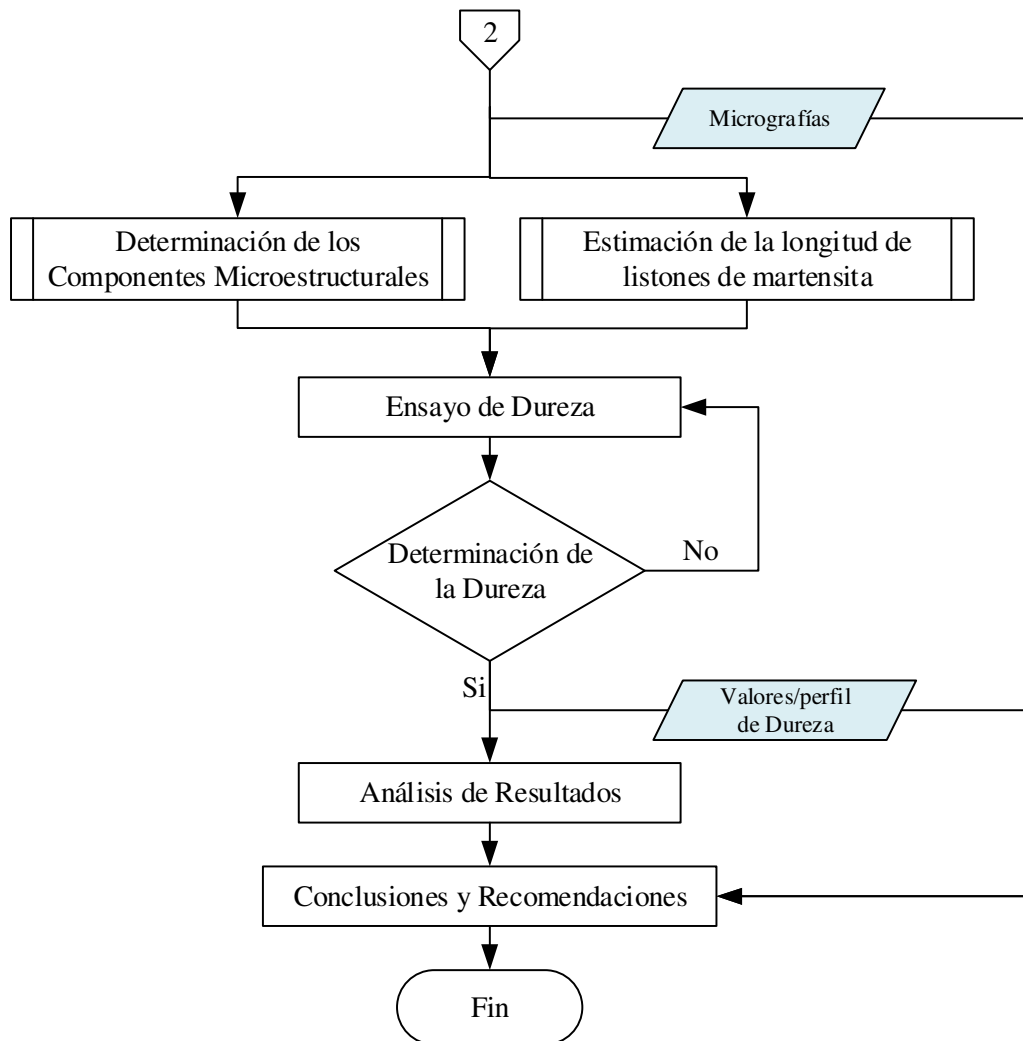
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El proceso metodológico para el desarrollo del presente estudio con una perspectiva apegada al procedimiento de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas se presenta a continuación:







4.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INVESTIGACIÓN

A través del proceso experimental se va a caracterizar las propiedades mecánicas del acero inoxidable martensítico, de manera de establecer la diferencia en las condiciones como soldado y luego de someterse a diferentes procesos de Tratamiento Térmico Post Soldadura; y, consecutivamente analizar la influencia de los tratamientos térmicos sobre la microestructura y en las propiedades mecánicas.

El material base sobre el cual se realiza este estudio es el acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, utilizado en los rodets de turbinas hidráulicas, el material de aporte es un electrodo de acero martensítico ER 410NiMo.



Ilustración 4.1 Preparación de material base acero ASTM A743 CA6-NM.

Fuente: El autor.

A partir de los bloques de material base mostrados en la Ilustración 4.1 se extrajeron placas de 250 x 130 mm., Ilustración 4.2 a) y de 60 x 60 mm., Ilustración 4.2 b), para preparar cupones de recuperación, que reproducen parte de la superficie desgastada de la zona de álabes de un rodete hidráulico en un espesor típico (19 mm de espesor nominal), el cual debe ser recuperado por medio de relleno con soldadura. Se fijó como dimensión promedio de recuperación del espesor en 8 mm.

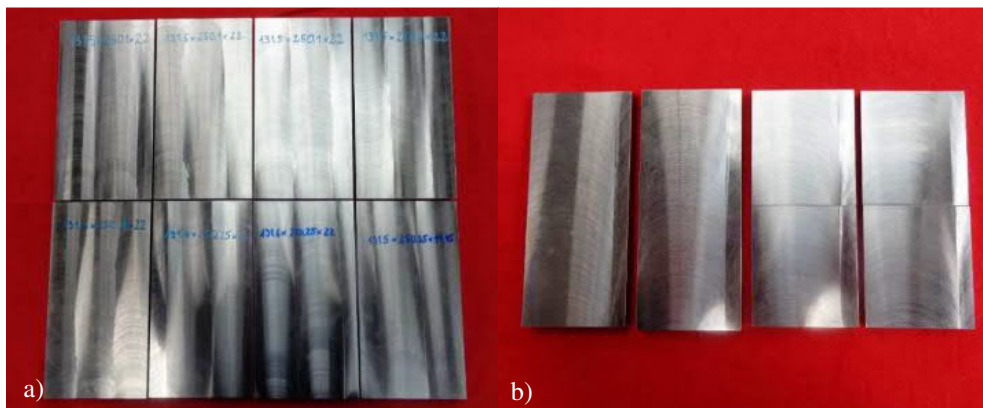


Ilustración 4.2 Placas de acero ASTM A743 grado CA6-NM.

Fuente: El autor.

Las placas fueron mecanizadas en un espesor nominal de 19 mm. con una ranura central en U de 20 mm. de ancho y 8 mm. de profundidad y de 10 mm. de espesor nominal con ranura de 10 mm. de ancho y 4 mm. de profundidad, ver Anexo B.1, para depósito de soldadura multipasada tipo acumulación o restauración del espesor

del metal base, según la definición dada a este procedimiento en el Código ASME Sección IX QG-109.2.

En los dos tipos de placas se consideró un sobre espesor de 3 mm. y 3.5 mm. para corregir posibles deformaciones por la soldadura, manipulación durante el proceso y para el mecanizado final, como se muestra en la Figura 4.1. y Figura 4.2

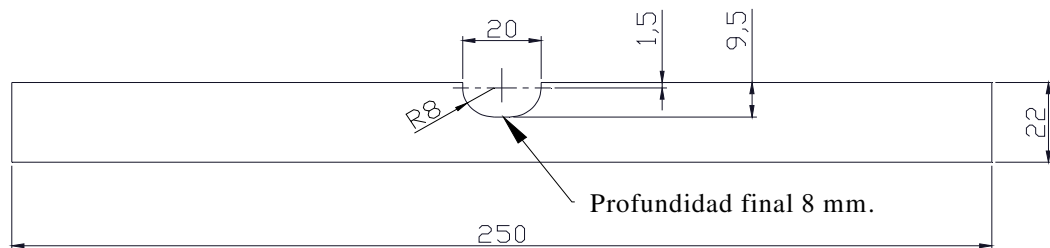


Figura 4.1 Ranura en cupón de soldadura de 250x130x22 mm.

Fuente: El autor.

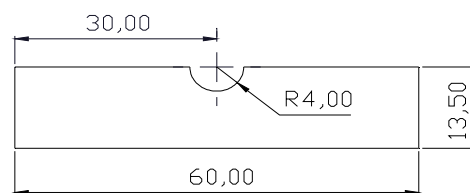


Figura 4.2 Ranura en cupón de soldadura de 60x60x13.5 mm.

Fuente: El autor.



Ilustración 4.3 Placas de soldadura de 250x130x22 mm. con ranura central de 20x8 mm. sección en U.

Fuente: El autor.

Las placas soldadas son sometidas a los diferentes tratamientos térmicos post soldadura que se detallan en la Tabla 4.7. De cada placa recuperada se extrajeron las probetas para los ensayos de tracción, impacto, dureza y metalografía, según se detalla a profundidad en los párrafos posteriores.

4.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE Y MATERIAL DE APORTE

Los materiales utilizados en este estudio son: metal base acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM en estado templado y revenido, cuyas propiedades mecánicas nominales se presentan en la Tabla 4.1, ver anexo A.1; y, metal de aporte similar, alambre ER 410NiMo.

Tabla 4.1 Propiedades mecánicas nominales de la aleación ASTM A743 CA6-NM.

Propiedades Mecánicas a Temperatura Ambiente	Requisitos mínimos según ASTM A743
Resistencia a la tracción (MPa)	755
Resistencia a la fluencia, 0.2%, (MPa)	550
Elongación en 50 mm (%)	15
Reducción de área (%)	35
Dureza Brinell (HBW)	max 285

Fuente: ASTM A 743/A 743M: Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application. 2013.

La composición química de la aleación ASTM A743 grado CA6-NM utilizada, se obtuvo mediante espectrometría óptica de emisión, Anexo B.2, cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Composición química del metal base ASTM A743 CA6-NM.

ASTM A743 Grado CA6-NM	Composición wt %							
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ní	Mo
	0.044	0.6	0.587	0.025	<0.0035	12.02	3.805	0.507

Fuente: El autor.

La Tabla 4.3 muestra la composición química y propiedades mecánicas del metal de soldadura Selectarc M13/4 de acuerdo con la norma AWS A5.9, ER 410NiMo. La ficha técnica puede consultarse en el Anexo B.3.

Tabla 4.3 Composición química y propiedades mecánicas del electrodo Selectarc M13/4 ER 410NiMo.

ER 410NiMo	Composición wt %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ní	Mo	Cu	
	0.02	0.7	0.45	<0.02	<0.01	12.3	4.2	0.5	0.08	
Propiedades Mecánicas										
St (MPa)		Sy-0.2 (MPa)		Alargamiento (%)			Ei (J)			
860		750		17			80			

Fuente: FSH Welding Group. Catálogo Selectarc Welding Mig Wires. pág. 37.

La estructura resultante del metal depositado en el cordón de soldadura se determina aplicando el Diagrama de Constitución de Schaeffler, para lo cual se utiliza las fórmulas 2.3 y 2.4 para calcular el cromo y níquel equivalente, tanto para el material base como para el aporte:

$$Cr_{eq} \text{ (Metal base)} = 12.02 + 0.507 + 1.5(0.587) + 0.5(0.01)$$

$$Ni_{eq} \text{ (Metal base)} = 3.805 + 30(0.044) + 0.5(0.6)$$

$$Cr_{eq} \text{ (Metal de aporte)} = 12.3 + 0.5 + 1.5(0.45) + 0.5(0)$$

$$Ni_{eq} \text{ (Metal de aporte)} = 4.2 + 30(0.02) + 0.5(0.7)$$

Tabla 4.4 Cromo y Níquel equivalente del metal base y aporte.

	Cromo Equivalente (%)	Níquel Equivalente (%)
Metal base	13.41	5.43
Metal de aporte	13.48	5.15

Fuente: El autor.

Representando los puntos de la Tabla 4.4 en el Diagrama de Schaeffler de la Figura 4.3, el punto correspondiente al metal depositado se encontrará entre la recta trazada por los puntos determinados para el metal de aporte A y metal base B, los cuales prácticamente son coincidentes, por lo que se puede predecir, con poca influencia del grado de dilución del proceso, que la composición resultante será similar a la del material base y la estructura del metal de soldadura obtenido es martensita con un contenido no más allá del 6% de ferrita, por tanto es posible esta soldadura sin peligro de fisuración en caliente ni fragilización.

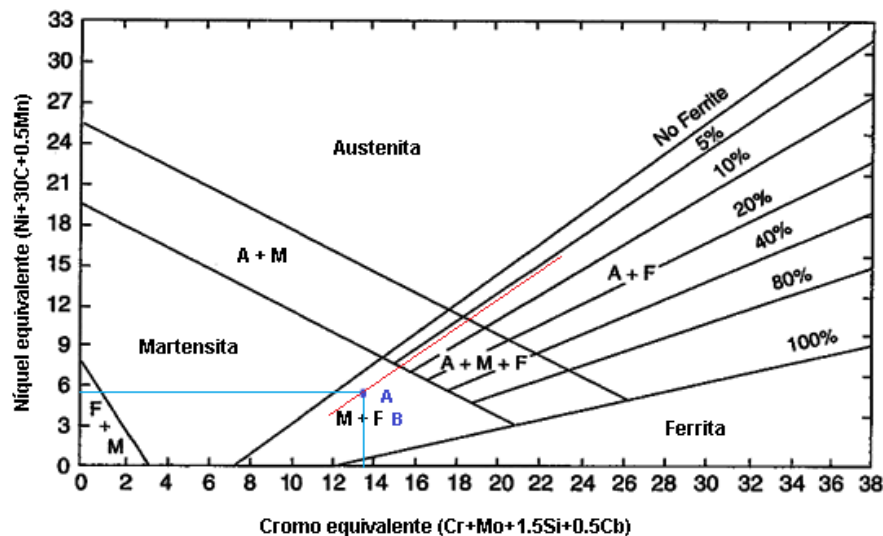


Figura 4.3 Estructura del metal de soldadura en el Diagrama de Schaeffler.

Fuente: El autor.

Utilizando la expresión de Seferian, fórmula 2.5, la cantidad de ferrita delta esperada en el metal de soldadura es:

$$\text{Ferrita delta} = 3(13.45 - 0.93 \times 5.3 - 6.7)$$

Ferrita delta = 5.46 %

4.2.2 PARÁMETROS DE SOLDADURA

El proceso de recuperación utilizado es soldadura por arco de metal con gas de protección (GMAW) robotizado, con material de aporte electrodo de acero inoxidable ER 410 Ni-Mo según AWS A5.9., como se aprecia en la Ilustración 4.4



Ilustración 4.4 Proceso de soldadura GMAW robotizada.

Fuente: El autor.

Conforme a las recomendaciones para prevenir la fisuración inducida por hidrógeno y reducir la acumulación de tensiones se realizó precalentamiento entre 80 y 120 °C. Se verifica cuál es la temperatura máxima de precalentamiento en base a la composición química y el espesor del metal base aplicando el método de Seferian.

$$T_p = 350\sqrt{C_T - 0.25} \quad 4.1$$

Donde:

T_p : Temperatura de precalentamiento.

C_T : Carbono total equivalente.

$$C_T = C_q + C_e = C_q (1 + 0.005e) \quad 4.2$$

$$C_q(\%) = C + \frac{Mn+Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad 4.3$$

C_q : Carbono equivalente químico.

C_e : Carbono equivalente del espesor.

e: Espesor (mm).

$$C_q(\%) = 0.044 + \frac{0.6+12.02}{9} + \frac{3.805}{18} + \frac{7(0.507)}{90} = 1.697$$

$$C_T = 1.858 \%$$

$$T_p = 350\sqrt{1.858-0.25} = 443.86 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para el control de la temperatura de interfase, se calcula las temperaturas de inicio y final de transformación martensítica M_s y M_f de acuerdo a las fórmulas 2.1 y 2.2:

$$M_s = 539 - 423x(0.044) - 30.4x(0.6) - 12.1x(12.02) - 17.7x(3.805) - 7.5x(0.507)$$

$$M_s = 285.56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$M_f \cong M_s - 130^\circ\text{C} = 285.56 - 130^\circ\text{C} = 155.56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

La temperatura de interfase debe estar por debajo de $285 \text{ }^\circ\text{C}$ durante la soldadura.



Ilustración 4.5 Control de la temperatura de interfase.

Fuente: El autor.

En la tabla a continuación se presentan los parámetros de soldadura utilizados para conseguir cordones con una buena penetración, calor aportado y aspecto superficial adecuados. Estos son valores promedio de los parámetros monitoreados en el equipo durante la soldadura para cada pase de cordón.

Tabla 4.5 Parámetros de Soldadura.

Parámetros de soldadura							
	Gas	Caudal (L/min)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Longitud de arco (mm)	Calor aportado (KJ/mm)
Pase de raíz	Ar + 2% CO2	18 - 20	200 - 230	24 - 26	400 - 420	12 - 15	0.89
Pase de relleno	Ar + 2% CO2	18 - 20	200 - 238	24 - 26	400 - 420	12 - 15	0.92

Fuente: El autor.

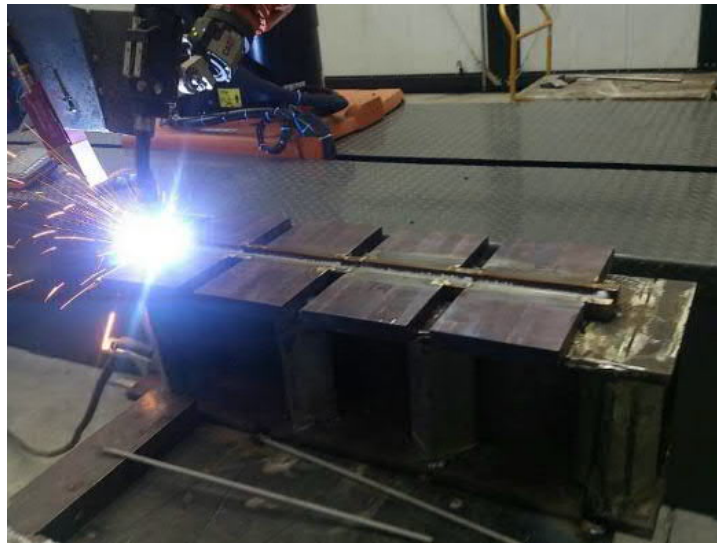


Ilustración 4.6 Soldadura GMAW robotizada, placas de 250x130x22 mm.

Fuente: El autor.

La especificación del procedimiento de soldadura WPS calificado bajo el Código Internacional de Calderas y Recipientes a Presión ASME Sección IX Calificaciones de Soldadura, conforme lo recomienda la Sociedad Americana de Fundidores de Acero de la ASM, que define las variables del proceso aplicado para “recubrimiento resistente a la corrosión” se muestra en el Anexo B.4. con su PQR de respaldo.



Ilustración 4.7 Placas soldadas ASTM A743 CA6-NM de 250x130x22 mm.

Fuente: El autor.

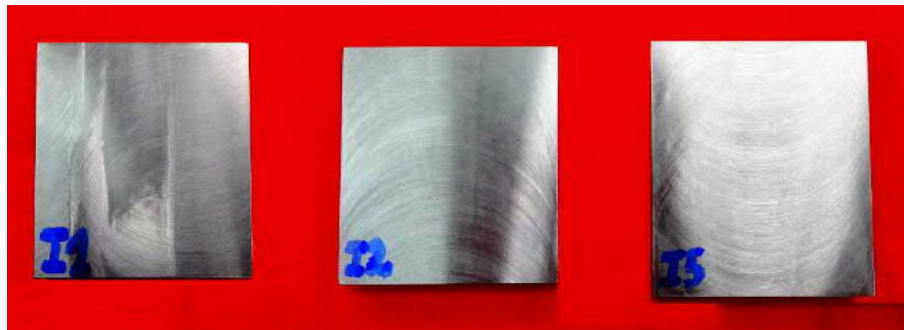


Ilustración 4.8 Placas mecanizadas ASTM A743 CA6-NM de 60x60x13.5 mm.

Fuente: El autor.

A cada una de las placas soldadas se realizó control de calidad para evaluar el nivel de calidad de los depósitos de soldadura a través de ensayos no destructivos por inspección visual e inspección por tintas penetrantes de acuerdo con la especificación CCH 70-4 Especificaciones para la Inspección de Fundiciones de Acero para Máquinas Hidráulicas, ver el Anexo B.5; cuyos resultados y niveles de calidad obtenidos de acuerdo a los criterios de aceptación de dicha norma se muestran en el Anexo B.6.

4.2.3 PARÁMETROS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

De la revisión de la literatura, se establece que los parámetros principales que intervienen en el TTPS, para ajustar las propiedades mecánicas finales a través de la evolución microestructural y aliviar esfuerzos acumulados, son la *temperatura de revenido* y el *tiempo de sostenimiento*. A estos se suman de forma indirecta otros

parámetros como la composición química (contenido de carbono) considerados en la selección del material de aporte.

En cuanto a la *temperatura de revenido*, conforme a los trabajos desarrollados acerca del tratamiento térmico del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, por Alexandre Trudel [et al.]⁶⁸, por Hernando Pacheco [et al.]⁶⁹ y por Elizabeth Hoyos⁷⁰, cuyas variables más relevantes se muestran en la Tabla 4.6, sobre la base de los mejores resultados obtenidos en dichos estudios y de acuerdo con la norma ASTM A743 la temperatura de revenido post soldadura fijada para las placas de prueba del presente estudio es de 600 °C.

La norma del material no especifica el *tiempo de sostenimiento*, por lo que de conformidad con la recomendación aplicada por los fabricantes de rodets hidráulicos y con sustento en estudios previos citados en el Capítulo 2, el tiempo para alcanzar el calentamiento homogéneo de la placa de prueba es de 1 hora por cada 25 mm. de espesor. Adicionalmente la experimentación se realizará con un segundo tiempo de sostenimiento de 2 horas.

⁶⁸ (TRUDEL, y otros, 2013)

⁶⁹ (PACHECO, y otros, 2007)

⁷⁰ (HOYOS Pulgarín, 2009)

Tabla 4.6 Variables de tratamiento térmico recomendadas en estudios previos.

ESTUDIO/NORMA	AUTOR	MATERIAL DE APORTE	PROCESO	TRATAMIENTO TÉRMICO	RESULTADOS
Efectos de los esfuerzos residuales sobre la propagación de grietas de fatiga en la soldadura de un acero inoxidable CA6NM.	A. Trudel, M. Brochu y M. Lévesque	410NiMo, 1.6 mm.	FCAW Automático, 75%Ar-25%CO ₂ , 27.5 V, 260 A.	Revenido a 600 °C durante dos horas.	Homogenización de la microdureza, se mejoró la resistencia al crecimiento de grietas por fatiga en las muestras TTPS.
Efecto del TTPS sobre la microestructura del acero inoxidable grado CA6NM para la construcción de rodetes hidráulicos.	Julián Osorio, Hernando Pacheco y Alejandro Toro	E410NiMo, 1/8 plg.	SMAW, CD de electrodo positivo 92 – 100 A, 28 V.	Revenido a 600 °C y 620 °C con tiempos de sostenimiento de 20, 40 y 60 minutos.	Con TTPS de 1 hora y 620 °C se alcanza mayor homogeneidad en la microdureza, la ZAT adquiere similar microestructura y propiedades a la del material base.
Efecto de la Técnica de Pases de Revenido en las Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A743: Grado CA6NM	Elizabeth Hoyos	ER 410NiMo, 0.045 plg.	GMAW, 70% Ar + 30% He, 15-20 LPM, 28-32 V, 230-280 A.	Homogenización a 1050 °C/2horas + revenido a 610 °C/2 horas.	Reducción de los niveles de dureza de la región austenítica de la ZAT hasta en un 12% en proceso real y 20% por simulación.
ASTM A 743/A 743M: Especificación Estándar para Fundiciones de Hierro-Cromo, Hierro-Cromo-Níquel, Resistentes a Corrosión para Aplicación General		-	-	Revenido final en el intervalo de temperatura de 565 a 620°C.	Alcanzar resistencia a la corrosión, cumplir propiedades mecánicas.

Fuente: El autor.

A continuación se presenta los valores asignados a las variables del tratamiento térmico y los casos de estudio del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, sujeto a sucesivos ciclos de recuperación por soldadura y TTPS, a la temperatura de revenido determinada y a dos condiciones de tiempo de sostenimiento.

Tabla 4.7 Parámetros principales del tratamiento térmico post soldadura

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura de revenido:	600 °C.
Tiempo de sostenimiento:	1 y 2 horas.
Ciclos de soldadura y TTPS:	1, 2 y 3.

Fuente: El autor.

En base a los parámetros de tratamiento térmico, los casos estudiados, son los siguientes:

0. Material Base (como viene de fábrica)
1. Como soldado (sin TTPS)
2. Soldado y revenido a 600 °C por 1 hora, primera recuperación
3. Soldado y revenido a 600 °C por 1 hora, segunda recuperación
4. Soldado y revenido a 600 °C por 1 hora, tercera recuperación
5. Soldado y revenido a 600 °C por 2 horas, primera recuperación
6. Soldado y revenido a 600 °C por 2 horas, segunda recuperación
7. Soldado y revenido a 600 °C por 2 horas, tercera recuperación

Como parte de estos casos de estudio se evaluaron las propiedades mecánicas del material base de los rodets como viene de fábrica, es decir, en estado templado y revenido, condición que se considera como inicial y únicamente como referencia para los resultados obtenidos con el mismo material sujeto a los casos antes señalados.

El número del caso de estudio servirá para la identificación de las probetas de cada ensayo mecánico, acompañado del número de probeta.

4.2.4 DEFINICIÓN DE LOS ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

a. Ensayo de Tracción:

Se utilizaron los especímenes estándar tipo lámina de la figura 3 de la especificación ASTM A370 Definiciones y Métodos de Prueba para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero, Anexo B.7.

Tipo y tamaño de la muestra.- La muestra obtenida es de tipo aleatorio o probabilística. Por tratarse de una población indeterminada o infinita, el tamaño de muestra que permita establecer las características obtenidas con este ensayo a partir del estudio de una proporción de la población con cierta precisión, se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot p_0 \cdot (1-p_0)}{e^2} \quad 4.4$$

En donde:

n: Tamaño de muestra.

Z_{α} : Intervalo de confianza para un nivel de confianza determinado, es la distancia en errores típicos con respecto a la media, define la probabilidad con la que el método arroje una respuesta correcta.

p_0 : Proporción verdadera.

e: Margen de error de muestreo aceptable.

Para un tamaño de muestra pequeño (menor a 30), asumiendo que la distribución de donde proviene la muestra tiene un comportamiento normal, para un nivel de confianza del 90% que corresponde a un valor de $\alpha = 0.1$, da lugar a un coeficiente $Z_{\alpha} = 1.645$ sigmas o errores típicos⁷¹, admitiendo un margen de error del 18% y baja variabilidad de la población (95%) se tiene:

⁷¹ (SPIEGEL, 1976 pág. 195)

Tabla 4.8 Variables para el cálculo del tamaño de muestra de tracción.

Nivel de confianza	α	Z_{α}	p_0	q_0	$p_0 \cdot q_0$	Error
90%	0.10	1.645	0.95	0.05	0.0475	0.18

Fuente: El autor.

$$n = \frac{(1.645)^2 \times 0.95 \times (1-0.95)}{(0.18)^2} = 3.97$$

Lo cual significa que con el análisis de 4 probetas por cada caso de estudio, en los ensayos de tracción que se realicen a futuro se tendrá la probabilidad del 95 %, de que el 90 % de la población recuperada presenten las propiedades obtenidas en este trabajo, con un error de hasta el 17.93 %.

Tabla 4.9 Identificación de las probetas de tracción.

CONDICIÓN	PROBETAS DE TRACCIÓN
0. Material base	T0.1- T0.2- T0.3- T0.4
1. Como soldado (sin TTPS)	T1.1- T1.2- T1.3- T1.4
2. Revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	T2.1- T2.2- T2.3- T2.4
3. Revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación	T3.1- T3.2- T3.3- T3.4
4. Revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	T4.1- T4.2- T4.3- T4.4
5. Revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación	T5.1- T5.2- T5.3- T5.4
6. Revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	T6.1- T6.2- T6.3- T6.4
7. Revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación	T7.1- T7.2- T7.3- T7.4

Fuente: El autor.

La codificación utilizada sirve para identificar las probetas de cada ensayo, la letra inicial indica el tipo de ensayo (T: tracción. I: impacto, D: dureza y M: metalografía) el número a continuación representa el caso de estudio, mientras que el último número separado por un punto representa el número de probeta; así, la designación T5.4 significa el ensayo de Tracción del caso 5 (Revenido a 600 °C por 2 horas, 1^{ra} recuperación) probeta número 4.



Ilustración 4.9 Probetas de tracción de 250 x 20 mm. espesor 19 mm.

Fuente: El autor.

b. Ensayo de Impacto Charpy:

Los especímenes de prueba son de tipo A de tamaño estándar 10 x 10 x 55 mm., en cantidad de 3 para obtener un valor promedio de la energía de impacto absorbida a temperatura ambiente, según lo determina la norma ASTM A370 (Anexo B.7 página 19).

Tabla 4.10 Identificación de las probetas de impacto.

CONDICIÓN	PROBETAS DE IMPACTO
0. Material base	I0.1- I0.2- I0.3
1. Como soldado (sin TTPS)	I1.1- I1.2- I1.3
2. Revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	I2.1- I2.2- I2.3
3. Revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación	I3.1- I3.2- I3.3
4. Revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	I4.1- I4.2- I4.3
5. Revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación	I5.1- I5.2- I5.3
6. Revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	I6.1- I6.2- I6.3
7. Revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación	I7.1- I7.2- I7.3

Fuente: El autor.



Ilustración 4.10 Probetas de impacto Charpy tipo A de 10x10x55 mm.

Fuente: El autor.

c. Ensayo de Dureza:

Estas mediciones se realizaron sobre probetas extraídas de las placas soldadas de 250 x 130 x 19 mm. Utilizando la escala Rockwell C se realizaron 8 mediciones alineadas desde el centro de la soldadura, a una cierta distancia para determinar el perfil de dureza hasta llegar al metal base en una longitud total de 25 mm., como se aprecia en la Figura 4.4.

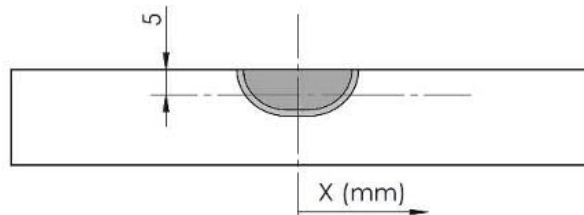


Figura 4.4 Esquema para medición de dureza en probetas soldadas.

Fuente: El autor.

El espaciamiento apropiado entre indentaciones adyacentes y desde el borde del material se determinó conforme a la norma ASTM E18. Para un diámetro de indentación máximo de 1 mm. las distancias mínimas entre centros y desde el borde es de 3 mm. y 2.5 mm. correspondientemente.

d. Ensayo Metalográfico:

El análisis metalográfico se realizó mediante microscopía óptica en probetas de 50 x 10 x 19 mm., para determinar la microestructura de la zona de fusión, zona de

afectación térmica y metal base y así correlacionar el efecto sobre las propiedades mecánicas.

Las muestras fueron preparadas de acuerdo con la norma ASTM E3-11 y atacadas con reactivo Vilella cuya composición es 1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol, el cual se emplea para revelar la martensita y contornear fases secundarias en aceros inoxidable con inmersión durante 1 a 2 minutos a temperatura ambiente.

Tabla 4.11 Identificación de las probetas de dureza y metalográficas.

CONDICIÓN	DUREZA	METALOGRAFÍA
0. Material base	D0	M0
1. Como soldado (sin TTPS)	D1	M1
2. Revenido a 600 °C por 1 hora, 1 ^{ra} recuperación	D2	M2
3. Revenido a 600 °C por 1 hora, 2 ^{da} recuperación	D3	M3
4. Revenido a 600 °C por 1 hora, 3 ^{ra} recuperación	D4	M4
5. Revenido a 600 °C por 2 horas, 1 ^{ra} recuperación	D5	M5
6. Revenido a 600 °C por 2 horas, 2 ^{da} recuperación	D6	M6
7. Revenido a 600 °C por 2 horas, 3 ^{ra} recuperación	D7	M7

Fuente: El autor.

4.3 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados de los tratamientos térmicos realizados, así como de los ensayos de tracción, impacto, dureza y metalográficos llevados a cabo en el acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM como viene de fábrica y sujeto a sucesivos ciclos de recuperación por soldadura con electrodo de acero inoxidable ER 410 Ni-Mo, según los casos de estudio previamente detallados.



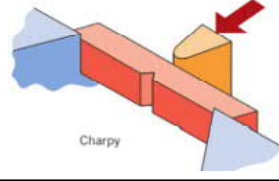
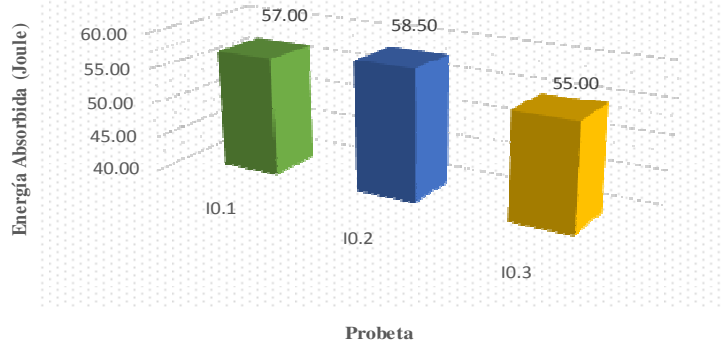
4.3.1 ANÁLISIS DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA

El acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, es suministrado en estado templado y revenido; y, se obtuvieron las siguientes propiedades mecánicas:




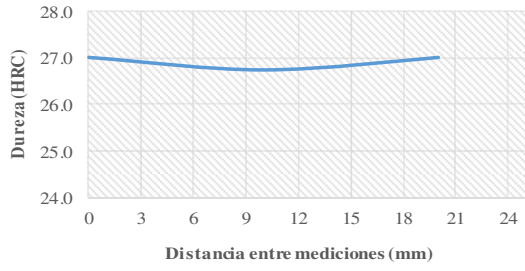

4.3.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.:	ETT-REG-CC06	Revisión: 1			Hoja: 1 de 1				
ESPECÍMEN: Probeta plana de tracción "Material Base"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPEJOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO			TRATAMIENTO TÉRMICO						
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 1/2/3/4			Tipo: Ninguno						
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 17/12/2016			Temperatura de Tratamiento: No aplica						
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav					Tiempo de Sostentamiento: No aplica						
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WAW600B		Método: Deformación controlada			Tipo de Probeta: Plana tipo lámina						
Capacidad: 600 kN		Norma Aplicable: ASTM A370-16			Sección (WxT): 12,5 x 19 mm.						
No. de Serie: 7136		ASTM E8M-15a			Longitud de calibración: 50 mm.						
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia Fy (kN)	Carga Máxima Fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T0.1	12.54	18.97	237.88	49.40	55.73	161.26	205.08	677.89	862.10	12.81	200.94
T0.2	12.45	19.00	236.55	49.70	58.40	170.46	198.44	720.61	838.89	17.51	196.82
T0.3	12.45	19.00	236.55	50.90	63.10	163.88	198.02	692.79	837.12	23.97	192.39
T0.4	12.42	18.91	234.86	50.40	63.40	160.72	196.80	684.32	837.94	25.79	199.23
Lo: Longitud inicial		Sy: Resistencia a la Fluencia			TT: Tratamiento Térmico						
Lf: Longitud final		St: Resistencia a la Tracción									
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Material Base (Templado y Revenido)											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 693,90 MPa y de 844,01 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR:				REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



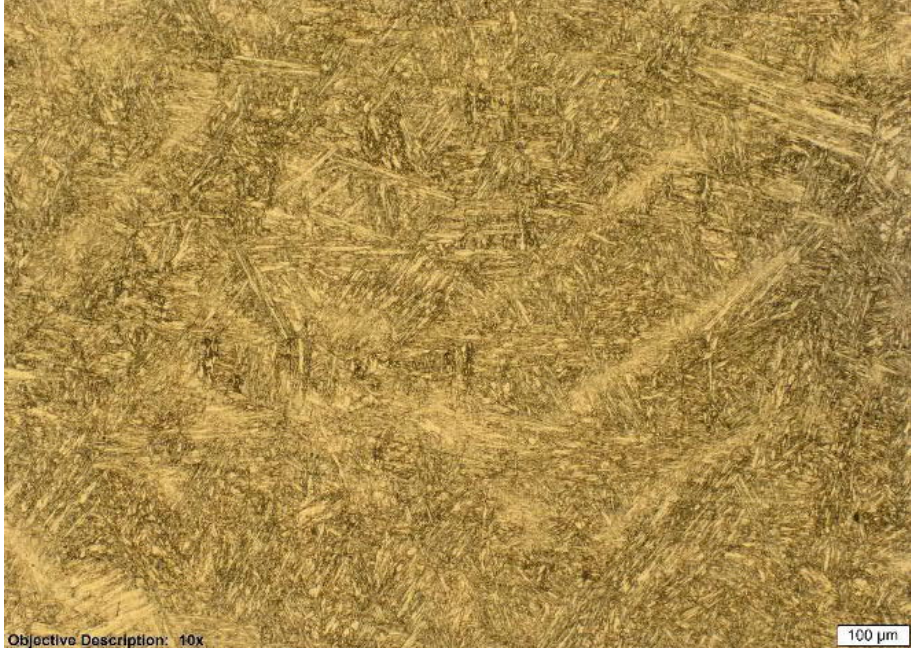
4.3.1.2 ENSAYO DE IMPACTO DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA



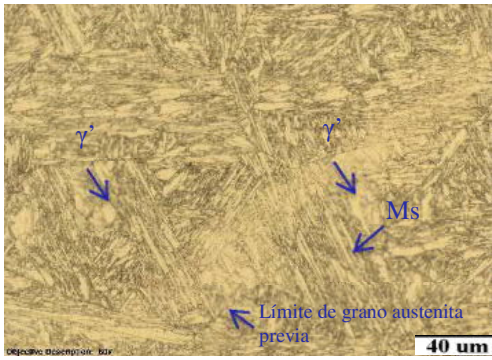
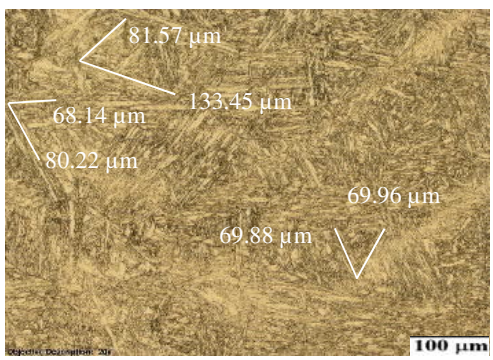
		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.:	ETT-REG-CC07	Revisión:			1	Hoja:	1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 03/03/2017				
ESPECÍMEN:	Probeta Charpy "Material Base"		DIMENSIONES:	10 x 10 mm.		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD:	55 mm.		
CANTIDAD:	3		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-06		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/>		Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>			
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN			ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Solicitado Por: Ing. Juan Auz			Ensayo No.: 1/2/3		Tipo: Ninguno	
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán			Fecha de realización: 03/03/2017		Temperatura de Tratamiento: No aplica	
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH			Temperatura Ambiente: 21 °C		Tiempo de Sostentamiento: No aplica	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto			Método: Charpy		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A	
Capacidad: 320 J			Norma Aplicable: ASTM A370-16		Dimensiones: 10 x 10 mm.	
No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica			ASTM E23-07a1		Longitud: 55 mm.	
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
10.1	10.02	10.02	1.99	0.8046	57.00	Dúctil
10.2	10.01	10.06	2.00	0.8058	58.50	Dúctil
10.3	10.02	10.01	2.00	0.8028	55.00	Dúctil
Promedio					56.83	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p style="text-align: center;">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Material Base (Templado y Revenido)</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA						
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura de tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia ligeramente brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.						
OBSERVACIONES						
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 56,83 Joules; el mayor valor registrado es de 58,50 Joules.						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.1.3 ENSAYO DE DUREZA DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-CC05	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1	
Cliente: CELEC EP		Fecha: 29/10/2016			
EQUIPO/PIEZA:	Placa de "Material Base"	CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	0.04 kg		
DIMENSIONES:	50 x 10 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	10 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	-		
No. SERIE:	D0	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>				
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TIPO DE ENSAYO	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	D0	<input checked="" type="checkbox"/>	De Laboratorio
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Fecha de realización:	29/10/2016	<input type="checkbox"/>	De Proceso/Taller
Lugar de realización:	CIRT	Temperatura Ambiente:	22,5 °C	<input type="checkbox"/>	De Campo
		Humedad Relativa:	68 %		
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
Tipo:	Ninguno		Marca:	EMCOTEST	
Temperatura de Tratamiento:	No aplica		Modelo:	N4B000	Identador: EMCO 5497
Tiempo de Sostentamiento:	No aplica		No. de Serie:	6642	Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA					
Método:	Dureza Rockwell		Pre-carga:	10 Kgf	
Norma Aplicable:	ASTM A370-16, ASTM E18-15		Carga aplicada:	150 Kgf	
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°		Tiempo de aplicación:	10 s	
RESULTADOS					
			<p>DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Material Base (Templado y Revenido)</p> 		
No.	Distancia entre mediciones (mm)	Dureza HRC			
1	0	27.0			
2	10	26.8			
3	20	27.0			
					
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
La dureza promedio obtenida para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM en estado templado y revenido, es de 26,9 HRC. El máximo valor registrado es de 27,0 HRC y el mínimo es 26,8 HRC.					
OBSERVACIONES					
ELABORADO POR:			REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.1.4 METALOGRAFÍA DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA



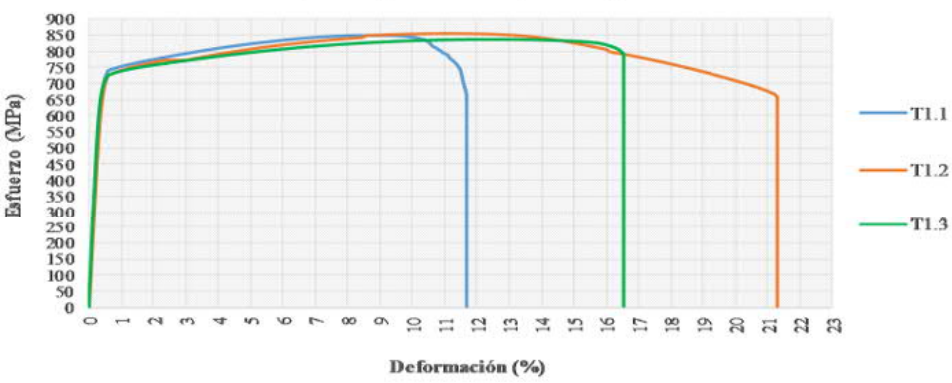
	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>				
	Reg. No.:	ETT-REG-CC08	Revisión: 1		Hoja: 1 de 2
	Cliente:	CELEC EP	Fecha:		03/04/2017
ESTADO/FASE: Fundición <input checked="" type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	01	Temperatura Ambiente: 22.1 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M0	Humedad Relativa: 65.3 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	03/04/2017	Velocidad del Aire: Estático	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	No aplica	Tipo: Ninguno	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura: -	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostenimiento: -	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de estudio:	De laboratorio	Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido	Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662	Tiempo de ataque:	135 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1	Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS					
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM COMO VIENE DE FÁBRICA					
					
Microestructura del acero ASTM A743 grado CA6-NM, templado y revenido, 100X, Vilella					

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>		
		Reg. No.: ETT-REG-CC08	Revisión: 1		Hoja: 2 de 2
		Cliente: CELEC EP	Fecha: 03/04/2017	
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE				
		Material: Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 grado CA6-NM T. Térmico: Templado y revenido Zona: Material base Reactivo: Vilella Magnificación: 500X Componentes microestructurales: - Martensita revenida (Ms) - Austenita retenida (γ')		
DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA				
Cálculo: Tamaño promedio de listones				
Magnificación: 200X				
$La = (81.57 \mu\text{m} + 133.45 \mu\text{m}) / 2 = 107.51 \mu\text{m}$ $Lb = (80.22 \mu\text{m} + 68.14 \mu\text{m}) / 2 = 74.18 \mu\text{m}$ $Lc = (69.96 \mu\text{m} + 69.88 \mu\text{m}) / 2 = 69.92 \mu\text{m}$				
$L0 = (La + Lb + Lc) / 3$ $L0 = (107.51 \mu\text{m} + 74.18 \mu\text{m} + 69.92 \mu\text{m}) / 3$ $L0 = 83.87 \mu\text{m}$				
OBSERVACIONES:				
Microestructura de matriz martensítica revenida (Ms) con morfología acicular ordenada en paquetes de listones paralelos orientados en diferentes planos de crecimiento, conformando una estructura gruesa. Discretos espacios de austenita retenida (γ'). Puede observarse ligeramente los límites de grano de la austenita previa. La longitud promedio de los listones de martensita revenida (Ms) del acero ASTM A743 grado CA6-NM es de 83.87 μm.				



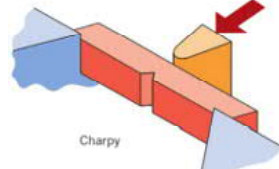
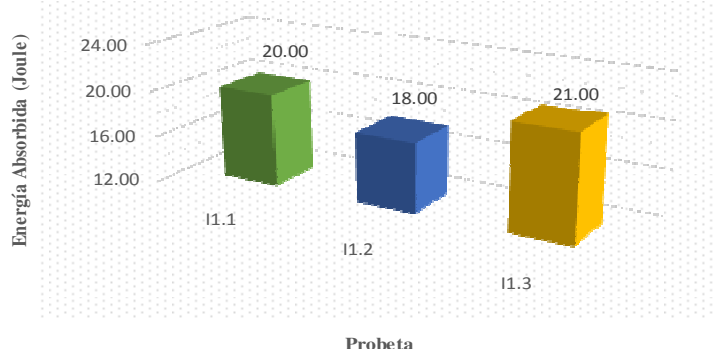
4.3.2 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

Para el caso de estudio de la soldadura de recuperación del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo sin tratamiento térmico post soldadura se determinaron las siguientes propiedades mecánicas:



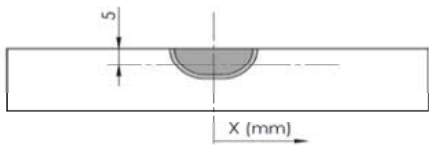
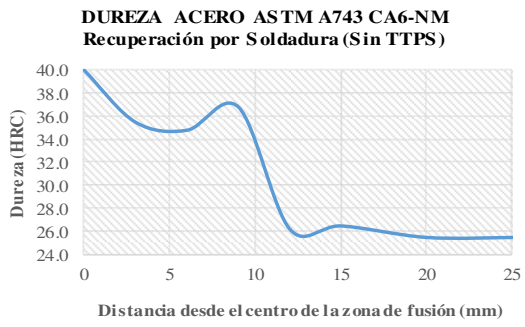
4.3.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:							
		ETT-REG-CC06	1	1 de 1							
		Cliente: CELEC EP	Fecha:	17/12/2016							
ESPECÍMEN:	Probeta plana de tracción "Como Soldado"		DIMENSIONES (LxC):	250 x 20 mm.							
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR:	19 mm.							
CANTIDAD:	4		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-03							
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>										
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO							
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 5/6/7/8		Tipo: Ninguno							
Realizado Por: Ing. Anibal Villán		Fecha de realización: 17/12/2016		Temperatura de Tratamiento: No aplica							
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav				Tiempo de Sostentamiento: No aplica							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WAW600B		Método: Deformación controlada		Tipo de Probeta: Plana tipo lámina							
Capacidad: 600 kN		Norma Aplicable: ASTM A370-16		Sección (WxL): 12.5 x 19 mm.							
No. de Serie: 7136		ASTM E8M-15a		Longitud de calibración: 50 mm.							
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	L _o (mm)	L _f (mm)	Carga de Fluencia F _y (kN)	Carga Máxima F _u (kN)	S _y (MPa)	S _t (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T1.1	12.34	18.93	233.60	50.70	56.85	172.18	198.26	737.08	848.73	12.13	188.66
T1.2	12.34	18.96	233.97	50.40	56.05	169.56	199.90	724.72	854.40	11.21	187.11
T1.3	12.57	19.05	239.46	49.49	55.91	171.54	200.26	716.37	836.30	12.97	204.11
T1.4	12.35	19.00	234.65	50.70	57.50	168.44	199.72	717.84	851.14	13.41	193.40
L _o : Longitud inicial		S _y : Resistencia a la Fluencia		TT: Tratamiento Térmico							
L _f : Longitud final		S _t : Resistencia a la Tracción									
DIAGRAMA ES FUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Recuperación por Soldadura (Sin TTPS)											
											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 724,00 MPa y de 847,64 MPa para la resistencia a la tracción. Para la probeta T1.4 el software no guardó los valores del diagrama es fuerza-deformación.											
La deformación total presenta alta variación debido a la pérdida de homogeneidad de la estructura del material ocasionado por el depósito de soldadura.											
ELABORADO POR:			REVISADO POR:								
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca								
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA								



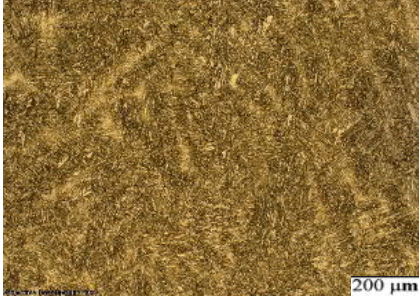

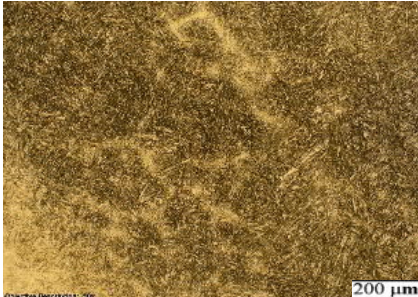
4.3.2.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.:	ETT-REG-CC07	Revisión:			1	Hoja:	1 de 1
ESPECÍMEN: Probeta Charpy "Como Soldado"		DIMENSIONES: 10 x 10 mm.				
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD: 55 mm.				
CANTIDAD: 3		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-06				
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN			ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Solicitado Por: Ing. Juan Auz			Ensayo No.: 4/5/6		Tipo: Ninguno	
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán			Fecha de realización: 03/03/2017		Temperatura de Tratamiento: No aplica	
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH			Temperatura Ambiente: 21 °C		Tiempo de Sostentamiento: No aplica	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto			Método: Charpy		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A	
Capacidad: 320 J			Norma Aplicable: ASTM A370-16		Dimensiones: 10 x 10 mm.	
No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica			ASTM E23-07a1		Longitud: 55 mm.	
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
11.1	10.04	10.05	1.99	0.8090	20.00	Ductil-Fragil
11.2	10.00	10.01	1.99	0.8018	18.00	Ductil-Fragil
11.3	10.04	10.07	1.99	0.8106	21.00	Ductil-Fragil
Promedio					19.67	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p style="text-align: center;">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Recuperación por Soldadura (Sin TTPS)</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA						
Superficie irregular que presenta ligera deformación plástica con región de fractura de tasa y cono con pequeños labios de cizalladura a 45° aproximadamente. Topografía granular y fibrosa con apariencia opaca y brillante respectivamente. Muestra características de mecanismos de fractura dúctil y frágil.						
OBSERVACIONES						
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 19,67 Joules; el mayor valor registrado es de 21,00 Joules.						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.2.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-CC05	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1	
Cliente: CELEC EP		Fecha: 21/11/2016			
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación	CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	0.55 kg		
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	-		
No. SERIE:	D1	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>				
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TIPO DE ENSAYO	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	D1	<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Fecha de realización:	21/11/2016	<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller	
Lugar de realización:	CIRT	Temperatura Ambiente:	21,8 °C	<input type="checkbox"/> De Campo	
		Humedad Relativa:	66 %		
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
Tipo:	Ninguno		Marca:	EMCOTEST	
Temperatura de Tratamiento:	No aplica		Modelo:	N4B000	Identador: EMCO 5497
Tiempo de Sostentamiento:	No aplica		No. de Serie:	6642	Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA					
Método:	Dureza Rockwell		Pre-carga:	10 Kgf	
Norma Aplicable:	ASTM A370-16, ASTM E18-15		Carga aplicada:	150 Kgf	
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°		Tiempo de aplicación:	10 s	
RESULTADOS					
			 <p>DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Recuperación por Soldadura (Sin TTPS)</p>		
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC			
1	0	40.0			
2	3	35.5			
3	6	34.8			
4	9	36.8			
5	12	26.2			
6	15	26.5			
7	20	25.5			
8	25	25.5			
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
La dureza máxima obtenida para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y sin tratamiento térmico es de 40,0 HRC en el centro de la soldadura y la dureza mínima registrada es de 25,5 HRC en el material base a una distancia de 20 mm. desde el centro de la zona de fusión.					
OBSERVACIONES					
ELABORADO POR:			REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.2.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>				
	Reg. No.:	ETT-REG-CC08	Revisión: 1		Hoja: 1 de 3
	Cliente:	CELEC EP	Fecha:		03/04/2017
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>					
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	02	Temperatura Ambiente: 22.1 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M1	Humedad Relativa: 65.3 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	03/04/2017	Velocidad del Aire: Estático	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo: Ninguno	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura: No aplica	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostenimiento: NA	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de estudio:	De laboratorio	Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido	Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662	Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1	Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS					
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO					
					
Material Base		Zona de Fusión			
					
ZAT					
Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, sin TTPS, 100X, Vilella					



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 2 de 3

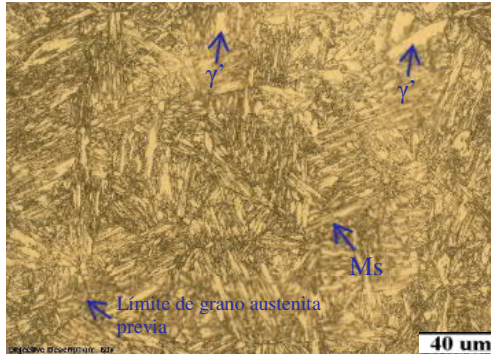
Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
ASTM A743 grado CA6-NM

T. Térmico: Ninguno
Zona: Material Base
Reactivo: Vilella
Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (60.44 \mu\text{m} + 58.27 \mu\text{m}) / 2 = 59.36 \mu\text{m}$$

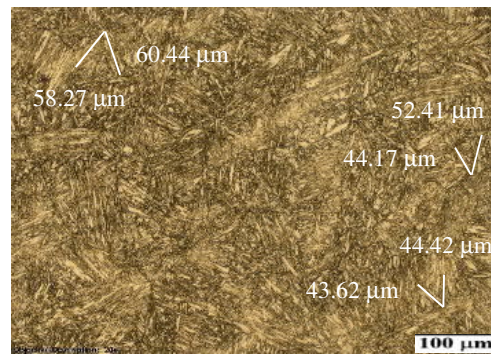
$$Lb = (52.41 \mu\text{m} + 44.17 \mu\text{m}) / 2 = 48.29 \mu\text{m}$$

$$Lc = (43.62 \mu\text{m} + 44.42 \mu\text{m}) / 2 = 44.02 \mu\text{m}$$

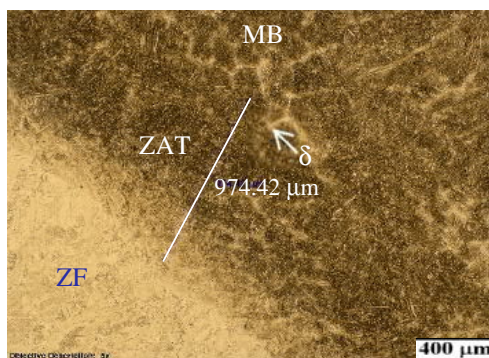
$$L1 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L1 = (59.36 \mu\text{m} + 48.29 \mu\text{m} + 44.02 \mu\text{m}) / 3$$

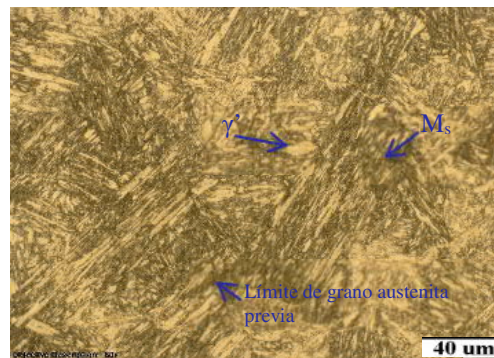
$$L1 = 50.56 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 974.42 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')
- Ferrita (δ)



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO
Metallographic Test



Reg. No.: ETT-REG-CC08 Revisión: 1 Hoja: 3 de 3
 Cliente: CELEC EP Fecha: 03/04/2017

ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (78.92 \mu\text{m} + 81.63 \mu\text{m}) / 2 = 80.28 \mu\text{m}$$

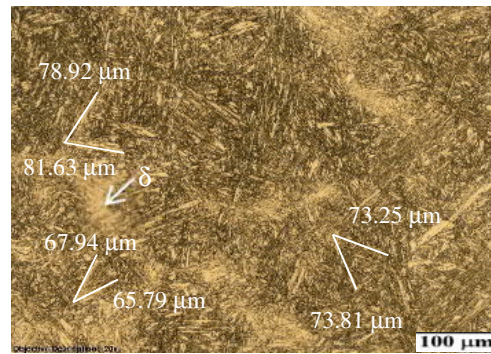
$$Lb = (73.81 \mu\text{m} + 73.25 \mu\text{m}) / 2 = 73.53 \mu\text{m}$$

$$Lc = (67.94 \mu\text{m} + 65.79 \mu\text{m}) / 2 = 66.87 \mu\text{m}$$

$$L1 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L1 = (80.28 \mu\text{m} + 73.53 \mu\text{m} + 66.87 \mu\text{m}) / 3$$

$$L1 = 73.56 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Ninguno
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita fresca (M_{sf})

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$L_{\text{fino}} = (9089.22 \text{ nm} + 8034.90 \text{ nm} + 7126.03 \text{ nm}) / 3$$

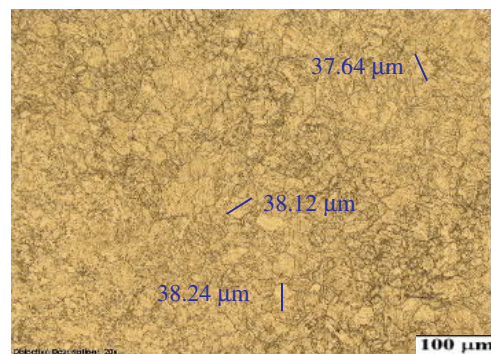
$$L_{\text{fino}} = 8083.38 \text{ nm}$$

$$L_{\text{medio}} = (38.24 \mu\text{m} + 38.12 \mu\text{m} + 37.64 \mu\text{m}) / 3$$

$$L_{\text{medio}} = 38.00 \mu\text{m}$$

$$L_{\text{grueso}} = (55.98 \mu\text{m} + 51.04 \mu\text{m} + 48.02 \mu\text{m}) / 3$$

$$L_{\text{grueso}} = 51.68 \mu\text{m}$$



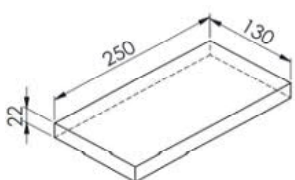
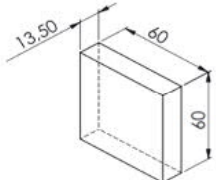
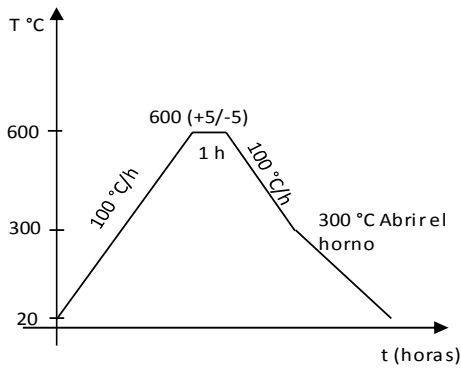


OBSERVACIONES:

En el MB y ZAT se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (M_s) y fase secundaria austenita retenida (γ'), en la zona de fusión la estructura es martensita fresca (M_{sf}). Se observa variación en la morfología de la ZF con una estructura fina, media y gruesa de la martensita debido al refinamiento de grano.

En la ZAT se puede verificar las diferentes regiones que la conforman y pequeñas islas de ferrita (δ).

4.3.3 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 3 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 18 Kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-TTPS-01			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente					
VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C					
TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5)					
TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 1					
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno)					
TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300					
TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente					
TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 16					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S)		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
 <p>Pieza 1 (3 unidades)</p>  <p>Pieza 2 (3 unidades)</p>					
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T2, T3 y T4; y placas: I2, I3 e I4. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

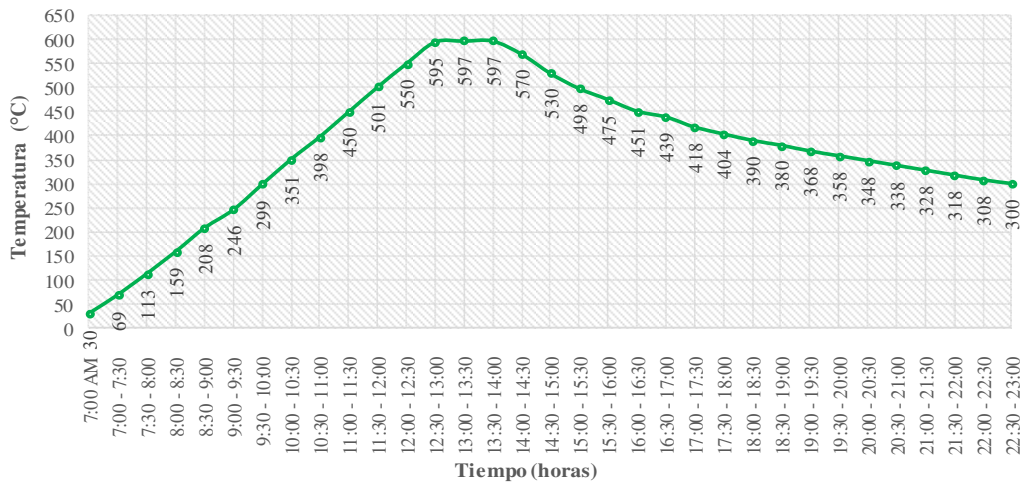


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 23/11/2016	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	7:00 AM	30	18	15:00 - 15:30	498
2	7:00 - 7:30	69	19	15:30 - 16:00	475
3	7:30 - 8:00	113	20	16:00 - 16:30	451
4	8:00 - 8:30	159	21	16:30 - 17:00	439
5	8:30 - 9:00	208	22	17:00 - 17:30	418
6	9:00 - 9:30	246	23	17:30 - 18:00	404
7	9:30 - 10:00	299	24	18:00 - 18:30	390
8	10:00 - 10:30	351	25	18:30 - 19:00	380
9	10:30 - 11:00	398	26	19:00 - 19:30	368
10	11:00 - 11:30	450	27	19:30 - 20:00	358
11	11:30 - 12:00	501	28	20:00 - 20:30	348
12	12:00 - 12:30	550	29	20:30 - 21:00	338
13	12:30 - 13:00	595	30	21:00 - 21:30	328
14	13:00 - 13:30	597	31	21:30 - 22:00	318
15	13:30 - 14:00	597	32	22:00 - 22:30	308
16	14:00 - 14:30	570	33	22:30 - 23:00	300
17	14:30 - 15:00	530			

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 1^{RA} RECUPERACIÓN**



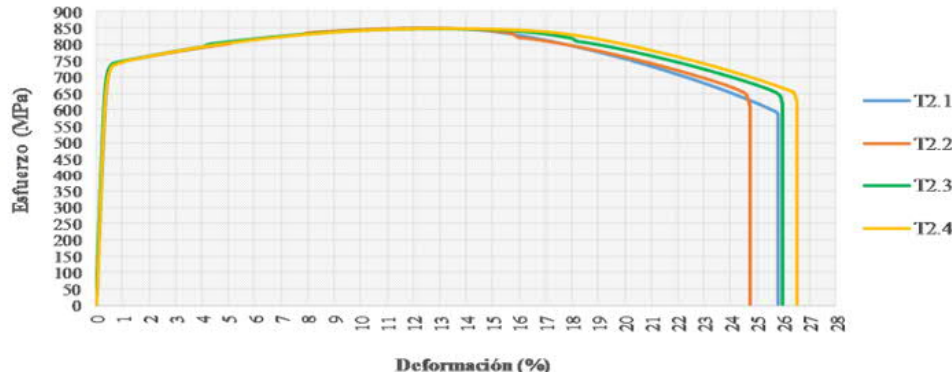


CONCLUSIÓN:



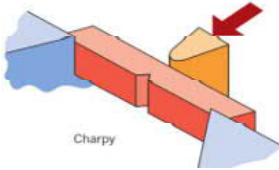
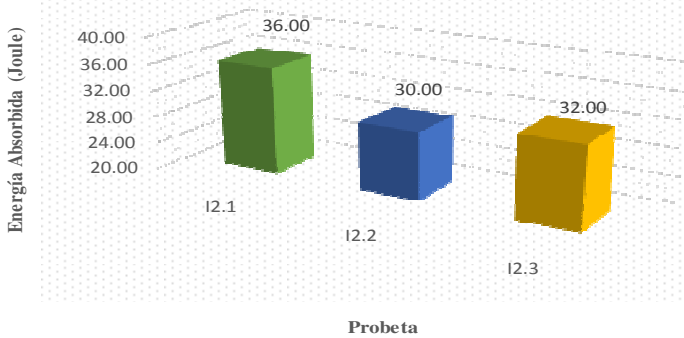
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



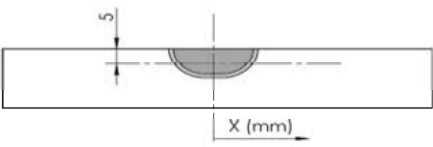
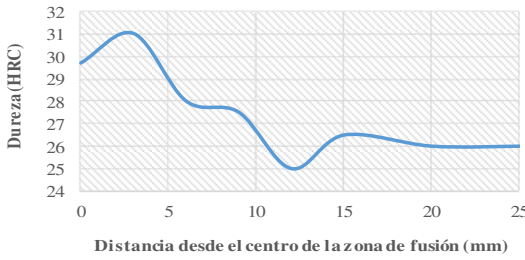
4.3.3.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO			TRATAMIENTO TÉRMICO						
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 9/10/11/12			Tipo: Revenido post soldadura						
Realizado Por: Ing. Anibal Viñán		Fecha de realización: 17/12/2016			Temperatura de Tratamiento: 600 °C						
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav					Tiempo de Sostencimiento: 1 h						
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WAW600B		Método: Deformación controlada			Tipo de Probeta: Plana tipo lámina						
Capacidad: 600 kN		Norma Aplicable: ASIM A370-16			Sección (WxI): 12,5 x 19 mm.						
No. de Serie: 7136		ASIM E8M-15a			Longitud de calibración: 50 mm.						
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia fy (kN)	Carga Máxima fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T2.1	12.44	19.05	236.98	50.40	62.70	174.30	201.37	735.50	849.52	23.41	183.05
T2.2	12.43	19.03	236.54	50.00	60.80	173.04	200.86	731.54	849.15	21.60	193.17
T2.3	12.45	19.02	236.80	50.00	61.00	174.02	200.58	734.88	847.05	22.00	202.59
T2.4	12.36	19.02	235.09	49.90	61.30	170.90	199.36	726.96	848.03	22.85	191.68
Lo: Longitud inicial		Sy: Resistencia a la Fluencia			TT: Tratamiento Térmico						
Lf: Longitud final		St: Resistencia a la Tracción									
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación											
											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 732,22 MPa y de 848,43 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR:				REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



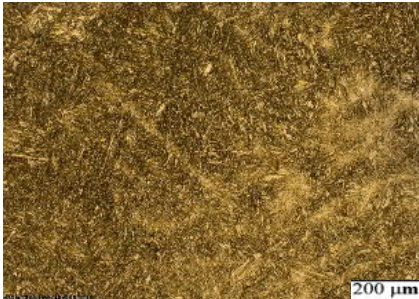
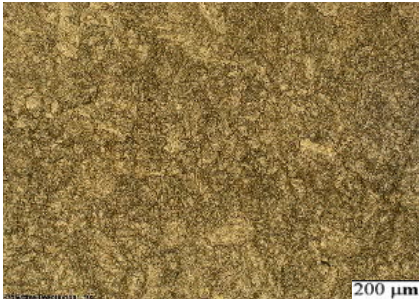
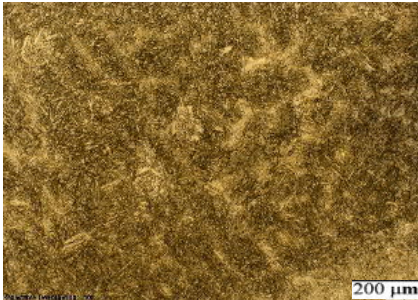
**4.3.3.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC07	1	1 de 1		
		Cliente: CELEC EP	Fecha:	03/03/2017		
ESPECÍMEN:	Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES:	10 x 10 mm.		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD:	55 mm.		
CANTIDAD:	3		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-06		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 7/8/9		Tipo: Revenido post soldadura		
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 03/03/2017		Temperatura de Tratamiento: 600 °C		
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		Temperatura Ambiente: 21 °C		Tiempo de Sostenimiento: 1 h		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto		Método: Charpy		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A		
Capacidad: 320 J		Norma Aplicable: ASTM A370-16		Dimensiones: 10 x 10 mm.		
No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		ASTM E23-07a1		Longitud: 55 mm.		
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
12.1	9.98	10.07	2.00	0.8036	36.00	Dúctil
12.2	9.97	10.07	2.00	0.8026	30.00	Dúctil
12.3	9.93	9.94	1.99	0.7892	32.00	Dúctil
Promedio					32.67	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p align="center">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA						
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.						
OBSERVACIONES						
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 32,67 Joules; el mayor valor registrado es de 36,00 Joules.						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

**4.3.3.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA}
RECUPERACIÓN**

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 29/11/2016	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación	CANTIDAD:	1
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	0.55 kg
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	-
No. SERIE:	D2	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>		
DATOS INFORMATIVOS			
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	D2
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Fecha de realización:	29/11/2016
Lugar de realización:	CIRT	Temperatura Ambiente:	21,2 °C
		Humedad Relativa:	62 %
		TIPO DE ENSAYO	
		<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio	
		<input type="checkbox"/> De Proceso/Faller	
		<input type="checkbox"/> De Campo	
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO	
Tipo:	Revenido post soldadura	Marca:	EMCOTEST
Temperatura de Tratamiento:	600 °C	Modelo:	N4B000 Identador: EMCO 5497
Tiempo de Sostentamiento:	1 h	No. de Serie:	6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Dureza Rockwell	Pre-carga:	10 Kgf
Norma Aplicable:	ASTM A370-16, ASTM E18-15	Carga aplicada:	150 Kgf
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°	Tiempo de aplicación:	10 s
RESULTADOS			
		DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación	
			
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC	
1	0	29.7	
2	3	31.0	
3	6	28.0	
4	9	27.5	
5	12	25.0	
6	15	26.5	
7	20	26.0	
8	25	26.0	
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS			
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 1 hora es de 31,0 HRC a 3 mm. de distancia desde el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 25,0 HRC a una distancia de 12 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión.			
OBSERVACIONES			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca	
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA	

4.3.3.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRAFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.: ETT-REG-CC08		Revisión: 1	Hoja: 1 de 3			
Cliente: CELEC EP		Fecha: 03/04/2017				
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 03		Temperatura Ambiente: 22.1 °C		
Realizado Por: Ing. Juan Auz		Id. probeta: M2		Humedad Relativa: 65.3 %		
Centro de Análisis: CIRT		Fecha de realización: 03/04/2017		Velocidad del Aire: Estático		
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material: Acero Inoxidable		Proceso: GMAW		Tipo: Revenido		
Especificación: ASTM A743		Electrodo A: ER 410Ni-Mo		Temperatura: 600 °C		
Grado/Tipo: CA6-NM		Electrodo B: No aplica		Tiempo de Sostenimiento: 1 h		
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRAFICO						
Tipo de estudio: De laboratorio		Preparación de la superficie: Pulido Mecánico				
Equipo: Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación: 1 hora				
Modelo/Serie: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 135/180 seg				
Norma Aplicable: ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)				
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1 ^{RA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT						
Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 1 h, 100X, Vilella						



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 2 de 3

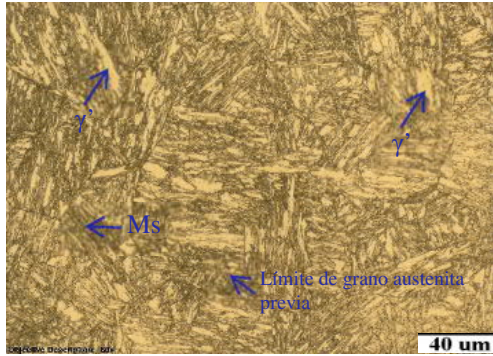
Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (73.89 \mu\text{m} + 76.66 \mu\text{m}) / 2 = 75.28 \mu\text{m}$$

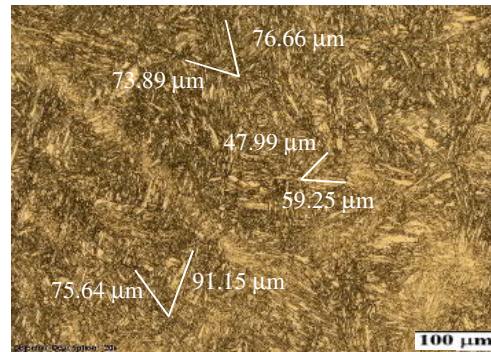
$$Lb = (59.25 \mu\text{m} + 47.99 \mu\text{m}) / 2 = 53.62 \mu\text{m}$$

$$Lc = (75.64 \mu\text{m} + 91.15 \mu\text{m}) / 2 = 83.40 \mu\text{m}$$

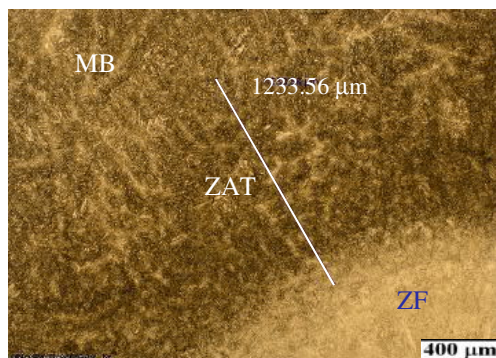
$$L2 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L2 = (75.28 \mu\text{m} + 53.62 \mu\text{m} + 83.40 \mu\text{m}) / 3$$

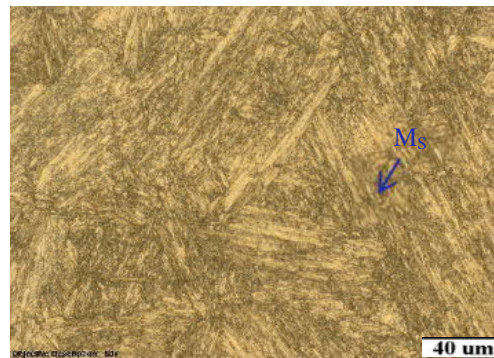
$$L2 = 70.77 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 1233.56 μm . Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Ferrita (δ)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08 Revisión: 1 Hoja: 3 de 3
 Cliente: CELEC EP Fecha: 03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (114.76 \mu\text{m} + 100.39 \mu\text{m}) / 2 = 107.58 \mu\text{m}$$

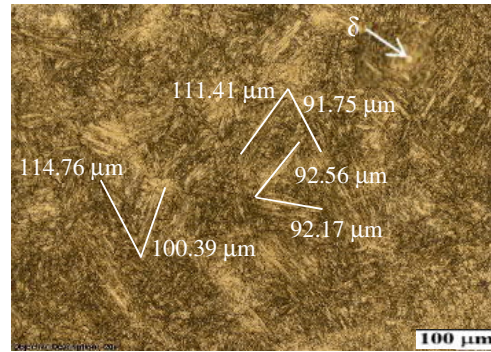
$$Lb = (111.41 \mu\text{m} + 91.75 \mu\text{m}) / 2 = 101.58 \mu\text{m}$$

$$Lc = (92.56 \mu\text{m} + 92.17 \mu\text{m}) / 2 = 92.37 \mu\text{m}$$

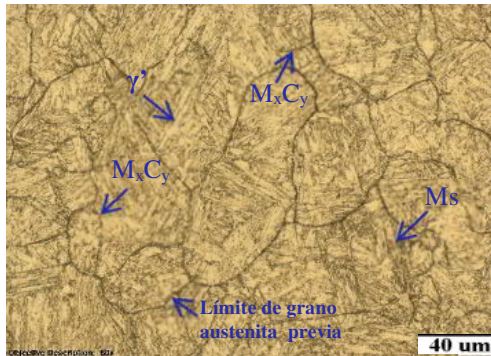
$$L2 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L2 = (107.58 \mu\text{m} + 101.58 \mu\text{m} + 92.37 \mu\text{m}) / 3$$

$$L2 = 100.51 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (59.89 \mu\text{m} + 55.74 \mu\text{m}) / 2 = 57.82 \mu\text{m}$$

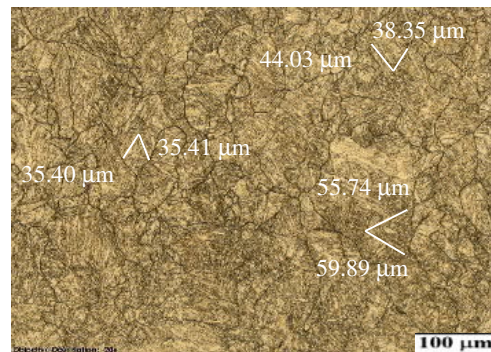
$$Lb = (44.03 \mu\text{m} + 38.35 \mu\text{m}) / 2 = 41.19 \mu\text{m}$$

$$Lc = (35.40 \mu\text{m} + 35.41 \mu\text{m}) / 2 = 35.41 \mu\text{m}$$

$$L2 = (La + Lb + Lc) / 3$$



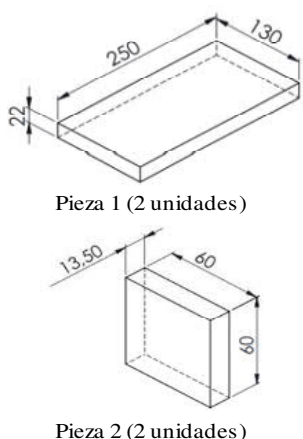
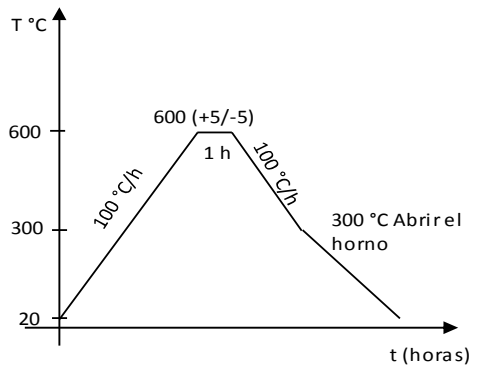
$$L2 = (57.82 \mu\text{m} + 41.19 \mu\text{m} + 35.41 \mu\text{m}) / 3$$

$$L2 = 44.81 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms) y fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra las diferentes regiones que la conforman, con martensita revenida (Ms) pequeñas islas de ferita (δ). Además, se observa el depósito de carburos en la ZF.

4.3.4 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 2 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 12 kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-TTPS-01			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5) TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 1 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno) TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300 TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 16					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S) 		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO 			
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T3 y T4; y placas: I3 e I4. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

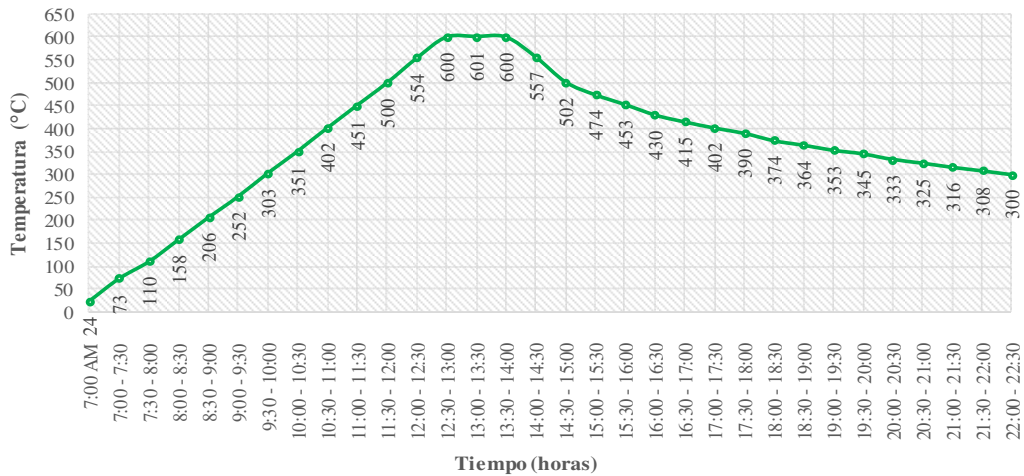


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 27/12/2016	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	7:00 AM	24	17	14:30 - 15:00	502
2	7:00 - 7:30	73	18	15:00 - 15:30	474
3	7:30 - 8:00	110	19	15:30 - 16:00	453
4	8:00 - 8:30	158	20	16:00 - 16:30	430
5	8:30 - 9:00	206	21	16:30 - 17:00	415
6	9:00 - 9:30	252	22	17:00 - 17:30	402
7	9:30 - 10:00	303	23	17:30 - 18:00	390
8	10:00 - 10:30	351	24	18:00 - 18:30	374
9	10:30 - 11:00	402	25	18:30 - 19:00	364
10	11:00 - 11:30	451	26	19:00 - 19:30	353
11	11:30 - 12:00	500	27	19:30 - 20:00	345
12	12:00 - 12:30	554	28	20:00 - 20:30	333
13	12:30 - 13:00	600	29	20:30 - 21:00	325
14	13:00 - 13:30	601	30	21:00 - 21:30	316
15	13:30 - 14:00	600	31	21:30 - 22:00	308
16	14:00 - 14:30	557	32	22:00 - 22:30	300

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 2^{DA} RECUPERACIÓN**



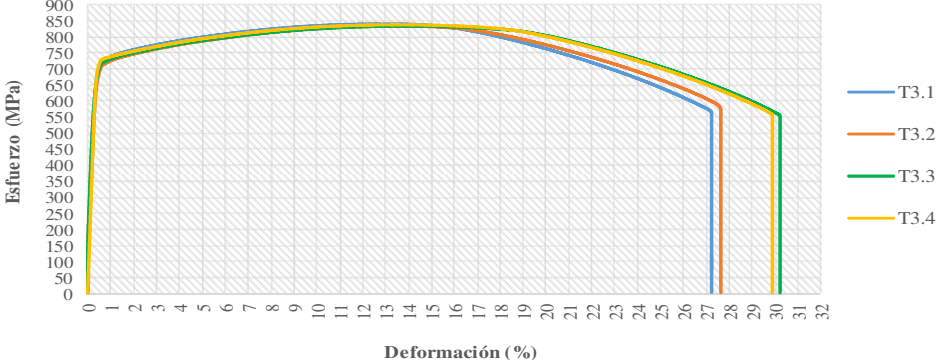


CONCLUSIÓN:



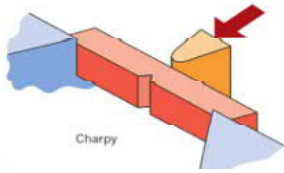
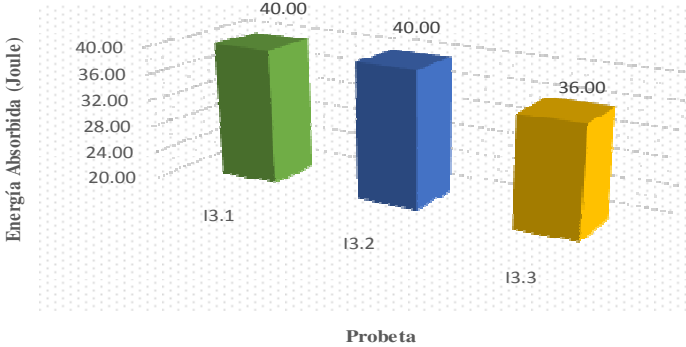
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



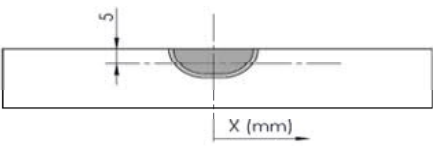
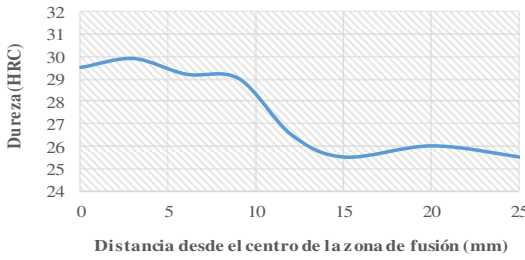
4.3.4.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
Cliente: CELEC EP		Fecha: 06/03/2017									
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio LenMav		ENSAYO Ensayo No.: 17/18/19/20 Fecha de realización: 06/03/2017		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostentamiento: 1 h							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WAW600B Capacidad: 600 kN No. de Serie: 7136		Método: Deformación controlada Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E8M-15a		Tipo de Probeta: Plana tipo lámina Sección (WxT): 12,5 x 19 mm. Longitud de calibración: 50 mm.							
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia Fy (kN)	Carga Máxima Fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T3.1	12.56	19.05	239.27	49.71	60.67	169.52	201.12	708.49	840.56	22.05	181.13
T3.2	12.56	19.00	238.64	50.54	61.73	167.46	198.84	701.73	833.22	22.14	177.15
T3.3	12.56	19.02	238.89	49.81	62.14	165.86	198.98	694.29	832.93	24.75	203.96
T3.4	12.47	19.07	237.80	50.34	61.74	172.22	199.16	724.21	837.50	22.65	200.22
Lo: Longitud inicial		Sy: Resistencia a la Fluencia		TT: Tratamiento Térmico							
Lf: Longitud final		St: Resistencia a la Tracción									
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación											
											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 707,18 MPa y de 836,05 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.				REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



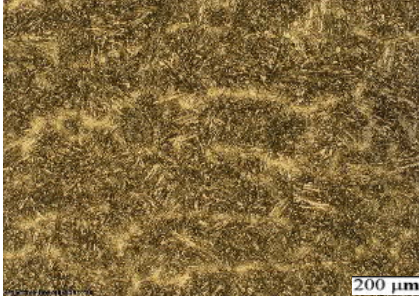
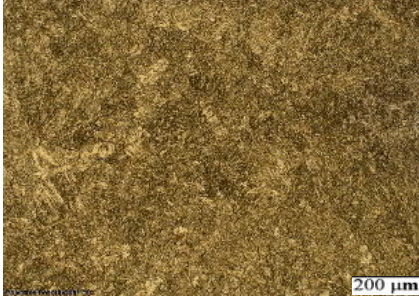
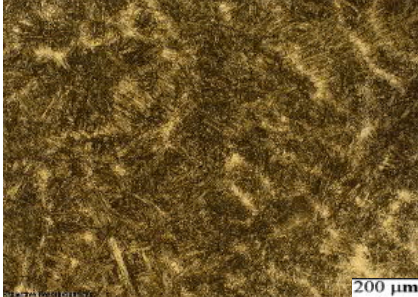
**4.3.4.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>					
		Reg. No.: ETT-REG-CC07	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1			
Cliente: CELEC EP		Fecha: 13/03/2017					
ESPECÍMEN: Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES: 10 x 10 mm.					
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD: 55 mm.					
CANTIDAD: 3		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-06					
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>							
DATOS INFORMATIVOS							
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		ENSAYO Ensayo No.: 13/14/15 Fecha de realización: 13/03/2017 Temperatura Ambiente: 21 °C		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostenimiento: 1 h			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO							
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto Capacidad: 320 J No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		Método: Charpy Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E23-07a1		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A Dimensiones: 10 x 10 mm. Longitud: 55 mm.			
RESULTADOS							
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura	
13.1	9.96	10.00	1.98	0.7980	40.00	Dúctil	
13.2	9.96	10.00	1.98	0.7980	40.00	Dúctil	
13.3	9.96	10.00	1.99	0.7970	36.00	Dúctil	
Promedio					38.67		
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA							
<p align="center"> ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación </p> 							
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA							
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.							
OBSERVACIONES							
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 38,67 Joules; el mayor valor registrado es de 40,00 Joules.							
ELABORADO POR:				REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

**4.3.4.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA}
RECUPERACIÓN**

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>																																				
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1																																	
Cliente: CELEC EP		Fecha: 09/01/2017																																		
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación	CANTIDAD:	1																																	
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	0.55 kg																																	
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-																																	
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	-																																	
No. SERIE:	D3	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05																																	
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>																																			
DATOS INFORMATIVOS																																				
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO																																		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	D3																																	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Fecha de realización:	09/01/2017																																	
Lugar de realización:	CIRT	Temperatura Ambiente:	22,4 °C																																	
		Humedad Relativa:	73 %																																	
		TIPO DE ENSAYO																																		
		<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio																																		
		<input type="checkbox"/> De Proceso/Faller																																		
		<input type="checkbox"/> De Campo																																		
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO																																		
Tipo:	Revenido post soldadura	Marca:	EMCOTEST																																	
Temperatura de Tratamiento:	600 °C	Modelo:	N4B000 Identador: EMCO 5497																																	
Tiempo de Sostenimiento:	1 h	No. de Serie:	6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)																																	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA																																				
Método:	Dureza Rockwell	Pre-carga:	10 Kgf																																	
Norma Aplicable:	ASTM A370-16, ASTM E18-15	Carga aplicada:	150 Kgf																																	
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°	Tiempo de aplicación:	10 s																																	
RESULTADOS																																				
		DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>No.</th> <th>Distancia desde el centro (mm)</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>29.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>29.9</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td><td>29.2</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td><td>29.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>12</td><td>26.5</td></tr> <tr><td>6</td><td>15</td><td>25.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>20</td><td>26.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>25</td><td>25.5</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>		No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC	1	0	29.5	2	3	29.9	3	6	29.2	4	9	29.0	5	12	26.5	6	15	25.5	7	20	26.0	8	25	25.5								
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC																																		
1	0	29.5																																		
2	3	29.9																																		
3	6	29.2																																		
4	9	29.0																																		
5	12	26.5																																		
6	15	25.5																																		
7	20	26.0																																		
8	25	25.5																																		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS																																				
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 1 hora es de 29,9 HRC a 3 mm. de distancia desde el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 25,5 HRC a una distancia de 15 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión y en el material base.																																				
OBSERVACIONES																																				
ELABORADO POR:		REVISADO POR:																																		
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca																																		
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA																																		

4.3.4.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC08	Revisión:	1	Hoja: 1 de 3	
Cliente:		CELEC EP	Fecha:	03/04/2017		
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	04	Temperatura Ambiente:	21.8 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M3	Humedad Relativa:	66.7 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	04/04/2017	Velocidad del Aire:	Estático	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo:	Revenido	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura:	600 °C	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostenimiento:	1 h	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO						
Tipo de estudio:	De laboratorio		Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 1 h, 100X, Vilella						



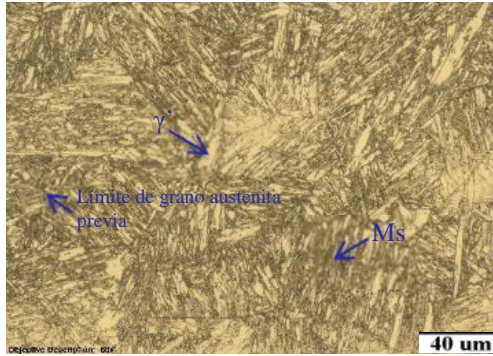
**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08	Revisión: 1	Hoja: 2 de 3
Cliente: CELEC EP	Fecha: 03/04/2017	



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (107.29 \mu\text{m} + 87.22 \mu\text{m}) / 2 = 97.26 \mu\text{m}$$

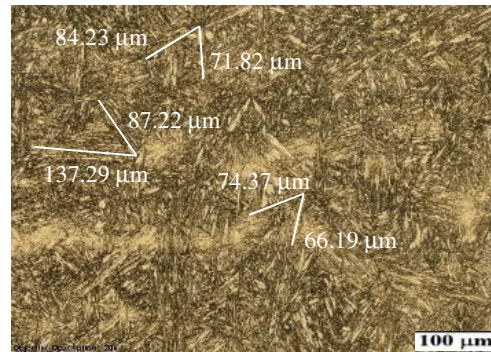
$$Lb = (84.23 \mu\text{m} + 71.82 \mu\text{m}) / 2 = 78.03 \mu\text{m}$$

$$Lc = (74.37 \mu\text{m} + 66.19 \mu\text{m}) / 2 = 70.28 \mu\text{m}$$

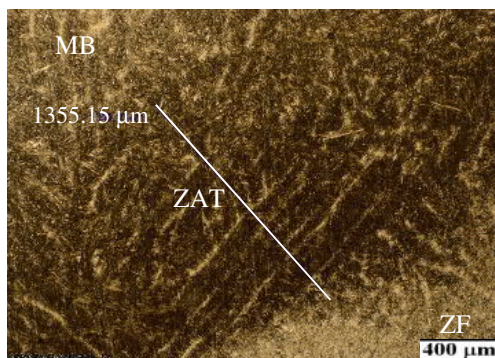
$$L3 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L3 = (97.26 \mu\text{m} + 78.03 \mu\text{m} + 70.28 \mu\text{m}) / 3$$

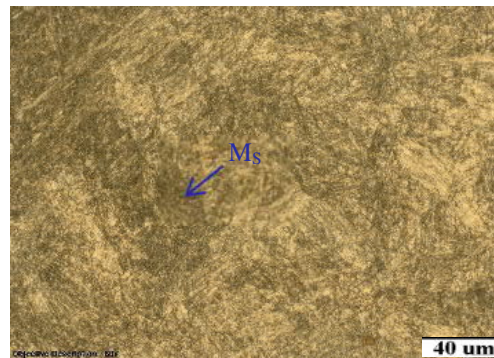
$$L3 = 81.86 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 1355.15 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Ferrita (δ)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08 Revisión: 1 Hoja: 3 de 3
 Cliente: CELEC EP Fecha: 03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (189.87 \mu\text{m} + 188.74 \mu\text{m}) / 2 = 189.31 \mu\text{m}$$

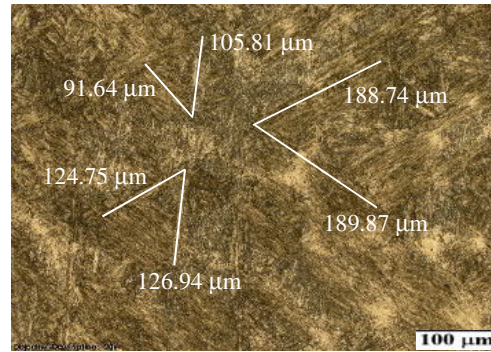
$$Lb = (126.94 \mu\text{m} + 124.75 \mu\text{m}) / 2 = 125.85 \mu\text{m}$$

$$Lc = (105.81 \mu\text{m} + 91.64 \mu\text{m}) / 2 = 98.73 \mu\text{m}$$

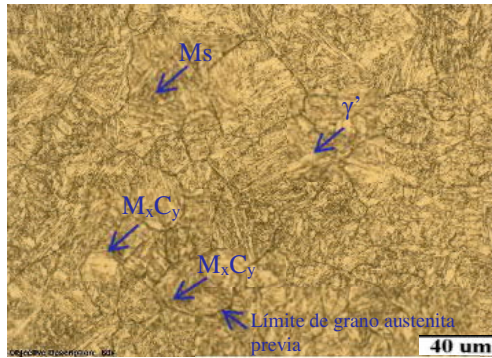
$$L3 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L3 = (189.31 \mu\text{m} + 125.85 \mu\text{m} + 98.73 \mu\text{m}) / 3$$

$$L3 = 137.96 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (41.42 \mu\text{m} + 35.63 \mu\text{m}) / 2 = 38.53 \mu\text{m}$$

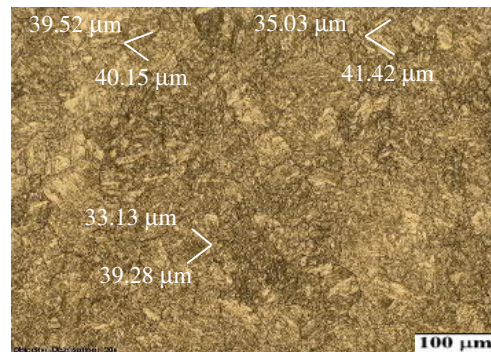
$$Lb = (40.15 \mu\text{m} + 39.52 \mu\text{m}) / 2 = 39.84 \mu\text{m}$$

$$Lc = (39.28 \mu\text{m} + 33.13 \mu\text{m}) / 2 = 36.21 \mu\text{m}$$

$$L3 = (La + Lb + Lc) / 3$$



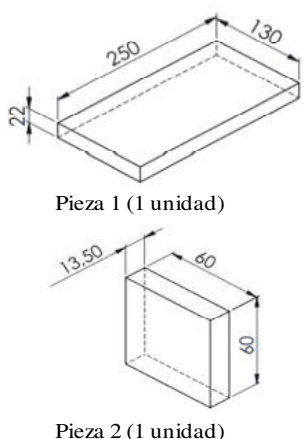
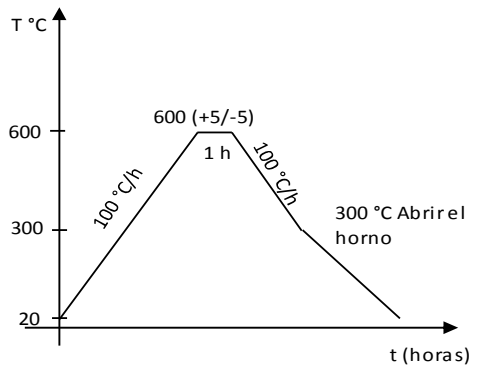
$$L3 = (38.53 \mu\text{m} + 39.84 \mu\text{m} + 36.21 \mu\text{m}) / 3$$

$$L3 = 38.19 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms) y fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra las diferentes regiones que la conforman con martensita revenida (Ms) y Ferrita (δ). Además, se observa el depósito de carburos en la ZF.

4.3.5 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 1 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 6 kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-TTPS-01			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5) TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 1 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno) TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300 TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 16					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S) 		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO 			
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T4 e I4. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

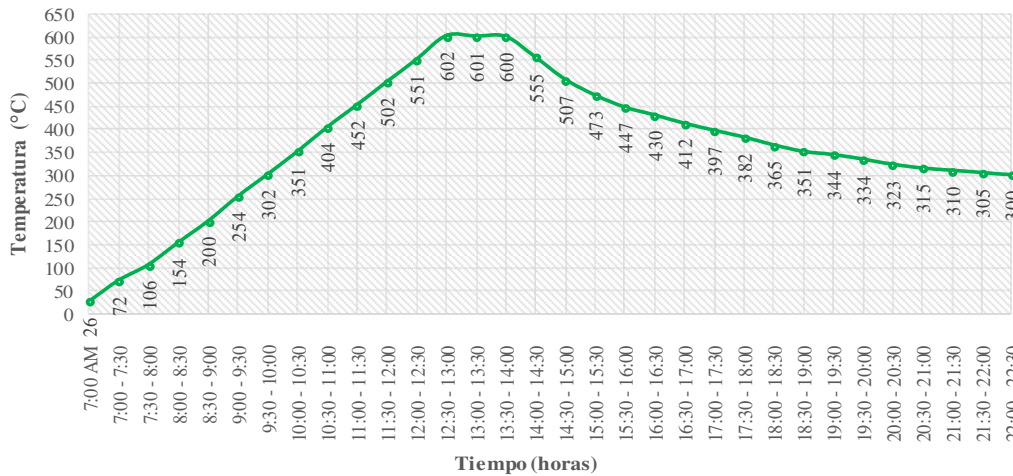


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 14/02/2017	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	7:00 AM	26	17	14:30 - 15:00	507
2	7:00 - 7:30	72	18	15:00 - 15:30	473
3	7:30 - 8:00	106	19	15:30 - 16:00	447
4	8:00 - 8:30	154	20	16:00 - 16:30	430
5	8:30 - 9:00	200	21	16:30 - 17:00	412
6	9:00 - 9:30	254	22	17:00 - 17:30	397
7	9:30 - 10:00	302	23	17:30 - 18:00	382
8	10:00 - 10:30	351	24	18:00 - 18:30	365
9	10:30 - 11:00	404	25	18:30 - 19:00	351
10	11:00 - 11:30	452	26	19:00 - 19:30	344
11	11:30 - 12:00	502	27	19:30 - 20:00	334
12	12:00 - 12:30	551	28	20:00 - 20:30	323
13	12:30 - 13:00	602	29	20:30 - 21:00	315
14	13:00 - 13:30	601	30	21:00 - 21:30	310
15	13:30 - 14:00	600	31	21:30 - 22:00	305
16	14:00 - 14:30	555	32	22:00 - 22:30	300

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 3^{RA} RECUPERACIÓN**



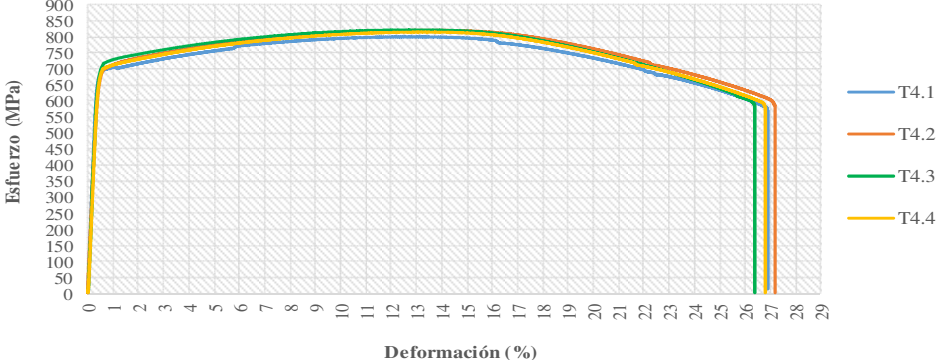


CONCLUSIÓN:



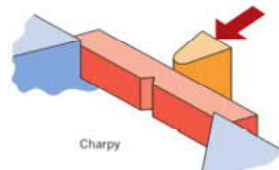
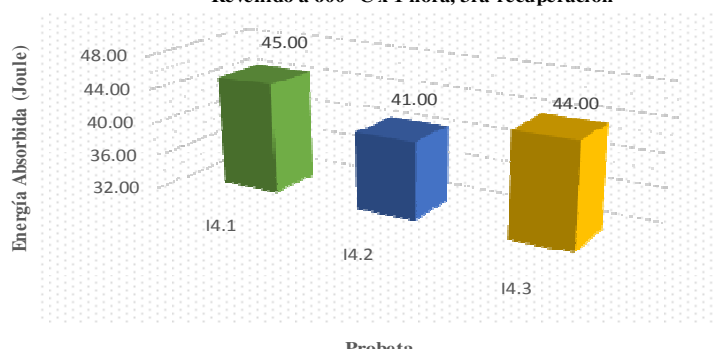
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



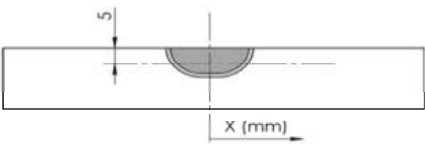
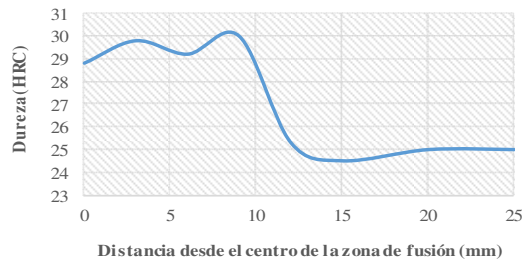
4.3.5.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ES PESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio LenMav		ENSAYO Ensayo No.: 25/26/27/28 Fecha de realización: 18/03/2017		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostentamiento: 1 h							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WAW600B Capacidad: 600 kN No. de Serie: 7136		Método: Deformación controlada Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E8M-15a		Tipo de Probeta: Plana tipo lámina Sección (WxT): 12,5 x 19 mm. Longitud de calibración: 50 mm.							
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia Fy (kN)	Carga Máxima Fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T4.1	12.64	19.04	240.67	50.19	61.61	166.30	192.54	691.00	800.03	22.75	193.90
T4.2	12.64	18.99	240.03	50.27	61.85	167.16	196.84	696.40	820.05	23.04	179.86
T4.3	12.60	18.95	238.77	49.86	60.60	167.90	196.16	703.19	821.54	21.54	189.88
T4.4	12.60	18.99	239.27	49.23	60.57	167.48	194.94	699.95	814.71	23.03	184.12
Lo: Longitud inicial		Sy: Resistencia a la Fluencia		TT: Tratamiento Térmico							
Lf: Longitud final		St: Resistencia a la Tracción									
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación											
											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 697,64 MPa y de 814,09 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR:				REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



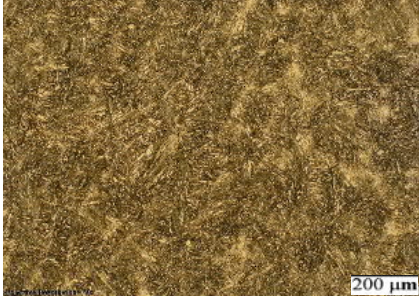
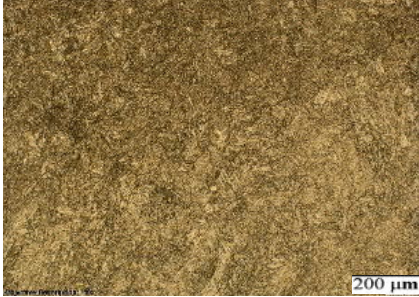
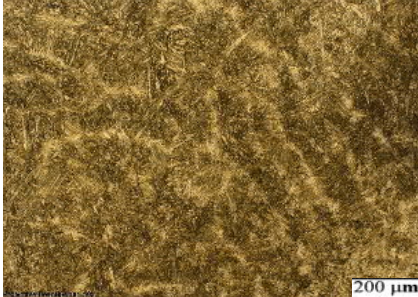
**4.3.5.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.: ETT-REG-CC07	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1		
Cliente: CELEC EP		Fecha: 13/03/2017				
ESPECÍMEN:	Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES:	10 x 10 mm.		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD:	55 mm.		
CANTIDAD:	3		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-06		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 19/20/21		Tipo: Revenido post soldadura		
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 13/03/2017		Temperatura de Tratamiento: 600 °C		
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		Temperatura Ambiente: 21 °C		Tiempo de Sostentamiento: 1 h		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto		Método: Charpy		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A		
Capacidad: 320 J		Norma Aplicable: ASTM A370-16		Dimensiones: 10 x 10 mm.		
No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		ASTM E23-07a1		Longitud: 55 mm.		
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
14.1	9.95	10.00	1.98	0.7970	45.00	Dúctil
14.2	9.95	10.00	1.98	0.7970	41.00	Dúctil
14.3	9.94	10.00	1.98	0.7960	44.00	Dúctil
Promedio					43.33	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p align="center">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA						
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.						
OBSERVACIONES						
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 43,33 Joules; el mayor valor registrado es de 45,00 Joules.						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

4.3.5.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1		Hoja: 1 de 1	
Cliente: CELEC EP		Fecha: 03/03/2017			
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación		CANTIDAD:	1	
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	0.55 kg	
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-	
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	-	
No. SERIE:	D4		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05	
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>				
DATOS INFORMATIVOS					
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TIPO DE ENSAYO	
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: D4		<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio	
Realizado Por: Ing. Juan Auz		Fecha de realización: 03/03/2017		<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller	
Lugar de realización: CIRT		Temperatura Ambiente: 21,9 °C		<input type="checkbox"/> De Campo	
		Humedad Relativa: 69 %			
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
Tipo: Revenido post soldadura			Marca: EMCOTEST		
Temperatura de Tratamiento: 600 °C			Modelo: N4B000 Identador: EMCO 5497		
Tiempo de Sostentamiento: 1 h			No. de Serie: 6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA					
Método: Dureza Rockwell		Pre-carga: 10 Kgf			
Norma Aplicable: ASTM A370-16, ASTM E18-15		Carga aplicada: 150 Kgf			
Tipo de Identador: Cono de diamante 120°		Tiempo de aplicación: 10 s			
RESULTADOS					
			<p>DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación</p> 		
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC			
1	0	28.8			
2	3	29.8			
3	6	29.2			
4	9	30.0			
5	12	25.3			
6	15	24.5			
7	20	25.0			
8	25	25.0			
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS					
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 1 hora es de 30.0 HRC a 9 mm. de distancia desde el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 24,5 HRC a una distancia de 15 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión.					
OBSERVACIONES					
ELABORADO POR:			REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.5.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRAFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.:	ETT-REG-CC08	Revisión:	1	Hoja:	1 de 3	
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	03/04/2017			
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	05	Temperatura Ambiente:	21.8 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M4	Humedad Relativa:	66.7 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	04/04/2017		Velocidad del Aire:	Estático
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo:	Revenido	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura:	600 °C	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostenimiento:	1 h	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRAFICO						
Tipo de estudio:	De laboratorio		Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 1 h, 100X, Vilella						



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 2 de 3

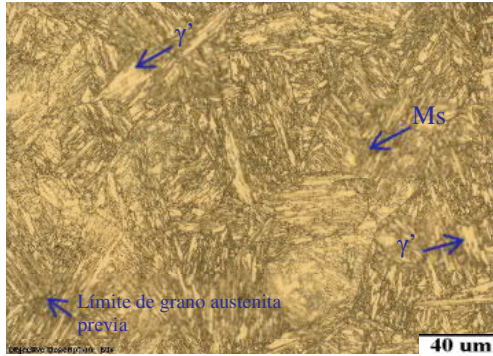
Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (73.88 \mu\text{m} + 70.16 \mu\text{m}) / 2 = 72.02 \mu\text{m}$$

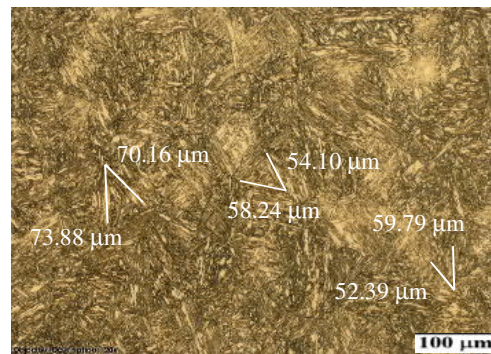
$$Lb = (58.24 \mu\text{m} + 54.10 \mu\text{m}) / 2 = 56.17 \mu\text{m}$$

$$Lc = (52.39 \mu\text{m} + 59.79 \mu\text{m}) / 2 = 56.09 \mu\text{m}$$

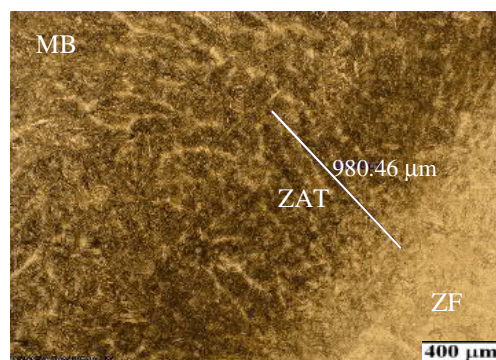
$$L4 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L4 = (72.02 \mu\text{m} + 56.17 \mu\text{m} + 56.09 \mu\text{m}) / 3$$

$$L4 = 61.43 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 980.46 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 3 de 3

Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (86.70 \mu\text{m} + 85.17 \mu\text{m}) / 2 = 85.94 \mu\text{m}$$

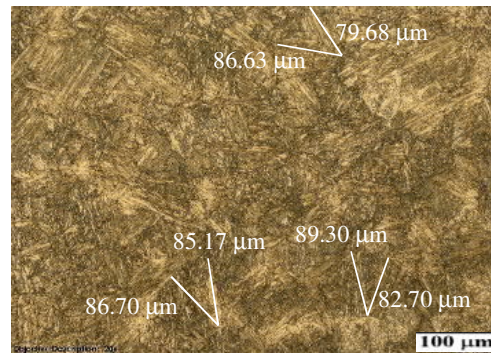
$$Lb = (89.30 \mu\text{m} + 82.70 \mu\text{m}) / 2 = 86.00 \mu\text{m}$$

$$Lc = (86.63 \mu\text{m} + 79.68 \mu\text{m}) / 2 = 83.16 \mu\text{m}$$

$$L4 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L4 = (85.94 \mu\text{m} + 86.00 \mu\text{m} + 83.16 \mu\text{m}) / 3$$

$$L4 = 85.03 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 1 hora
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (39.56 \mu\text{m} + 35.06 \mu\text{m}) / 2 = 37.31 \mu\text{m}$$

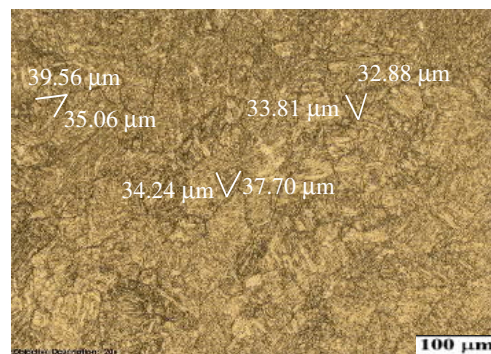
$$Lb = (34.24 \mu\text{m} + 37.70 \mu\text{m}) / 2 = 35.97 \mu\text{m}$$

$$Lc = (33.81 \mu\text{m} + 32.88 \mu\text{m}) / 2 = 33.35 \mu\text{m}$$

$$L4 = (La + Lb + Lc) / 3$$



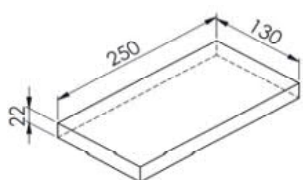
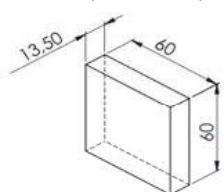
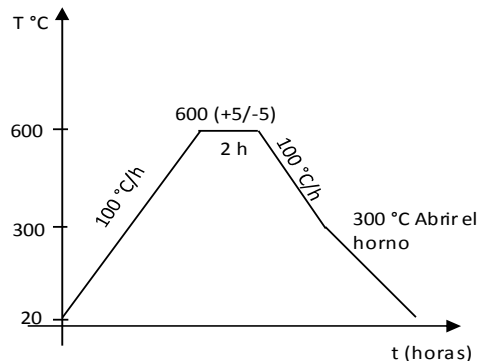
$$L4 = (37.31 \mu\text{m} + 35.97 \mu\text{m} + 33.35 \mu\text{m}) / 3$$

$$L4 = 35.54 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms) y fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra las diferentes regiones que la conforman, con microestructura de martensita revenida (Ms)
 Además, se observa el depósito de carburos en la ZF.

4.3.6 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 3 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 18 Kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: <u>ETT-PRO-TTPS-02</u>			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente					
VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C					
TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5)					
TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 2					
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno)					
TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300					
TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente					
TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 17					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S)		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
 <p>Pieza 1 (4 unidades)</p>  <p>Pieza 2 (4 unidades)</p>					
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T5, T6, T7; y placas: I5, I6 e I7. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

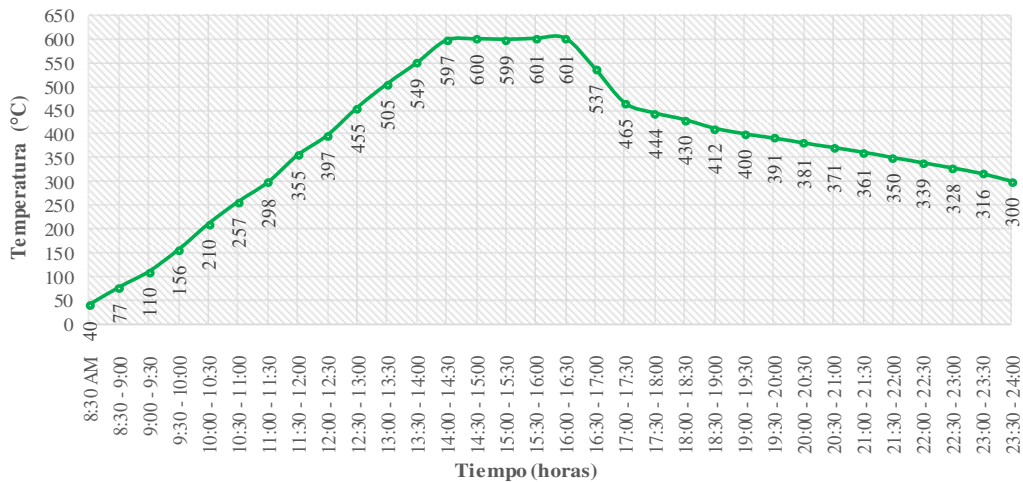


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 24/11/2016	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	8:30 AM	40	17	16:00 - 16:30	601
2	8:30 - 9:00	77	18	16:30 - 17:00	537
3	9:00 - 9:30	110	19	17:00 - 17:30	465
4	9:30 - 10:00	156	20	17:30 - 18:00	444
5	10:00 - 10:30	210	21	18:00 - 18:30	430
6	10:30 - 11:00	257	22	18:30 - 19:00	412
7	11:00 - 11:30	298	23	19:00 - 19:30	400
8	11:30 - 12:00	355	24	19:30 - 20:00	391
9	12:00 - 12:30	397	25	20:00 - 20:30	381
10	12:30 - 13:00	455	26	20:30 - 21:00	371
11	13:00 - 13:30	505	27	21:00 - 21:30	361
12	13:30 - 14:00	549	28	21:30 - 22:00	350
13	14:00 - 14:30	597	29	22:00 - 22:30	339
14	14:30 - 15:00	600	30	22:30 - 23:00	328
15	15:00 - 15:30	599	31	23:00 - 23:30	316
16	15:30 - 16:00	601	32	23:30 - 24:00	300

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 1^{RA} RECUPERACIÓN**



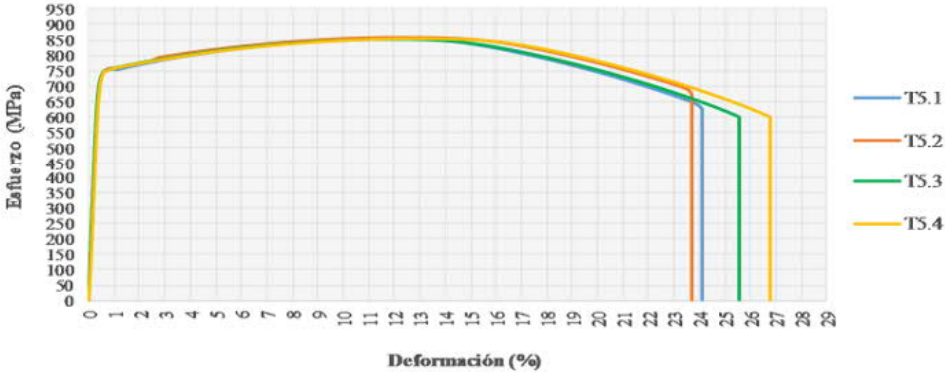


CONCLUSIÓN:



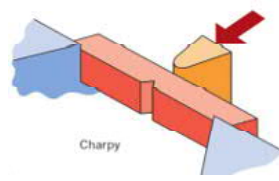
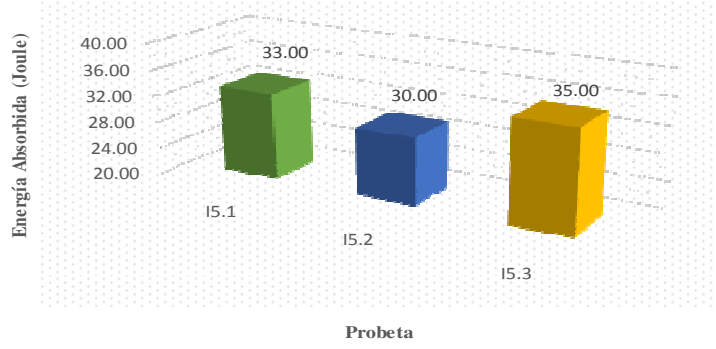
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



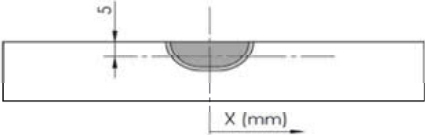
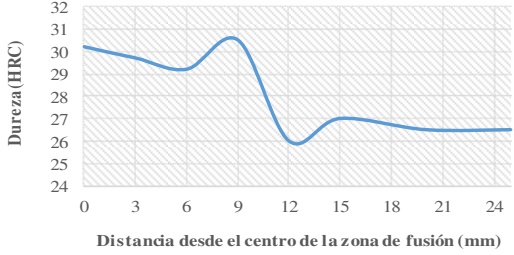
4.3.6.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio IcnMav		ENSAYO Ensayo No.: 13/14/15/16 Fecha de realización: 17/12/2016		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostenimiento: 2 h							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equipo: Máquina Universal WA W600B Capacidad: 600 kN No. de Serie: 7136		Método: Deformación controlada Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E8M-15a		Tipo de Probeta: Plana tipo lámina Sección (WxT): 12,5 x 19 mm. Longitud de calibración: 50 mm.							
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	L _o (mm)	L _f (mm)	Carga de Fluencia F _y (kN)	Carga Máxima F _u (kN)	S _y (MPa)	S _t (MPa)	Longación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T5.1	12.52	19.09	239.01	49.40	59.95	180.06	204.32	753.37	854.87	21.36	195.16
T5.2	12.45	18.97	236.18	50.20	61.00	178.88	202.62	757.40	857.92	21.51	184.75
T5.3	12.45	18.99	236.43	50.60	62.10	175.82	201.46	743.66	852.11	22.73	197.33
T5.4	12.40	18.98	235.35	50.00	61.10	175.90	200.96	747.39	853.87	22.20	180.62
L _o : Longitud inicial L _f : Longitud final		S _y : Resistencia a la Fluencia S _t : Resistencia a la Tracción		TT: Tratamiento Térmico							
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación											
											
OBSERVACIONES Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 750,45 MPa y de 854,69 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.				REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



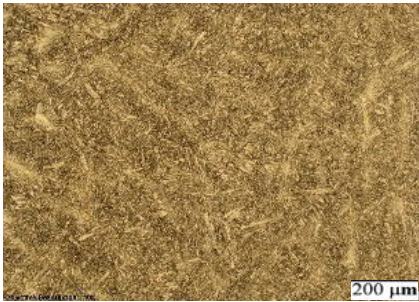
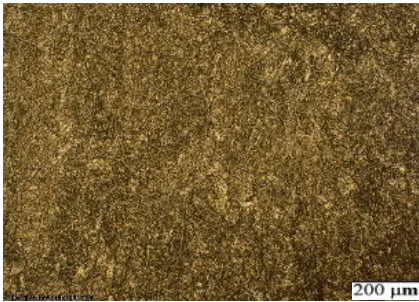
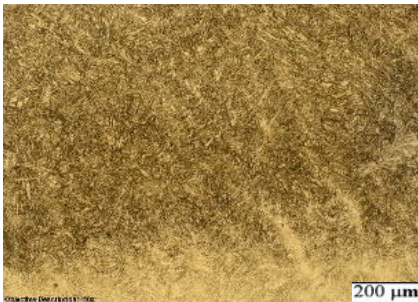
**4.3.6.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>					
		Reg. No.: ETT-REG-CC07	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1			
Cliente: CELEC EP		Fecha: 03/03/2017					
ESPECÍMEN: Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES: 10 x 10 mm.					
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD: 55 mm.					
CANTIDAD: 3		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-06					
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>							
DATOS INFORMATIVOS							
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO			
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 10/11/12		Tipo: Revenido post soldadura			
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 03/03/2017		Temperatura de Tratamiento: 600 °C			
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		Temperatura Ambiente: 21 °C		Tiempo de Sostentamiento: 2 h			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO							
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto		Método: Charpy		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A			
Capacidad: 320 J		Norma Aplicable: ASTM A370-16		Dimensiones: 10 x 10 mm.			
No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		ASTM E23-07a1		Longitud: 55 mm.			
RESULTADOS							
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura	
15.1	10.02	10.07	2.00	0.8076	33.00	Dúctil	
15.2	10.02	10.07	2.00	0.8076	30.00	Dúctil	
15.3	10.02	10.07	1.99	0.8086	35.00	Dúctil	
Promedio					32.67		
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA							
<p align="center">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación</p> 							
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA							
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.							
OBSERVACIONES							
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 32,67 Joules; el mayor valor registrado es de 35,00 Joules.							
ELABORADO POR:				REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

4.3.6.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 29/11/2016	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 1
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO: 0.55 kg
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.		PLAN DE CALIDAD No.: -
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA: -
No. SERIE:	D5		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-CC-05
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>		
DATOS INFORMATIVOS			
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO	TIPO DE ENSAYO
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: D5	<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio
Realizado Por: Ing. Juan Auz		Fecha de realización: 29/11/2016	<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller
Lugar de realización: CIRT		Temperatura Ambiente: 21,2 °C	<input type="checkbox"/> De Campo
		Humedad Relativa: 62 %	
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO	
Tipo: Revenido post soldadura		Marca: EMCOTEST	
Temperatura de Tratamiento: 600 °C		Modelo: N4B000 Identador: EMCO 5497	
Tiempo de Sostentamiento: 2 h		No. de Serie: 6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA			
Método: Dureza Rockwell		Pre-carga: 10 Kgf	
Norma Aplicable: ASTM A370-16, ASTM E18-15		Carga aplicada: 150 Kgf	
Tipo de Identador: Cono de diamante 120°		Tiempo de aplicación: 10 s	
RESULTADOS			
		DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación	
			
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC	
1	0	30.2	
2	3	29.7	
3	6	29.2	
4	9	30.5	
5	12	26.0	
6	15	27.0	
7	20	26.5	
8	25	26.5	
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS			
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 2 horas es de 30.5 HRC a 9 mm. de distancia desde el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 26.0 HRC a una distancia de 12 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión.			
OBSERVACIONES			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. M.g. Henry Vaca	
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA	

4.3.6.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRAFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC08	Revisión: 1	Hoja: 1 de 3		
Cliente:		CELEC EP	Fecha:	03/04/2017		
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	06	Temperatura Ambiente:	21.8 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M5	Humedad Relativa:	66.7 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	04/04/2017	Velocidad del Aire:	Estático	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo:	Revenido	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura:	600 °C	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostentamiento:	2 h	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRAFICO						
Tipo de estudio:	De laboratorio		Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 2 h, 100X, Vilella						



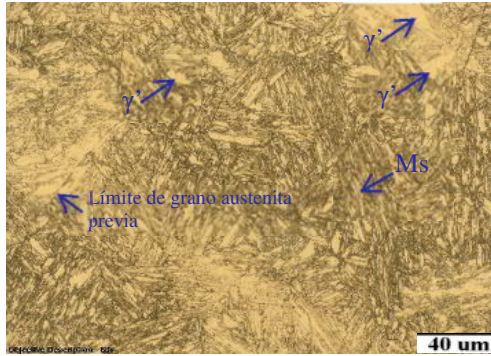
PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08 Revisión: 1 Hoja: 2 de 3
 Cliente: CELEC EP Fecha: 03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (75.01 \mu\text{m} + 75.61 \mu\text{m}) / 2 = 75.31 \mu\text{m}$$

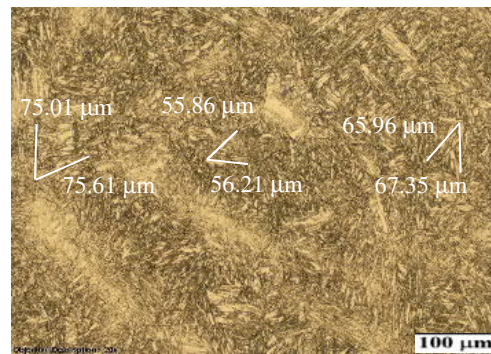
$$Lb = (67.35 \mu\text{m} + 65.96 \mu\text{m}) / 2 = 66.66 \mu\text{m}$$

$$Lc = (56.21 \mu\text{m} + 55.86 \mu\text{m}) / 2 = 56.04 \mu\text{m}$$

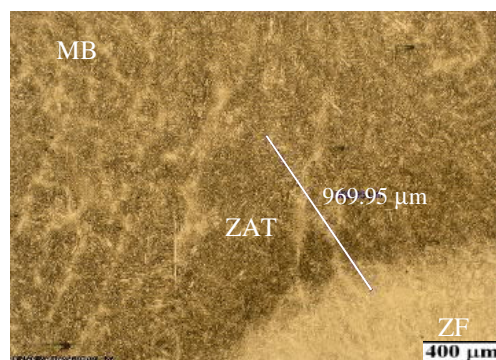
$$L5 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L5 = (75.31 \mu\text{m} + 66.66 \mu\text{m} + 56.04 \mu\text{m}) / 3$$

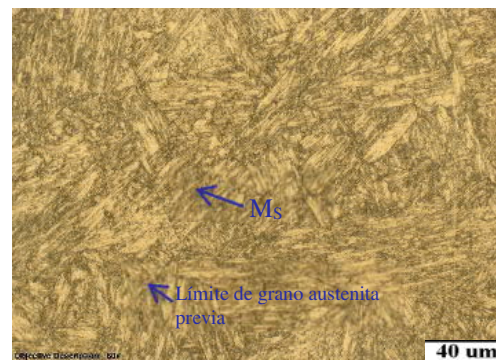
$$L5 = 66.00 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 969.95 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Ferrita (δ)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 3 de 3

Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (103.96 \mu\text{m} + 102.62 \mu\text{m}) / 2 = 103.29 \mu\text{m}$$

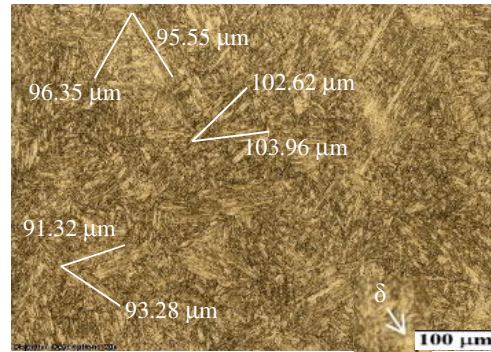
$$Lb = (96.35 \mu\text{m} + 95.55 \mu\text{m}) / 2 = 95.95 \mu\text{m}$$

$$Lc = (93.28 \mu\text{m} + 91.32 \mu\text{m}) / 2 = 92.30 \mu\text{m}$$

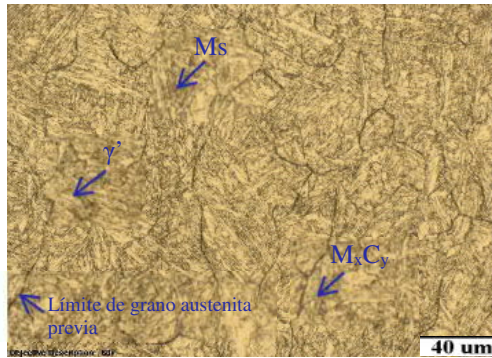
$$L5 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L5 = (103.29 \mu\text{m} + 95.95 \mu\text{m} + 92.30 \mu\text{m}) / 3$$

$$L5 = 97.18 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (48.05 \mu\text{m} + 45.69 \mu\text{m}) / 2 = 46.87 \mu\text{m}$$

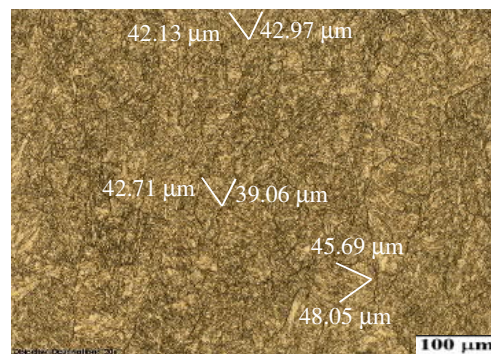
$$Lb = (42.97 \mu\text{m} + 42.13 \mu\text{m}) / 2 = 42.55 \mu\text{m}$$

$$Lc = (42.71 \mu\text{m} + 39.06 \mu\text{m}) / 2 = 40.89 \mu\text{m}$$

$$L5 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L5 = (46.87 \mu\text{m} + 42.55 \mu\text{m} + 40.89 \mu\text{m}) / 3$$



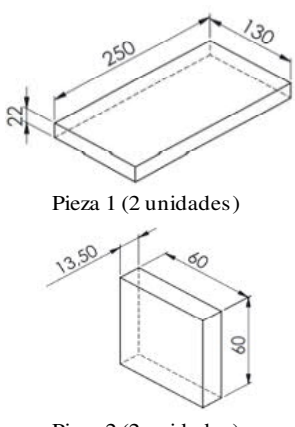
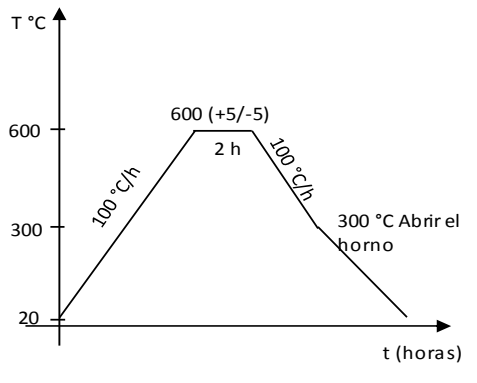
$$L5 = 43.44 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB, ZAT y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms). El MB y ZF muestra fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra las diferentes regiones que la conforman.

Además, en la ZAT se puede observar una pequeña isla de ferrita (δ) y el depósito de carburos en la ZF.

4.3.7 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 2 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 12 kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: <u>ETT-PRO-TTPS-02</u>			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5) TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 2 VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno) TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300 TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 17					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S) 		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO 			
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T6, T7; y placas: I6 e I7. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

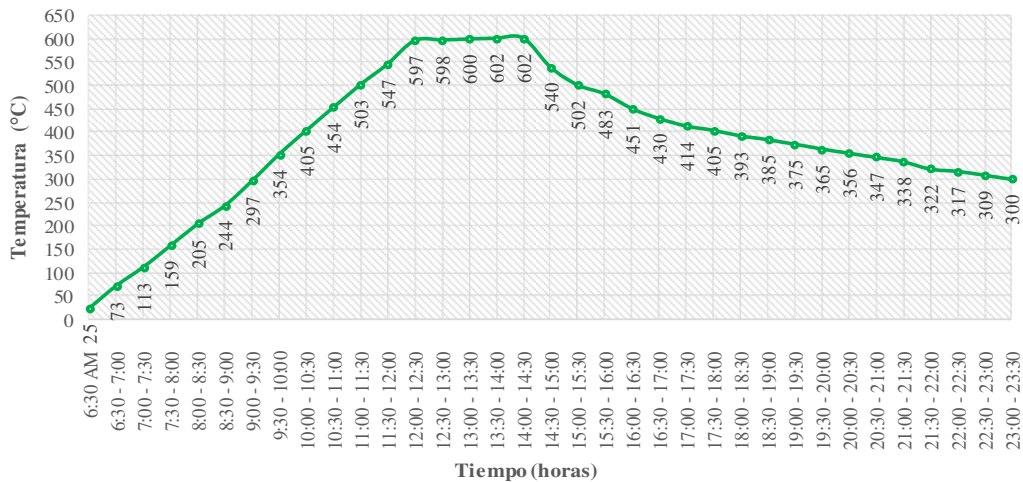


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 03/01/2017	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	6:30 AM	25	19	15:00 - 15:30	502
2	6:30 - 7:00	73	20	15:30 - 16:00	483
3	7:00 - 7:30	113	21	16:00 - 16:30	451
4	7:30 - 8:00	159	22	16:30 - 17:00	430
5	8:00 - 8:30	205	23	17:00 - 17:30	414
6	8:30 - 9:00	244	24	17:30 - 18:00	405
7	9:00 - 9:30	297	25	18:00 - 18:30	393
8	9:30 - 10:00	354	26	18:30 - 19:00	385
9	10:00 - 10:30	405	27	19:00 - 19:30	375
10	10:30 - 11:00	454	28	19:30 - 20:00	365
11	11:00 - 11:30	503	29	20:00 - 20:30	356
12	11:30 - 12:00	547	30	20:30 - 21:00	347
13	12:00 - 12:30	597	31	21:00 - 21:30	338
14	12:30 - 13:00	598	32	21:30 - 22:00	322
15	13:00 - 13:30	600	33	22:00 - 22:30	317
16	13:30 - 14:00	602	34	22:30 - 23:00	309
17	14:00 - 14:30	602	35	23:00 - 23:30	300
18	14:30 - 15:00	540			

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 2^{DA} RECUPERACIÓN**



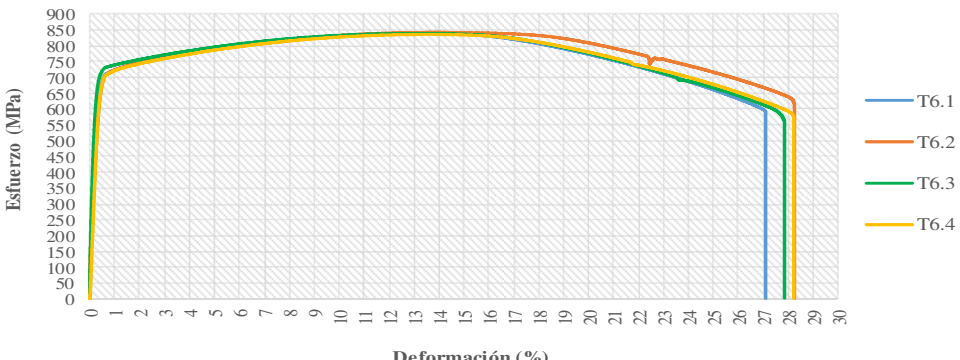


CONCLUSIÓN:



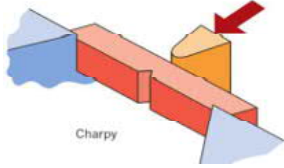
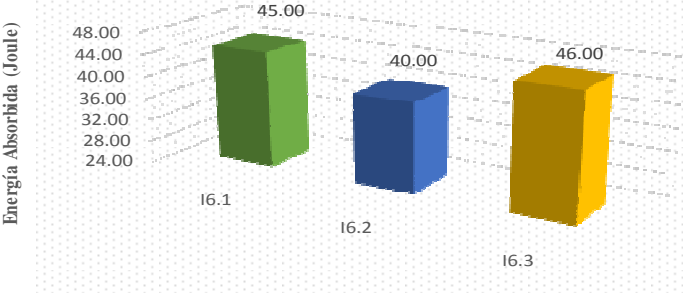
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



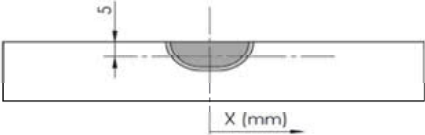
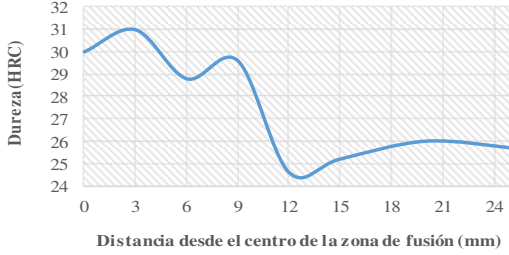
4.3.7.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		TRATAMIENTO TÉRMICO							
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 21/22/23/24		Tipo: Revenido post soldadura							
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 06/03/2017		Temperatura de Tratamiento: 600 °C							
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav				Tiempo de Sostenimiento: 2 h							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equip: Máquina Universal WAW600B		Método: Deformación controlada		Tipo de Probeta: Plana tipo lámina							
Capacidad: 600 kN		Norma Aplicable: ASTM A370-16		Sección (WxT): 12.5 x 19 mm.							
No. de Serie: 7136		ASTM E8M-15a		Longitud de calibración: 50 mm.							
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia Fy (kN)	Carga Máxima Fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T6.1	12.54	18.80	235.75	50.12	61.28	165.26	197.70	700.99	838.59	22.27	182.11
T6.2	12.54	18.78	235.50	50.15	60.82	165.52	198.40	702.84	842.46	21.28	156.76
T6.3	12.54	18.80	235.75	49.96	61.06	166.18	197.80	704.89	839.02	22.22	211.71
T6.4	12.54	18.80	235.75	50.11	61.18	164.48	197.02	697.68	835.71	22.09	196.66
Lo: Longitud inicial				Sy: Resistencia a la Fluencia			TT: Tratamiento Térmico				
Lf: Longitud final				St: Resistencia a la Tracción							
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación											
											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 701,60 MPa y de 838,94 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR:				REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



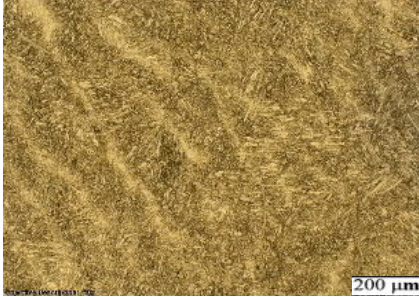
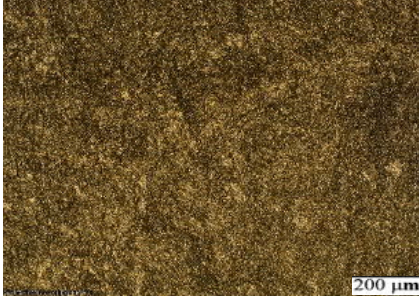
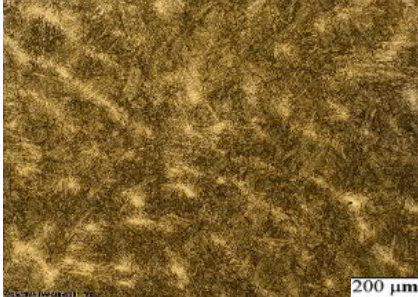
**4.3.7.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.: ETT-REG-CC07	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1		
Cliente: CELEC EP		Fecha: 13/03/2017				
ESPECÍMEN: Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES: 10 x 10 mm.				
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD: 55 mm.				
CANTIDAD: 3		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-06				
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Anibal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		ENSAYO Ensayo No.: 16/17/18 Fecha de realización: 13/03/2017 Temperatura Ambiente: 21 °C		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostenimiento: 2 h		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto Capacidad: 320 J No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		Método: Charpy Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E23-07a1		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A Dimensiones: 10 x 10 mm. Longitud: 55 mm.		
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
16.1	9.95	10.01	1.98	0.7978	45.00	Dúctil
16.2	9.94	10.00	1.98	0.7960	40.00	Dúctil
16.3	9.95	10.00	1.99	0.7960	46.00	Dúctil
Promedio					43.67	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p align="center">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.						
OBSERVACIONES El promedio de la energía de impacto absorbida es de 43,67 Joules; el mayor valor registrado es de 46,00 Joules.						
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.				REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.7.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 09/01/2017	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 1
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO: 0.55 kg
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.		PLAN DE CALIDAD No.: -
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA: -
No. SERIE:	D6		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-CC-05
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>		
DATOS INFORMATIVOS			
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO	TIPO DE ENSAYO
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: D6	<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio
Realizado Por: Ing. Juan Auz		Fecha de realización: 09/01/2017	<input type="checkbox"/> De Proceso/Taller
Lugar de realización: CIRT		Temperatura Ambiente: 22,4 °C	<input type="checkbox"/> De Campo
		Humedad Relativa: 73 %	
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO	
Tipo: Revenido post soldadura		Marca: EMCOTEST	
Temperatura de Tratamiento: 600 °C		Modelo: N4B000 Identador: EMCO 5497	
Tiempo de Sostenimiento: 2 h		No. de Serie: 6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA			
Método: Dureza Rockwell		Pre-carga: 10 Kgf	
Norma Aplicable: ASTM A370-16, ASTM E18-15		Carga aplicada: 150 Kgf	
Tipo de Identador: Cono de diamante 120°		Tiempo de aplicación: 10 s	
RESULTADOS			
		DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación	
			
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC	
1	0	30.0	
2	3	31.0	
3	6	28.8	
4	9	29.6	
5	12	24.6	
6	15	25.2	
7	20	26.0	
8	25	25.7	
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS			
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 2 horas es de 31,0 HRC a 3 mm. de distancia desde el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 24,6 HRC a una distancia de 12 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión.			
OBSERVACIONES			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. M.g. Henry Vaca	
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA	

4.3.7.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC08	Revisión: 1	Hoja: 1 de 3		
Cliente:		CELEC EP	Fecha:	03/04/2017		
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	07	Temperatura Ambiente:	22.6 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M6	Humedad Relativa:	67.2 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	05/04/2017	Velocidad del Aire:	Estático	
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo:	Revenido	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura:	600 °C	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostentamiento:	2 h	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO						
Tipo de estudio:	De laboratorio		Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 2 h, 100X, Vilella						



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 2 de 3

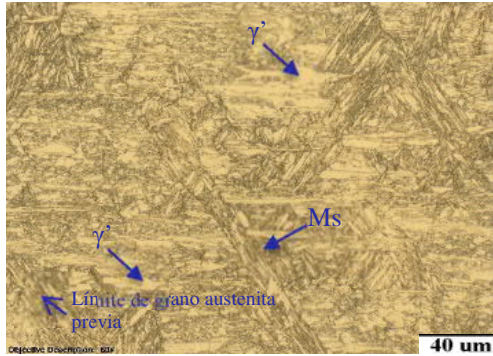
Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (55.70 \mu\text{m} + 55.24 \mu\text{m}) / 2 = 55.47 \mu\text{m}$$

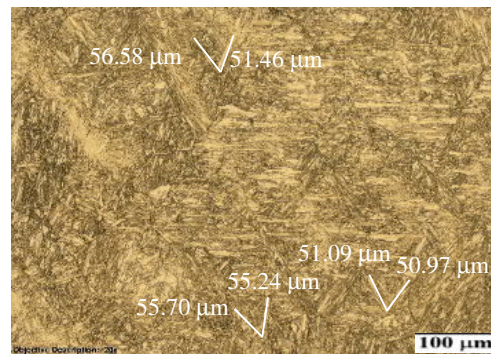
$$Lb = (56.58 \mu\text{m} + 51.46 \mu\text{m}) / 2 = 54.02 \mu\text{m}$$

$$Lc = (51.09 \mu\text{m} + 50.97 \mu\text{m}) / 2 = 51.03 \mu\text{m}$$

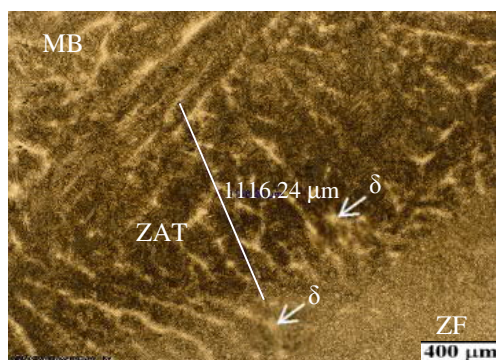
$$L6 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L6 = (55.47 \mu\text{m} + 54.02 \mu\text{m} + 51.03 \mu\text{m}) / 3$$

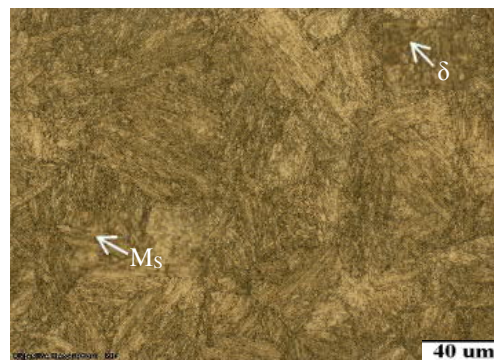
$$L6 = 53.51 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 1116.24 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Ferrita (δ)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 3 de 3

Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (94.73 \mu\text{m} + 89.09 \mu\text{m}) / 2 = 91.91 \mu\text{m}$$

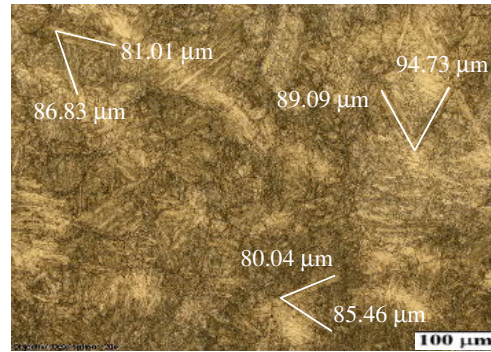
$$Lb = (86.83 \mu\text{m} + 81.01 \mu\text{m}) / 2 = 83.92 \mu\text{m}$$

$$Lc = (85.46 \mu\text{m} + 80.04 \mu\text{m}) / 2 = 82.75 \mu\text{m}$$

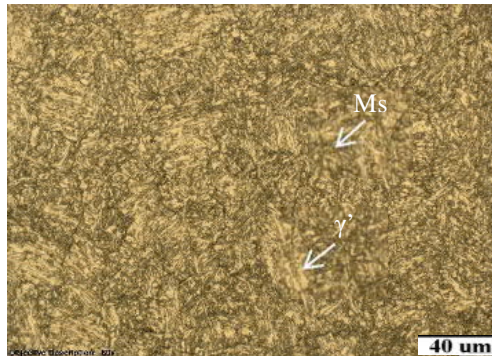
$$L6 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L6 = (91.91 \mu\text{m} + 83.92 \mu\text{m} + 82.75 \mu\text{m}) / 3$$

$$L6 = 86.19 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (46.49 \mu\text{m} + 46.21 \mu\text{m}) / 2 = 46.35 \mu\text{m}$$

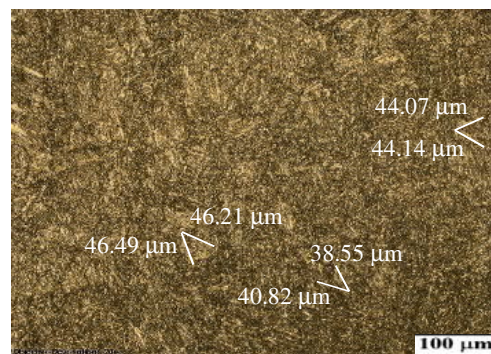
$$Lb = (44.14 \mu\text{m} + 44.07 \mu\text{m}) / 2 = 44.10 \mu\text{m}$$

$$Lc = (40.82 \mu\text{m} + 38.55 \mu\text{m}) / 2 = 39.69 \mu\text{m}$$

$$L6 = (La + Lb + Lc) / 3$$



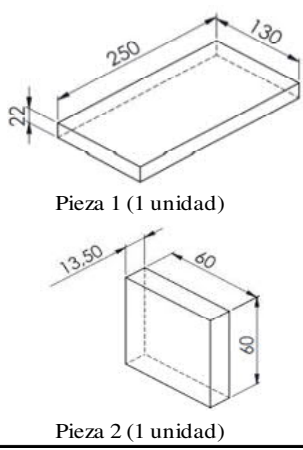
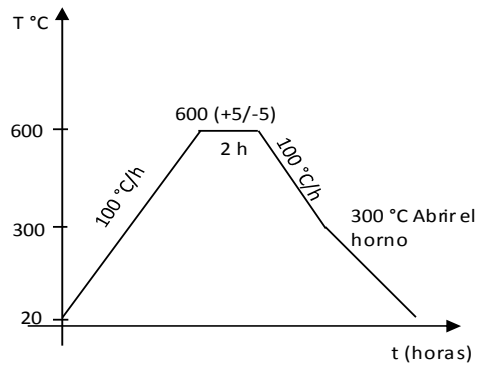
$$L6 = (46.35 \mu\text{m} + 44.10 \mu\text{m} + 39.69 \mu\text{m}) / 3$$

$$L6 = 43.38 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms) y fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra martensita revenida (Ms) y ferrita (δ) en las diferentes regiones que la conforman.

4.3.8 ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
		Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2	
EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD: 1 u.			
MATERIAL: Acero Inox ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg): 5.6 Kg. / 0.4 Kg.			
DIMENSIONES: 1.- 250 X 130 mm. / 2.- 60 X 60 mm.		PESO TOTAL (Kg): 6 kg.			
ESPESOR: 1.- 22 mm. / 2.- 13.5 mm		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-01, TTPS-04			
No. SERIE: N/A		PROCEDIMIENTO: <u>ETT-PRO-TTPS-02</u>			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura (alivio de tensiones y homogenización de microestructura).					
TEMPERATURA INICIAL (°C): Temperatura ambiente					
VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C					
TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C): 600 (+5/-5)					
TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h): 2					
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h): 60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno)					
TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C): 300					
TEMPERATURA FINAL (°C): Temperatura ambiente					
TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO TÉRMICO APROXIMADO (h): 17					
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S)		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
					
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas son limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno. Aplica a placas: T7 e I7. A partir de los 300°C de la rampa de enfriamiento se apertura el horno hasta alcanzar la temperatura ambiente.					



ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

Post Weld Heat Treatment

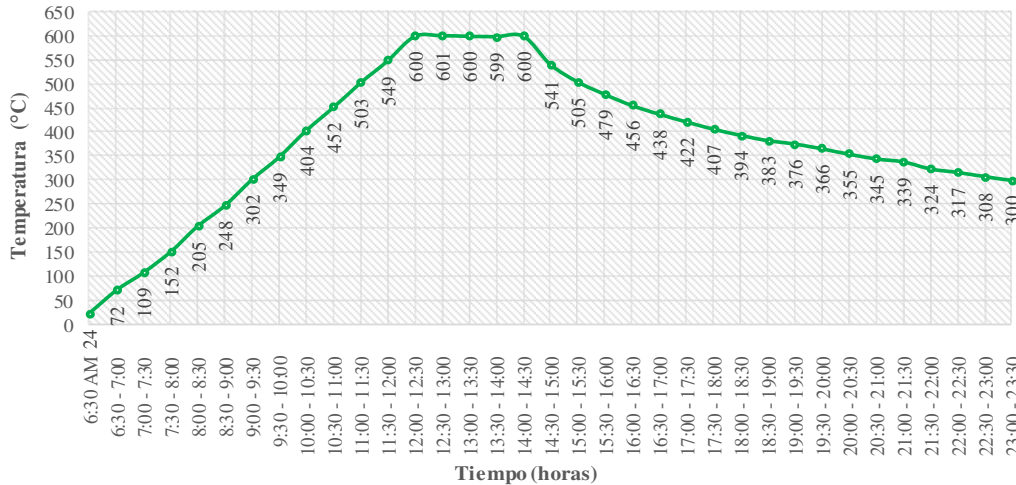


Reg. No.: ETT-REG-TT01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 15/02/2017	

RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO

Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)	Punto Monitoreo	Hora	Temperatura (°C)
1	6:30 AM	24	19	15:00 - 15:30	505
2	6:30 - 7:00	72	20	15:30 - 16:00	479
3	7:00 - 7:30	109	21	16:00 - 16:30	456
4	7:30 - 8:00	152	22	16:30 - 17:00	438
5	8:00 - 8:30	205	23	17:00 - 17:30	422
6	8:30 - 9:00	248	24	17:30 - 18:00	407
7	9:00 - 9:30	302	25	18:00 - 18:30	394
8	9:30 - 10:00	349	26	18:30 - 19:00	383
9	10:00 - 10:30	404	27	19:00 - 19:30	376
10	10:30 - 11:00	452	28	19:30 - 20:00	366
11	11:00 - 11:30	503	29	20:00 - 20:30	355
12	11:30 - 12:00	549	30	20:30 - 21:00	345
13	12:00 - 12:30	600	31	21:00 - 21:30	339
14	12:30 - 13:00	601	32	21:30 - 22:00	324
15	13:00 - 13:30	600	33	22:00 - 22:30	317
16	13:30 - 14:00	599	34	22:30 - 23:00	308
17	14:00 - 14:30	600	35	23:00 - 23:30	300
18	14:30 - 15:00	541			

**CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO - REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS
ACERO ASTM A743 CA6-NM - 3^{RA} RECUPERACIÓN**



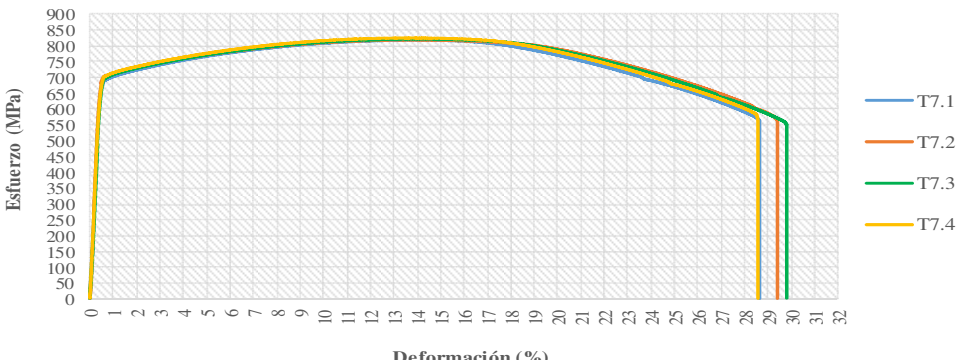


CONCLUSIÓN:



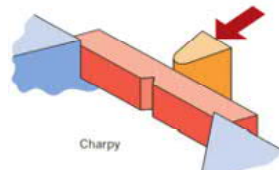
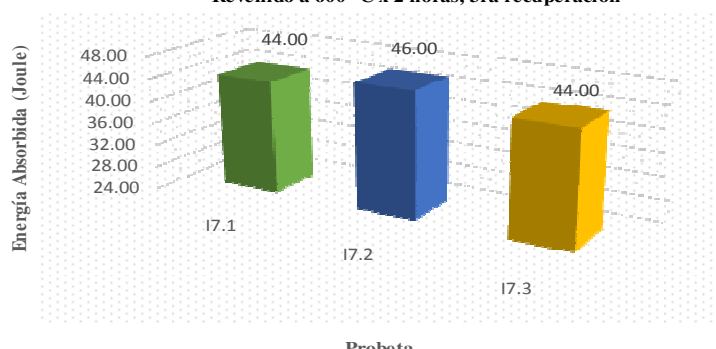
Aceptado Rechazado Corregir Verificar

ELABORADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DE PROYECTO UTA



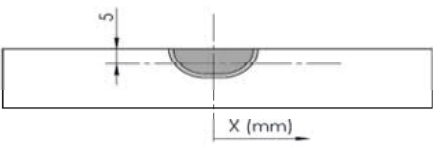
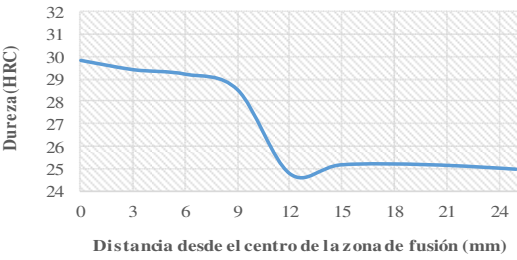
4.3.8.1 ENSAYO DE TRACCIÓN SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN <i>Tension Testing</i>									
		Reg. No.: ETT-REG-CC06	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1							
ESPECÍMEN: Probeta plana "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES (LxC): 250 x 20 mm.									
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		ESPESOR: 19 mm.									
CANTIDAD: 4		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-03									
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>											
DATOS INFORMATIVOS											
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO			TRATAMIENTO TÉRMICO						
Solicitado Por: Ing. Juan Auz		Ensayo No.: 29/30/31/32			Tipo: Revenido post soldadura						
Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán		Fecha de realización: 18/03/2017			Temperatura de Tratamiento: 600 °C						
Centro de Estudio: Laboratorio LenMav					Tiempo de Sostenimiento: 2 h						
PROTOCOLO DE ENSAYO DE TRACCIÓN											
Equip: Máquina Universal WAW600B		Método: Deformación controlada			Tipo de Probeta: Plana tipo lámina						
Capacidad: 600 kN		Norma Aplicable: ASTM A370-16			Sección (WxT): 12,5 x 19 mm.						
No. de Serie: 7136		ASTM E8M-15a			Longitud de calibración: 50 mm.						
RESULTADOS											
Probeta No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Sección (mm ²)	Lo (mm)	Lf (mm)	Carga de Fluencia Fy (kN)	Carga Máxima Fu (kN)	Sy (MPa)	St (MPa)	Elongación (50 mm) %	Módulo de Elasticidad (GPa)
T7.1	12.59	19.02	239.46	49.54	61.27	165.20	195.78	689.88	817.58	23.68	164.66
T7.2	12.58	19.00	239.02	48.73	61.31	167.24	195.50	699.69	817.92	25.82	212.11
T7.3	12.58	19.00	239.02	49.89	62.85	166.94	196.12	698.44	820.52	25.98	150.56
T7.4	12.59	19.00	239.21	49.24	61.42	167.98	197.16	702.23	824.21	24.74	170.47
Lo: Longitud inicial				Sy: Resistencia a la Fluencia				TT: Tratamiento Térmico			
Lf: Longitud final				St: Resistencia a la Tracción							
DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN											
<p align="center">DIAGRAMA DE ESFUERZO vs DEFORMACIÓN PORCENTUAL ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación</p> 											
OBSERVACIONES											
Fractura de tasa y cono. El promedio de la resistencia a la fluencia es de 697,56 MPa y de 820,06 MPa para la resistencia a la tracción.											
ELABORADO POR:				REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



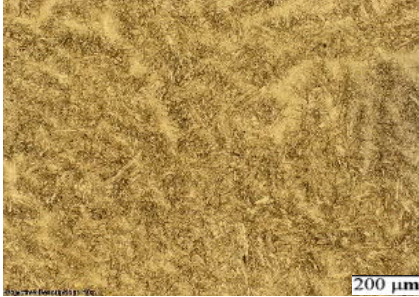

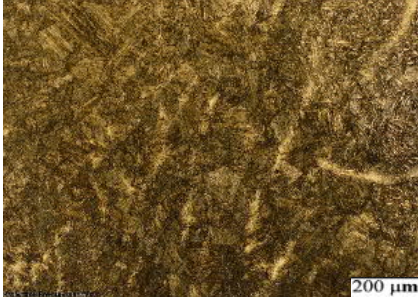
**4.3.8.2 ENSAYO DE IMPACTO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743
CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA}
RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE IMPACTO <i>Impact Testing</i>				
		Reg. No.: ETT-REG-CC07	Revisión: 1	Hoja: 1 de 1		
Cliente: CELEC EP		Fecha: 13/03/2017				
ESPECÍMEN: Probeta Charpy "Soldadura + TTPS"		DIMENSIONES: 10 x 10 mm.				
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		LONGITUD: 55 mm.				
CANTIDAD: 3		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-06				
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN Solicitado Por: Ing. Juan Auz Realizado Por: Ing. Aníbal Viñán Centro de Estudio: Laboratorio LenMav/ Laboratorio de Materiales FIM ESPOCH		ENSAYO Ensayo No.: 22/23/24 Fecha de realización: 13/03/2017 Temperatura Ambiente: 21 °C		TRATAMIENTO TÉRMICO Tipo: Revenido post soldadura Temperatura de Tratamiento: 600 °C Tiempo de Sostentamiento: 2 h		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO						
Equipo: Máquina Ensayos de Impacto Capacidad: 320 J No. de Serie: S/N-Facultad de Mecánica		Método: Charpy Norma Aplicable: ASTM A370-16 ASTM E23-07a1		Tipo de Probeta: Charpy Tipo A Dimensiones: 10 x 10 mm. Longitud: 55 mm.		
RESULTADOS						
Probeta No.	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Profund. muesca (mm)	Sección (cm ²)	Energía de Impacto Abs. (J)	Tipo de fractura
17.1	10.00	10.00	2.00	0.8000	44.00	Dúctil
17.2	10.01	9.94	2.01	0.7952	46.00	Dúctil
17.3	10.03	10.00	2.02	0.8010	44.00	Dúctil
Promedio					44.67	
						
DIAGRAMA RESULTADOS DE ENERGÍA DE IMPACTO ABSORBIDA						
<p align="center">ENERGÍA DE IMPACTO ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación</p> 						
TOPOGRAFÍA DE LA FRACTURA						
Superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura tipo tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia brillante. La zona de fractura muestra características de cizalladura a 45° aproximadamente.						
OBSERVACIONES						
El promedio de la energía de impacto absorbida es de 44,67 Joules; el mayor valor registrado es de 46,00 Joules.						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

4.3.8.3 ENSAYO DE DUREZA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA <i>Hardness Testing</i>			
Reg. No.: ETT-REG-CC05		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 03/03/2017	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación	CANTIDAD:	1
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	0.55 kg
DIMENSIONES:	250 x 15 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	-
No. SERIE:	D7	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-05
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>		
DATOS INFORMATIVOS			
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO	
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	D7
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Fecha de realización:	03/03/2017
Lugar de realización:	CIRT	Temperatura Ambiente:	21,9 °C
		Humedad Relativa:	69 %
		TIPO DE ENSAYO	
		<input checked="" type="checkbox"/> De Laboratorio	
		<input type="checkbox"/> De Proceso/Faller	
		<input type="checkbox"/> De Campo	
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO	
Tipo:	Revenido post soldadura	Marca:	EMCOTEST
Temperatura de Tratamiento:	600 °C	Modelo:	N4B000 Identador: EMCO 5497
Tiempo de Sostentamiento:	2 h	No. de Serie:	6642 Reloj: FM 1101/80 (ES 384896)
PROTOCOLO DE ENSAYO DE DUREZA			
Método:	Dureza Rockwell	Pre-carga:	10 Kgf
Norma Aplicable:	ASTM A370-16, ASTM E18-15	Carga aplicada:	150 Kgf
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°	Tiempo de aplicación:	10 s
RESULTADOS			
		DUREZA ACERO ASTM A743 CA6-NM Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación	
			
No.	Distancia desde el centro (mm)	Dureza HRC	
1	0	29.8	
2	3	29.4	
3	6	29.2	
4	9	28.5	
5	12	24.8	
6	15	25.2	
7	20	25.2	
8	25	25.0	
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS			
La dureza máxima registrada para el Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM luego de recuperación por soldadura y revenido a 600 °C por 2 horas es de 29.8 HRC en el centro de la soldadura y la dureza mínima es de 24.8 HRC a una distancia de 12 mm. de distancia desde el centro de la zona de fusión y en el material base.			
OBSERVACIONES			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca	
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA	

4.3.8.4 METALOGRAFÍA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO METALOGRÁFICO <i>Metallographic Test</i>				
Reg. No.:	ETT-REG-CC08	Revisión:	1	Hoja:	1 de 3	
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	03/04/2017			
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
DATOS INFORMATIVOS						
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO		CONDICIONES AMBIENTALES		
Solicitado Por:	Ing. Juan Auz	Ensayo No.:	08	Temperatura Ambiente:	22.6 °C	
Realizado Por:	Ing. Juan Auz	Id. probeta:	M7	Humedad Relativa:	67.2 %	
Centro de Análisis:	CIRT	Fecha de realización:	05/04/2017		Velocidad del Aire:	Estático
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero Inoxidable	Proceso:	GMAW	Tipo:	Revenido	
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER 410Ni-Mo	Temperatura:	600 °C	
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo de Sostenimiento:	2 h	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO						
Tipo de estudio:	De laboratorio		Preparación de la superficie:	Pulido Mecánico		
Equipo:	Microscopio óptico invertido		Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo/Serie:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	135/180 seg		
Norma Aplicable:	ASTM E3-11 ASTM E407-07e1		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
RESULTADOS						
FOTOGRAFÍAS DE LA MICROESTRUCTURA DE LA SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN						
						
Material Base		Zona de Fusión				
						
ZAT Soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C x 2 h, 100X, Vilella						



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 2 de 3

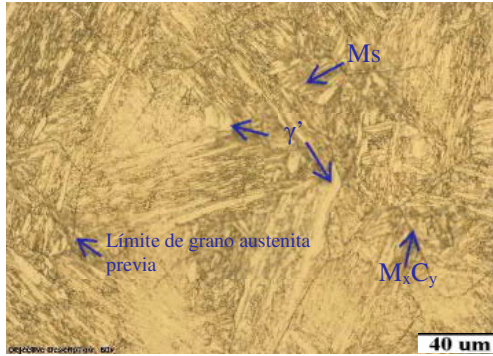
Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Material Base
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (63.17 \mu\text{m} + 65.94 \mu\text{m}) / 2 = 64.56 \mu\text{m}$$

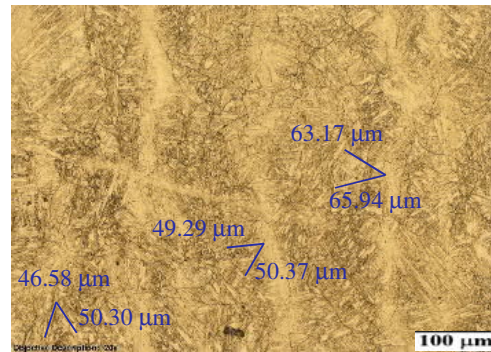
$$Lb = (50.37 \mu\text{m} + 49.29 \mu\text{m}) / 2 = 49.83 \mu\text{m}$$

$$Lc = (50.30 \mu\text{m} + 46.58 \mu\text{m}) / 2 = 48.44 \mu\text{m}$$

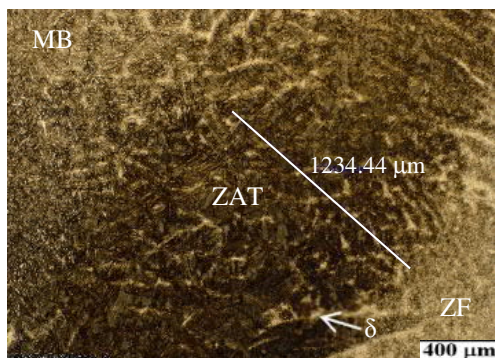
$$L7 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L7 = (64.56 \mu\text{m} + 49.83 \mu\text{m} + 48.44 \mu\text{m}) / 3$$

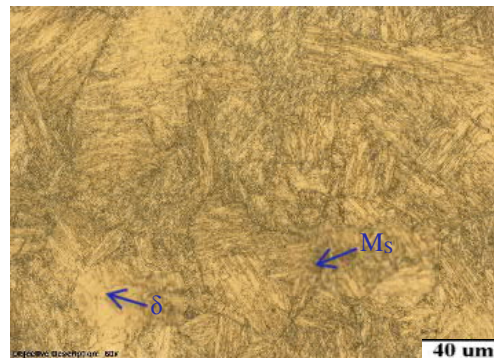
$$L7 = 54.28 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT



ZAT, 50X, 135 min, Vilella



ZAT, 500X, 135 min, Vilella

Ancho de la ZAT 1234.44 μm. Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Ferrita (δ)



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO METALGRÁFICO**

Metallographic Test

Reg. No.: ETT-REG-CC08

Revisión: 1

Hoja: 3 de 3

Cliente: CELEC EP

Fecha:

03/04/2017



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZAT

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (113.39 \mu\text{m} + 112.04 \mu\text{m}) / 2 = 112.72 \mu\text{m}$$

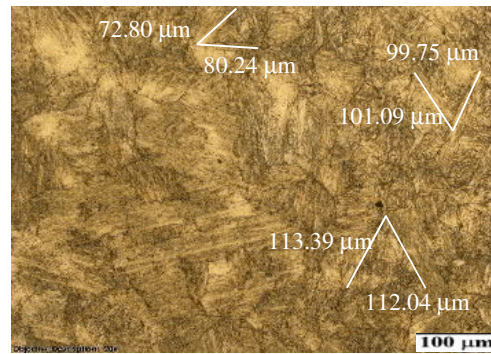
$$Lb = (101.09 \mu\text{m} + 99.75 \mu\text{m}) / 2 = 100.42 \mu\text{m}$$

$$Lc = (80.24 \mu\text{m} + 72.80 \mu\text{m}) / 2 = 76.52 \mu\text{m}$$

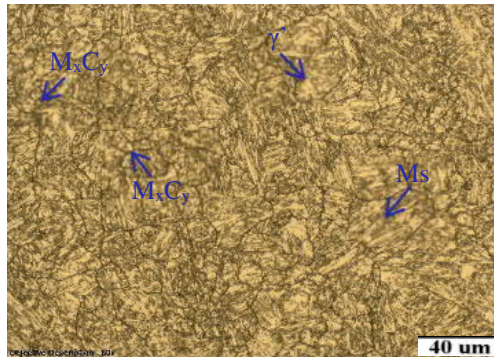
$$L7 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L7 = (112.72 \mu\text{m} + 100.42 \mu\text{m} + 76.52 \mu\text{m}) / 3$$

$$L7 = 96.55 \mu\text{m}$$



ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA DE FUSIÓN



Material: Acero Inoxidable Martensítico
 ASTM A743 grado CA6-NM
 T. Térmico: Revenido a 600 °C x 2 horas
 Zona: Depósito de soldadura
 Mat. de aporte: Electrodo ER-410NiMo (GMAW)
 Reactivo: Vilella
 Magnificación: 500X

Componentes microestructurales:

- Martensita revenida (Ms)
- Austenita retenida (γ')

DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS AGUJAS DE MARTENSITA

Cálculo: Tamaño promedio de listones

Magnificación: 200X

$$La = (43.32 \mu\text{m} + 41.99 \mu\text{m}) / 2 = 42.66 \mu\text{m}$$

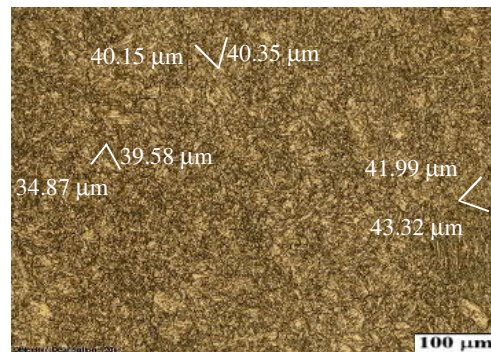
$$Lb = (40.35 \mu\text{m} + 40.15 \mu\text{m}) / 2 = 40.25 \mu\text{m}$$

$$Lc = (39.58 \mu\text{m} + 34.87 \mu\text{m}) / 2 = 37.23 \mu\text{m}$$

$$L7 = (La + Lb + Lc) / 3$$

$$L7 = (42.66 \mu\text{m} + 40.25 \mu\text{m} + 37.23 \mu\text{m}) / 3$$

$$L7 = 40.04 \mu\text{m}$$



OBSERVACIONES: En el MB y ZF se presenta una estructura con matriz de martensita revenida (Ms) y fase secundaria austenita retenida (γ'). La ZAT muestra martensita revenida (Ms) y ferrita (δ) en las diferentes regiones que la conforman. Se observa depósito de carburos en la ZF.

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Velocidad de aplicación de la carga: 1 kN/s.

Tabla 4.12 Resultados ensayo de tracción acero ASTM A743 CA6-NM.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T0.1	677.89	862.10	12.81	200.94
T0.2	720.61	838.89	17.51	196.82
T0.3	692.79	837.12	23.97	192.39
T0.4	684.32	837.94	25.79	199.23
Media Aritmética	693.90	844.01	20.02	197.35
Desviación Estándar	18.82	12.08	5.98	3.71

Fuente: El autor.

Tabla 4.13 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, como soldado sin tratamiento térmico.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T1.1	737.08	848.73	12.13	188.66
T1.2	724.72	854.40	11.21	187.11
T1.3	716.37	836.30	12.97	204.11
T1.4	717.84	851.14	13.41	193.40
Media Aritmética	724.00	847.64	12.43	193.32
Desviación Estándar	9.45	7.91	0.97	7.67

Fuente: El autor.

Tabla 4.14 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1^{ra} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T2.1	735.50	849.52	23.41	183.05
T2.2	731.54	849.15	21.60	193.17
T2.3	734.88	847.05	22.00	202.59
T2.4	726.96	848.03	22.85	191.68
Media Aritmética	732.22	848.43	22.46	192.62
Desviación Estándar	3.91	1.12	0.82	8.00

Fuente: El autor.

Tabla 4.15 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2^{da} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T3.1	708.49	840.56	22.05	181.13
T3.2	701.73	833.22	22.14	177.15
T3.3	694.29	832.93	24.75	203.96
T3.4	724.21	837.50	22.65	200.22
Media Aritmética	707.18	836.05	22.90	190.61
Desviación Estándar	12.75	3.66	1.27	13.44

Fuente: El autor.

Tabla 4.16 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3^{ra} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T4.1	691.00	800.03	22.75	193.90
T4.2	696.40	820.05	23.04	179.86
T4.3	703.19	821.54	21.54	189.88
T4.4	699.95	814.71	23.03	184.12
Media Aritmética	697.64	814.09	22.59	186.94
Desviación Estándar	5.22	9.82	0.71	6.19

Fuente: El autor.

Tabla 4.17 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1^{ra} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T5.1	753.37	854.87	21.36	195.16
T5.2	757.40	857.92	21.51	184.75
T5.3	743.66	852.11	22.73	197.33
T5.4	747.39	853.87	22.20	180.62
Media Aritmética	750.45	854.69	21.95	189.47
Desviación Estándar	6.12	2.44	0.63	8.06

Fuente: El autor.

Tabla 4.18 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2^{da} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T6.1	700.99	838.59	22.27	182.11
T6.2	702.84	842.46	21.28	156.76
T6.3	704.89	839.02	22.22	211.71
T6.4	697.68	835.71	22.09	196.66
Media Aritmética	701.60	838.94	21.96	186.81
Desviación Estándar	3.06	2.77	0.46	23.39

Fuente: El autor.

Tabla 4.19 Resultados ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3^{ra} recuperación.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T7.1	689.88	817.58	23.68	164.66
T7.2	699.69	817.92	25.82	212.11
T7.3	698.44	820.52	25.98	150.56
T7.4	702.23	824.21	24.74	170.47
Media Aritmética	697.56	820.06	25.05	174.45
Desviación Estándar	5.36	3.06	1.07	26.46

Fuente: El autor.

Se toma como referencia los valores obtenidos para la condición “Como Soldado” sin TTPS, frente a los cuales se compara los resultados de los otros seis casos de estudio sometidos a TTPS.

Como se observa en la Figura 4.5, el material base presenta un valor promedio de Resistencia a la Fluencia de 693.90 MPa, el cual se encuentra sobre el valor mínimo especificado en el estándar ASTM A 743 de 550 MPa. En la condición “Como Soldado” sin tratamiento térmico, esta propiedad se ve considerablemente incrementada a un valor promedio de 724.0 MPa, es decir, mayor resistencia debido al endurecimiento ocasionado por el depósito de soldadura en la zona de afectación térmica y de fusión, generando un efecto de temple del material por las altas tasas de enfriamiento que conlleva el proceso de soldadura con la consecuente formación de martensita fresca.

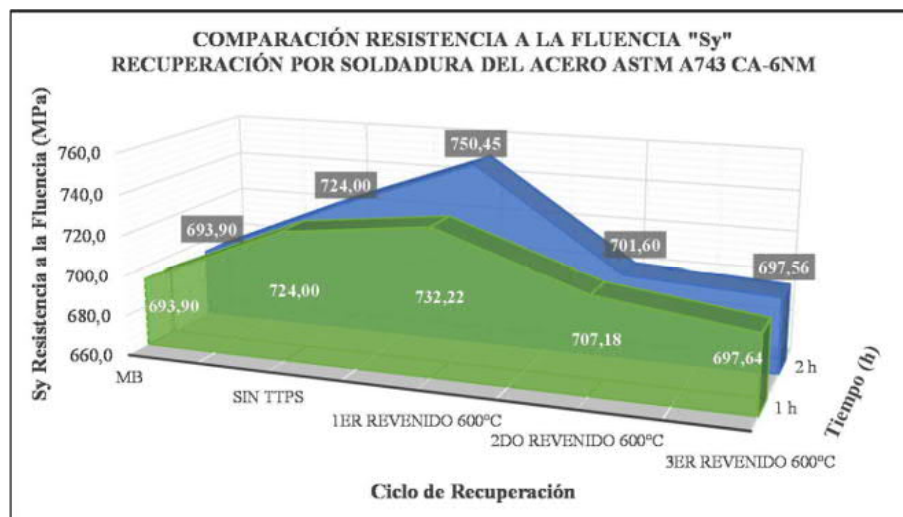


Figura 4.5 Variación de la Resistencia a la Fluencia “Sy”.

Fuente: El autor.

Con la ejecución del TTPS se busca la homogenización de la estructura para ajustar las propiedades mecánicas finales y la liberación de esfuerzos del material; es por ello, que se obtuvieron valores promedio de Resistencia a la Fluencia inclusive superiores a los reportados para el “Material Base”, sobre manera en el primer ciclo de recuperación con revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas, en los cuales se obtuvo los mayores valores de Resistencia a la Fluencia de 732.22 y 750.45 MPa correspondientemente. Conforme se incrementa el número de ciclos de recuperación (soldadura – mecanizado – tratamiento térmico) la Resistencia a la Fluencia presenta una tendencia descendente llegándose a obtener como valor mínimo de 697.64 MPa y de 697.56 MPa en el tercer ciclo de recuperación revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas correspondientemente. Esta tendencia podría atribuirse en parte a la presencia de discontinuidades en el material depositado conforme aumentan los ciclos de recuperación, como se puede ver en los ensayos de control de calidad del Anexo B.6. En todos los casos de soldadura más tratamiento térmico la Resistencia a la Fluencia reportada es mayor que la correspondiente al Material Base

Adicionalmente se aprecia en la Figura 4.5, que con el incremento del tiempo de sostenimiento los resultados obtenidos se mantienen muy cercanos; es decir, la influencia del tiempo de sostenimiento en esta propiedad es pequeña.

Un comportamiento similar se observa en la Resistencia a la Tracción, Figura 4.6. El “Material Base” como viene de fábrica tiene un valor promedio de 844.01 MPa de resistencia, sobre el valor mínimo del estándar ASTM A743 de 758 MPa. En la condición “Como Soldado”, este valor se incrementa ligeramente a 847.64 MPa y con la ejecución del TTPS durante el primer ciclo de recuperación se obtuvo el mayor valor promedio de 848.43 MPa y de 854.69 MPa para un tiempo de sostenimiento de 1 y 2 horas correspondientemente a 600 °C; a partir de este punto, los valores de esta propiedad muestran una tendencia descendente a medida que se incrementan los procesos de recuperación. Los valores mínimos son de 814.09 MPa y de 820.06 MPa para 1 y 2 horas de tratamiento durante el tercer ciclo y que todavía son superiores a los especificados por la norma ASTM A743.

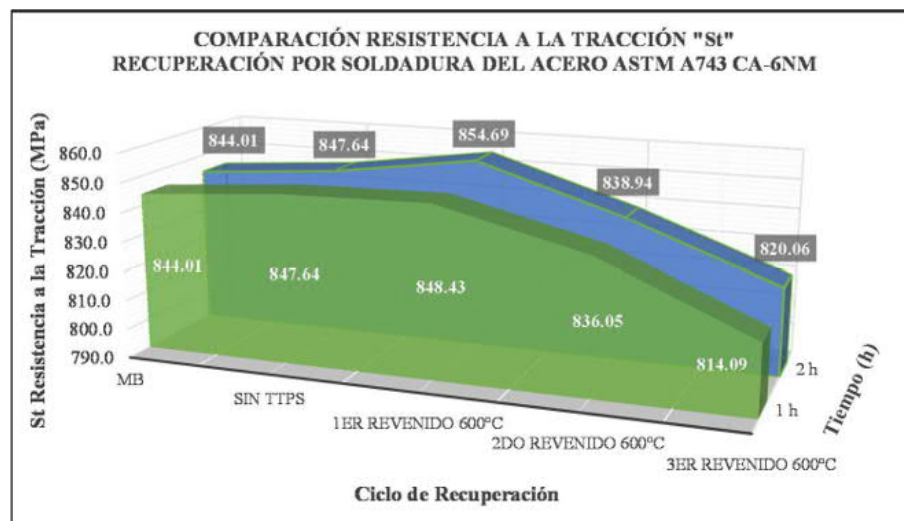


Figura 4.6 Variación de la Resistencia a la Tracción “St”.

Fuente: El autor.

La Resistencia a la Tracción es levemente sensible al tiempo de sostenimiento de los TTPS aplicados, por lo que los resultados obtenidos son cercanos para los dos tiempos ensayados como se aprecia en la Figura 4.6; es decir, a medida que se incrementa el tiempo de sostenimiento la Resistencia a la Tracción aumenta ligeramente.

La Figura 4.7 indica la evolución del Porcentaje de Elongación a la rotura en 50 mm. de la soldadura de acero ASTM A743 grado CA6-NM con electrodo ER 410

Ni-Mo. El “Material Base” utilizado presenta un valor promedio de 20.02 %, valor que supera el 15 % nominal especificado en el estándar ASTM A743.

En la condición “Como Soldado” esta característica es sumamente inferior con un valor de 12.43 %, es decir, se evidencia fragilización del material ocasionado por el depósito de soldadura, tanto en la zona de afectación térmica como en la zona de fusión; esto a su vez puede ser corroborado con el ensayo de dureza, en el cual se puede verificar que en dichas zonas existe endurecimiento debido a la presencia de estructuras metalográficas de elevada dureza y fragilidad. Además se puede observar en las gráficas de Esfuerzo vs. Deformación de las probetas ensayadas para ésta condición que la deformación total presenta alta variación entre 11.68 % y 21.29 % debido a la pérdida de homogeneidad de la estructura del material ocasionado por el depósito de soldadura.

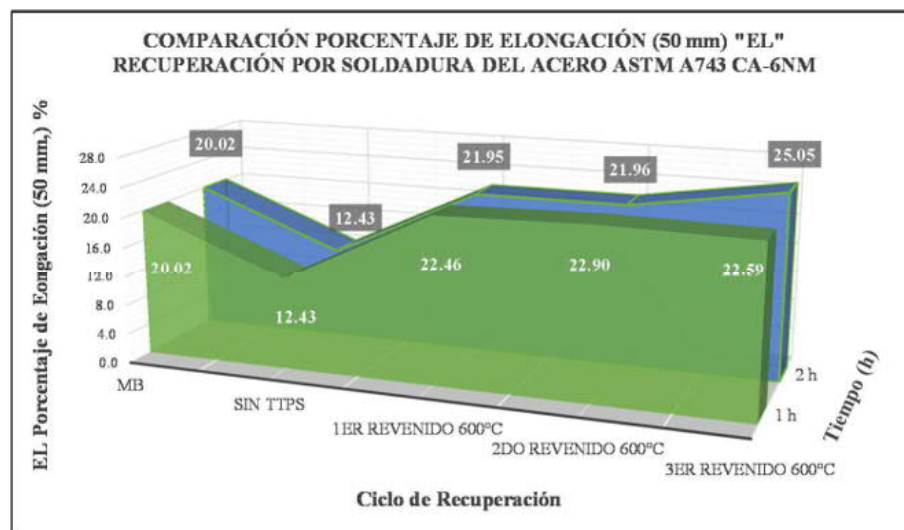


Figura 4.7 Variación del porcentaje de Elongación “EL”.

Fuente: El autor.

En la condición tratada térmicamente incrementa el Porcentaje de Elongación, obteniéndose en todos los casos de estudio valores superiores a los reportados para el “Material Base”. Al aumentar el número de ciclos de recuperación la Elongación va incrementando, llegando a tener valores promedio de 22.59 % y de 25.05 % en la tercera recuperación con revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas

correspondientemente. Esta tendencia se debe al ablandamiento y liberación de tensiones residuales que se alcanza con el TTPS.

Respecto al incremento del tiempo de sostenimiento se puede ver en la Figura 4.7, que la diferencia es muy poco marcada.

La Figura 4.8 muestra la variación del Módulo de Elasticidad de la soldadura del acero ASTM A743 grado CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo. El “Material Base” presenta un valor promedio de 197.35 GPa. En la condición “Como Soldado” sin tratamiento térmico, el Módulo de Elasticidad disminuye ligeramente a un valor promedio de 193.32 GPa. A medida que aumenta el número de ciclos de recuperación esta propiedad disminuye, indicando que las probetas con TTPS presentan mayor elasticidad, llegando a tener como valor mínimo de 186.94 GPa y de 174.45 GPa en la tercera recuperación con revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas correspondientemente.

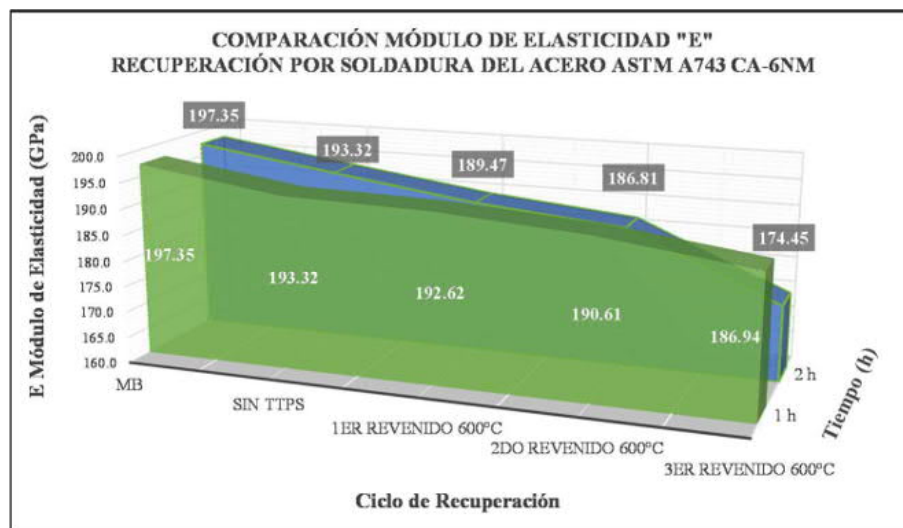


Figura 4.8 Variación del Módulo de Elasticidad “E”.

Fuente: El autor.

Con TTPS el Módulo de Elasticidad reduce en la primera recuperación con revenido a 600 °C obteniéndose valores promedio de 192.62 GPa para 1 hora y de 189.47 GPa para 2 horas de sostenimiento. A medida que aumenta el número de ciclos de recuperación esta propiedad disminuye, indicando que las probetas con TTPS presentan mayor elasticidad, llegando a tener como valor mínimo de 186.94 GPa y de 174.45 GPa en la tercera recuperación con revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas correspondientemente.

En prácticamente todos los casos de estudio con TTPS el Módulo de Elasticidad reportado es menor que el del “Material Base”. Además, respecto al incremento de la variable tiempo de sostenimiento se puede ver en la Figura 4.8, que el Módulo de Elasticidad disminuye conforme aumenta el tiempo de sostenimiento.

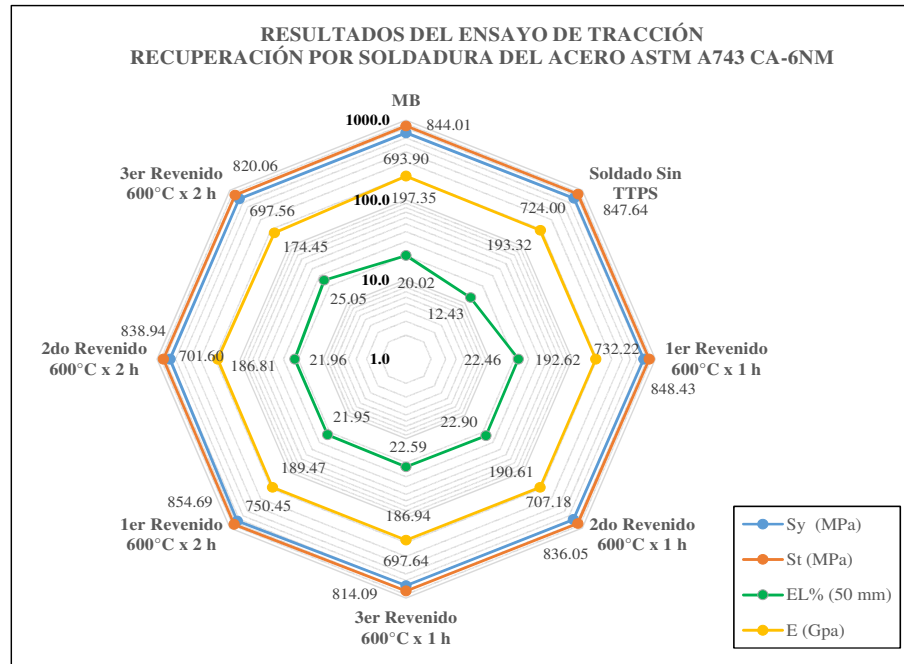


Figura 4.9 Comparación de los resultados del ensayo de tracción.

Fuente: El autor.

En la Figura 4.9 se muestra de manera conjunta todos los resultados obtenidos a partir del ensayo de tracción. Se puede apreciar notablemente que ciertas propiedades sufren una desviación en determinadas condiciones de estudio. Es así que para el análisis sin TTPS el Porcentaje de Elongación a la rotura es 38 % menor con respecto al “Material Base”, inclusive menor que el valor nominal especificado en el estándar ASTM A743, característica que es recuperada con la aplicación de TTPS con una marcada tendencia a incrementar la ductilidad del material ensayado; por su lado, la Resistencia a la Tracción y la Resistencia a la Fluencia reportadas para este caso alcanzan valores superiores respecto al “Material Base”.

Los valores mínimos obtenidos de la Resistencia a la Fluencia y a la Tracción con TTPS siempre están sobre el valor nominal de la especificación del material (Anexo A.1)

Considerando que el “Material Base” tiene un tratamiento térmico similar a los aplicados en la presente investigación, en la gráfica se puede apreciar que para los 7 casos de estudio con TTPS, las propiedades de tracción se mantienen bastante próximas entre sí, con las tendencias analizadas en los párrafos anteriores; lo que indica que el tratamiento térmico permite ajustar y homogenizar las propiedades mecánicas del material y/o del depósito.

La morfología de la zona de fractura de las probetas ensayadas tanto para el “Material Base” así como para las diferentes condiciones tratadas térmicamente muestran una morfología de tasa y cono con labios cortantes en los bordes en un plano a 45° aproximadamente, características de un tipo de fractura dúctil. Para el caso “Como Soldado”, se evidencia una transición dúctil – frágil ocasionada por la evolución hacia una microestructura más dura y de mayor fragilidad.

4.4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO

Tabla 4.20 Resultados ensayo de impacto acero ASTM A743 CA6-NM.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I0.1	57.00
I0.2	58.50
I0.3	55.00
Media Aritmética	56.83
Desviación Estándar	1.76

Fuente: El autor.

Tabla 4.21 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, sin tratamiento térmico.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I1.1	20.00
I1.2	18.00
I1.3	21.00
Media Aritmética	19.67
Desviación Estándar	1.53

Fuente: El autor.

Tabla 4.22 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 1^{ra} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I2.1	36.00
I2.2	30.00
I2.3	32.00
Media Aritmética	32.67
Desviación Estándar	3.06

Fuente: El autor.

Tabla 4.23 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 2^{da} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I3.1	40.00
I3.2	40.00
I3.3	36.00
Media Aritmética	38.67
Desviación Estándar	2.31

Fuente: El autor.

Tabla 4.24 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 1 hora, 3^{ra} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I4.1	45.00
I4.2	41.00
I4.3	44.00
Media Aritmética	43.33
Desviación Estándar	2.08

Fuente: El autor.

Tabla 4.25 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 1^{ra} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I5.1	33.00
I5.2	30.00
I5.3	35.00
Media Aritmética	32.67
Desviación Estándar	2.52

Fuente: El autor.

Tabla 4.26 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 2^{da} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I6.1	45.00
I6.2	40.00
I6.3	46.00
Media Aritmética	43.67
Desviación Estándar	3.21

Fuente: El autor.

Tabla 4.27 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas, 3^{ra} recuperación.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I7.1	44.00
I7.2	46.00
I7.3	44.00
Media Aritmética	44.67
Desviación Estándar	1.15

Fuente: El autor.

La Figura 4.10 muestra la evolución de la Energía de Impacto Absorbida por el acero ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, desde la condición “Material Base” hasta un tercer ciclo de recuperación con TTPS. El “Material Base” presenta un valor promedio de 56.83 J.

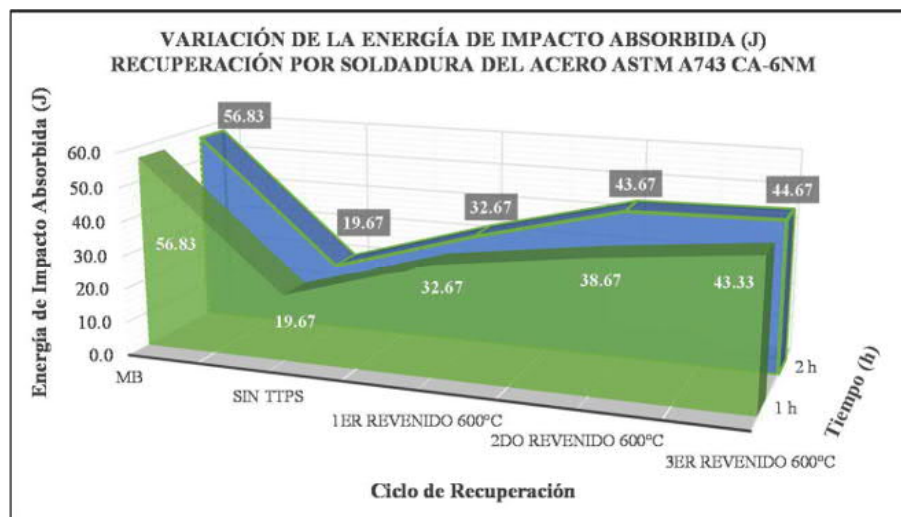


Figura 4.10 Variación de la Energía de Impacto Absorbida.

Fuente: El autor.

En condición sin TTPS, la Energía de Impacto Absorbida es sumamente inferior con un valor de 19.67 J, lo que demuestra una acentuada fragilización y pérdida de tenacidad ocasionada por el proceso de soldadura en un 65.4 % menos con respecto al “Material Base” lo cual es concordante con lo expuesto en el análisis del Porcentaje de Elongación, en cuanto al endurecimiento producido por el depósito de soldadura y la formación de una nueva estructura metalográfica conformada por martensita dura y frágil.

La aplicación de TTPS recupera en gran parte esta propiedad. Con el revenido a 600°C durante 2 horas de sostenimiento se mejora la Energía de Impacto en un 66.09% para la primera recuperación y en 127.10% para la tercera recuperación con respecto al material soldado sin TTPS. La Energía de Impacto Absorbida incrementa a medida que aumenta el número de ciclos de recuperación y el tiempo de sostenimiento, llegando a alcanzar como valor promedio de 43.33 J y de 44.67 J en la tercera recuperación con revenido a 600 °C durante 1 y 2 horas correspondientemente. Esta tendencia está asociada a la transformación microestructural de la zona de fusión hacia una estructura martensítica revenida con presencia de austenita retenida, con lo cual se consiguió mejorar la ductilidad y tenacidad del material.

Respecto a la morfología de la zona de fractura de las probetas de “Material Base” y con TTPS se observa una superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura de tasa y cono, topografía central fibrosa con apariencia ligeramente brillante, cizalladura a 45° aproximadamente, distintivos de un tipo de fractura dúctil. Ilustración 4.11. muestra la zona de fractura de a) “Material Base, b) revenido a 600 °C por 1 h, c) revenido a 600 °C por 2 h.

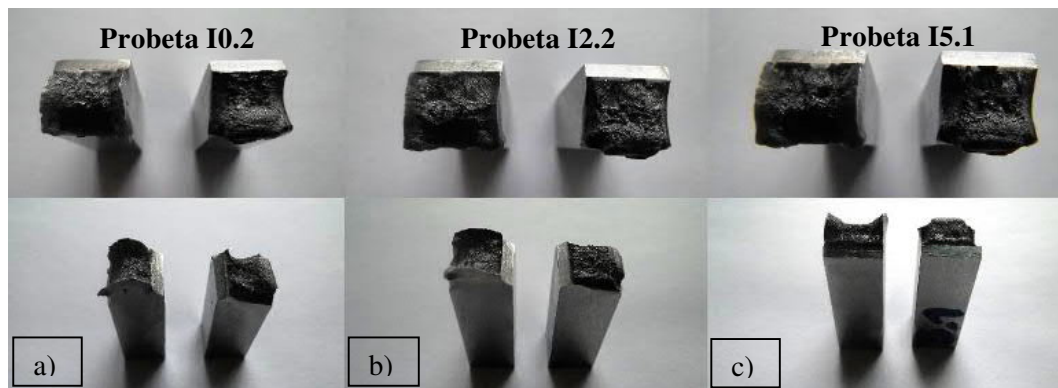


Ilustración 4.11 Zona de fractura de probetas de impacto.

Fuente: El autor.

El caso “Como Soldado” sin TTPS muestra superficie irregular que presenta ligera deformación plástica con región de fractura de tasa y cono con pequeños labios de cizalladura a 45° aproximadamente. Topografía granular y fibrosa con apariencia opaca y brillante respectivamente, Ilustración 4.12. Exhibe características de mecanismos de fractura 40% dúctil y 60 % frágil aproximadamente.



Ilustración 4.12 Zona de fractura probeta de impacto “Como Soldado”.

Fuente: El autor.

4.4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

Tabla 4.28 Resultados ensayo de dureza acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.

RESULTADOS ENSAYO DE DUREZA HRC								
Caso de Estudio	Distancia desde el centro de la soldadura (mm)							
	Zona de Fusión			Transición		Zona Material Base		
	0	3	6	9	12	15	20	25
0. Material Base	26.9	-	-	-	-	-	-	-
1. Como Soldado Sin TTPS	40.0	35.5	34.8	36.8	26.2	26.5	25.5	25.5
2. 1 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	29.7	31.0	28.0	27.5	25.0	26.5	26.0	26.0
3. 2 ^{do} Revenido 600°C x 1 h	29.5	29.9	29.2	29.0	26.5	25.5	26.0	25.5
4. 3 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	28.8	29.8	29.2	30.0	25.3	24.5	25.0	25.0
5. 1 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	30.2	29.7	29.2	30.5	26.0	27.0	26.5	26.5
6. 2 ^{do} Revenido 600°C x 2 h	30.0	31.0	28.8	29.6	24.6	25.2	26.0	25.7
7. 3 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	29.8	29.4	29.2	28.5	24.8	25.2	25.2	25.0

Fuente: El autor.

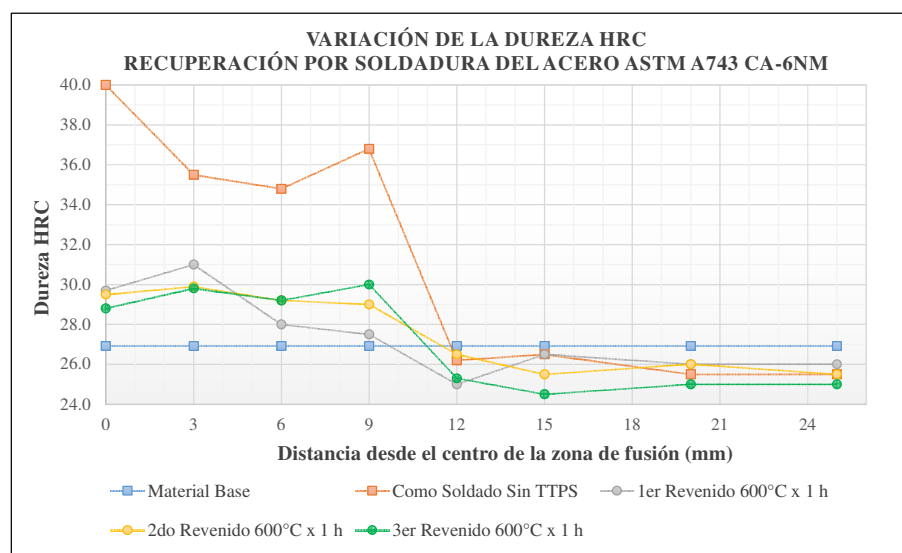


Figura 4.11 Variación de la Dureza, recuperación del acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C por 1 hora.

Fuente: El autor.

La Figura 4.11 muestra la variación de la Dureza del acero ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, medida en escala Rockwell C, en la condición “Material Base”, sin TTPS y hasta un tercer ciclo de recuperación con revenido a 600°C durante 1 hora de sostenimiento. El “Material Base” original presenta una dureza promedio de 26.9 HRC, la cual se encuentra dentro del valor máximo de 285 HBW (29.9 HRC) especificado en el estándar ASTM A743.

En la condición “Como Soldado” sin TTPS, existe un claro incremento de la dureza con valores dispersos a lo largo de la línea de evaluación. El máximo valor de dureza se encuentra en el centro de la zona de fusión llegando a 40 HRC y con un promedio de 36.8 HRC; conforme se aleja del centro empieza a disminuir hasta nuevamente incrementar a 9 mm. de distancia con un valor de 36.8 HRC para a partir de ello reducir de manera drástica y estabilizarse en un valor de 25.5 HRC en el material base. Se observa notorio endurecimiento del material en el depósito de soldadura como respuesta a la formación de una fase martensítica fresca sin revenir de dureza superior, causante de la fragilización y pérdida de tenacidad de material en esta condición de estudio, lo cual correlaciona los valores obtenidos en el ensayo de tracción e impacto ocasionando así una mayor Resistencia a la Tracción, disminución del Porcentaje de Elongación y menor Energía de Impacto Absorbida en el estado “Como Soldado”.

Para los casos de estudio con TTPS a 600 °C por 1 hora se observa el efecto de ablandamiento del material y homogenización de la dureza, lo cual está asociado con la evolución microestructural de la zona de fusión hacia una estructura martensítica revenida de menor dureza con presencia de austenita retenida suave. De estos 3 casos se pudo determinar que el máximo valor de dureza está en el centro del depósito de soldadura con un promedio de 29.6 HRC en esta zona, los menores valores a una distancia de 12 mm. junto a la ZAT 25.0 HRC, la dureza tiende a estabilizarse a partir de los 15 mm. de distancia ya en el material base con un valor promedio de 26.2. HRC, en la primera recuperación.

De manera análoga la Figura 4.12 muestra la variación de la Dureza del acero ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo hasta un tercer

ciclo de recuperación con revenido a 600°C, pero durante 2 horas de sostenimiento. Los resultados para la condición “Material Base” y “Como Soldado” son los mismos detallados en la figura que antecede.

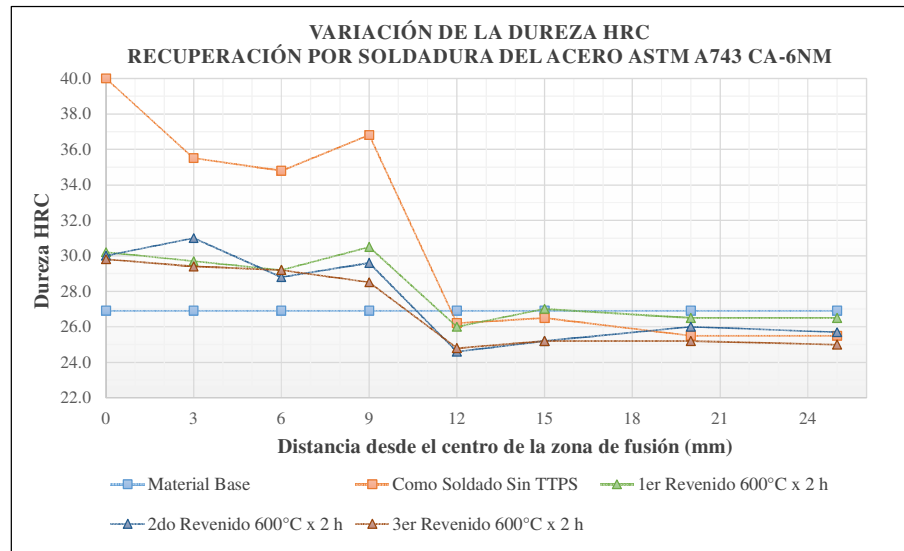


Figura 4.12 Variación de la Dureza, recuperación del acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo, revenido a 600 °C por 2 horas.

Fuente: El autor.

Para el TTPS a 600 °C por 2 horas se observa el efecto de ablandamiento del material y homogenización de la dureza ligeramente más acentuado con menor dispersión de valores. El máximo valor de dureza de estos 3 casos se obtuvo en el depósito de soldadura con un valor promedio de 29.9 HRC, los menores valores a una distancia de 12 mm. junto a la ZAT 24.6 HRC, la dureza tiende a estabilizarse a partir de los 15 mm. de distancia en el material base con un valor promedio de 25.6 HRC, esto en el segundo ciclo de tratamiento térmico.

En la tabla a continuación se presenta los valores de dureza promedio para la zona de fusión y para la zona de material base para cada caso de estudio. Los valores obtenidos tienen una tendencia a disminuir la dureza, al aumentar el número de ciclos de tratamiento térmico existe mayor ablandamiento de la zona de fusión y del material base. La diferencia de 1 hora en el tiempo de sostenimiento genera muy poco efecto sobre esta propiedad pudiendo apreciar que los valores de dureza para los dos tiempos de sostenimiento son bastante cercanos.

Tabla 4.29 Valores promedio de dureza acero ASTM A743 CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.

VALORES PROMEDIO DE DUREZA HRC				
Caso de Estudio	Zona de Fusión		Zona Material Base	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
0. Material Base	-	-	26.9	0.1
1. Como Soldado Sin TTPS	36.8	2.8	25.8	0.6
2. 1 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	29.6	1.5	26.2	0.3
3. 2 ^{do} Revenido 600°C x 1 h	29.5	0.4	25.7	0.3
4. 3 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	29.3	0.5	24.8	0.3
5. 1 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	29.7	0.5	26.7	0.3
6. 2 ^{do} Revenido 600°C x 2 h	29.9	1.1	25.6	0.4
7. 3 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	29.5	0.3	25.1	0.1

Fuente: El autor.

4.4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE METALOGRAFÍA

La microestructura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM utilizado en el presente estudio está constituida completamente por martensita revenida (Ms) y la fase secundaria austenita retenida (γ') finamente dispersa a lo largo de los límites de los listones de martensita; se aprecia también los límites de grano de la austenita previa, lo cual es semejante con los resultados obtenidos por A. Akhiate [et al.] 2014, S. Safaran [et al.] 2013 y F. Mirakhorli [et al.] 2015. Además, el bajo contenido de carbono conduce a la formación de una fase martensítica suave en estado revenido (26.9 HRC).

Esta estructura (Ms) presenta una morfología acicular ordenada en paquetes de listones paralelos, orientados en diferentes planos que crecen cortando la masa de austenita, conformando una estructura gruesa.

Tabla 4.30 Comparación de las microestructuras obtenidas.

MICROESTRUCTURA			
Caso de Estudio	MATERIAL BASE	ZAT	ZONA DE FUSIÓN
Material Base	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	-	-
Como Soldado Sin TTPS	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ') Ferrita (δ)	Martensita fresca (Msf)
1 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Ferrita (δ)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')
2 ^{do} Revenido 600°C x 1 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Ferrita (δ)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')
3 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')
1 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Ferrita (δ)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')
2 ^{do} Revenido 600°C x 2 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Ferrita (δ)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')
3 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')	Martensita revenida (Ms) Ferrita (δ)	Martensita revenida (Ms) Austenita retenida (γ')

Fuente: El autor.

Como se observa en la Tabla 4.30, para la condición “Como Soldado” sin tratamiento térmico y para todos los casos de análisis con Revenido a 600 °C durante una y dos horas la microestructura del material base a temperatura ambiente es la misma que la del material base inicial, es decir, martensita revenida (Ms) y austenita retenida (γ'), estructura que no se ve afectada durante todo el proceso.

En la ZAT la microestructura para todas las condiciones de estudio está compuesta por martensita revenida (Ms) y pequeñas islas de ferrita (δ); en la condición soldada sin TTPS se encuentra también austenita retenida (γ'). En esta zona se puede ver además, que está conformada por diferentes regiones caracterizadas principalmente por su tamaño, debido a las transformaciones de fase de conformidad con los gradientes de temperatura durante los ciclos térmicos impuestos por la soldadura, generando diferentes regiones ZAT según lo indicado en la Figura 2.9. Así, se puede apreciar en las micrografías la presencia de martensita que ha nucleado a partir de diferentes tamaños de grano de la austenita primaria.

A partir de los resultados del ensayo de tracción, de manera general, se puede observar que la fractura se produce en la ZAT, por lo que se asume una menor resistencia durante la tracción en la ZAT; de acuerdo con J. Escobar [et al.] este resultado se atribuye a la presencia de ferrita (δ), la cual posee menor resistencia y actúa como un concentrador de esfuerzos que produce un avance de las grietas y genera menor respuesta dúctil.

La zona de fusión del material en estado “Como Soldado” sin tratamiento térmico presenta una microestructura compuesta completamente por martensita fresca (M_{sf}), caracterizada por su elevada dureza (40 HRC) y baja tenacidad lo cual imprime fragilidad al elemento soldado, como se puede contrastar con los resultados obtenidos para el Porcentaje de Elongación y Resistencia al Impacto. Esta estructura es concordante con lo determinado en el diagrama de constitución de Schaeffler. En esta zona, además se observa variación en la morfología con una estructura fina, media y gruesa de la martensita debido al refinamiento de grano ocasionado por los cordones de soldadura subsecuentes, como se observa en la fotografía a continuación. Este refinamiento del grano hace que el material adquiera mayor resistencia y dureza en esta zona.

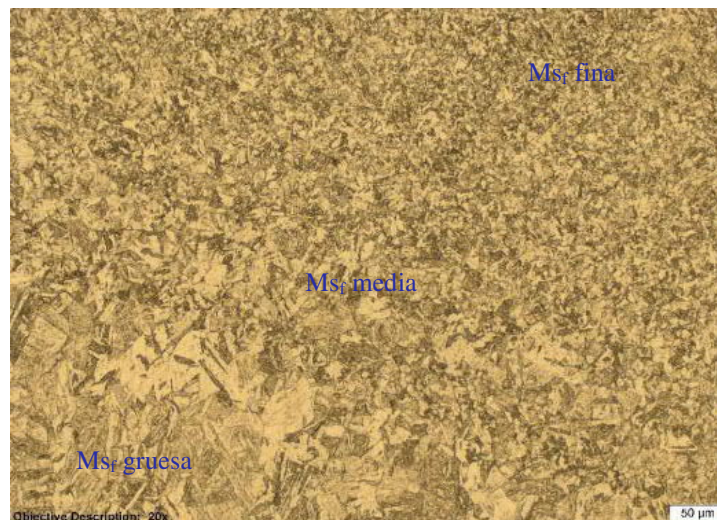


Ilustración 4.13 Micrografía zona de fusión soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, sin TTPS, 200X, Vilella.

Fuente: El autor.

Con la ejecución del revenido post soldadura a 600°C durante una y dos horas de sostenimiento se obtuvo los mismos componentes microestructurales del material base, con el consecuente mejoramiento de las propiedades de ductilidad, energía de impacto absorbida y homogenización de la dureza.

A partir de los datos de la Tabla 4.31, donde se presenta el tamaño promedio de las agujas de martensita en el material base, ZAT y en la zona de fusión para las diferentes condiciones de estudio, se puede ver que el crecimiento de los listones de martensita está relacionado con el tamaño de grano de la austenita previa. En comparación con el material base inicial, en el que se obtuvo un tamaño de 83.87 μm en promedio, se puede ver que en la región de material base para los distintos casos de estudio existe una pequeña variación con tendencia a disminuir la longitud de los listones de martensita revenida conforme aumenta el número de ciclos de recuperación y el tiempo de sostenimiento del TTPS, obteniéndose una longitud mínima de 61.43 μm para el tercer revenido a 600 °C durante una hora y de 53.51 μm para el segundo revenido a 600 °C durante dos horas de sostenimiento.

Tabla 4.31 Tamaño promedio de los listones de martensita.

LONGITUD DE LISTONES DE MARTENSITA (μm)			
Caso de Estudio	MATERIAL BASE	ZAT	ZONA DE FUSIÓN
Material Base	83.87	-	-
Como Soldado Sin TTPS	50.56	73.56	38.00
1 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	70.77	100.51	44.81
2 ^{do} Revenido 600°C x 1 h	81.86	137.96	38.19
3 ^{er} Revenido 600°C x 1 h	61.43	85.03	35.54
1 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	66.00	97.18	43.44
2 ^{do} Revenido 600°C x 2 h	53.51	86.19	43.38
3 ^{er} Revenido 600°C x 2 h	54.28	96.55	40.04

Fuente: El autor.

La ZAT presenta de manera general un crecimiento de los paquetes de martensita en comparación con el material base inicial, lo cual obedece al crecimiento de grano de la austenita durante el ciclo de calentamiento del proceso de soldadura.

En la zona de fusión, conformada por martensita fresca (M_{sf}) para el acero “Como Soldado” y por una matriz fina de martensita revenida (M_s) para la condición tratada térmicamente, la longitud de los listones de martensita es mucho más pequeña en comparación con los del material base inicial, entre 35.54 y 44.81 μm .

4.4.5 ANÁLISIS GENERAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS RESULTANTES

A continuación se presenta en forma conjunta en un diagrama radial los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas del proceso de recuperación del acero ASTM A743 grado CA6-NM a través de soldadura con electrodo ER 410 Ni-Mo, en estado soldado sin tratamiento térmico y soldado con tratamiento térmico para los casos que mejores propiedades se obtuvieron.

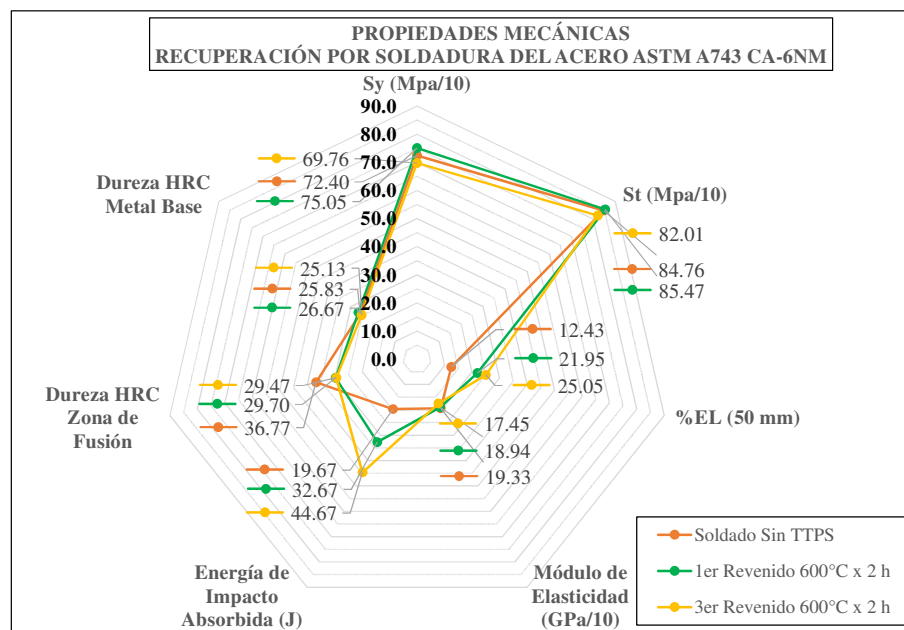


Figura 4.13 Propiedades mecánicas resultantes del acero ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410 Ni-Mo.

Fuente: El autor.

En base a los resultados alcanzados en los ensayos de tracción, impacto, dureza y metalografía se pudo verificar la variación en las propiedades mecánicas evaluadas frente a las diferentes condiciones de tratamiento térmico bajo una cierta temperatura y tiempo de sostenimiento. Comparativamente se determinó así que los

mejores resultados fueron obtenidos para el caso de estudio cinco: “Revenido a 600 °C por 2 horas, 1^{ra} recuperación”, los cuales se encuentran dentro de los parámetros requeridos por el estándar ASTM A743.

Con ello se evidencia que el TTPS permite mejorar las propiedades mecánicas que se ven afectadas por el proceso de soldadura y que con un adecuado control de calidad de los depósitos y un apropiado manejo de los parámetros de tratamiento se puede recuperar y poner nuevamente en servicio los elementos hidromecánicos.

A la luz de estos resultados vale la pena citar y comparar con dos análisis relacionados realizados por M. Edwards [et al.] acerca del “Estudio de Vida Residual de Rodetes Pelton” y por Maira Ávila [et al.] sobre la “Metodología para el Análisis de Integridad Estructural de Rodetes Pelton en la Central de San Carlos”, motivados en que la recuperación por soldadura significa una posible influencia negativa sobre la vida residual a fatiga, debido a la eventual introducción de defectos y esfuerzos residuales, que pueden acentuar el efecto de las cargas dinámicas de operación y acelerar la falla por fatiga del rodete. Sin embargo, en dichos estudios se demostró que la aplicación del mismo procedimiento con el que se reparan los rodetes, siempre que incluya precalentamiento, tratamiento térmico y un adecuado control de calidad de los depósitos conlleva a una condición equivalente al estado original, definido para una vida del orden de 10^{10} ciclos de carga, con una reducción drástica de los niveles de tensiones residuales con los cuales los esfuerzos medio y alternante en servicio quedan por debajo de la línea de vida de 10^{11} ciclos, ni alteran las propiedades del material base que pudiesen promover una falla por fatiga, colocando así al elemento recuperado en una condición de vida prácticamente infinita a tensiones cíclicas.^{72 73}

⁷² (EDWARDS, y otros, 2008)

⁷³ (ÁVILA, y otros, 2008)

4.5 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

HIPÓTESIS: “*El tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM permitirá mejorar las propiedades mecánicas del material*”.

La hipótesis nula (H_0) e hipótesis alternativa (H_a) planteadas son:

H_0 : Las propiedades mecánicas del acero ASTM A743 grado CA6-NM con tratamiento térmico post soldadura no cambian, es decir, son iguales a las propiedades mecánicas en la condición soldada sin tratamiento térmico.

H_a : Las propiedades mecánicas del acero ASTM A743 grado CA6-NM con tratamiento térmico post soldadura son superiores a las propiedades mecánicas en la condición soldada sin tratamiento térmico.

Considerando que la investigación se planteó como un análisis de casos y se trabajó con una muestra de tamaño pequeña, se procede a verificar la hipótesis de forma estadística en base a la evidencia muestral utilizando la Distribución t de Student para la mejor combinación de propiedades obtenidas con revenido a 600°C durante 2 horas en la primera recuperación, para cada uno de los ensayos: Resistencia a la Fluencia, Resistencia a la Tracción, Porcentaje de Elongación a la Rotura, Energía de Impacto Absorbida y Dureza.

- a. La forma matemática para la **Resistencia a la Fluencia** del caso seleccionado, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, corresponde:

$H_0: \mu = 724.00$ MPa, realmente no hay cambio en la resistencia

$H_a: \mu > 724.00$ MPa, hay un cambio en la resistencia

El intervalo de aceptación o rechazo para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ con $n-1 = 3$ grados de libertad (df) le corresponde un valor crítico de $t_{\text{crítico}} = 2.353$. Se toma en cuenta el valor positivo porque se trata de una prueba de hipótesis unilateral de cola derecha, ya que se busca determinar que un proceso es mejor que otro.

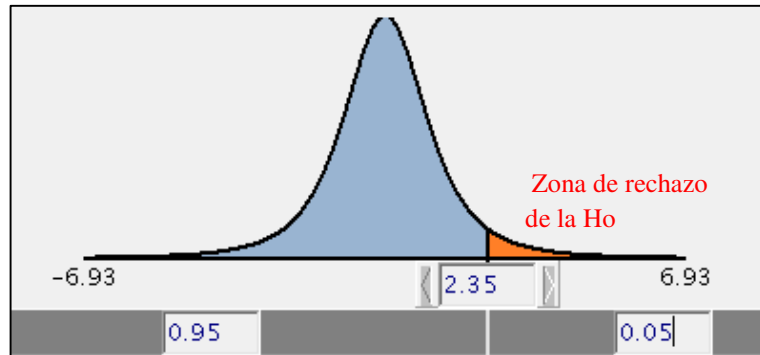


Figura 4.14 Distribución T student para $df=3$ y $\alpha = 0.05$, cola derecha.

Fuente: El autor.

El estadístico de la prueba t_{prueba} se calcula de la siguiente manera:⁷⁴

$$t_{\text{prueba}} = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n - 1}$$

Donde:

\bar{X} : Media de la muestra

μ : Valor a analizar

S: Desviación estándar de la muestra

n: tamaño de muestra

$$t_{\text{prueba}} = \frac{750.45 \text{ MPa} - 724.00 \text{ MPa}}{6.12 \text{ MPa}} \sqrt{4 - 1}$$

$$t_{\text{prueba}} = 7.49$$

Como $t_{\text{prueba}} = 7.49 > t_{\text{crítico}} = 2.35$, t_{prueba} se ubica en la región de rechazo de H_0 , los resultados son altamente significativos por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

b. La forma matemática para la **Resistencia a la Tracción** del caso seleccionado, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, corresponde:

$$H_0: \mu = 847.64 \text{ MPa}$$

$$H_a: \mu > 847.64 \text{ MPa}$$

⁷⁴ (SPIEGEL, 1976 pág. 215)

$$t_{\text{prueba}} = \frac{854.69 \text{ MPa} - 847.64 \text{ MPa}}{2.44 \text{ MPa}} \sqrt{4 - 1}$$

$$t_{\text{prueba}} = 5.00$$

Como $t_{\text{prueba}} = 5.00 > t_{\text{crítico}} = 2.35$, t_{prueba} se ubica en la región de rechazo de H_0 , los resultados son altamente significativos por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

c. La forma matemática para el **Porcentaje de Elongación a la Rotura (50 mm)** del caso seleccionado, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, corresponde:

$$H_0: \mu = 12.43 \%$$

$$H_a: \mu > 12.43 \%$$

$$t_{\text{prueba}} = \frac{21.95 \% - 12.43 \%}{0.63 \%} \sqrt{4 - 1}$$

$$t_{\text{prueba}} = 26.17$$

Como $t_{\text{prueba}} = 26.17 > t_{\text{crítico}} = 2.35$, t_{prueba} se ubica en la región de rechazo de H_0 , los resultados son altamente significativos por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

d. La forma matemática para la **Energía de Impacto Absorbida** del caso seleccionado, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, corresponde:

$$H_0: \mu = 19.67 \text{ J}$$

$$H_a: \mu > 19.67 \text{ J}$$

Al intervalo de aceptación o rechazo para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ con $n-1 = 2$ grados de libertad le corresponde un valor crítico de $t_{\text{crítico}} = 2.92$. Se toma en cuenta el valor positivo porque se trata de una prueba de hipótesis unilateral de cola derecha, ya que se busca determinar que un proceso es mejor que otro.

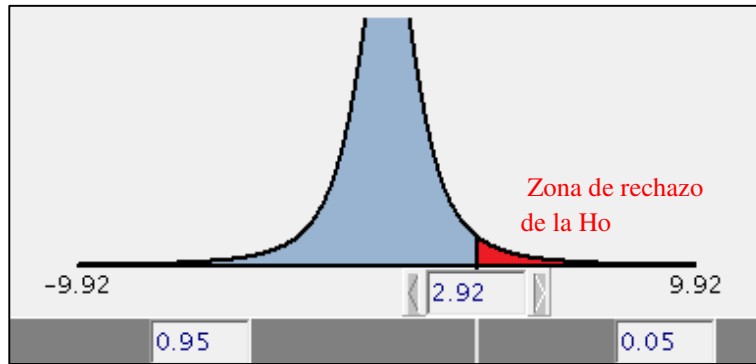


Figura 4.15 Distribución t student para $df= 2$ y $\alpha = 0.05$, cola derecha.

Fuente: El autor.

$$t_{\text{prueba}} = \frac{32.67 \text{ J} - 19.67 \text{ J}}{2.52 \text{ J}} \sqrt{3 - 1}$$

$$t_{\text{prueba}} = 7.30$$

Como $t_{\text{prueba}} = 7.30 > t_{\text{crítico}} = 2.92$, t_{prueba} se ubica en la región de rechazo de H_0 , los resultados son altamente significativos por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

e. La forma matemática para la **Dureza** del caso seleccionado, con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$, corresponde:

$$H_0: \mu = 36.8 \text{ HRC}$$

$$H_a: \mu < 36.8 \text{ HRC}$$

El intervalo de aceptación o rechazo para un nivel de significación de $\alpha = 0.05$ con $n-1 = 2$ grados de libertad le corresponde un valor crítico de $t_{\text{crítico}} = -2.92$. Se toma en cuenta el valor negativo porque se trata de una prueba de hipótesis unilateral de cola izquierda, ya que se busca determinar que un proceso es mejor que otro en cuanto a reducción de dureza.

$$t_{\text{prueba}} = \frac{29.7 \text{ HRC} - 36.8 \text{ HRC}}{0.5 \text{ HRC}} \sqrt{3 - 1}$$

$$t_{\text{prueba}} = -20.08$$

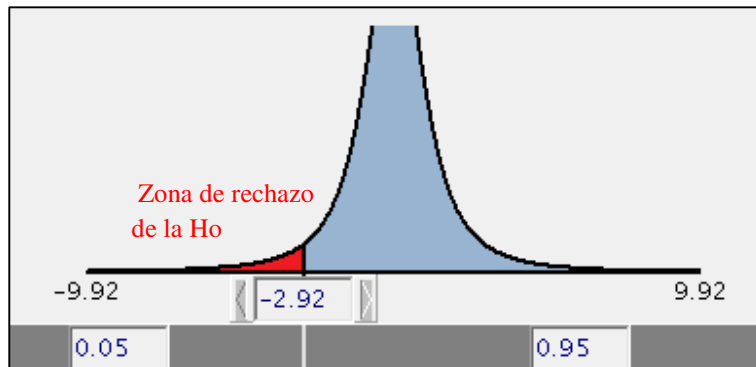


Figura 4.16 Distribución t student para $df= 2$ y $\alpha = 0.05$, cola izquierda.

Fuente: El autor.

Como $t_{prueba} = -20.08 < t_{critico} = -2.92$, t_{prueba} se ubica en la región de rechazo de H_0 , los resultados son altamente significativos por lo que se acepta la hipótesis alternativa.

Por lo señalado para cada propiedad mecánica se puede ver que existe suficiente evidencia de la información de la muestra para demostrar que las propiedades mecánicas del material se ven mejoradas con la ejecución del revenido post soldadura, fijando la relación existente entre ambas variables, con un nivel de significación de 0.05; además la microestructura del material de soldadura es homogenizada con la del material base, con lo cual se verifica la hipótesis.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A partir del estudio del Tratamiento Térmico Post Soldadura del Acero Inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM se puede formular las siguientes conclusiones:

- Para este tipo de acero el TTPS utilizado es el revenido, el cual permite alcanzar el completo revenido de la martensita fresca y un alto contenido de austenita retenida logrando así reducir y homogenizar la dureza y mejorar la ductilidad y tenacidad del elemento soldado.
- Los parámetros determinantes del TTPS del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, para homogenizar la microestructura, ajustar las propiedades mecánicas finales y eliminar las tensiones, son la *temperatura de revenido* y el *tiempo de sostenimiento*. Para la presente investigación se definió la temperatura de 600 °C y tiempos de 1 y 2 horas de sostenimiento.
- La Resistencia a la Fluencia del acero ASTM A743 grado CA6-NM como viene de fábrica tiene un valor promedio de 693.90 MPa que se incrementa con la soldadura y llega a ser hasta un 8.15% mayor al ser soldado y tratado térmicamente a 600 °C durante 2 horas.
- Al aumentar el número de ciclos de recuperación la Resistencia a la Fluencia disminuye, debido en parte a la eventual introducción de defectos de soldadura, mientras que el efecto del tiempo de sostenimiento es pequeña, pues con su incremento los resultados varían entre 0.01% y 2.49 % máximo.
- La Resistencia a la Tracción de 844.01 MPa en el material base, aumenta debido al endurecimiento ocasionado por el depósito de material de aporte y sube aún 1.27% con el primer TTPS a 600 °C durante 2 horas mostrando a partir de ello

tendencia descendente al aumentar los ciclos de recuperación, en tanto que a mayor tiempo de sostenimiento ésta propiedad aumenta muy ligeramente.

- El Porcentaje de Elongación de 20.02% en el material base inicial presenta alta sensibilidad al proceso de soldadura 12.43% evidenciando elevada fragilización del material debido a la presencia de estructuras metalográficas de mayor dureza; y, sensibilidad a las variables del TTPS que permitieron recuperar la ductilidad, con una tendencia creciente, debido al ablandamiento y liberación de tensiones hasta llegar una elongación del 25.05% en la tercera recuperación.
- El módulo de elasticidad de 197.35 MPa en el material base inicial disminuye cuando el tiempo de revenido y el número de ciclos de recuperación aumenta en comparación con el material soldado sin TTPS, lo cual significa que el elemento adquiere mayor elasticidad.
- La Energía de Impacto Absorbida por la aleación CA6-NM de 56.83 J es significativamente reducida por el proceso de soldadura en un 65.4 % sin embargo, el TTPS mejora la ductilidad y resistencia al impacto del material aumentando la tenacidad con una tendencia creciente a mayor temperatura de calentamiento y a mayor número de ciclos de recuperación llegando a un valor de 44.67 J en la tercera recuperación.
- La morfología de la zona de fractura de los especímenes de tracción e impacto en condición soldada exhiben mecanismos de fractura dúctil y frágil, mientras que en los tratados térmicamente la fractura es dúctil con superficie irregular que presenta deformación plástica con región de fractura de tasa y cono, cizalladura a 45° aproximadamente, topografía central fibrosa con apariencia ligeramente brillante.
- La soldadura sin TTPS exhibe un claro incremento de dureza en el centro de la zona de fusión, el TTPS produjo la homogenización de la dureza en el cordón de soldadura y material base debido a la transformación de la microestructura martensítica a martensita revenida y austenita retenida suave; la dureza final promedio del depósito es de máximo 29.9 HRC.

- El material base reduce su dureza al aumentar el número de ciclos de tratamiento térmico entre 0.5 y 0.8 puntos HRC por cada proceso de TTPS.
- La ZAT en todos los casos de estudio está compuesta por martensita revenida (Ms) y pequeñas islas de ferrita (δ) la cual reduce la resistencia convirtiendo a ésta en una zona de falla, al actuar como concentrador de esfuerzos.
- El TTPS promovió la austenización del material y la subsecuente transformación de la martensita fresca (M_s_f) dura y de baja tenacidad a martensita revenida (Ms) y austenita retenida (γ'); es decir, se homogenizó los componentes microestructurales con los del material base, con el consecuente mejoramiento de las propiedades mecánicas, controladas por las fases presentes.
- Para la temperatura de 600 °C, el material base tiene tendencia a disminuir el tamaño de los listones de martensita revenida (Ms) entre el 15.62% y máximo el 24.95% por cada proceso conforme aumentan el número de ciclos de recuperación y el tiempo de sostenimiento del TTPS como se observa en la Tabla 4.31.
- La mejor combinación de propiedades mecánicas fueron obtenidas con el revenido a 600 °C durante 2 horas en la primera recuperación, en la que se mejoró la resistencia a la tracción en un 0.8%, la resistencia a la fluencia en 3.7%, la ductilidad el 76.6% y resistencia al impacto en un 66.1% reduciendo por su parte la dureza el 24.7% y dispersión de la misma en el material depositado en relación con la condición soldada sin tratamiento térmico.
- En base a los ensayos mecánicos realizados en los tres ciclos de recuperación las propiedades evaluadas cumplen con los valores mínimos especificados en el estándar ASTM A743 y son adecuados para un próximo proceso de recuperación y tratamiento térmico, dependiendo de la calidad del depósito de soldadura y el control de la microestructura a través de las variables del TTPS.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM se sugiere utilizar un material de aporte que tenga composición química similar a la del metal base para evitar alteraciones sustanciales en la microestructura.
- Durante el proceso de soldadura se debe tener prolijidad en la limpieza de la zona de depósito para evitar la formación de defectos.
- Precalentar el elemento a ser recuperado para minimizar los efectos indeseables de la soldadura mediante la reducción del gradiente térmico y de la tasa de enfriamiento. El precalentamiento permite difundir el hidrógeno desde la zona de soldadura y reduce el contenido de humedad en la superficie del metal base, que es una fuente de absorción de hidrógeno, el cual promueve la fragilización y fisuramiento en frío de la pieza.
- Es necesario el control de la temperatura de interpase en valores inferiores a la temperatura de transformación martensítica para garantizar que el metal de soldadura transforme a martensita antes que el siguiente cordón sea depositado, permitiendo el efecto de revenido en soldadura multipases.
- Durante el corte y mecanizado de los especímenes de prueba se debe procurar trabajar con la menor velocidad de corte posible y con refrigeración permanente para evitar alteraciones en la estructura y dureza del material.
- Para la extracción de las probetas no se debe utilizar equipos de corte por fusión o abrasión para evitar el calentamiento y transformación de la microestructura; para ello usar sierra refrigerada o discos de corte de abrasivo húmedo.
- Realizar el TTPS lo más inmediato posible luego de la soldadura para evitar la posibilidad de fisuramiento en frío.
- Incrementar el tiempo de sostenimiento durante el tratamiento térmico para alcanzar mayor energía de impacto absorbida.
- Para evitar la contaminación o carburación del material durante el tratamiento térmico, las piezas deben ser limpiadas a fondo, antes de colocarlas en el horno.

- Controlar adecuadamente las variables del TTPS, de manera de maximizar el contenido de austenita retenida y reducir el contenido de ferrita delta que eleva la transición de comportamiento dúctil-frágil.
- Debido a la diferencia en el contenido de carbono entre el material base y el aporte, puede ser necesario realizar el ataque químico de los especímenes de metalografía en dos etapas para evitar que se quemé una de las dos estructuras.

Sobre la base de los resultados y hallazgos obtenidos en la presente investigación y con la finalidad de dar continuidad a ciertos detalles, mayores estudios son necesarios desarrollar sobre los siguientes trabajos propuestos:

- Realizar la caracterización y cuantificación de la austenita retenida, estable a temperatura ambiente, generada en los diferentes tratamientos térmicos post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM; estudiar su influencia y determinar la relación con las propiedades mecánicas, teniendo como fundamento que esta fase microestructural es la responsable de incrementar la tenacidad del material.
- Realizar el estudio de fractografía mediante microscopía electrónica de barrido con la finalidad de determinar a profundidad las características de la fractura para conocer sus causas y establecer los mecanismos de falla presentes en los especímenes de prueba utilizados en esta investigación. Esto a su vez permitirá en muchos casos predecir los motivos que provocan las fallas en rodets hidráulicos de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM en servicio.
- Llevar a cabo un estudio similar tomando como parámetro de tratamiento térmico a variar la temperatura de revenido para un solo ciclo de recuperación y establecer la sensibilidad de las propiedades mecánicas a esta variable.
- El presente estudio constituye una primera perspectiva del deterioro de las propiedades mecánicas del material base por lo que se sugiere utilizar los datos obtenidos para realizar una evaluación de vida residual de un rodete en particular incluyendo las demás variables específicas para el estudio, como el número de ciclos de operación, resistencia a la fatiga, dimensiones, entre otros.

CAPÍTULO VI PROPUESTA

PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM

6.1 DATOS INFORMATIVOS

El rodete es el elemento esencial de la turbina, pues es la parte móvil que transforma la energía cinética y potencial del agua en trabajo. Consta de una serie de álabes fijos colocados entre un disco y una corona exterior. Dependiendo del caudal y de la caída neta, los rodetes pueden ser del tipo Pelton, Francis, Kaplan, Hélice, Turgo o Michell-Banki.

Estos elementos hidromecánicos son altamente exigidos, pues están expuestos a problemas de desgaste así como agrietamiento en regiones de altos esfuerzos, lo cual ha conducido al desarrollo de materiales adecuados para su fabricación como el acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM.

De acuerdo con el estándar ASTM A743, la fundición CA6-NM debe tener resistencia a la tracción de mínimo 755 MPa, resistencia a la fluencia mínimo 550 MPa, elongación en 50 mm. del 15% y una dureza máximo de 285 HB (29.9 HRC).

Para su reparación, al ser sometido al proceso de soldadura se producen transformaciones estructurales, acumulación de tensiones y posibles defectos que reducen las propiedades mecánicas, las cuales, con el presente estudio se comprobó que pueden ser recuperadas mediante la aplicación del tratamiento térmico post soldadura, que para este caso produjo la mejor combinación de propiedades con el revenido a una temperatura de 600 °C durante 2 horas de tratamiento.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Internacionalmente son algunas las empresas que han implementado procesos de reconstrucción de partes de turbinas como alternativa a la fabricación de repuestos; así, existen estudios aislados acerca de éste material y de sus propiedades mecánicas y tribológicas; y, ahora a través de la presente investigación sobre el efecto del tratamiento térmico post soldadura se cuenta con datos concretos de las propiedades mecánicas alcanzadas en el proceso de recuperación aplicado, con el cual se mejoró la resistencia a la fluencia, la ductilidad, elasticidad y resistencia al impacto reduciendo por su parte la dureza y dispersión de la misma en el material depositado, obteniéndose los mejores resultados con la aplicación de revenido a 600°C durante 2 horas en el primer ciclo de recuperación, con valores superiores a los nominales inclusive en el tercer ciclo de recuperación por soldadura, mecanizado y tratamiento térmico.

Sin embargo, a nivel local no existe información suficiente y actualizada del proceso integral de recuperación de rodets y la cuantificación de las propiedades resultantes de dicha recuperación.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Durante la operación de una turbina hidráulica, las partes que están en contacto con el agua, están sometidas a diferentes mecanismos de falla como cavitación, erosión y fatiga que producen desgaste y agrietamiento, siendo necesario el reemplazo de los componentes deteriorados, entre ellos el rodete, con la finalidad de devolver a la máquina a sus condiciones normales de operación.

El reemplazo por un rodete nuevo constituye un costo de mantenimiento muy elevado debido al tamaño, el tipo de material y gastos de importación desde un fabricante en el extranjero. Hasta hace poco se ha incurrido en elevados gastos sin considerar que estas piezas pueden ser reconstruidas y por no disponer localmente de tecnología con capacidad para ejecutar los procesos necesarios. Sin embargo, se ha determinado que los rodets de las turbinas que ya han sido reemplazados y se encuentran fuera de servicio, en función de su estado, pueden volver a ser

reutilizados bajo un proceso de recuperación. La recuperación de un rodete constituye entonces una alternativa para el mantenimiento de las turbinas.

Esto permite extender la vida de servicio por otro periodo de tiempo similar al que duraría uno nuevo, cuyos resultados se traducen en mayor producción y ahorro económico entre 60% y 80% del costo, siendo necesario disponer de un procedimiento de recuperación de rodets hidráulicos que incluya el TTPS, como complemento a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL:

Establecer el procedimiento para la recuperación de rodets hidráulicos tipo Francis de acero inoxidable ASTM A743 GRADO CA6-NM aplicando tratamiento térmico post soldadura a una temperatura de 600 °C durante 2 horas.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Detallar la especificación del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM en base a resultados experimentales de las propiedades mecánicas del material.
- Identificar y describir las etapas que intervienen en el proceso de recuperación de rodets tipo Francis que incluya el tratamiento térmico post soldadura.
- Incorporar los resultados de las propiedades mecánicas evaluadas del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM al procedimiento de recuperación de rodets hidráulicos tipo Francis.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Esta propuesta es factible en vista que se sustenta en la investigación de campo realizada y en los resultados obtenidos del estudio del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM y su incidencia en las propiedades mecánicas del material, el cual se desarrolló con una perspectiva apegada al proceso de recuperación de rodets hidráulicos, utilizando los mismos

materiales (base y de aporte), técnicas y equipos necesarios para dicho proceso. Existe la viabilidad económica, para ello se cuenta con el financiamiento por parte del autor de este trabajo.



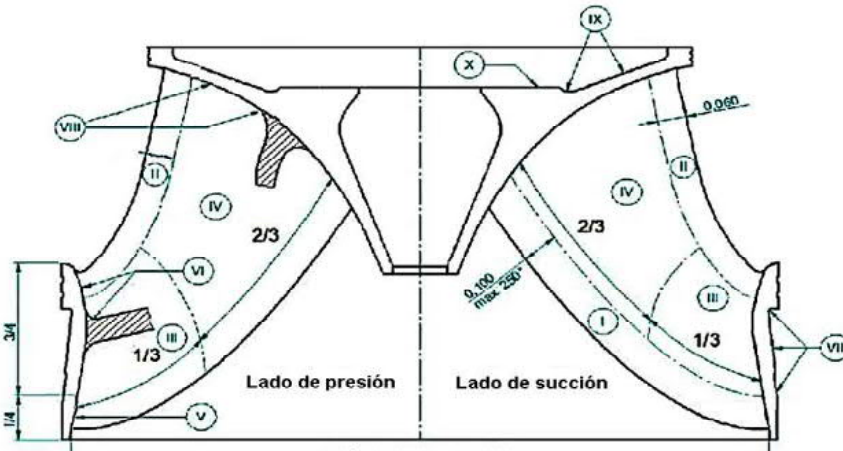
Es viable técnicamente en vista que se dispone de la información bibliográfica y de la normativa aplicable, así como del equipamiento necesario en el CIRT y laboratorios de la FICM de la UTA con la capacidad instalada, laboratorios especializados, personal y conocimiento para llevar a cabo el procedimiento propuesto. Puntualmente se puede recurrir a laboratorios particulares o de la Escuela Politécnica del Chimborazo.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La recuperación y tratamiento térmico de rodets hidráulicos de aleación CA6-NM se fundamenta en el estándar ASTM A743 Especificación Estándar para Fundiciones de Hierro-Cromo, Hierro-Cromo-Níquel, Resistentes a Corrosión para Aplicación General y en la especificación CCH 70-4 Especificaciones para la Inspección de Fundiciones de Acero para Máquinas Hidráulicas. La geometría y perfiles hidráulicos responden al diseño específico de cada fabricante.

6.6.1 FICHA DE ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

De acuerdo a los estándares señalados se empieza por definir la ficha de especificaciones de calidad, documento en el cual se establece todos los requisitos de tecnología y de inspección y pruebas del rodete hidráulico tipo Francis que va a ser recuperado.

		FICHA DE ESPECIFICACIONES DE CALIDAD RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS <i>Quality Specification Sheet</i>											
		Reg. No.:	ETT-REG-FC01	Revisión:			1	Hoja:	1 de 1				
EQUIPO/PIEZA: Rodete tipo Francis		CANTIDAD: 1		PESO UNITARIO: 17500 Kg									
DIMENSIONES: DE=3350 mm., DI: 2800 mm.		FABRICANTE: Mitsubishi Heavy Industries, LTD.		PLAN DE CALIDAD No.: ETT-PC-01-2017									
No. SERIE: 6-3868490100		PLANO DE REFERENCIA: WA-B1100R-2/WA-B1110 R-4											
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL													
DESIGNACIÓN: DIN 1. 4313 G-X5													
DESIGNACIÓN ESTÁNDAR: ASTM A743 GRADO: CA6-NM													
TRATAMIENTO TÉRMICO: Recocido <input type="checkbox"/> Normalizado <input type="checkbox"/> Templado <input checked="" type="checkbox"/> Revenido <input checked="" type="checkbox"/>													
Valores Requeridos	Composición	Cr %	Ni %	Mo %	C %	Mn %	Si %	S %	P %				
	Química	11.5 - 14.0	3.5 - 4.5	0.4 - 1	≤ 0.06	≤ 1	≤ 1	≤ 0.03	≤ 0.04				
	Propiedades Mecánicas	St (MPa)	Sy (MPa)	EL %	Z %	Dureza (HB)							
		≥ 755	≥ 550	≥ 15	≥ 35	240 - 285							
Ensayos de propiedades mecánicas de acuerdo a ASTM A370													
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS END													
Los niveles de calidad requeridos para cada ensayo están listados a continuación.													
Especificaciones técnicas niveles de calidad CCH 70-4	Zonas	(a)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
	Ensayos	(b)	F M	F M	F M	F M	F M	F M	F M	F M	F M	F M	
	Inspección Visual VT		1	1	2	2	2	2	2	2	4	3	
	Tintas Penetrantes PT				2	3	2	2		2			
	Partículas Magnéticas MT						2	2		2			
	Ultrasonido UT (haz recto)												
	Ultrasonido UT (haz angular)												
	Radiografía												
	Solda duras	Ultrasonido UT											
		Radiografía											
Diagrama de clasificación de zonas Dimensión real para definición de zonas: 3350 mm.													
													
Notas: (a) Ver diagrama (b) F: En la Fundición, M: En Manufactura													
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.				REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca									
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA									

6.6.2 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA



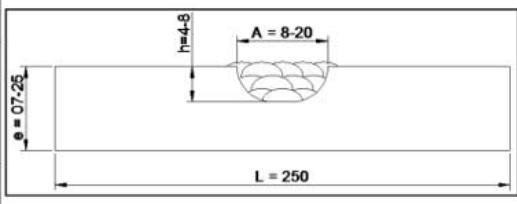
La especificación del procedimiento de soldadura WPS para recubrimiento del espesor del metal base se realizó bajo el Código Internacional de Calderas y Recipientes a Presión ASME Sección IX Calificaciones de Soldadura, conforme lo recomienda la Sociedad Americana de Fundidores de Acero.

6.6.3 ESPECIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA

De acuerdo a la norma ASTM A743/A743M, al ASM Metals Handbook volumen 4 Tratamiento Térmico y en base a la mejor combinación de propiedades mecánicas alcanzadas en el estudio del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros en base a los cuales se establece la especificación del tratamiento térmico.

- Tipo de Tratamiento: Revenido
- Temperatura de Tratamiento: 600 °C +/- 5 °C
- Tiempo de sostenimiento: 2 horas
- Tasa de calentamiento/enfriamiento: 60 (máximo 100) °C/h

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

	ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA <i>Welding Procedure Specifications (WPS)</i> QW-482 WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS. ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.	
Cliente: CIRT - CELEC EP Proyecto: Recuperación de rodets hidráulicos	WPS N°: WPS-CIRT-16-ROB-001 PQR de apoyo: PQR-CIRT-ROB-001	Revisión: A Fecha: 09/09/2016 Pág. 1 de 2
Proceso(s) de soldadura: GMAW / GMAW	Tipo (s): AUTOMÁTICO (Automático, Semi-automático, Manual, Con máquina)	
JUNTAS (QW-402)		DET ALLE (sketch):
Diseño de Junta: Ranura en U con abertura de 20 mm y profundidad 8 mm.		 <p style="text-align: center;">h = Profundidad de ranura Preparación tipo, según ubicación y geometría</p>
Respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Tipo de material de respaldo: <input checked="" type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fundible <input type="checkbox"/> Otro		
Preparación de la junta: Superficie mecanizada y pulido de aristas vivas		
Método de preparación y limpieza: Máquina-herramienta y pulido con herramienta eléctrica.		
*METALES BASE (QW-403)		
N° P 6 N° de Grupo 4 a	N° P 6 N° de Grupo 4	
Espef. material ASTM A743	Tipo/grado o N° UNS CA-6NM (J91540)	
hasta Espef. material ASTM A743	Tipo/grado o N° UNS CA-6NM (J91540)	
Análisis Químico y Prop. Mecánicas		
	% C % Cr % Ni % Mo % Si % Mn % Fe	
	<0,06 11,5-14 3,5-4,5 0,4-1 <1 <1 78,484,6	
hasta Análisis Químico y Prop. Mecánicas		
	% C % Cr % Ni % Mo % Si % Mn % Fe	
	<0,06 11,5-14 3,5-4,5 0,4-1 <1 <1 78,484,6	
Rango de Espesores:		
Metal Base Calificado (mm)	Ranura: 7 - 25	Filete: N/A
Metal de relleno. Espesor máximo de pase ≤ 4 mm	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Dimension: N/A
Otra información: Ancho no mayor a 10 mm.		
*METALES DE APORTE (QW-404)		
GMAW		
N° Espec. (SFA)	A5.9	
N° AWS (Clase)	ER410NiMo	
N° F	6	
N° A	6	
Tamaño de Metales de Aporte	1,2 mm	
Metales de Soldadura		
Rango de Espesor depositado:		
Ranura	3 - 5 mm	
Filete	N/A	
Fundente del Aporte (clase)	N/A	
Nombre Comercial del Aporte	SELECTARC M13/4	
Inserto consumible	N/A	
Otra información:		
* Otra combinación de metal base y metal de aporte se deberá registrar individualmente.		
ELABORADO POR:		REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M. AUTOR DEL PROYECTO	Nombre: Ing. Marcelo Toapanta ASEG. Y CONTROL DE CALIDAD CIRT	Nombre: Ing. Julio Chonata ESPECIALISTA DE SOLDADURA CIRT



ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA



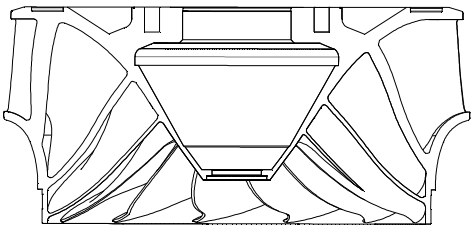
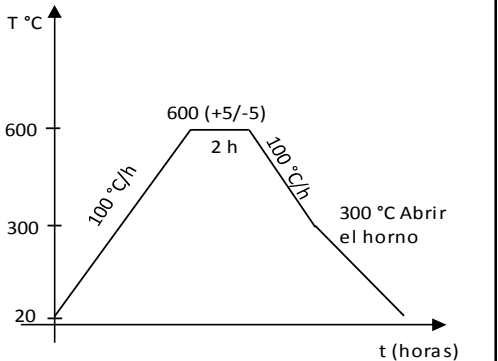
Welding Procedure Specifications (WPS)
QW-482 (RESPALDO).

ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.



WPS N°: WPS-CIRT-16-ROB-001		PQR de apoyo: PQR-CIRT-ROB-001						
Fecha: 09/09/2016		Revisión: A	Pág. 2 de 2					
POSICIONES (QW-405)		TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLD. (QW-407)						
Posición (es) de Ranura 1G		Rango de temperaturas 1: 600 ± 5°C 2: T. Ambiente						
Progresión de Sold. P. Arriba: N/A P. Abajo: N/A		Intervalo de tiempos 1: 1 h/plg - 2 h/plg 2: Aire calmado						
Posición (es) de Filete N/A		Otro ΔT = 60-100°C/hora						
Otro								
PRECALENTAMIENTO (QW-406)		GAS (QW-408)						
Temp. Precalentamiento Min. 80°C - 120°C		Porcentaje de la composición						
Temp. Entre Pasos Máx. 100°C - 150°C		Gas(es)	Mezcla					
Mantenimiento de Preca. Si		Argón+CO ₂	98% + 2%					
Otro		Caudal	18 - 20 l/min					
(Calentamiento continuo o especial donde sea aplicable deberá ser registrado)		Protección						
		Arrastre						
		Respaldo						
		Otros						
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC DC		Polaridad						
Amps (Rango)	200 - 238 A	Directa						
Volts (Rango)	24 - 26 V	Invertida	X					
Tamaño y Tipo de electrodo de Tungsteno		N/A						
Modo de Transfer. Metal para GMAW		Arco Pulsado						
		(Arc Pulver, Arco Coño Circuito, etc.)						
Rango Velocidad de Alimentación de Alambre		350 - 400 mm/min						
TÉCNICA (QW-410)								
Cordón Long. ó Cordón de Vaivén		Recto/Oscilado						
Tamaño orificio o de taza de gas		10 mm.						
Limpieza inicial y entre pasos		Cepillo y Grata de alambre trenzado inoxidable. Disco de corte.						
Método de cincelado posterior		N/A						
Oscilación		Espiral						
Distancia tubo de contacto pieza de trabajo		N/A						
Paso múltiple o Simple (por Lado)		Múltiple						
Electrodos múltiples o simple		Simple						
Velocidad de recorrido (Rango)		400 - 420 mm/min						
Martillado		N/A						
Otra Información								
Tabla para el registro de parámetros de soldadura. Referencia (QW-409)								
Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Rango de Voltaje	Rango de Veloc. de Recorrido	Otros (Notas, Comentarios, Adición de Alambre, Caliente, Técnica, Ángulo de
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Rango Amperaje			
1	GMAW	ER410NiMo	1,2 mm.	DCEP	200-230	24-26	40-42 cm/min	
2-3	GMAW	ER410NiMo	1,2 mm.	DCEP	200-238	24-26	40-42 cm/min	
4n	GMAW	ER410NiMo	1,2 mm.	DCEP	200-238	24-26	40-42 cm/min	
REGISTRADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:				
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Marcelo Tocapanta		Nombre: Ing. Julio Chonata				
AUTOR DEL PROYECTO		ASEG. Y CONTROL DE CALIDAD CIRT		ESPECIALISTA DE SOLDADURA CIRT				

ESPECIFICACIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

 ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA <i>Post Weld Heat Treatment</i>			
Reg. No.: ETT-REG-TT01		Revisión: 1	Hoja: 1 de 1
Cliente: CELEC EP		Fecha: 10/05/2017	
EQUIPO/PIEZA:	Rodete tipo Francis	CANTIDAD:	1 u.
MATERIAL:	Acero Inox ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	17500 Kg
DIMENSIONES:	DE=3350 mm., DI= 2800 mm.	PESO TOTAL (Kg):	17500 Kg
ESPESOR:	Según plano de referencia	PLANO DE REFERENCIA:	WA-B1100R-2
No. SERIE:	6-3868490100	PROCEDIMIENTO:	<u>ETT-PRO-TTPS-02</u>
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO: Revenido post soldadura(alivio de tensiones y homogenización de microestructura).			
TEMPERATURA INICIAL (°C):	Temperatura ambiente		
VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO (°C/h):	60 (máximo 100°C/h) hasta 600°C		
TEMPERATURA DE TRATAMIENTO (°C):	600 (+5/-5)		
TIEMPO DE SOSTENIMIENTO (h):	2		
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO (°C/h):	60 (máximo 100°C/h) hasta 300°C (dentro del horno)		
TEMPERATURA DE SALIDA DE LA PIEZA (°C):	300		
TEMPERATURA FINAL (°C):	Temperatura ambiente		
TIEMPO TOTAL DE TRATAMIENTO APROXIMADO (h):	17		
ESQUEMA DE LA(S) PIEZA(S)	CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO		
			
OBSERVACIONES: Para evitar la contaminación o carburación, todas las piezas deben ser limpiadas a fondo antes de ser colocadas en el horno.			
ELABORADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca	
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DE PROYECTO UTA	

PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas obtenidas luego de aplicar el proceso de recuperación se fundamenta en el marco teórico y en las normas detalladas en el Capítulo II. A continuación se presentan los cálculos de las propiedades mecánicas del acero

inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410NiMo, revenido a 600 °C durante 2 horas de tratamiento.

6.6.3.1 CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Norma: ASTM A370-16 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM E8M-15^a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials y ASTM E111-04 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus.

Datos Informativos

- Identificación de la probeta: T5.1
- Tipo de probeta: Plana tipo lámina
- Ancho inicial: $T_o = 12.52$ mm
- Espesor inicial: $W_o = 19.09$ mm.
- Longitud calibrada inicial: $l_o = 49.40$ mm.

Tabla 6.1 Registro de valores del ensayo de tracción.

Carga Máxima	Carga de Fluencia	Longitud final	Ancho final	Espesor final	Módulo de Elasticidad
F _m (KN)	F _y (KN)	l _f (mm)	T _f (mm)	W _f (mm)	(GPa)
204.32	180.06	59.95	8.96	14.08	195.16

Fuente: El autor.

Cálculo de la Resistencia a la Tracción

Área inicial

$$A_o = T_o \times W_o$$

$$A_o = 12.52 \text{ (mm)} \times 19.09 \text{ (mm)} = 239.01 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Resistencia a la tracción

$$S_t = \frac{F_m}{A_o}$$

$$S_t = \frac{204320 \text{ (N)}}{239.01 \text{ (mm}^2\text{)}} = 854.87 \text{ (MPa)}$$

Cálculo de la Resistencia a la Fluencia

La carga de fluencia para materiales que experimentan la transición elastoplástica de forma gradual, se toma en el límite proporcional o límite elástico.

$$S_t = \frac{F_y}{A_o}$$

$$S_t = \frac{180060 \text{ (N)}}{239.01 \text{ (mm}^2\text{)}} = 753.37 \text{ (MPa)}$$

Cálculo del Porcentaje de Elongación a la rotura en 50 mm.

$$\%EL = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

$$\%EL = \frac{59.95 \text{ (mm)} - 49.40 \text{ (mm)}}{49.40 \text{ (mm)}} \times 100 = 21.36 \%$$

Cálculo del Porcentaje de Reducción de Área

Área final

$$A_f = T_f \times W_f$$

$$A_f = 8.96 \text{ (mm)} \times 14.08 \text{ (mm)} = 126.16 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\%AR = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

$$\%AR = \frac{239.01 \text{ (mm}^2\text{)} - 126.16 \text{ (mm}^2\text{)}}{239.01 \text{ (mm}^2\text{)}} \times 100 = 47.22 \%$$

Cálculo del Módulo de Elasticidad (Módulo de Young)

$$E = \frac{\sum(XY) - K\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - K\bar{X}^2}$$

X: Deformación unitaria (mm/mm)

Y: Esfuerzo axial instantáneo (MPa)

Para K = 24 pares de datos:

Tabla 6.2 Datos del ensayo de tracción para determinar el módulo de elasticidad.

N°	X	Y	XY	X ²
	Def. unit. (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)		
1	0.000076	2.0921	0.0002	5.78E-09
2	0.000108	6.5272	0.0007	1.17E-08
3	0.000112	10.4603	0.0012	1.25E-08
4	0.000128	14.3933	0.0018	1.64E-08
5	0.000148	18.6611	0.0028	2.19E-08
6	0.000168	24.1004	0.0040	2.82E-08
7	0.000200	32.1339	0.0064	4.00E-08
8	0.000264	41.5063	0.0110	6.97E-08
9	0.000296	51.9665	0.0154	8.76E-08
10	0.000352	63.3473	0.0223	1.24E-07
11	0.000420	75.5648	0.0317	1.76E-07
12	0.000492	88.9540	0.0438	2.42E-07
13	0.000568	103.0126	0.0585	3.23E-07
14	0.000648	118.0753	0.0765	4.20E-07
15	0.000728	133.7238	0.0974	5.30E-07
16	0.000816	150.0418	0.1224	6.66E-07
17	0.000892	166.9456	0.1489	7.96E-07
18	0.000996	184.4351	0.1837	9.92E-07
19	0.001096	202.6778	0.2221	1.20E-06
20	0.001188	221.9247	0.2636	1.41E-06
21	0.001352	256.9037	0.3473	1.83E-06
22	0.001624	308.4518	0.5009	2.64E-06
23	0.001908	362.6778	0.6920	3.64E-06
24	0.002208	419.4979	0.9263	4.88E-06
SUMA	0.016788	3058.0751	3.7810	2.02E-05
PROMEDIO	0.000700	127.4198	0.1575	8.40E-07

Fuente: El autor.

$$E = \frac{3.7810 - 24 * 0.0007 * 127.4798}{0.0000202 - 24 * (0.0007)^2} = 195164 \text{ (MPa)}$$

Tabla 6.3 Resultados del ensayo de tracción soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.

Probeta No.	Sy (MPa)	St (MPa)	EL %	E (GPa)
T5.1	753.37	854.87	21.36	195.16
T5.2	757.40	857.92	21.51	184.75
T5.3	743.66	852.11	22.73	197.33
T5.4	747.39	853.87	22.20	180.62
Media Aritmética	750.45	854.69	21.95	189.47
Desviación Estándar	6.12	2.44	0.63	8.06

Fuente: El autor.

6.6.3.2 CÁLCULOS DEL ENSAYO DE IMPACTO

Norma: ASTM A370-16 y ASTM E23-12c Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.

Datos Informativos

- Identificación de las probetas: I5.1 / I5.2 / I5.3
- Tipo de probeta: Charpy Tipo A

Tabla 6.4 Resultados ensayo de impacto soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.

Probeta No.	Energía de Impacto Absorbida (J)
I5.1	33.00
I5.2	30.00
I5.3	35.00
Media Aritmética	32.67
Desviación Estándar	2.52

Fuente: El autor.

6.6.3.3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

Norma: ASTM A370-16 y ASTM E18-5 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials.

Datos Informativos

- Identificación de la probeta: D5
- Método: Dureza Rockwell
- Identador: Cono de diamante 120°
- Pre-carga / Carga: 10 Kgf / 150 Kgf

Tabla 6.5 Resultados ensayo de dureza soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.

	Dureza HRC			Media Aritmética	Desviación Estándar
Zona de Fusión	30.2	29.7	29.2	29.7	0.5
Zona Material Base	27.0	26.5	26.5	26.7	0.3

Fuente: El autor.

6.6.3.4 RESULTADOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Norma: ASTM E3-11 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens y ASTM E407-07^{E1} Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.

Datos Informativos

- Identificación de la probeta: M5
- Ataque: Vilella, 135/180 seg

Tabla 6.6 Estructura metalográfica soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM, revenido a 600 °C por 2 horas.

MICROESTRUCTURA		
MATERIAL BASE	ZAT	ZONA DE FUSIÓN
Martensita revenida (Ms)	Martensita revenida (Ms)	Martensita revenida (Ms)
Austenita retenida (γ')	Ferrita (δ)	Austenita retenida (γ')

Fuente: El autor.

Cálculo del tamaño de las agujas de martensita en la zona de fusión

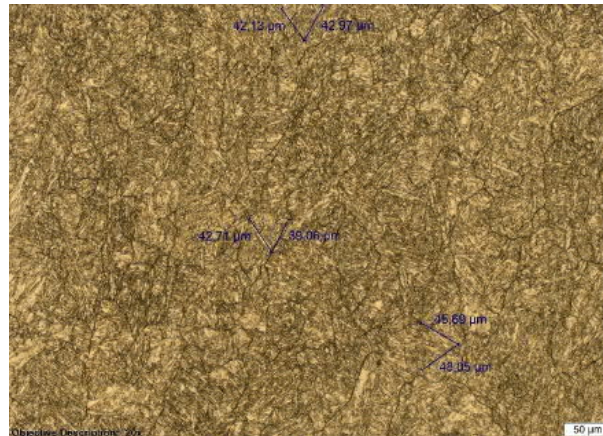


Ilustración 6.1 Micrografía zona de fusión soldadura del acero ASTM A743 CA6-NM con electrodo ER 410 Ni-Mo, 600 °C x 2 h, 500X, Vilella.

Fuente: El autor.

$$L_a = (48.05 \mu\text{m} + 45.69 \mu\text{m}) / 2 = 46.87 \mu\text{m}$$

$$L_b = (42.97 \mu\text{m} + 42.13 \mu\text{m}) / 2 = 42.55 \mu\text{m}$$

$$L_c = (42.71 \mu\text{m} + 39.06 \mu\text{m}) / 2 = 40.89 \mu\text{m}$$

$$L_{ZF} = (L_a + L_b + L_c) / 3$$

$$L_{ZF} = (46.87 \mu\text{m} + 42.55 \mu\text{m} + 40.89 \mu\text{m}) / 3$$

$$L_{ZF} = 43.44 \mu\text{m}$$

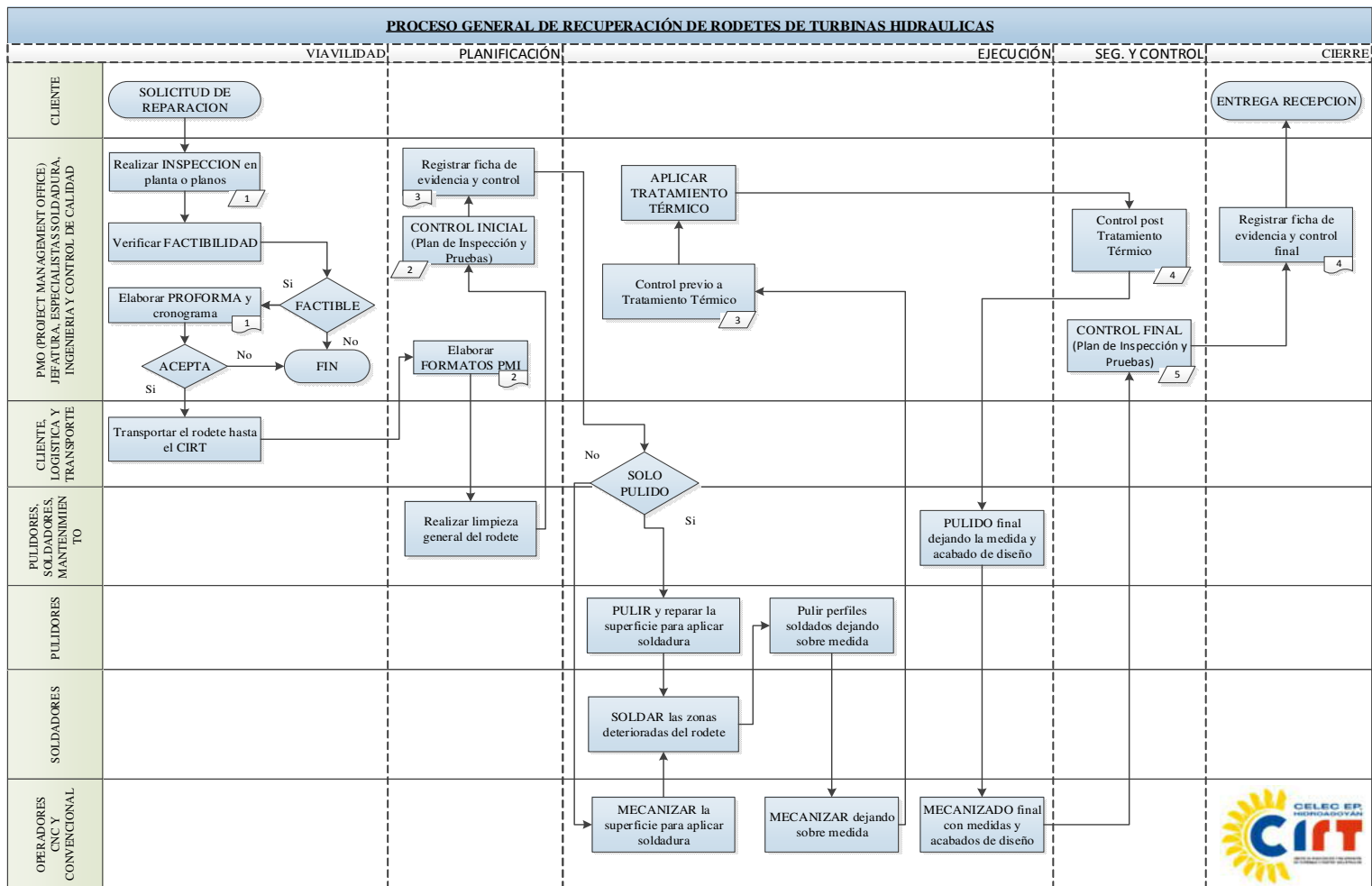
Tabla 6.7 Tamaño promedio de listones de martensita en acero ASTM A743 CA6-NM soldado y revenido a 600 °C por 2 horas.

LONGITUD DE LISTONES DE MARTENSITA (μm)		
MATERIAL BASE	ZAT	ZONA DE FUSIÓN
66	97.18	43.44

Fuente: El autor.


6.7 METODOLOGÍA


6.7.1 DIAGRAMA DE PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE RODETES DE TURBINAS HIDRÁULICAS




Fuente: Adaptado de proceso general de reparación de turbinas hidráulicas y partes industriales, CIRT.

6.7.2 PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE RODETES

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS	PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM	
DOC TIPO: Procedimiento		Fecha Emisión: 15/05/2017
DOC N°: PRO-RT-01		Revisión: Original
1. OBJETIVO Establecer la metodología y describir las actividades y requerimientos para la recuperación integral de rodets hidráulicos de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM tipo Francis, de conformidad con los estándares aplicables de manera de obtener las mejores propiedades mecánicas y garantizar la vida útil del rodete evitando el deterioro estructural del mismo.		
2. ALCANCE Este procedimiento es de aplicación general y obligatoria, en forma global o parcial para todo el personal y trabajos que se ejecuten acerca del proceso de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas Francis, de material acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM.		
3. ESTÁNDARES Y NORMAS Dentro del proceso propuesto se debe cumplir con los siguientes estándares: a. ASTM A743/A743M Especificación Estándar para Fundiciones de Hierro-Cromo, Hierro-Cromo-Níquel, Resistentes a Corrosión para Aplicación General. b. ASTM A370 Definiciones y Métodos de Prueba para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero. c. CCH 70-4 Especificaciones para la Inspección de Fundiciones de Acero para Máquinas Hidráulicas.		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>d. Código Internacional de Calderas y Recipientes a Presión ASME Sección IX Calificaciones de Soldadura.</p> <p>4. GENERALIDADES</p> <p>Se parte del conocimiento que los fenómenos determinantes para el deterioro de los rodets y mecanismos de falla principales son el desgaste por erosión, desgaste por cavitación, fatiga y corrosión-fatiga.</p> <p>La recuperación de los rodets de turbinas hidráulicas Francis consiste en la aplicación de material de soldadura al metal base con el fin de reponer el material perdido en las zonas que sufren desgaste, restaurar las dimensiones de diseño y la integridad estructural de la pieza, además del posterior mecanizado y tratamiento térmico post soldadura, recuperando así la vida útil del rodete.</p> <p>A ello se suma el proceso de ingeniería inversa para realizar la modelación de la pieza y generar los códigos de manufactura en las diferentes etapas de recuperación y evaluación de eficiencia.</p> <p>5. DEFINICIONES Y NOMENCLATURA</p> <p>Los nombres y descripción de las zonas que conforman un rodete tipo Francis son:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Álabe.- Componente perfilado fijo que realiza la conversión de energía. b. Anillos de desgaste.- Anillos intersticiales de sacrificio, colocados a presión sobre los extremos de la corona y la banda para realizar cierre hidráulico con las tapas de la turbina. 		

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS	PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM	
DOC TIPO: Procedimiento		Fecha Emisión: 15/05/2017
DOC N°: PRO-RT-01		Revisión: Original

- c. Banda.- Parte axisimétrica inferior a la que están unidos los extremos exteriores de los álabes del rodete.
- d. Corona.- Zona axisimétrica superior a la se acopla el eje principal y a la cual están fijados los extremos internos de los álabes del rodete. Núcleo central.
- e. Laberintos.- Espacio existente entre la banda o corona del rodete y el anillo de fundación o la tapa inferior o superior respectivamente, donde dos superficies mecanizadas adyacentes, una fija y otra giratoria, proporcionan pequeñas holguras, limitando las fugas de agua.

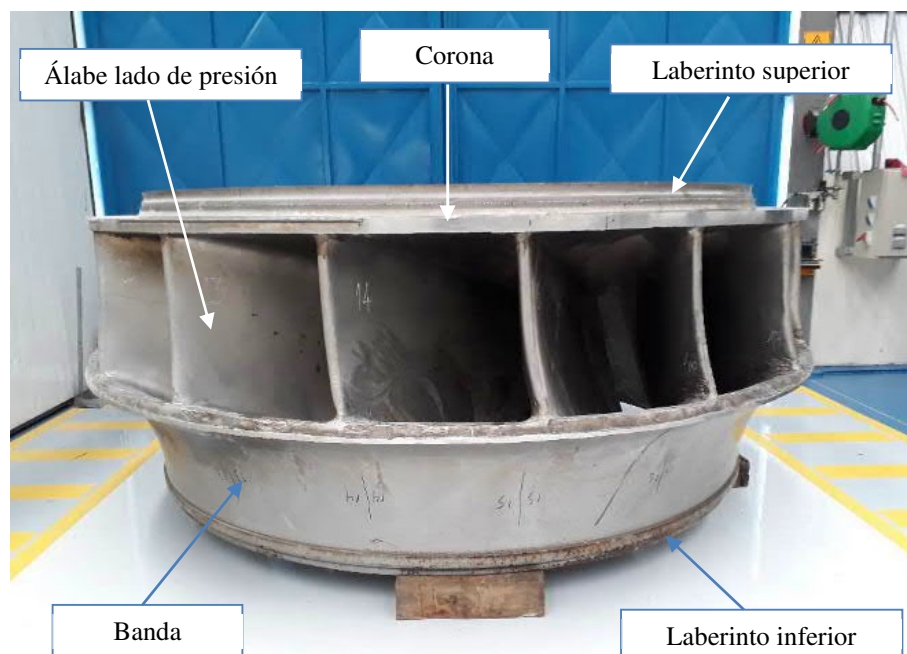






Ilustración 6.2 Nomenclatura zonas del rodete tipo Francis.



Fuente: El autor.



<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>6. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Especificación de la fundición, composición y propiedades mecánicas. b. Planos de diseño. c. Planos as-built. d. Plantillas de inspección del fabricante y planos de ubicación. e. Reporte y curva del tratamiento térmico original. f. Historial de las reparaciones anteriores. <p>7. PROCEDIMIENTO</p> <p>La recuperación de un rodete hidráulico tipo Francis comienza con una inspección de campo o través de planos para realizar la evaluación inicial y análisis de factibilidad, en la cual se ejecuta:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Levantamiento dimensional, inspección visual y ensayos no destructivos para cuantificar el desgaste, identificar fisuras y defectos. b. Evaluar el estado de la pieza y determinar el nivel general de desgaste. c. Verificar la factibilidad de recuperación. d. Definir la metodología de recuperación. e. Evaluar la cantidad de material de aporte, materiales y suministros. f. Elaborar una cotización y cronograma de trabajo. g. Elaborar el acta de constitución del proyecto y formatos PMI (Project Management Institute). <p>A continuación son descritas cada una de las etapas del proceso de recuperación.</p>		


<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.1. LIMPIEZA</p> <p>La limpieza es realizada con la finalidad de retirar suciedades y elementos extraños al material base, esto es fundamental para una efectiva recuperación.</p> <p>7.1.1. Operaciones</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Retirar el embalaje del rodete. b. Posicionar la pieza en el área de limpieza sobre soportes fijos. c. Lavar completamente el rodete utilizando agua a presión. d. Remover grasa y lubricantes de las superficies utilizando desengrasante. e. Retirar restos de cerámicos metálicos utilizando cincel y martillo; eventualmente se puede utilizar antorcha para calentamiento. f. Retirar anillos de desgaste de los laberintos superior e inferior. g. Enjuagar con agua a presión. <p>7.1.2. Equipos y Herramientas</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Grúa / Puente grúa. b. Hidrolavadora de alta presión. c. Cinceles, martillos, soportes, bancos y escalera. <p>7.1.3. Recurso Humano</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 2 Mecánicos pulidores. <p>7.1.4. Medidas de seguridad</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Utilizar equipos de protección personal. b. Delimitar la zona o colocar pantallas aislantes. c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada. 		


<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.2. INSPECCIÓN Y CONTROL INICIAL</p> <p>Se realiza una inspección y control minucioso para evaluar el estado inicial del rodete a reparar mediante la aplicación de técnicas de metrología y ensayos no destructivos para evaluar y caracterizar el desgaste y realizar la ingeniería de detalle y modelación de la pieza a dimensiones de diseño.</p> <p>7.2.1. Operaciones</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Ubicar el rodete en el área de inspección en posición horizontal. b. Marcar y señalar las zonas y datos informativos del rodete: Tipo, fabricante, propietario, fecha, diámetro exterior, altura, número de álabes, material y peso. c. Inspeccionar visualmente y marcar daños relevantes en: <ul style="list-style-type: none"> • Zona de entrada de la corona y de la banda. • Bordes exteriores de los álabes en la zona de entrada de agua. • Álabes, superficie de las caras de presión y de succión. • Álabes, zona de unión con la corona y con la banda. • Bordes interiores de los álabes en la zona de descarga. • Corona, parte interior y exterior, zona de orificios de balanceamiento hidráulico y brida de acoplamiento. d. Marcar puntos para posicionamiento de plantillas de inspección. e. Inspeccionar las zonas críticas mediante el uso de plantillas. f. Levantamiento dimensional completo. g. Registrar material faltante estimado. h. Identificar y evaluar defectos superficiales y no superficiales según la norma CCH 70-4, mediante inspección por ensayos no destructivos: 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo por tintas penetrantes. • Ensayo por partículas magnéticas. • Ensayo por Ultrasonido. <ol style="list-style-type: none"> i. Medir la dureza en la corona, álabes y banda. j. Realizar espectrometría para obtener o verificar la composición química. k. Escanear superficies 3D, digitalizar nube de puntos, elaborar superficies y obtener modelo CAD. l. Registrar observaciones relevantes y registro fotográfico. <p>7.2.2. Equipos y Herramientas</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Torno vertical (herramientas de medición integradas). b. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión. c. Equipo de detección de fallas por ultrasonido y arreglo de fases. d. Equipo de partículas magnéticas, kit de tintas penetrantes. e. Durómetro portátil. f. Espectrómetro de emisión óptica. g. Cámara fotográfica. h. Soportes de rodete y andamio. <p>7.2.3. Recurso Humano</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Especialista de control de calidad. b. Especialista de ingeniería y mecanizado. c. Especialista de materiales y soldadura. d. Mecánico ayudante. <p>7.2.4. Medidas de seguridad</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Utilizar equipos de protección personal. 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>b. Delimitar la zona o colocar pantallas aislantes.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Ilustración 6.3 Ensayo por tintas penetrantes, banda zona de entrada.</p> <p style="text-align: center;">Fuente: El autor.</p> <p>7.3. DESBASTE INICIAL</p> <p>Con éste proceso se eliminan las partes más ásperas o irregulares y los filos originados por el desgaste, cavitación o erosión de la pieza a fin de poner al descubierto la superficie del material que va a ser rellenada, eliminando todo lo que pudiera obstaculizar su examen o reconstrucción, a la vez que se obtiene la superficie adecuada para el depósito del material de relleno. Dependiendo de la severidad del daño puede ser realizado manualmente o por mecanizado.</p> <p>7.3.1. Operaciones</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Ubicar el rodete en la cabina de pulido sobre soportes en posición horizontal. b. Pulir o mecanizar la zona exterior de la corona y zona exterior de la banda, hasta tener una superficie plana. 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>c. Pulir o mecanizar los laberintos superior e inferior.</p> <p>d. Perfilar y alisar las zonas que presenten cavidades profundas.</p> <p>e. Pulir la región de unión entre los álabes con la corona y la banda.</p> <p>f. Abrir o eliminar las áreas marcadas con discontinuidades y defectos identificados por END.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Ilustración 6.4 Pulido inicial, banda zona de entrada.</p> <p style="text-align: center;">Fuente: El autor.</p> <p>7.3.2. Equipos y Herramientas</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Torno vertical. b. Amoladoras angulares y rectas. c. Soportes de rodete y andamio. <p>7.3.3. Recurso Humano</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Especialista de materiales y soldadura. b. 3 Mecánicos pulidores. 		

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS	PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM						
DOC TIPO: Procedimiento		Fecha Emisión: 15/05/2017					
DOC N°: PRO-RT-01		Revisión: Original					
<p>c. Operador CNC.</p> <p>7.3.4. Medidas de seguridad</p> <p>a. Utilizar equipos de protección personal.</p> <p>b. Delimitar la zona o colocar pantallas aislantes.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada.</p> <p>d. Usar equipos de extracción de material particulado.</p> <p>7.4. SOLDADURA</p> <p>El rodete es recuperado mediante relleno con material de aporte en las zonas desgastadas y se reparan los defectos puntuales como fisuras, porosidades y cavidades de socavación utilizando procesos de soldadura SMAW, GMAW y/o GTAW con el objeto de devolver a las dimensiones originales y restaurar el perfil hidráulico de las superficies hasta llegar a una sobre medida de 3 mm. Puntualmente se puede realizar esmerilado para desbastar zonas de falla, así como realizar inspección por tintas penetrantes para detectar defectos de reparación.</p> <p>7.4.1. Operaciones</p> <p>a. Calibrar la máquina de soldadura y ajustar los parámetros en:</p>							
Parámetros de soldadura GMAW							
	Gas	Caudal (L/min)	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/min)	Longitud de arco (mm)	Calor aportado (KJ/mm)
Pase de raíz	Ar + 2% CO2	18 - 20	200 - 230	24 - 26	400 - 420	12 - 15	0.89
Pase de relleno	Ar + 2% CO2	18 - 20	200 - 238	24 - 26	400 - 420	12 - 15	0.92

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>b. Posicionar el rodete asentado directamente sobre la banda.</p> <p>c. Precalear la zona de soldadura a una temperatura entre 80 a 120 °C.</p> <p>d. Rellenar la corona en la zona de entrada del agua.</p> <p>e. Controlar que la temperatura no sobrepase los 120 °C.</p> <p>f. Soldar alrededor de la parte superior de los alabes en la zona de unión con la corona.</p> <p>g. Rellenar las superficies del laberinto superior.</p> <p>h. Soldar los agujeros de equilibrio hidráulico y zona de la brida de acoplamiento superior.</p> <p>i. Posicionar el rodete asentado la banda sobre soportes de 400 mm de alto.</p> <p>j. Rellenar la parte superior externa de la banda en la zona de entrada del agua.</p> <p>k. Soldar alrededor de la parte inferior (talones) de los alabes en la zona de unión con la banda siguiendo al sentido del flujo de agua alrededor de 200 mm.</p> <p>l. Soldar la parte superior externa de la banda en la zona de entrada del agua, con una sobre medida de 3 mm siguiendo la dirección del flujo de agua.</p> <p>m. Soldar la banda desde el borde de entrada 120 mm hacia adentro, siguiendo la dirección del flujo de agua.</p> <p>n. Posicionar el rodete asentado la banda sobre soportes de 1000 mm de alto.</p> <p>o. Rellenar las superficies del laberinto inferior.</p> <p>p. Soldar la banda</p> <p>q. Ubicar el rodete en posición vertical.</p> <p>r. Soldar las superficies de las caras de los álabes y laberintos superior e inferior.</p>		


CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS	PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM	
DOC TIPO: Procedimiento		Fecha Emisión: 15/05/2017
DOC N°: PRO-RT-01		Revisión: Original



Ilustración 6.5 Soldadura GMAW, laberinto inferior.


Fuente: El autor.


7.4.2. Equipos y Herramientas


- a. Soldadoras eléctricas para proceso SMAW y GMAW.
- b. Brazo robótico de 6 ejes.
- c. Torna mesa automática.
- d. Antorcha y mechero.
- e. Pirómetro.
- f. Amoladoras angulares y rectas, gratas, cepillos metálicos.
- g. Kit de tintas penetrantes.
- h. Soportes de rodete.

7.4.3. Recurso Humano

- a. Especialista de materiales y soldadura.

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>b. Especialista de control de calidad.</p> <p>c. Técnico mecatrónico.</p> <p>d. 2 Soldadores.</p> <p>e. 2 Mecánicos pulidores.</p> <p>7.4.4. Medidas de seguridad</p> <p>a. Utilizar equipos de protección personal.</p> <p>b. Colocar pantallas aislantes.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza.</p> <p>d. Usar equipos de extracción de humos.</p> <p>7.5. PULIDO SOBRE MEDIDA</p> <p>En esta etapa se efectúa el pulido de aproximación de las zonas soldadas con la ayuda de plantillas para alcanzar una sobredimensión de 1mm.</p> <p>7.5.1. Operaciones</p> <p>a. Ubicar el rodete en la cabina de pulido sobre soportes en posición horizontal.</p> <p>b. Pulir las superficies de las caras de presión y de succión de los álabes.</p> <p>c. Pulir la región de unión entre los álabes con la corona y la banda.</p> <p>d. Pulir alrededor de la parte inferior (talones) y parte superior de los alabes en la zona de unión con la banda y corona respectivamente.</p> <p>7.5.2. Equipos y Herramientas</p> <p>a. Amoladoras angulares y rectas.</p> <p>b. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión.</p>		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>c. Soportes de rodete y andamio.</p> <p>7.5.3. Recurso Humano</p> <p>a. Especialista de ingeniería y mecanizado.</p> <p>b. 3 Mecánicos pulidores.</p> <p>7.5.4. Medidas de seguridad</p> <p>a. Utilizar equipos de protección personal.</p> <p>b. Delimitar la zona o colocar pantallas aislantes.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada.</p> <p>d. Usar equipos de extracción de material particulado.</p> <p>7.6. MECAZADO SOBRE MEDIDA</p> <p>Se maquinan las zonas previamente rellenadas con sobredimensión de 1 mm.</p> <p>7.6.1. Operaciones</p> <p>a. Montar el rodete en el torno vertical.</p> <p>b. Ajustar y parametrizar el torno vertical.</p> <p>c. Mecanizar la zona exterior de la corona y zona exterior de la banda.</p> <p>d. Mecanizar los laberintos superior e inferior.</p> <p>e. Mecanizar la banda.</p> <p>f. Mecanizar la corona y brida de acoplamiento.</p> <p>7.6.2. Equipos y Herramientas</p> <p>a. Torno vertical.</p> <p>b. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión.</p>		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>

7.6.3. Recurso Humano

- a. Especialista de ingeniería y mecanizado.
- b. Operador CNC.


7.6.4. Medidas de seguridad


- a. Utilizar equipos de protección personal.
- b. Colocar pantallas aislantes.
- c. Sujetar la pieza.





Ilustración 6.6 Mecanizado sobre medida, corona zona exterior.


Fuente: CIRT.

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.7. TRATAMIENTO TÉRMICO</p> <p>Se realiza el tratamiento térmico post soldadura para aliviar tensiones internas ocasionadas en los procesos de soldadura y mecanizado, homogenización de la dureza y revenido de la microestructura.</p> <p>7.7.1. Operaciones</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Realizar control previo: <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento dimensional completo y verificar el perfil hidráulico. • Medir la dureza en la corona, álabes fijos y banda. b. Ingresar el rodete al horno de tratamiento térmico. c. Programar los parámetros del tratamiento de acuerdo con: <ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de calentamiento: 60 (máximo 100) °C/h hasta 600°C • Temperatura de Tratamiento: 600 °C +/- 5 °C • Tiempo de sostenimiento: 2 horas • Velocidad de enfriamiento: 60 (máximo 100) °C/h hasta 300°C d. Instalar por lo menos 2 termocuplas sobre la superficie del rodete. e. Ejecutar el programa de tratamiento térmico y controlar las temperaturas. f. Abrir las escotillas del horno a la temperatura de 300 °C. g. Dejar enfriar hasta temperatura ambiente y retirar la pieza. h. Realizar control post tratamiento: <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento dimensional completo y verificar el perfil hidráulico. • Medir la dureza en la corona, álabes y banda. • Control metalográfico. 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.7.2. Equipos y Herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Torno vertical (herramientas de medición integradas). b. Horno de tratamiento térmico. c. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión. <p>7.7.3. Recurso Humano</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Especialista de control de calidad. b. Técnico mecatrónico. c. Operador CNC. <p>7.7.4. Medidas de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar equipos de protección personal. b. Sujetar e inmovilizar la pieza. c. Asegurar las puertas y escotillas del horno. <p>7.8. PULIDO FINAL</p> <p>Corresponde al pulido posterior al tratamiento térmico que se realiza con el objeto de obtener las dimensiones finales y el acabado superficial de diseño.</p> <p>7.8.1. Operaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Ubicar el rodete en la cabina de pulido sobre soportes en posición horizontal. b. Pulir las superficies de las caras de presión y de succión de los álabes. c. Pulir la zona de unión entre los álabes con la corona y la banda. d. Pulir alrededor de la parte inferior (talones) y superior de los alabes en la zona de unión con la banda y corona respectivamente. 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.8.2. Equipos y Herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Amoladoras angulares y rectas. b. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión. c. Soportes de rodete y andamio. <p>7.8.3. Recurso Humano</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Especialista de ingeniería y mecanizado. b. 3 Mecánicos pulidores. <p>7.8.4. Medidas de seguridad</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Utilizar equipos de protección personal. b. Delimitar la zona o colocar pantallas aislantes. c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada. d. Usar equipos de extracción de material particulado. <p>7.9. MECANIZADO FINAL</p> <p>Se realiza el mecanizado final con la finalidad de devolver a la pieza las dimensiones, ajustes, tolerancias geométricas y el perfil de diseño.</p> <p>7.9.1. Operaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Montar el rodete en el torno vertical. b. Ajustar y parametrizar el torno vertical. c. Mecanizar la zona exterior de la corona y de la banda. d. Mecanizar los laberintos superior e inferior. e. Mecanizar la corona y brida de acoplamiento. 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<p>7.9.2. Equipos y Herramientas</p> <p>a. Torno vertical.</p> <p>7.9.3. Recurso Humano</p> <p>a. Especialista de ingeniería y mecanizado.</p> <p>b. Operador CNC.</p> <p>7.9.4. Medidas de seguridad</p> <p>a. Utilizar equipos de protección personal.</p> <p>b. Colocar pantallas aislantes.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza.</p> <p>7.10. INSPECCIÓN Y CONTROL FINAL</p> <p>La validación del producto se realiza a través de la inspección y control final para evaluar la calidad del rodete reconstruido, mediante la aplicación de técnicas de metrología y ensayos no destructivos.</p> <p>7.10.1. Operaciones</p> <p>a. Balanceo estático según la norma ISO 1940-1 para reducir las fuerzas centrifugas.</p> <p>b. Ubicar el rodete en el área de inspección en posición horizontal.</p> <p>c. Inspeccionar visualmente las superficies y verificar el acabado superficial.</p> <p>d. Verificar de aceptación y calidad de la pieza según criterios de la norma CCH 70-4 mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspección visual VI 		

<p style="text-align: center;">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo por tintas penetrantes PT. • Ensayo por partículas magnéticas MT. • Ensayo por Ultrasonido UT. <p>e. Verificar el perfil hidráulico mediante el uso de plantillas.</p> <p>f. Control dimensional completo.</p> <p>g. Medir la dureza en la corona, álabes y banda.</p> <p>h. Registro fotográfico.</p> <p>7.10.2. Equipos y Herramientas</p> <p>a. Torno vertical (herramientas de medición integradas).</p> <p>b. Plantillas de medición, calibrador vernier y regla de precisión.</p> <p>c. Equipo de detección de fallas por ultrasonido y arreglo de fases.</p> <p>d. Equipo de partículas magnéticas, kit de tintas penetrantes.</p> <p>e. Durómetro portátil.</p> <p>f. Cámara fotográfica.</p> <p>7.10.3. Recurso Humano</p> <p>a. Especialista de control de calidad.</p> <p>b. Especialista de ingeniería y mecanizado.</p> <p>c. Especialista de materiales y soldadura.</p> <p>d. Mecánico ayudante.</p> <p>7.10.4. Medidas de seguridad</p> <p>a. Utilizar equipos de protección personal.</p> <p>b. Delimitar la zona.</p> <p>c. Sujetar e inmovilizar la pieza en una posición elevada.</p>		


<p align="center">CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y RECUPERACIÓN DE TURBINAS</p>	<p align="center">PROCEDIMIENTO PARA LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS TIPO FRANCIS DE ACERO INOXIDABLE ASTM A743 GRADO CA6-NM</p>	
<p>DOC TIPO: Procedimiento</p>		<p>Fecha Emisión: 15/05/2017</p>
<p>DOC N°: PRO-RT-01</p>		<p>Revisión: Original</p>



Ilustración 6.7 Control final, mediciones en la banda zona de entrada.

Fuente: CIRT.

8. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- a. CELEC EP Hidroagoyán, 2014. Consultoría para la reparación y reconstrucción de partes y piezas de turbinas hidráulicas. Baños de Agua Santa. Instructor: Adem Tartic.
- b. CELEC EP Hidroagoyán, CIRT 2017. Diagrama de flujo del proceso general de reparación de turbinas hidráulicas y partes industriales. Baños de Agua Santa.

6.8 ADMINISTRACIÓN

Se presenta a continuación el detalle de los costos de la investigación:

Tabla 6.8 Costos del proyecto de investigación.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
1	Acero ASTM A743 grado CA6-NM	Kg	50	30.00	1500.00
2	Electrodo MIG Selectar M13/4, AWS A5.9, ER410NiMo, 1.2 mm	Kg	8	24.50	196.00
3	Plaquita de mecanizado, R390-11 TE 08M-MM 2040	Und.	12	16.00	192.00
4	Fresa punta esférica, 16 mm	Und.	1	150.00	150.00
5	Fresa redonda de carburo de tungsteno tipo E liso, 8 mm	Und.	1	32.00	32.00
6	Fresa punta esférica Dormer S501 10.00 HM X-Ceed	Und.	1	85.00	85.00
7	Disco de zirconio, 4 1/2" x 5/8", grano 80	Und.	2	4.00	8.00
8	Disco de desbaste 4 1/2"x1/4"x7/8", grano 30	Und.	1	3.50	3.50
9	Disco de corte 7"x1/8"x7/8", grano 24	Und.	1	3.75	3.75
10	Kit de tintas penetrantes Magnaflux	Juego	1	120.00	120.00
11	Lija No. 600/800/1200/1500	Und.	16	0.95	15.20
12	Pasta de diamante DP-Paste P, 9 µm	gr	5	10.00	50.00
13	Pasta de diamante DP-Paste P, 3 µm	gr	5	10.00	50.00
14	Pasta de diamante DP-Paste M, 1 µm	gr	5	10.00	50.00
15	Alumina AP-D Suspension, 0.1 µm	l	0.15	200.00	30.00
16	Equipo de protección personal	Juego	1	20.00	20.00
SUBTOTAL MATERIALES					\$ 2,505.45
17	Ensayo de tracción ASTM E8	-	32	10.00	320.00
18	Tratamiento térmico	kg	81	5.00	405.00
SUBTOTAL SERVICIOS					\$ 725.00
19	Mecánico tornero/fresador	h	24	4.50	108.00
20	Operador de Soldadura	h	40	8.00	320.00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					\$ 428.00
21	Suministros de oficina impresión y empastado	-	1	200.00	200.00
22	Movilización	-	1	60.00	60.00
23	Internet	-	3	18.00	54.00
SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS					\$ 314.00
TOTAL					\$ 3,972.45

Fuente: El autor.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

A través del presente trabajo de investigación se determinó las propiedades mecánicas de tracción, impacto, dureza y la estructura metalográfica del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM soldado con electrodo ER 410NiMo y tratado térmicamente luego de un primer, segundo y tercer ciclo de recuperación, verificando que el tratamiento térmico post soldadura permite mejorar las propiedades que son afectadas durante la soldadura, aumentando la resistencia a la fluencia, la ductilidad, elasticidad, resistencia al impacto y reduciendo por su parte la dureza en el material depositado, obteniéndose la mejor combinación de resultados mediante el primer revenido a 600°C durante 2 horas.

Esto muestra que se puede alcanzar propiedades similares a las del material original y mejorar el desempeño de la pieza, con valores superiores a los nominales inclusive en un tercer ciclo de recuperación, lo cual constituye una primera previsión de la esperanza de vida y capacidad de reconstrucción de estos componentes hidráulicos, cuyos resultados conllevan un ahorro económico del 60 al 80%.

El proceso se realizó en la FICM de la UTA, en las instalaciones del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas de CELEC EP, en el Laboratorio LenMav y Laboratorio de Materiales de la ESPOCH Riobamba y los resultados obtenidos se incorporan a los estudios del acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, lo que servirá de experiencia, modelo técnico y punto de partida para la reconstrucción de piezas del mismo material disponibles en las centrales de generación eléctrica del país y para posteriores investigaciones.

El gobierno central ha implementado el cambio de la matriz energética y matriz productiva para fomentar la incorporación de empresas del mercado nacional dando lugar al desarrollo de nuevos proyectos, como el aquí propuesto, para generar desarrollo tecnológico y el consumo de los productos hechos en el país dentro de un proceso de acumulación, generación de empleo e innovación. De esta manera, en este trabajo se plantea la oportunidad de contribuir al proceso que la empresa pública, a través de la implementación del CIRT, está emprendiendo con miras a la recuperación de turbinas hidráulicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACUÑA, Marcela y LOZADA, Marcela. 2013.** Estudio de la Soldabilidad del Acero Inoxidable Martensítico AISI 420. Tesis (Ingeniería Mecánica). Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 134 p.
2. **AKHIATE, A., y otros. 2014.** Carbon content and heat treatment effects on microstructures and mechanical properties of 13%Cr–4%Ni martensitic stainless steel. En: COM 2014, Conference of Metallurgist (2014 : Vancouver). Vancouver, Canadá : s.n., 2014.
3. **AKSELSEN, O., RORVIK, G., KVAALE, P.,VAN DER EIJK, C. 2004.** Microstructure-Property Relationships in HAZ of New 13% Cr Martensitic Stainless Steels. [ed.] American Welding Society and the Welding Research Council. *Welding Journal*. 2004, Vol. 83, 5, págs. 160 - 167.
4. **ALMEIDA, Steeve y VILLENA, Cecilia. 2009.** Soldadura Fuerte de Acero Inoxidable Austenítico. Tesis (Ingeniería Mecánica). Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2009. 218 p.
5. **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (Estados Unidos de America). 2013.** ASTM A743 / A743M-13ae1, Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application. West Conshohocken, PA : s.n., 2013. 8 p.
6. **American Welding Society. 2011.** *Welding Handbook, Materials and Applications, Part I*. [ed.] Annette O'BRIEN. 9 ed. Miami, United States : s.n., 2011. Vol. 4. ISBN: 978-0-87171-759-7.
7. **ASKELAND, Donald, FULAY, Pradeep y WRIGHT, Wendelin. 2011.** *Ciencia e ingeniería de materiales*. 6a. ed. México, D.F. : Cengage Learning, Inc., 2011. 921 p.
8. **ASM Internacional. 1993.** *ASM Metals Handbook Welding, Brazing, and Soldering. "Corrosion of Weldments"*. [ed.] A. WAHID, D. OLSON y MATLOCK D. Ohio, United States : s.n., 1993. págs. 1065-1069. Vol. 6. ISBN 0-87170-382-3.
9. **ASM Internacional . 1991.** *ASM Metals Handbook, Heat Treating. "Heat Treating of Stainless Steels"*. 10 ed. Ohio, United States : s.n., 1991. págs. 1682-1757. Vol. 4. ISBN 0-87170-379-3.
10. **ASM Internacional. 2004.** *ASM Metals Handbook, Metallography and Microstructures. "Metallography and Microstructures of Stainless Steels and Maraging Steels"*. [ed.] George VANDER, Gabriel LUCAS y Elena MANILOVA. 10 ed. Ohio, United States : s.n., 2004. págs. 670-700. Vol. 9. ISBN: 0-87170-706-3.

11. **ÁVILA, M., y otros. 2008.** Metodología para el Análisis de Integridad Estructural e Rodetes Pelton en la Central de San Carlos / ISAGEN. *Revista CIER*. 2008, Año XV No. 51, págs. 31-36.
12. **AVNER, Sydney. 1988.** *Introducción a la metalurgia física*. 2da ed. México, D.F. : McGraw-Hill, 1988. 96B-6046-01-1.
13. **BAENA, Juan. 2008.** Interdependencia entre las condiciones de operación y el desgaste en rodets tipo Pelton fabricados en acero ASTM A743 grado CA6NM. Tesis (Maestría en Ingeniería Materiales y Procesos). Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2008. 110 p.
14. **BECARÍA, Jairo. 2005.** Soldadura de estructuras metálicas Código AWS D1.1. En: Seminario "Jóvenes Especialistas" (1° : 2005 : Quito). Quito, Ecuador : ASME ESPE Sección Estudiantil, 2005. 140 p.
15. **BILMES, P., y otros. 2004.** Efecto de los Tratamientos Térmicos Post Soldadura Sobre la Corrosión por Picado de Depósitos de Aceros Inoxidables Soft Martensíticos. En: Congreso CONAMET/SAM 2004. La Serena, Chile : Asociación Argentina de Materiales, 2004.
16. **CALLISTER, William. 2005.** *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. 6a. ed. Barcelona, España : Reverté S.A., 2005. 788 p.
17. **CARROUGE y Dominique. 2002.** Phase transformations in welded supermartensitic stainless steels. Tesis (Doctoral). Cambridge, Reino Unido : University of Cambridge, Materials Science and Metallurgy Department, 2002. 185 p.
18. **CHANGO, Patricia. 2014.** Análisis de los Problemas de Corrosión en la Soldadura de los Aceros Inoxidables AISI 304L y 316L. Tesis (Ingeniería Mecánica). Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2014. 128 p.
19. **DOYLE, Lawrence. 1988.** *Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros*. 3a. ed. México, D.F. : Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1988. 1039 p.
20. **EDWARDS, M., J., DONOSO y ESTAY, S. 2008.** Estudio de Vida Residual de Rodetes Pelton. En: Congreso CONAMET/SAM 2008. Santiago, Chile : Asociación Argentina de Materiales, 2008.
21. **ENERHAUG, J., GRONG, O. y STEINSMO, U. 2001.** Factors affecting initiation of pitting corrosion in super martensitic stainless steel weldments. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2001, Vol. 6, 5, págs. 330-338.

22. **ESCOBAR, Julián, y otros. 2010.** Cavitation Erosion of Welded Martensitic Stainless Steel Coatings. En: First International Brazilian Conference on Tribology (1° : 2010 : Río de Janeiro). Río de Janeiro, Brasil : s.n., 2010. págs. 299-309. ISSN 2179-3956.
23. **GUALCO, Agustín, y otros. 2012.** Efecto del tratamiento térmico post-soldadura sobre la resistencia al desgaste abrasivo de depósitos de soldadura de acero martensítico. En: Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica. [ed.] Leonardo PLAUN. Buenos Aires, Argentina : s.n., 2012. ISBN 978-987-1978-09-0.
24. **HOYOS Pulgarín, Elizabeth. 2009.** Efecto de la Técnica de Pases de Revenido en las Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A743: GRADO CA6NM. Tesis (Maestría Ingeniería Materiales y Procesos). Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2009. 88 p.
25. **ITEA. 2000.** *Acero inoxidable*. Ordizia, España : INSTITUTO TECNICO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO, 2000. Vol. 22.
26. **LAUFGANG, Sergio. 2003.** Aceros Inoxidables. *Tratamiento Térmico de Soldadura – Prueba Hidráulica de Gasoductos*. Buenos Aires, Argentina : Termo Soldex S.A., 2003. 40 p.
27. **LIPPOLD, John y KOTECKI, Damian. 2005.** *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2005. 357 p.
28. **MEDRANO, Jorge. 2006.** Mejoramiento de las Propiedades Mecánicas de las Juntas Soldadas de Aceros Inoxidables Austeníticos Mediante Tratamientos Térmicos. Tesis (Ingeniería Mecánica). Quito, Ecuador : Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería, 2006. 187 p.
29. **MIRAKHORLI, F., y otros. 2015.** Hybrid Laser Arc Welding of Cast Martensitic Stainless Steel CA6NM: Post-Weld Tempered Microstructure and Mechanical Properties. En: COM 2015 THE CONFERENCE OF METALLURGISTS (1° : 2015 : Montreal). Montreal, Canadá : s.n., 2015. ISBN: 978-1-926872-32-2. Disponible en: <http://www.researchgate.net/publication/281557405>. 16 p.
30. **MORRAL, F., JIMENO, E. y MOLERA, P. 2004.** *Metalurgia General*. Barcelona : Reverté S.A., 2004. Vol. 2.
31. **OLSON, D. 1985.** Prediction of austenitic weld metal microstructure and properties. [ed.] American Welding Society and the Welding Research Council. *Welding Journal*. 1985, Vol. 64, 10, págs. 281-295.
32. **OSPINA, Ricaurte, AGUIRRE, Héctor y PARRA, Hernando.** Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Disímiles. *Scientia et Technica [en línea]*. Mayo de 2007, Vol. XIII, No. 34. Disponible en: dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4807972.pdf.

33. **PACHECO, Hernando, OSORIO, Julián y TORO, Alejandro. 2007.** Efecto del Tratamiento Térmico Post Soldadura Sobre la Microestructura del Acero Inoxidable grado CA6NM para la Construcción de Rodetes Hidráulicos. *Scientia et Technica*. Septiembre de 2007, Año XIII No. 36, págs. 901-906.
34. **RAJASEKHAR, A. 2015.** Influence of Microstructure on Mechanical Properties of Martensitic Stainless Steel Welds. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Abril de 2015, Vol. 12, No. 2, págs. 05-10.
35. **ROJAS, Jessika. 2009.** Identificación y Cuantificación de Fases en Acero Inoxidable ASTM A743 GRADO CA6NM Mediante la Técnica de Difracción de Rayos X. Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería de Materiales, 2009. 66 p.
36. **SANTILLÁN, Francisco. 2013.** Calidad en Inspección de Soldadura. México, D.F. : Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Tesis (Ingeniería Mecánica), 2013. 178 p.
37. **SANTOS, Aldo. 2000.** Desenvolvimento de Procedimento de Reparo por Soldagem em Aços Inoxidáveis Martensíticos, com Metal de Adição Similar sem TTP. Tesis (Maestría en Ingeniería Mecánica). Florianópolis, Brasil : Universidade Federal de Santa Catarina, 2000. 116 p.
38. **SARAFAN, S., y otros. 2013.** Characteristics of Electron Beam Welded CA6NM. En: *Materials Science and Technology (MS&T), Advances in Hydroelectric Turbine Manufacturing and Repair*. Montreal, Quebec, Canada : s.n., Octubre de 2013. págs. 720-732.
39. **SPIEGEL, Murray. 1976.** *Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística*. México : McGraw Hill de México S.A., 1976.
40. **Steel Founders Society of America . 2004.** *Steel Castings Handbook Supplement 7 Welding of High Alloy Castings*. [ed.] M. BLAIR. Ohio, United States : s.n., 2004. Vol. VII.
41. **Steel Founders Society of America. 1980.** *Steel Castings Handbook Supplement 6 Repair Welding and Fabrication Welding of Carbon and Low Alloy Steel Castings*. [ed.] John WALLACE. Ohio, United States : s.n., 1980. Vol. VI.
42. **TASAK, Edmund, y otros. 2011.** Influence of post-weld heat treatment (PWHT) on the structure and properties of welded joints of chromium–nickel stainless steel with soft martensite. *Welding International*. 2011, Vol. 25, No. 8, págs. 608-613.

43. *Tecnología de la Soldadura*. **NARANJO, Carlos. 2004.** Quito : Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Mecánica. Cuaderno de Clase (Ingeniería Mecánica), 2004.
44. **TRUDEL, Alexandre, LEVESQUE, Martin y BROCHU, Myriam. 2013.** Microstructural effects on the fatigue crack growth resistance of a stainless steel CA6NM weld. En: International Conference on Fracture (13° : 2013 : Beijing). Beijing, China : s.n., 2013. 12 p.
45. **ZAPPA, Sebastián, y otros. 2012.** Efecto del contenido de austenita sobre las propiedades mecánicas de un depósito de soldadura de acero inoxidable. En: Tercer Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica. [ed.] Leonardo PLAUN. Buenos Aires, Argentina : s.n., 2012. ISBN 978-987-1978-09-0.

ANEXOS

ANEXO A.1 – ASTM A743/A743M – 13a^{ed} Especificación Estándar para Fundiciones de Hierro-Cromo, Hierro-Cromo-Níquel, Resistentes a Corrosión para Aplicación General y en la especificación.



Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application¹

This standard is issued under the fixed designation A743/A743M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

^{ε1} NOTE—Table 2 and Table S12.1 were editorially corrected in January 2014.

1. Scope*

1.1 This specification covers iron-chromium and iron-chromium-nickel alloy castings for general corrosion-resistant application. The grades covered by this specification represent types of alloy castings suitable for broad ranges of application which are intended for a wide variety of corrosion environments.

NOTE 1—For alloy castings for severe corrosion-resistant service, reference should be made to Specification [A744/A744M](#). For general heat-resistant alloy castings, reference should be made to Specification [A297/A297M](#). For nickel alloy castings for corrosion-resistant service, reference should be made to Specification [A494/A494M](#).

1.2 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. Inch-pound units are applicable for material ordered to Specification A743 and SI units for material ordered to Specification A743M.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- [A262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels](#)
- [A297/A297M Specification for Steel Castings, Iron-Chromium and Iron-Chromium-Nickel, Heat Resistant, for General Application](#)

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.18 on Castings.

Current edition approved May 15, 2013. Published June 2013. Originally approved in 1977. Last previous edition approved in 2013 as A743/A743M – 13. DOI: 10.1520/A0743_A0743M-13AE01.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- [A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products](#)
- [A494/A494M Specification for Castings, Nickel and Nickel Alloy](#)
- [A744/A744M Specification for Castings, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for Severe Service](#)
- [A781/A781M Specification for Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use](#)
- [A890/A890M Specification for Castings, Iron-Chromium-Nickel-Molybdenum Corrosion-Resistant, Duplex \(Austenitic/Ferritic\) for General Application](#)
- [A957 Specification for Investment Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use](#)

3. General Conditions for Delivery

3.1 Except for investment castings, castings furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification [A781/A781M](#), including any supplementary requirements that are indicated on the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification [A781/A781M](#) constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification [A781/A781M](#), this specification shall prevail.

3.2 Steel investment castings furnished to this specification shall conform to the requirements of Specification [A957](#), including any supplementary requirements that are indicated in the purchase order. Failure to comply with the general requirements of Specification [A957](#) constitutes nonconformance with this specification. In case of conflict between the requirements of this specification and Specification [A957](#), Specification [A957](#) shall prevail.

4. Ordering Information

4.1 Orders for material to this specification should include the following, as required, to describe the material adequately:

- 4.1.1 Description of the casting by pattern number or drawing,
- 4.1.2 Grade,

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

- 4.1.3 Heat treatment,
- 4.1.4 Options in the specification,
- 4.1.5 Whether castings are to be produced using the investment casting process, and
- 4.1.6 Supplementary requirements desired, including the standards of acceptance.

5. Process

5.1 The steel shall be made by the electric furnace process with or without separate refining such as argon-oxygen decarburization (AOD).

6. Heat Treatment

6.1 Castings shall be heat treated in accordance with the requirements in [Table 1](#).

NOTE 2—Proper heat treatment of these alloys is usually necessary to enhance corrosion resistance and in some cases to meet mechanical properties. Minimum heat treat temperatures are specified; however, it is sometimes necessary to heat treat at higher temperatures, hold for some minimum time at temperature and then rapidly cool the castings in order to enhance the corrosion resistance and meet mechanical properties.

7. Chemical Requirements

7.1 The chemical requirements are shown in [Table 2](#).

TABLE 1 Heat Treatment Requirements

Grade	Heat Treatment
CA6N	Heat to 1900°F [1040°C], air cool, reheat to 1500°F [815°C], air cool, and age at 800°F [425°C], holding at each temperature sufficient time to heat casting uniformly to temperature.
CA6NM	Heat to 1850°F [1010°C] minimum, air cool to 200°F [95°C] or lower prior to any optional intermediate temper and prior to the final temper. The final temper shall be between 1050°F [565°C] and 1150°F [620°C].
CA15, CA15M, CA40, CA40F	(1) Heat to 1750°F [955°C] minimum, air cool and temper at 1100°F [595°C] minimum, or (2) Anneal at 1450°F [790°C] minimum.
CA28MWV	(1) Heat to 1875–1925°F [1025–1050°C], quench in air or oil, and temper at 1150°F [620°C] minimum, or (2) Anneal at 1400°F [760°C] minimum.
CB30, CC50	(1) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and air cool, or (2) Heat to 1450°F [790°C] minimum, and furnace cool.
CB6	Heat between 1800°F [980°C] and 1920°F [1050°C], forced air, cool to 120°F [50°C] maximum, and temper between 1100°F and 1160°F [595°C and 625°C].
CE30, CH10, CH20, CK20	Heat to 2000°F [1093°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CF3, CF3M, CF3MN	(1) Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means. (2) As cast if corrosion resistance is acceptable.
CF8, CF8C, CF8M, CF16F, CF16Fa, CF20, CG3M, CG8M, CG12, CF10SMnN	Heat to 1900°F [1040°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means. Heat to 1950°F [1065°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CK3MCuN, CK35MN, CN3M, CN3MN, CG6MMN, CN7M	Heat to 2200°F [1200°C] minimum, hold for 4 hours minimum, quench in water or rapid cool by other means. Heat to 2050°F [1120°C] minimum, hold for sufficient time to heat casting to temperature, quench in water or rapid cool by other means.
CN7MS	Heat to 2100°F [1150°C] minimum, 2150°F [1180°C] maximum, hold for sufficient time (2 h minimum) to heat casting to temperature and quench in water.
HG10MNN	As-cast

TABLE 2 Chemical Requirements

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CA6N	11 Chromium, 7 Nickel	0.06	0.50	1.00	0.02	0.02	10.5–12.5	6.0–8.0	...	...	...	...	...	...	...
CA6NM (J91540)	12 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	11.5–14.0	3.5–4.5	0.40–1.0	...	...	...	...	...	...
CA15 (J91150)	12 Chromium	0.15	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.00 max	...	...	...	...	...	...	...
CA15M (J91151)	12 Chromium	0.15	1.00	0.65	0.040	0.040	11.5–14.0	1.0 max	0.15–1.0	...	...	...	...	...	...
CA28MWV (J91422)	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten and Vanadium	0.20–0.28	0.50–1.00	1.0	0.030	0.030	11.0–12.5	0.50–1.00	0.90–1.25	...	...	...	0.90–1.25	0.20–0.30	...

TABLE 2 *Continued*

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Man- ganese, max	Silicon, max	Phospho- rus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybde- num	Colum- bium	Sele- nium	Copper	Tung- sten, max	Vana- dium, max	Nitrogen
CA40 (J91153)	12 Chromium	0.20– 0.40	1.00	1.50	0.04	0.04	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CA40F (J91154)	12 Chromium, Free Machining	0.20– 0.40	1.00	1.50	0.04	0.20– 0.40	11.5–14.0	1.0 max	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CB6 (J91804)	16 Chromium, 4 Nickel	0.06	1.00	1.00	0.04	0.03	15.5–17.5	3.5–5.5	0.5 max	...	...	...	...	...	...
CB30 (J91803)	20 Chromium	0.30	1.00	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	2.00 max	...	...	...	<i>B</i>	...	...	...
CC50 (J92615)	28 Chromium	0.50	1.00	1.50	0.04	0.04	26.0–30.0	4.00 max	...	...	...	...	...	...	...
CE30 (J93423)	29 Chromium, 9 Nickel	0.30	1.50	2.00	0.04	0.04	26.0–30.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CF3 (J92500)	19 Chromium, 9 Nickel	0.03	1.50	2.00	0.04	0.04	17.0–21.0	8.0– 12.0	...	...	...	...	...	...	...
CF3M (J92800)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	17.0–21.0	9.0– 13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF3MN (J92804)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	0.03	1.50	1.50	0.040	0.040	17.0–22.0	9.0– 13.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	0.10– 0.20
CF8 (J92600)	19 Chromium, 9 Nickel	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CF8C (J92710)	19 Chromium, 10 Nickel, with Columbium	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	...	<i>A</i>	...	...	...	...	...
CF8M (J92900)	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	2.0–3.0	...	...	...	...	...	...
CF10SMnN (J92972)	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen	0.10	7.00– 9.00	3.50– 4.50	0.060	0.030	16.0–18.0	8.0– 9.0	...	...	...	...	...	...	0.08– 0.18
CF16F (J92701)	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.17	0.04	18.0–21.0	9.0– 12.0	1.50 max	...	0.20– 0.35	...	...	...	...
CF16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	0.16	1.50	2.00	0.04	0.20– 0.40	18.0–21.0	9.0– 12.0	0.40–0.80	...	...	...	...	...	...
CF20 (J92602)	19 Chromium, 9 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	18.0–21.0	8.0– 11.0	...	...	...	...	...	...	...
CG3M (J92999)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.03	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CG6MMN (J93790)		0.06	4.00– 6.00	1.00	0.04	0.03	20.5–23.5	11.5– 13.5	1.50–3.00	0.10– 0.30	...	...	...	0.10– 0.30	0.20– 0.40
CG8M (J93000)	19 Chromium, 11 Nickel, with Molybdenum	0.08	1.50	1.50	0.04	0.04	18.0–21.0	9.0– 13.0	3.0–4.0	...	...	...	...	...	...
CG12 (J93001)	22 Chromium, 12 Nickel	0.12	1.50	2.00	0.04	0.04	20.0–23.0	10.0– 13.0	...	...	...	...	...	...	...
CH10 (J93401)	25 Chromium, 12 Nickel	0.10	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0– 15.0	...	...	...	...	...	...	...

TABLE 2 Continued

Grade (UNS)	Type	Composition, %													
		Carbon, max	Manganese, max	Silicon, max	Phosphorus, max	Sulfur, max	Chromium	Nickel	Molybdenum	Columbium	Selenium	Copper	Tungsten, max	Vanadium, max	Nitrogen
CH20 (J93402)	25 Chromium, 12 Nickel	0.20	1.50	2.00	0.04	0.04	22.0–26.0	12.0–15.0	...	...	...	...	...	...	...
CK35MN	23 Chromium, 21 Nickel, with Molybdenum and Nitrogen	0.035	2.00	1.00	0.035	0.020	22.0–24.0	20.0–22.0	6.0–6.8	...	...	0.40	...	...	0.21–0.32
CK3MCuN (J93254)	20 Chromium 18 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.025	1.20	1.00	0.045	0.010	19.5–20.5	17.5–19.5	6.0–7.0	...	...	0.50–1.00	...	...	0.180–0.240
CK20 (J94202)	25 Chromium, 20 Nickel	0.20	2.00	2.00	0.04	0.04	23.0–27.0	19.0–22.0	...	...	...	...	...	...	...
CN3M (J94652)		0.03	2.0	1.0	0.03	0.03	20.0–22.0	23.0–27.0	4.5–5.5	...	...	...	...	...	...
CN3MN (J94651)	21 Chromium, 24 Nickel with Molybdenum and Nitrogen	0.03	2.00	1.00	0.040	0.010	20.0–22.0	23.5–25.5	6.0–7.0	...	...	0.75 max	...	...	0.18–0.26
CN7M (N08007)	20 Chromium, 29 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.50	1.50	0.04	0.04	19.0–22.0	27.5–30.5	2.0–3.0	...	...	3.0–4.0	...	...	...
CN7MS (J94650)	19 Chromium, 24 Nickel, with Copper and Molybdenum	0.07	1.00	2.50–3.50	0.04	0.03	18.0–20.0	22.0–25.0	2.5–3.0	...	...	1.5–2.0	...	...	...
HG10MNN J92604	19 Chromium, 12 Nickel, 4 Manganese	0.07–0.11	3.0–5.0	0.70	0.040	0.030	18.5 – 20.5	11.5–13.5	0.25–0.45	^c	...	0.50	...	...	0.20–0.30

^A Grade CF8C shall have a columbium content of not less than eight times the carbon content and not more than 1.0%. If a columbium-plus-tantalum alloy in the approximate Cb:Ta ratio of 3:1 is used for stabilizing this grade, the total columbium-plus-tantalum content shall not be less than nine times the carbon content and shall not exceed 1.1%.

^B For Grade CB30 a copper content of 0.90 to 1.20% is optional.

^C Grade HG10MNN shall have a columbium content of not less than eight times the carbon, but not over 1.00 %.

8. Repair by Welding

8.1 Repair welding of Grade CA28MWV is not permitted unless by agreement between the manufacturer and the purchaser.

8.2 When methods involving high temperature are used in the removal of discontinuities, castings shall be preheated in accordance with [Table 3](#). Weld repairs shall be subject to the same quality standards as are used to inspect the castings.

8.3 Post weld heat treatment, if required, shall be in accordance with [Table 1](#).

8.3.1 The martensitic grades CA6NM, CA15, CA15M, CB6, and CA40 shall be retempered after weld repairing,

except that local tempering will be permitted if, in the opinion of the manufacturer, furnace heat treating will be damaging to the finished surface of a machined casting. Heat treatment, other than tempering, of grades CA6NM, CA15, CA15M, CB6, and CA40 after weld repairing shall be performed only when agreed upon between the manufacturer and the purchaser. Weld repair on Grade CA40F is not recommended because of the risk of local hardening and possible cracking in the heat affected zone.

8.3.2 Post weld heat treatment is not required on the other grades of this specification. When post weld heat treatment is believed necessary for adequate corrosion resistance in the service environment, castings should be ordered in accordance with Specification [A744/A744M](#).

8.3.3 For Grade HG10MNN, the filler metal to be used shall be established by mutual agreement between the manufacturer and the purchaser.

TABLE 3 Minimum Preheat Temperatures

Grade	Minimum Preheat Temperatures	
	°F	°C
CA15, CA15M CA28MWV, CA40	400	[205]
Others	50	[10]

9. Product Marking

9.1 Castings shall be marked for material identification with the ASTM specification number (A743/A743M) and grade

symbol, that is, CF8, CA15, CB30, etc. In addition, the manufacturer's name or identification mark and the pattern number shall be cast or stamped using the low-stress stamps on all castings. Small-size castings may be such that marking must be limited consistent with the available area. The marking of heat numbers on individual castings shall be agreed upon

between the manufacturer and the purchaser. Marking shall be in such position as not to injure the usefulness of the casting.

10. Keywords

10.1 corrosion resistant; iron-chromium; iron-chromium-nickel; steel castings

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirements shall not apply unless specified in the purchase order. A list of standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser is included in Specification [A781/A781M](#). Those which are ordinarily considered suitable for use with this specification are given below. Others enumerated in [A781/A781M](#) may be used with this specification upon agreement between the manufacturer and purchaser.

S1. Magnetic Particle Examination

S2. Radiographic Examination

S3. Liquid Penetrant Examination

S4. Ultrasonic Examination

S5. Examination of Weld Preparation

S6. Certification

S7. Prior Approval of Major Weld Repairs

S11. Intergranular Corrosion Test

S11.1 An intergranular corrosion test shall be performed in accordance with the appropriate practice for the particular grade involved, as listed in Practices [A262](#), or as agreed upon with the purchaser. Intergranular corrosion tests on stabilized or 0.03 % carbon maximum grades (CF3, CF3M, CF8C, and CG3M) shall be made on sensitized specimens. On all other grades of chromium-nickel steels, intergranular corrosion tests shall be made on specimens representative of the as-shipped condition.

S12 Tension Test

S12.1 Tensile properties shall be determined from material representing each heat. The bar from which the test specimen is taken shall be heat treated in production furnaces to the same procedure as the castings it represents. The results shall conform to the requirements specified in [Table S12.1](#).

S12.2 Test bars shall be poured in separately cast keel blocks similar to Fig. 1 or Fig. 2 or Fig. 3 of [A781/A781M](#).

S12.3 Tension test specimens may be cut from heat-treated castings, or from as-cast castings if no heat treatment is specified for the castings, instead of from test bars, when agreed upon between the manufacturer and the purchaser.

S12.4 Test specimens shall be machined to the form and dimensions of the standard round 2-in. [50-mm] gage length specimen shown in Fig. 4 and 5 of Test Methods and Definitions [A370](#), and shall be tested in accordance with Test Methods and Definitions [A370](#).

S12.5 If the results of the mechanical tests for any heat, lot, or casting do not conform to the requirements specified, retests are permitted as outlined in Test Methods and Definitions [A370](#). At the manufacturer's option, castings may be reheat-treated and retested. When castings are reheat-treated, they may not be re-austenitized more than three times without the approval of the purchaser. Testing after reheat treatment shall consist of the full number of specimens taken from locations complying with the specification or order.

S12.6 If any test specimen shows defective machining or develops flaws, it may be discarded and another specimen substituted from the same heat.

S13. Post Weld-Heat Treatment

S13.1 Weld repairs shall be considered major in the case of a casting which has leaked on hydrostatic test or when the depth of the cavity after preparation for repair exceeds 20 % of the actual wall thickness, or 1 in. [25 mm], whichever is smaller, or when the extent of the cavity exceeds approximately 10 in.² [65 cm²]. All other weld repairs shall be considered minor.

S13.2 Grades CF8, CG3M, CG8M, CG12, CF20, CF8M, CF8C, CF16F, CF16Fa, CH10, CH20, CE30, CK3MCuN, CK35MN, CK20, CF3, CF3M, CF3MN, CN3M, CN3MN, CN7M, CN7MS, CB30, CC50, CA6N, and CK3MCuN shall be heat treated after major weld repairs, but it is not required after minor repairs except by agreement between the manufacturer and the purchaser.

S13.2.1 The post-weld treatment for grades CK3MCu, CK35MN, CN3M, and CN3MN shall be as specified in [Table 1](#), except that the minimum soak time for castings that have already been heat treated according to [Table 1](#) may be 1 hour.

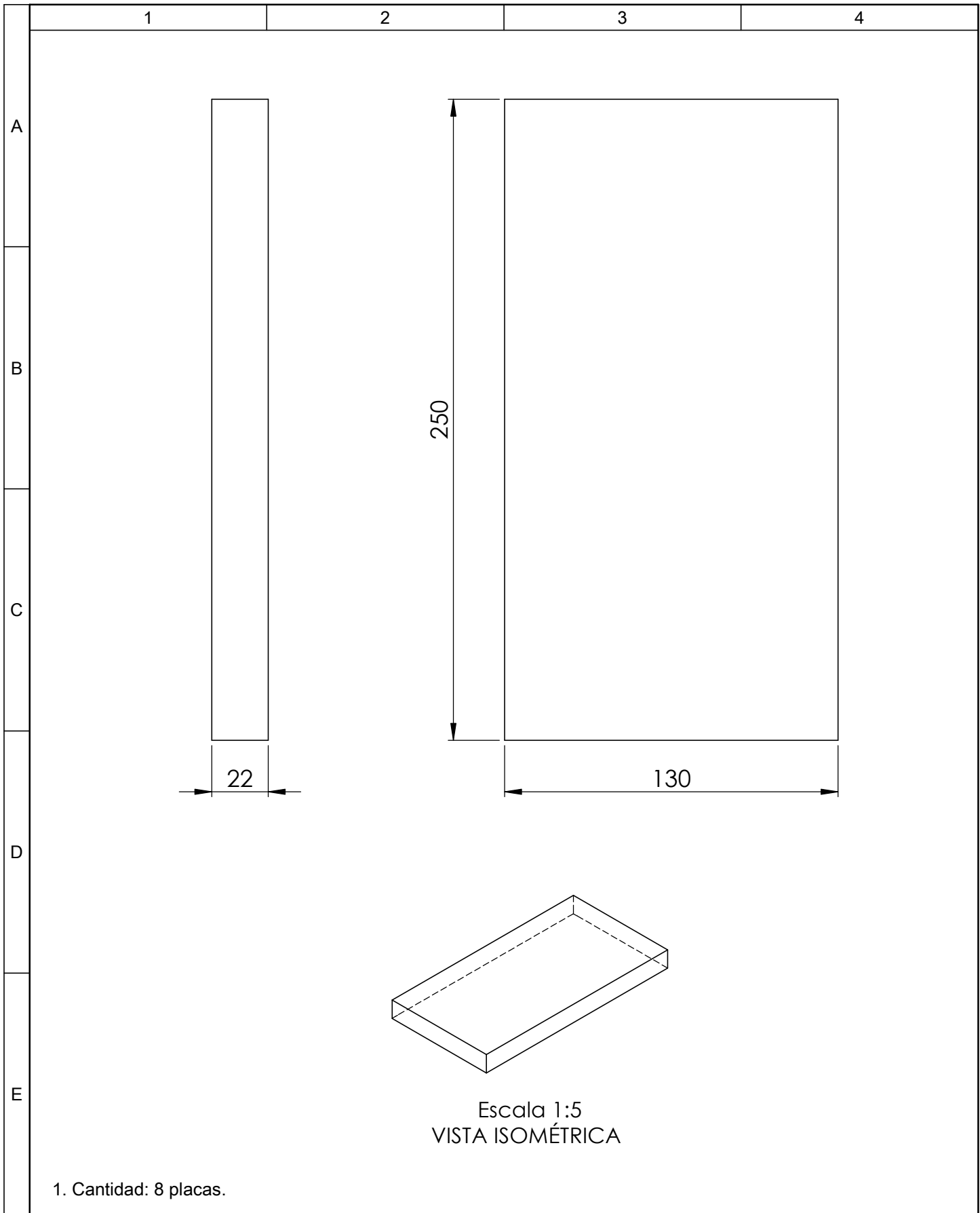
S14. Hardness Tests

S14.1 Brinell tests on non-austenitic grades shall be conducted. Grades CA15, CA15M, CB30, and CC50 shall have a Brinell hardness of 241 HB maximum. Grade CA6NM shall have a Brinell hardness of 285 HB maximum, Grade CA40 and CA40F, 269 HB maximum, and Grade CA28MWV, 302–352 HB, except for the annealed condition, when the Brinell hardness of this grade shall not exceed 269 HB.

TABLE S12.1 Tensile Requirements

Grade	Type	Tensile Strength, min		Yield Strength, min		Elongation in 2 in. [50 mm], min, % ^A	Reduction of Area, min, %
		ksi	[MPa]	ksi	[MPa]		
CA6N	11 Chromium, 7 Nickel	140	[965]	135	[930]	15	50
CA6NM	12 Chromium, 4 Nickel	110	[755]	80	[550]	15	35
CA15 and CA15M	12 Chromium	90	[620]	65	[450]	18	30
CA28MWV ^C	12 Chromium, with Molybdenum, Tungsten, and Vanadium	140	[965]	110	[760]	10	24
CA40	12 Chromium	100	[690]	70	[485]	15	25
CA40F	12 Chromium, Free Machining	100	[690]	70	[485]	12	...
CB6	16 Chromium, 4 Nickel	115	[790]	85	[580]	16	35
CB30	20 Chromium	65	[450]	30	[205]	...	...
CC50	28 Chromium	55	[380]	...	...	...	...
CE30	29 Chromium, 9 Nickel	80	[550]	40	[275]	10	...
CF3	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	35	...
CF3M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF3MN	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum, and Nitrogen	75	[515]	37	[255]	35	...
CF8	19 Chromium, 9 Nickel	70 ^B	[485] ^B	30 ^B	[205] ^B	35	...
CF8C	19 Chromium, 10 Nickel with Columbium	70	[485]	30	[205]	30	...
CF8M	19 Chromium, 10 Nickel, with Molybdenum	70	[485]	30	[205]	30	...
CF10SMnN	17 Chromium, 8.5 Nickel with Nitrogen, 9 Nickel	85	[585]	42	[290]	30	...
CF16F and CF16Fa	19 Chromium, 9 Nickel, Free Machining	70	[485]	30	[205]	25	...
CF20	19 Chromium, 9 Nickel	70	[485]	30	[205]	30	...

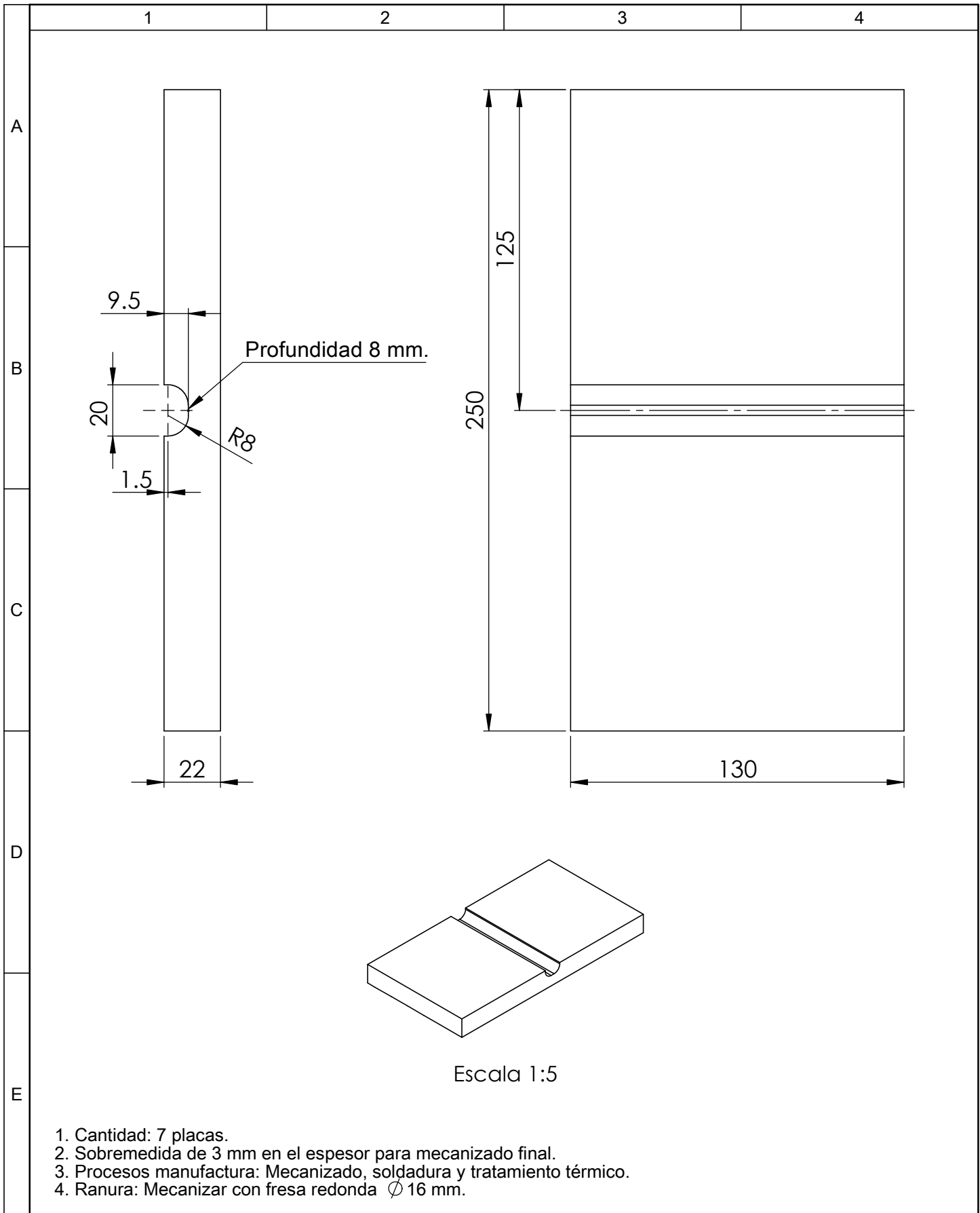
ANEXO B.1 – Planos constructivos de los cupones de soldadura y probetas de tracción, impacto y dureza.



Escala 1:5
VISTA ISOMÉTRICA

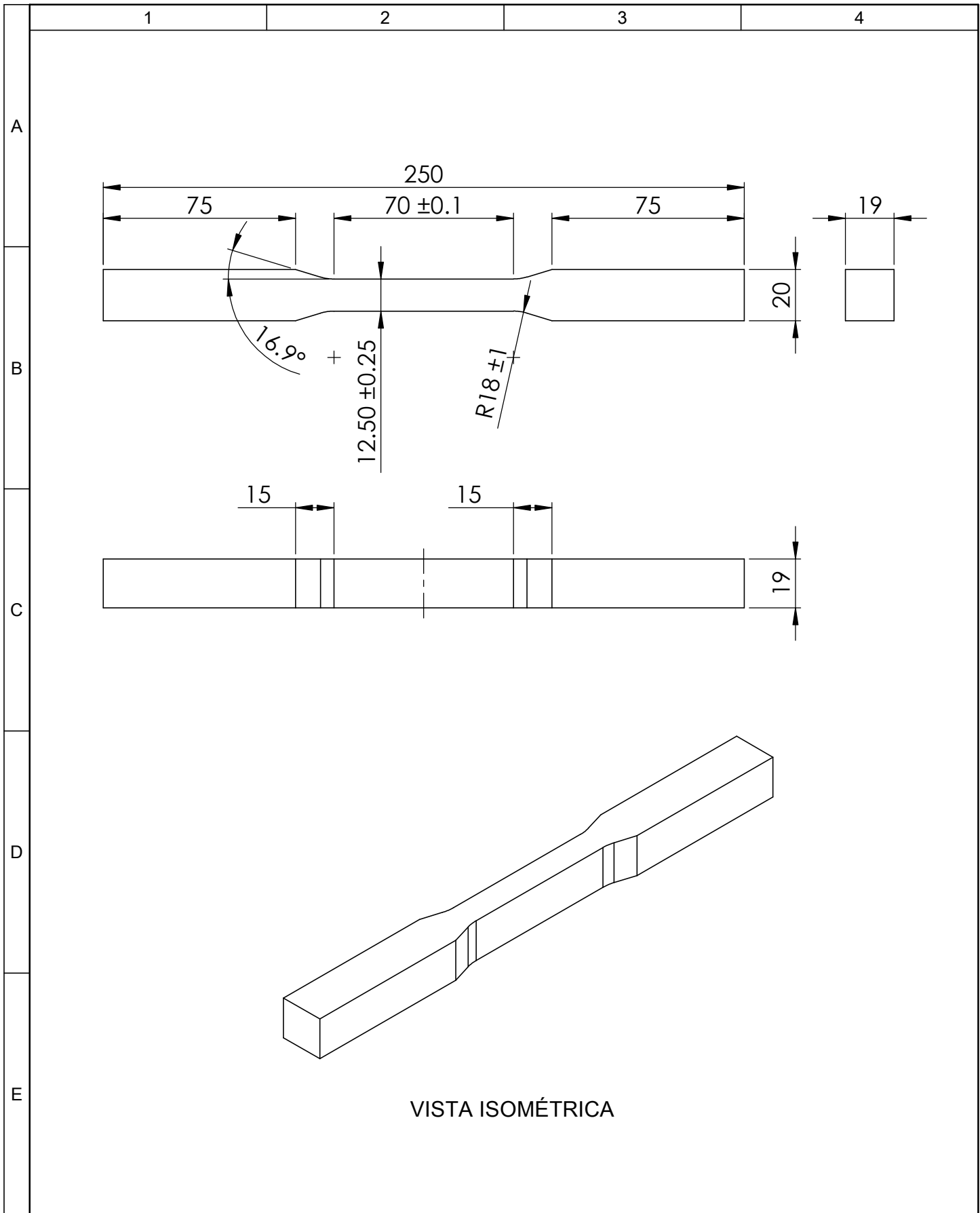
1. Cantidad: 8 placas.

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,2	5,5 Kg	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: PLACA PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE TRACCIÓN, DUREZA Y METALOGRAFÍA	Escala: 1:2
				Dibujó: 13/07/16	Ing. Auz J.		
				Revisó: 13/07/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó: 13/07/16	Ing. Vaca H.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: TTPS-01 de 07	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye: Ninguno		Unidades: Milímetros



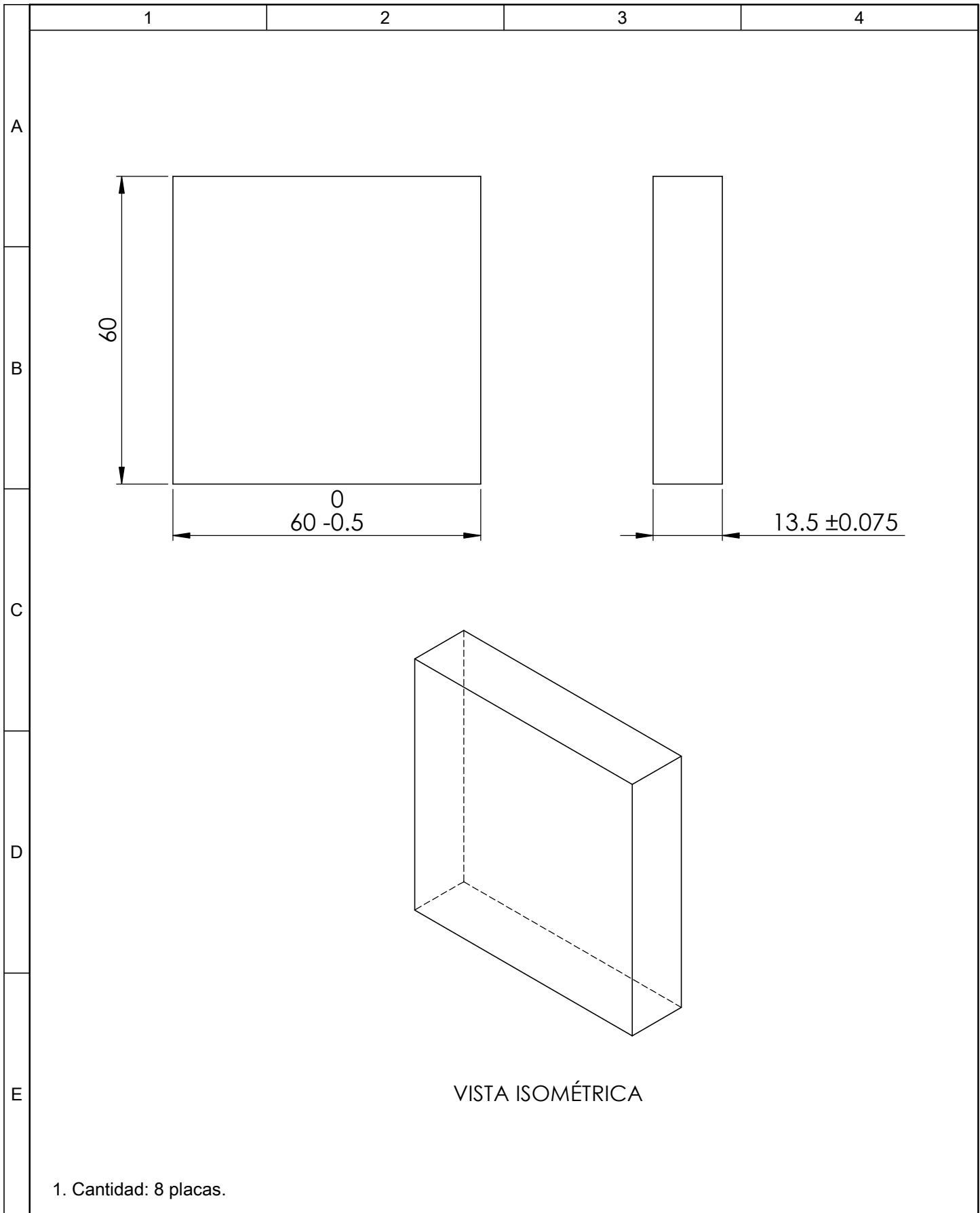
1. Cantidad: 7 placas.
2. Sobremedida de 3 mm en el espesor para mecanizado final.
3. Procesos manufactura: Mecanizado, soldadura y tratamiento térmico.
4. Ranura: Mecanizar con fresa redonda ϕ 16 mm.

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,2$	5,35 Kg	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: CUPÓN DE SOLDADURA PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE TRACCIÓN, DUREZA Y METALOGRAFÍA	Escala: 1:2
			Dibujó:	23/08/16	Ing. Auz J.		
			Revisó:	23/08/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó:	23/08/16	Ing. Vaca H.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	TTPS-02 de 07
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye: Ninguno	Unidades: Milímetros

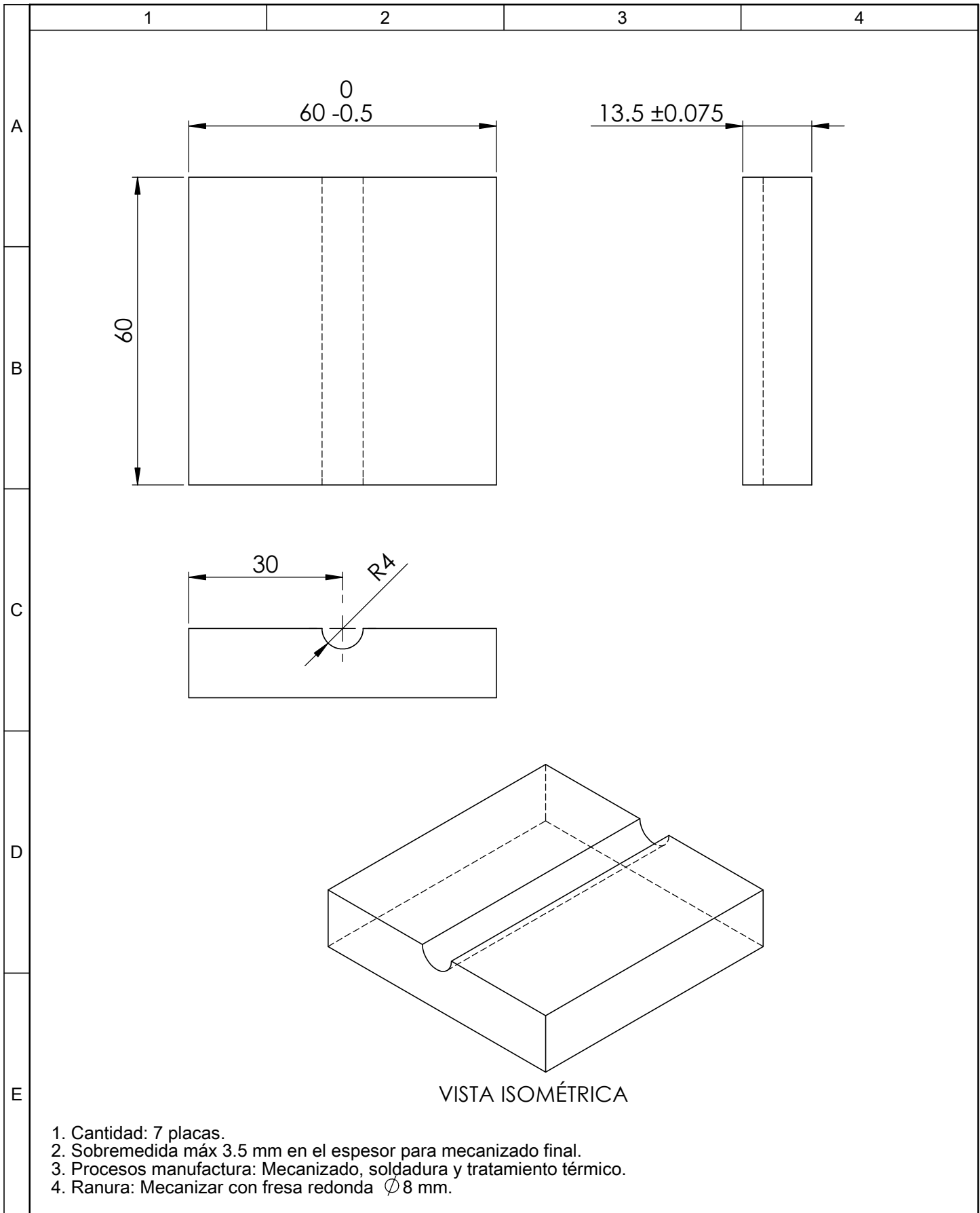


VISTA ISOMÉTRICA

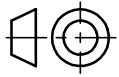
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	636 gr.	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA DE TRACCIÓN ASTM A370 / ASTM E8 TIPO LÁMINA	Escala: 1:2
				Dibujó: 23/08/16	Ing. Auz J.		
				Revisó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	TTPS-03 de 07
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye: Ninguno	Unidades: Milímetros

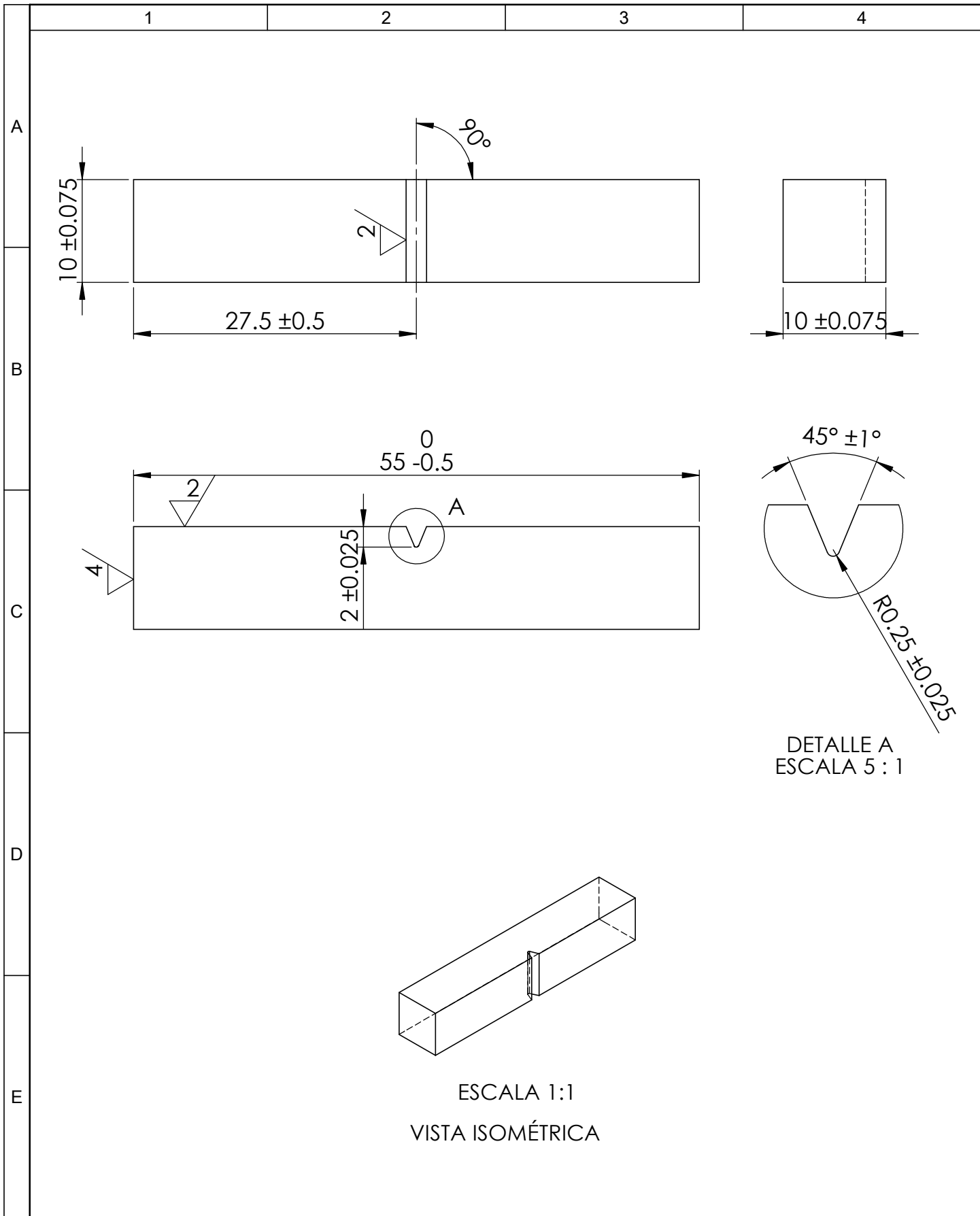


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				±0,02	374 gr.	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM			
					Fecha	Nombre	Denominación: PLACA PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE IMPACTO	Escala: 1:1	
				Dibujó:	13/07/16	Ing. Auz J.			
				Revisó:	13/07/16	Ing. Vaca H.			
				Aprobó:	13/07/16	Ing. Vaca H.			
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo:	TTPS-04 de 07	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustituye: Ninguno	Unidades: Milímetros	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,02$	363 gr.	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: CUPÓN DE SOLDADURA PARA OBTENCIÓN DE PROBETAS DE IMPACTO CHARPY	Escala: 1:1
				Dibujó: 23/08/16	Ing. Auz J.		
				Revisó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	TTPS-05 de 07
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye: Ninguno	Unidades: Milímetros

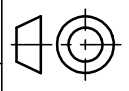


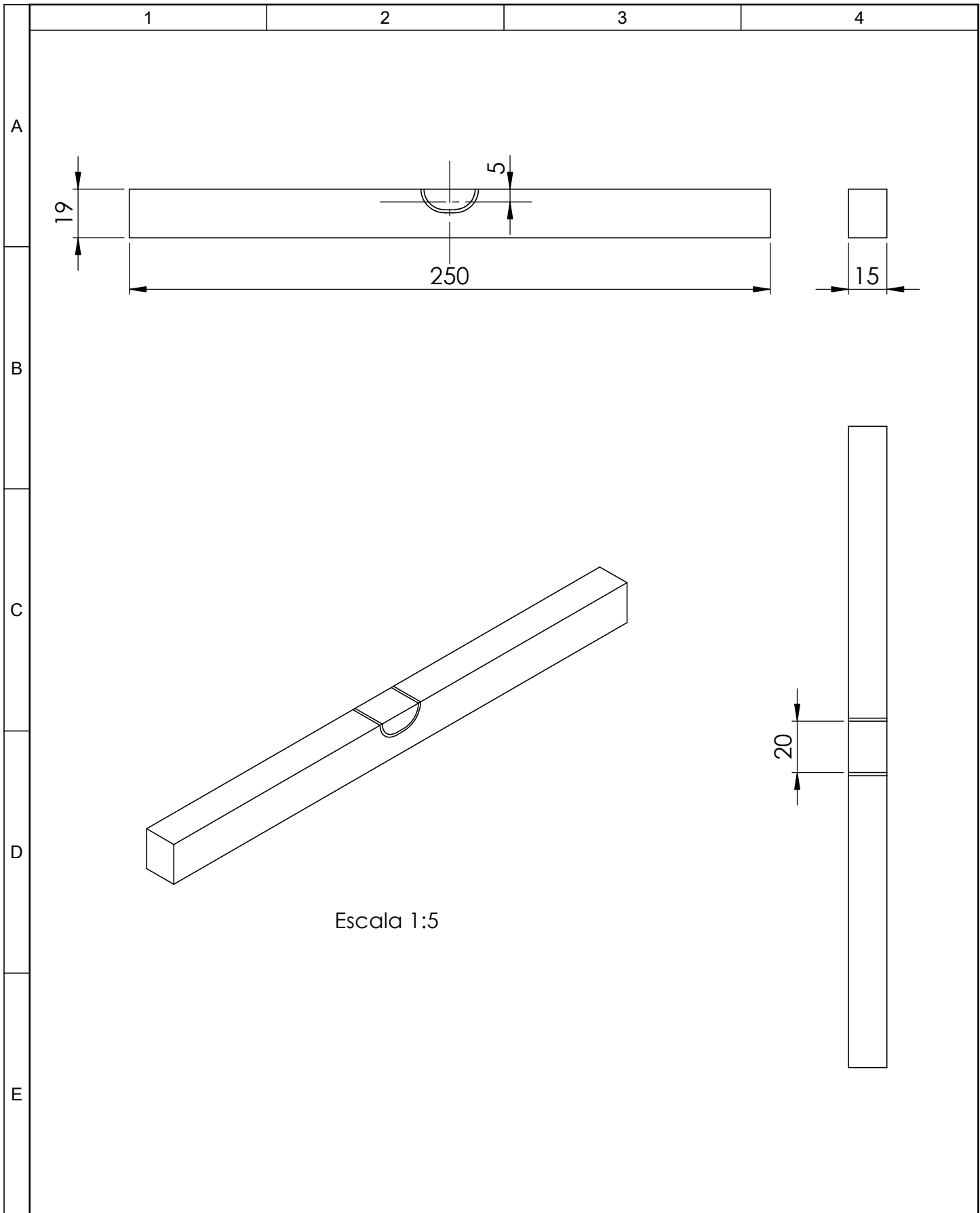


DETALLE A
ESCALA 5 : 1

ESCALA 1:1
VISTA ISOMÉTRICA

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,02$	42,17 gr.	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA DE IMPACTO CHARPY ASTM A370 / ASTM E23	Escala: 2:1
			Dibujó:	23/08/16	Ing. Auz J.		
			Revisó:	23/08/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó:	23/08/16	Ing. Vaca H.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo:	TTPS-06 de 07
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustituye:	Ninguno
						Unidades:	Milímetros





Escala 1:5

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0.55 Kg	Acero ASTM A743 Grado CA-6NM	
				Fecha	Nombre	Denominación: PROBETA PARA MEDICIÓN DE DUREZA	Escala: 1:2
				Dibujó: 23/08/16	Ing. Auz J.		
				Revisó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				Aprobó: 23/08/16	Ing. Vaca H.		
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: TTPS-07 de 07	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

ANEXO B.2 – Espectrometría óptica de emisión en el metal base como viene de fábrica acero inoxidable martensítico ASTM A743 GRADO CA6-NM.

Muestra: Material Base - Eje acero ASTM A743 CA-6NM

Elaborado por: Juan Auz M.

Fecha: 4/8/2016 2:18:20 PM

Metodo: Fe130F S

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0.044	0.587	0.600	0.025	<0.0035
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Al [%]	Co [%]
∅	12.02	0.507	3.805	0.010	0.037
	Cu [%]	Nb [%]	Sn [%]	Ti [%]	V [%]
∅	0.095	<0.0100	<0.0030	0.0038	0.036
	W [%]	N [%]	Fe [%]		
∅	<0.030	<0.150	82.18		

**ANEXO B.3 – Ficha técnica metal de aporte Selectarc M13/4 NORMA AWS
A5.9 ER 410NIMO** (Fuente: FSH Welding Group. Catálogo Selectarc Welding
Mig Wires. pág. 37).



M13/4

Old reference: MIG 410NiMo

Classification

ISO 14343-A : G 13 4

AWS A5.9 : ~ER410NiMo

Description & Applications

Solid wire electrode for repair and construction welding of martensitic Cr-Ni steels with a similar composition. These steels/castings are used for hydraulic turbines, pumps, valve bodies, compressor parts...

Base materials:

Martensitic stainless steels and castings:

UNS	Alloy	EN/ Symbol	Material N°
J91540	CA6-NM	G-X5CrNi13-4	1.4313
S41500		X3CrNiMo13-4	1.4313
		G-X4CrNi13-4	1.4317
		G-X5CrNiMo13-4	1.4407
		X3CrNiMo13-4	1.4413
		G-X4CrNiMo13-4	1.4414

Typical Chemical Composition (%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S	Fe
0.02	0.45	0.7	12.3	4.2	0.5	0.08	<0.02	<0.01	Rem.

All Weld Metal Mechanical Properties

$R_{p0.2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A_5 (%)	KV (J)
750	860	17	+20°C 80

After PWHT 580°C/8h

Welding Current & Instructions

Welding mode	Wire Ø (mm)	Welding parameters		Shielding Gas
		Pulsed arc (A)	(V)	
MIG = +	1.0	120-200	24-28	EN 439 : M1 Ar + 2%CO ₂ 18-20 l/min
	1.2	140-220	24-28	
	1.6	180-260	24-30	

Preheating at 100-150°C. Maintain temperature during welding and then cool down to room temperature. Annealing is advised at 580°C/8h.

Ind.10.1



Liability: This document is intended to assist the user in choosing the product. It is up to the user to verify that the chosen product is suitable for applications for which it is intended. The company FSH Welding Group reserves the right to alter specifications without prior notice of its products. The descriptions, illustrations and specifications are for reference only and cannot be held liable for FSH Welding Group. **Fumes:** Consult information on MSDS, available upon request.

ANEXO B.4 – Especificación del Procedimiento de Soldadura WPS calificado bajo el Código ASME Sección IX, para soldadura de recuperación.



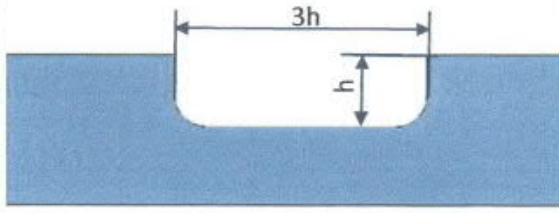
ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Welding Procedure Specifications (WPS)
QW-482 WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS.
 ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.



Ciente: CIRT - CELEC EP **WPS N°:** WPS-CIRT-16-ROB-001 **Revisión:** -- **Fecha:** 09/09/2016
Proyecto: CORROSION RESISTANT OVERLAY **PQR de apoyo:** PQR-CIRT-ROB-001 **Pág. 1 de 2**

Proceso(s) de soldadura: GMAW / GMAW **Tipo (s):** AUTOMÁTICO
 (Automático, Semi-automático, Manual, Con máquina)

JUNTAS (QW-402)	DETALLE (sketch):
Diseño de Junta Preparación en "U". Respaldo <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Tipo de material de respaldo <input checked="" type="checkbox"/> Metálico <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Metal no fundible <input type="checkbox"/> Otro Preparación de la junta Superficie mecanizada. Método de preparación y limpieza Desbaste y pulido con herramienta eléctrica.	 h=profundidad. Preparacion TIPO, según ubicación y geometría

***METALES BASE (QW-403)**



N° P 6	N° de Grupo 1	a	N° P 6	N° de Grupo 1
Especif. material AISI 410		ó		
hasta Especif. material AISI 410		Tipo/grado o N° UNS		
		Tipo/grado o N° UNS		
Rango de Espesores:				
Metal Base Calificado mm(in)	Ranura: 7 - 25	(3/16 - 1)	Filete:	N/A
Metal de relleno. Espesor maximo de pase ≤ 4 mm	<input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO		Dimension:	N/A
Otra información:	Ancho no mayor a 10mm.			

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

	GMAW	GMAW	
N° Espec. (SFA)	A5.9	A5.9	
N° AWS (Clase)	ER309LMO	ER410NiMO	
N° F	6	6	
N° A	-	-	
Tamaño de Metales de Aporte	1,2 mm	1,2 mm	
Metales de Soldadura			
Rango de Espesor depositado:			
Ranura	3 - 5 mm	3 - 5 mm	
Filete	N/A	N/A	
Fundente de electrodo (clase)	N/A	N/A	
Nombre Comercial de Fundente	SELECTARC MIG 24/12M	SELECTARC MIG M13/4	
Inserto consumible	N/A	N/A	

* Otra combinación de metal base y metal de aporte se deberá registrar individualmente.

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		 Ing. Marco Varela Torres CWI 13093881 REC. V. EPT. 04/2019	
Nombre:	Ing. Julio Chonata	Ing. Marco Varela Torres	Ing. Gonzalo Altamirano
Cargo:	ESP. MATERIALES Y SOLDADURA	CWI 13093881	JEFE ADM. CIRT
Fecha:	ago-16	sep-16	

		ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA <i>Welding Procedure Specifications (WPS)</i> QW-482 (RESPALDO). ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.						
WPS N°: WPS-CIRT-16-ROB-001		PQR de apoyo: PQR-CIRT-ROB-001		Pág. 2 de 2				
Fecha: 09/09/2016		Revisión: A						
POSICIONES (QW-405)				TRATAMIENTO TÉRMICO POSTERIOR A LA SOLD. (QW-407)				
Posición (es) de Ranura 1G		Rango de temperaturas 580±10°C		Intervalo de tiempos				
Progresión de Sold. P. Arriba N/A P. Abajo N/A		Intervalo de tiempos		Otro ΔT = 30-50°C/hora				
Posición (es) de Filete N/A		Otro						
Otro								
PRECALENTAMIENTO (QW-406)				GAS (QW-408)				
Temp. Precaent. Min. 80°C		Porcentaje de la composición						
Temp. Entre Pasos Máx. 300°C. Desde 1" del cordón de soldadura		Gas(es) Mezcla Caudal						
Mantenimiento de Preca. Sl. Usar mantas para aislamiento		Protección Argón+CO2 98% - 2%		15-20 l/min				
Otro		Arrastre						
(Calentamiento continuo o especial donde sea aplicable deberá ser registrado)		Respaldo						
		Otros						
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)								
Corriente AC o DC DC		Polaridad						
Amps (Rango) 140 - 270 A		Directa						
Volts (Rango) 24-28 V		Inversa		X				
Tamaño y Tipo de electrodo de Tungsteno		N/A		(Tungsteno Puro, Toriado 2% etc.)				
Modo de Transfer. Metal para GMAW Pulsado				(Arc Pulver., Arco Corto Circuito, etc.)				
TÉCNICA (QW-410)								
Cordón Long. O Cordón de Vaivén		Recto / Oscilado						
Tamaño Orificio de boquilla de Gas		10mm						
Limp. Inicial y Entre Pasos (Cep., Esm., etc.)		Cepillo y Grata de alambre trenzado.- Inoxidable						
Método de Cincelado Posterior		N/A						
Oscilación		Espiral						
Distancia Tubo de Contacto pieza de Trabajo		12 - 19 mm						
Paso Múltiple o Simple (por Lado)		Múltiple						
Electrodos Múltiples o Simple		Simple						
Velocidad de recorrido (Rango)		40-60 cm/min						
Martillado		N/A						
Otra Información								
Tabla para el registro de parámetros de soldadura. Referencia (QW-409)								
Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Rango de Voltaje	Rango de Veloc. de Recorrido	Otros (p. ej., Notas, Comentarios, Adición de Alambre, Caliente, Técnica, Ángulo de Soplete, ect.)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Rango Amperaje			
1	GMAW	ER309/309L	1,2mm	DCEP	140-280	24-28	40-60/cm/min	DUREZA: Sin TT: 340-350 HB. Con TT: 275-285 HB. (580±15 °C)
2-3	GMAW	ER309/309L	1,2mm	DCEP	140-280	24-28	40-60/cm/min	
4-n	GMAW	ER410NiMo	1,2mm	DCEP	140-280	24-28	40-60/cm/min	
Firma:		ELABORADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:		
		Ing. Julio Chonata		Ing. Marco Varela		Ing. Gonzalo Altamirano		
Nombre:		ESP. MATERIALES Y SOLDADURA		CWI 13093881		JEFE ADM. CIRT		
Cargo:		ago-16		sep-16				
Fecha:								



CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

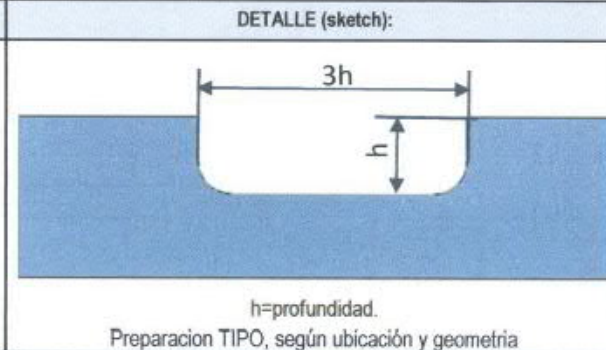
Procedure Qualification Record (PQR)
 QW-483 PROCEDURE QUALIFICATION RECORD
 ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.



Cliente: CIRT - CELEC EP **PQR N°:** PQR-CIRT-ROB-001 **Revisión:** 1 **Fecha:** 10/02/2017
Proyecto: CORROSION RESISTANT OVERLAY Pág. 1 de 2

Proceso(s) de soldadura: GMAW **Tipo (s):** AUTOMÁTICO
 (Automático, Semi-automático, Manual, Con máquina)

JUNTAS (QW-402)
Diseño de Junta: Preparacion en "U" (corrosion resistant overlay)
Respaldo: SI NO
Tipo de material de respaldo:
 Metálico No metálico Metal no fundible Otro



***METALES BASE (QW-403)**
Especificación: SA-276
Tipo o grado: AISI 410
P-No.: 6 **Group No.:** 1 **to P-No.:** 6 **Group No.:** 1
Espesor del cupón: 7mm.
Diámetro del cupón: N/A
Espesor máximo de pase: 4mm

***TRATAMIENTO TÉRMICO (QW-407)**
Temperatura: 580±10°C
Tiempo: Aproximado: 1 hora mínimo para 1 pulgada de espesor más 15 minutos por cada pulgada extra de espesor

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

	GMAW	GMAW
N° Especificación (SFA):	A5.9	A5.9
Clasificación AWS:	ER309LMO	ER410NiMO
N° F	6	6
N° A	--	--
Tamaño de Metales de Aporte	1,2 mm	1,2 mm
Forma del metal de aporte	Alambre	Alambre
Rango de Espesor depositado:		
Ranura	3 - 5 mm	3 - 5 mm
Filete	N/A	N/A
Clasificación de fundente:	N/A	N/A
Tipo de fundente:	N/A	N/A
Inserto consumible	N/A	N/A
Otra información:		

GAS (QW-408)

	Gas	%	Flujo
Protección:	Argón + CO2	98% - 2%	15-20 LPM
Backing:	N/A	N/A	N/A

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)
Corriente: DC
Polaridad: INVERSA
Amperaje: 140 - 270 A **Voltaje:** 24 - 28 V
Tamaño del tungsteno: N/A
Modo de transferencia (GMAW): PULSADO
Heat input: 1134 J

POSICIONES (QW-405)
Posición: 1G
Progresión: Ascendente Descendente
 Información adicional:

TÉCNICA (QW-410)
Velocidad de avance: 400 mm/min
 Avance recto Avance oscilante
 Pase simple Pases múltiples

PRE-CALENTAMIENTO (QW-406)
Temperatura mínima: 80°C
Temperatura entre pases: 300°C

	ELABORADO POR:	CALIFICADO POR:	APROBADO POR:
Firma:			
Nombre:	Ing. Julio Chonata	Ing. Marco Rodríguez Varela Torres	Ing. Gonzalo Altamirano
Cargo:	ESP. MATERIALES Y SOLDADURA	CWI 13093881	JEFE ADM. CIRT
Fecha:	feb-17	feb-17	



CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Procedure Qualification Record (PQR)
QW-483 PROCEDURE QUALIFICATION RECORD
ASME, Section IX - Boiler and Pressure Vessel Code.



PRUEBAS DE TRACCIÓN (QW-150)

Probeta No.	Ancho	Espesor	Área	Carga final	Esfuerzo de tracción	Ubicación de rotura
NO APLICA						
REPORTE No.:						

PRUEBAS DE DOBLADO (QW-160)

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
NO APLICA			
REPORTE No.:			

PRUEBAS DE IMPACTO (QW-170)

Probeta No.	Ubicación de entalle	Tamaño de probeta	T°	Valores de impacto			Peso de rotura
				ft-lb o J	% Shear	Mils o mm	
NO APLICA							
REPORTE No.:							

PRUEBAS DE FILETE (QW-180)

Resultado: Aprobado Rechazado Penetración en metal base: SI NO

Macrografía: Aprobado Rechazado Comentarios: Según QW-453 nota 8.

OTRAS PRUEBAS

Tipo de prueba: PT (QW-453)	Tipo de prueba: Ensayo de dureza (QW-453)	Tipo de prueba:
Resultado: APROBADO	Resultado: APROBADO	Resultado:
Reporte No.: MV-PT-001	Reporte No.: CIRT-REG-EM-DUR-01	Reporte No.:

Soldador / Operador: Julio César Chonata Lescano No. ID 050228801-2 Estampe: _____

Prueba conducida por: Ing. Marco Varela Torres  **Marco Rodrigo Varela Torres**
CWI 13093881
QC1 EXP. 9/1/2019

Los abajo firmantes certifican que los datos de este documento son verdaderos y que las probetas de soldadura fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del código aplicable. La información contenida en este documento es de carácter confidencial y es de propiedad del CLIENTE. Cualquier alteración a este documento lo deja sin validez.

	ELABORADO POR:	GALIFICADO POR:	APROBADO POR:
Firma:			
Nombre:	Ing. Julio Chonata	Ing. Marco Varela Torres	Ing. Gonzalo Altamirano
Cargo:	ESP. MATERIALES Y SOLDADURA	CWI 13093881	JEFE ADM. CIRT
Fecha:	feb-17	feb-17	

INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES

HOJA 1 de 1

Reporte N°: MV-PT-001

DATOS GENERALES

CLIENTE:	CELEC - HIDROAGOYÁN	N° DE CONTRATO:	N/D
LUGAR:	Talleres CIRT	FECHA DE INSPECCIÓN:	09-sep-16
CÓDIGOS DE REFERENCIA:	ASME V, ASME IX	PROCEDIMIENTO:	N/A

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

EQUIPO / SISTEMA:	PROBETA DE SOLDADURA	PLANO DE REFERENCIA:	N/A				
DIÁMETRO:	N/A	LONGITUD:	150mm	ESPESOR:	19mm.	ANCHO:	38mm.

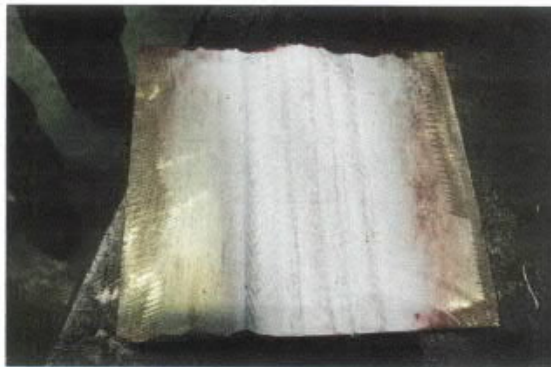
DATOS DE PROCESO DE INSPECCIÓN

Limpiador:	Spotcheck SKC-S aerosol	Tiempo de secado:	5 min.
Penetrante:	Spotcheck SKL-SP2 aerosol	Tiempo de penetración:	10 min.
Revelador:	Spotcheck SKD-S2 aerosol	Tiempo de revelado:	5 min.
Temperatura de superficie:	Menor 40°C		


RESULTADOS

No se evidencian defectos de acuerdo a los códigos aplicados.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



ELABORADO POR: Ing. Marco Varela
FECHA DE ELABORACIÓN: 10-sep-16
FIRMA: 

RECIBIDO POR:
FECHA DE REVISIÓN:
FIRMA: 



ESPECIFICACIONES Y REGISTROS DE SOLDADURA

REPORTE DE ENSAYO DE DUREZA

Hardness Test Examination Report



Reg. n°: CIRT-REG-EM-DUR-01 Revisión: A
 Cliente: HIDROAGOYAN Fecha: 16/09/2016

PROCEDIMIENTO:

CANT. PIEZAS EXAMINADAS: 1
 PIEZA/COMPONENTE A INSPECCIONAR: CUPÓN DE SOLDADURA - CIRT-16.- WPS-CIRT-16-ROB-001
 TIPO DE CUPON: Juntas Soldadas Fundiciones Forjados Laminados Chaffanes Otros
 MATERIAL BASE: AISI 410 MATERIAL DE APORTE: AWS. A5.9 ER309LMO / ER410NiMO
 TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA: SI NO

EQUIPOS Y PARÁMETROS UTILIZADOS

DURÓMETRO PÓRTATIL	MÉTODOS DE ENSAYO DE DUREZA EMPLEADOS										
Marca: EMCOTEST Tipo: FM 1101/80 Sonder # ID: ES 384896 Fecha: 01/10/2015	<table border="1"> <tr> <td>Método: Rockwell A (HRA)</td> <td>Método: Rockwell C (HRC)</td> </tr> <tr> <td>Norma: ASTM E18-15</td> <td>Norma: ASTM E18-15</td> </tr> <tr> <td>Identador: Cono de diamante 120°</td> <td>Identador: Cono de diamante 120°</td> </tr> <tr> <td>Precarga: 10 kgf</td> <td>Precarga: 10 kgf</td> </tr> <tr> <td>Carga: 60 kgf</td> <td>Carga: 150 kgf</td> </tr> </table>	Método: Rockwell A (HRA)	Método: Rockwell C (HRC)	Norma: ASTM E18-15	Norma: ASTM E18-15	Identador: Cono de diamante 120°	Identador: Cono de diamante 120°	Precarga: 10 kgf	Precarga: 10 kgf	Carga: 60 kgf	Carga: 150 kgf
Método: Rockwell A (HRA)	Método: Rockwell C (HRC)										
Norma: ASTM E18-15	Norma: ASTM E18-15										
Identador: Cono de diamante 120°	Identador: Cono de diamante 120°										
Precarga: 10 kgf	Precarga: 10 kgf										
Carga: 60 kgf	Carga: 150 kgf										

PROCEDIMIENTOS USADOS DURANTE EL ENSAYO DE ACUERDO A NORMA ASTM E18-15

Preparación de la muestra a analizar, asegurando la planitud y paralelismo de las caras a ensayar.
 Superficies libres de polvo, grasas y cualquier elemento extraño que pueda alterar los resultados del ensayo.
 Seleccionar y montar el equipo de medición de dureza de acuerdo al rango de espesor de la(s) muestra(s), el montaje realizarlo según el manual de usuario del fabricante del equipo empleado.
 Calibración y operación del equipo según el manual del fabricante, usando los bloques calibradores correspondientes que vienen junto a cada equipo.

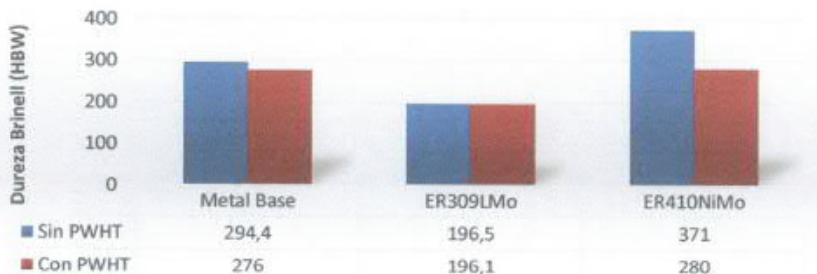
RESULTADOS DEL ENSAYO.- CUPÓN SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

Material Base		Cordón de soldadura			
		Material de aporte: ER309LMO		Material de aporte: ER410NiMO	
30.7 HRC	294.4 HBW	57.1 HRA	196.5 HBW	39.8 HRC	371 HBW

RESULTADOS DEL ENSAYO.- CUPÓN CON TRATAMIENTO TÉRMICO

Material Base		Cordón de soldadura			
		Material de aporte: ER309LMO		Material de aporte: ER410NiMO	
28.5 HRC	276 HBW	57.05 HRA	196.1 HBW	29 HRC	280 HBW

Cambio de dureza con PWHT



OBSERVACIONES: Empleando un bloque de dureza de 35.3 HRC, se obtiene un margen de tolerancia de ± 0.2 en la lectura
 Disminución de dureza en el material de aporte martensítico: 24% aproximadamente, quedando la dureza por debajo de los 280 HBW
 Disminución de dureza en el material de aporte martensítico: Despreciable

	REGISTRADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Nombre:	Marco Varela /	Marco Zabala	Marcelo Doopanta.
Fecha:	sep-16	sep-16	09/16.
	ESP. TECNOLOGIA MATERIALES Y SOLDADURA	JEFE DE MANUFACTURA Y RECUPERACION	ESP. CONTROL CALIDAD Y LABORATORIO

INSPECCIÓN MACROGRÁFICA

HOJA 1 de 1

Reporte N°: MV-MA-001

DATOS GENERALES

CLIENTE:	CELEC - HIDROAGOYÁN	N° DE CONTRATO:	N/D
LUGAR:	Talleres CIRT	FECHA DE INSPECCIÓN:	09-sep-16
CÓDIGOS DE REFERENCIA:	ASME V, ASME IX	PROCEDIMIENTO:	N/A

DATOS DE IDENTIFICACIÓN

EQUIPO / SISTEMA:	PROBETA DE SOLDADURA	PLANO DE REFERENCIA:	N/A
DIÁMETRO: N/A	LONGITUD: 150mm	ESPESOR: 19mm.	ANCHO: 38mm.

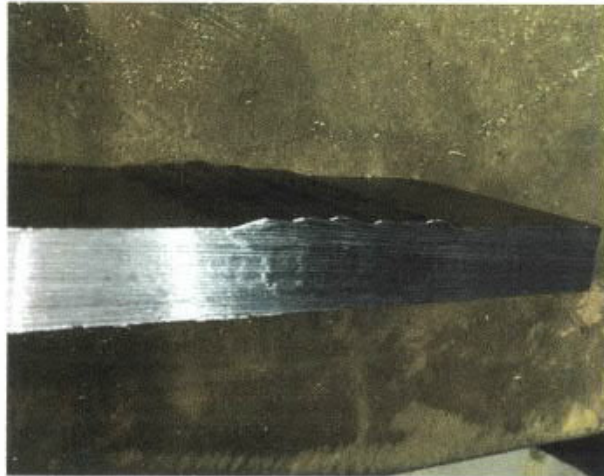
DATOS DE PROCESO DE INSPECCIÓN

Tipo de soldadura:	Corrosion resistant overlay
Material base:	SA-276 / AISI 410
Material de aporte:	ER309LMo / ER410NiMo

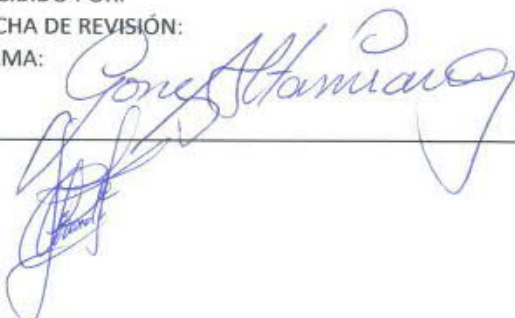
RESULTADOS

No se evidencian defectos de acuerdo a los códigos aplicados.

REGISTRO FOTOGRÁFICO



ELABORADO POR: Ing. Marco Varela
FECHA DE ELABORACIÓN: 10-sep-16
FIRMA: 

RECIBIDO POR:
FECHA DE REVISIÓN:
FIRMA: 

ANEXO B.5 – Extracto de la Norma CCH 70-4 Especificaciones para la Inspección de Fundiciones de Acero para Máquinas Hidráulicas.

CAHIER DES

CCH 70-4

CHARGES

SPECIFICATION FOR

INSPECTION OF

STEEL CASTINGS

FOR HYDRAULIC

MACHINES



ENGLISH VERSION

2.2 DEFINITIONS

Production welding: Welding carried out on the steel casting during production in order to eliminate unacceptable discontinuities or shape deviations. Their number, position and dimensions are solely determined by the casting quality and have not been included by the designer in his design of the casting.

Structural welding: Welding serving structural purposes, either as:

- a joining method to assemble individual parts (weldment), or
- build-up welding to locally produce other desired material properties in the casting.

All technical aspects of structural welding shall be clearly defined by the designer.

Repair welding: Repair welding refers exclusively to welding operations carried out after operational use. Repair welding has not been included in this functional specification.

2.3 MATERIAL TYPES

This functional specification applies to the following steel casting types:

- | | |
|-----------------------|---|
| - Ferritic | non- or low-alloy steel |
| - Martensitic | corrosion-resistant Cr-Ni-(Mo) steel
with martensitic transition
(e.g. 13-4, 16-5). |
| - Austenitic-ferritic | corrosion-resistant Cr-Ni-(Mo)
steel, (duplex steel), 35-65%
austenite |
| - Austenitic | corrosion-resistant Cr-Ni-(Mo) steel,
more than 85%
austenite |

2.4 QUALITY SPECIFICATION SHEET (QS)

The **QS sheet** is a document defining all requirements on technology and inspection/testing that shall be part of the agreements concluded at the time of ordering a hydraulic machine component according to CCH 70-4.

3 - SUBJECT / PURPOSE

The CCH 70-4 document clearly defines the technical and general purchase conditions for all steel castings that are part of a hydraulic machine.

For this purpose, the test methods, their application and acceptance criteria, both for acceptance by the **founder and manufacturer**, have been defined in detail.

Note: It is recommended that the designer attach a copy of the CCH 70-4 functional specification to the technical documents submitted to the **client** upon delivery of the machine.

TECHNICAL SPECIFICATION FOR VISUAL TESTING

1 - PURPOSE AND SCOPE

Visual inspection is the first non-destructive test to be carried out. The entire workpiece shall be examined with regard to the following aspects:

- Component identification
- Surface condition
- Discontinuities visible to the naked eye
- Discernible mechanical damage or defects
- Compliance with order documents

This examination may be carried out in accordance to the following standards and technical recommendations:

- BNIF 359.01 of the Bureau de Normalisation des Industries de la Fonderie
- ASTM A802 on surface condition
("SCRATA comparators for the definition of surface quality of steel and iron castings")
- MSS-SP 55 on discontinuities visible to the naked eye
- EN 1370 Founding – examination of surface condition
- and any additional specifications listed in the **quality specification sheet**

Dimensional checking shall be carried out according to the provisions defined in section 4 (GE 70-4).

2 - PREPARATION OF SURFACES

The surfaces to be examined shall be free of contaminants (oil, grease, sand, non-adherent scale, rust, etc.), unevenness or irregularities, which could impair evaluation of the test.

The smaller the damage and defects to be detected are, the more carefully the surface have to be prepared. The surface quality shall be specified in the design drawing and/or **quality specification sheet**. It shall however meet the minimum requirement for subsequent non-destructive testing.

3 - METHOD AND TESTING

3.1 TERMINOLOGY (as defined in EN 1330-10 and EN 13018)

Visual testing: Method of non-destructive testing using electromagnetic radiation in the optical range.

Direct visual testing: Visual testing where there is an uninterrupted optical path from the observer's eye to the test area. (NOTE: This testing is either unaided or aided via e.g. mirror, lens, endoscope or fibre optic.)

Remote visual testing: Visual testing where there is an interrupted optical path from the observer's eye to the test area. Remote visual testing covers the use of photography, video systems, automated systems and robots.

3.5 Evaluation of surface discontinuities (following EN 1370)

Surface discontinuities may be facing inwards or outwards. These discontinuities may be removed either by grinding maximally down to the minimum wall thickness as shown in the drawing or according to GE 70-4, section 5 (defect elimination), or by using production welding.

The quality levels for surface discontinuities relative to their dimensions are listed in section 4, Table 1 and 2. These are applicable to as-cast, blasted, ground or finished surfaces.

The size of the discontinuities is determined by dimensions H and L (see Fig. 1):

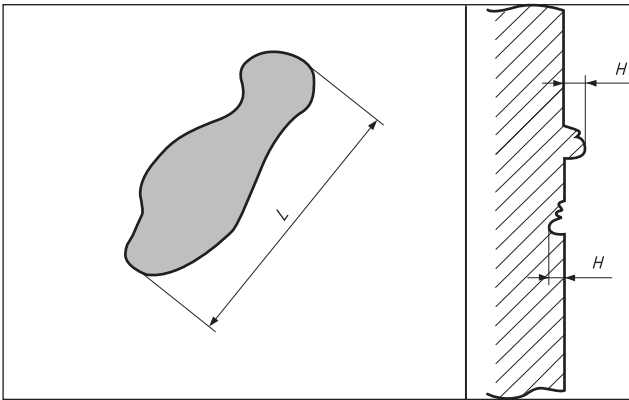


Fig. 1 – Size of discontinuities, L and H

Rims and edges not resulting from mould parting lines, but discernible as steps on the casting surface, shall be evaluated as discontinuities, see Fig. 2.

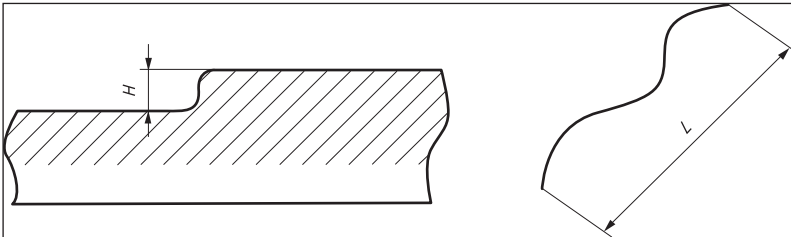


Fig. 2 – Step-like discontinuity

4. EVALUATION OF RESULTS – ACCEPTANCE CRITERIA

Five levels No. 1 to 5, in descending order of quality, have been defined, with Table 1 being applicable to as-cast surfaces (moulding and thermal cleaning) and Table 2 to mechanically machined surfaces. The tables list the discontinuity size and corresponding minimum surface roughness as well as the maximum total area of the discontinuities for each level.

The reference area of 100 cm² used for comparison may be rectangular or square (the maximum length however being limited to 250 mm) corresponding to the shape and dimensions of the tested zone, or based on the most unfavourable distribution of indications in the respective zone.

Any indications that cannot be clearly assigned to one of the defined levels, shall be subjected to additional testing in each individual case.

Table 1 – Quality levels for surface discontinuities (dimensions) – as-cast surfaces (moulding, thermal cleaning) (partially from in part on EN 1370)

Quality level	Surface roughness Ra [µm]	Surface roughness comparator		Inclusions, gas porosity, cold welds, scabs, chaplets and welds
		BNIF 359	ASTM A802 (SCRATA)	
1	≤ 6.3	1/0S1	A1	B1, C1, D1, F1, J1
2	≤ 6.3	1S1	A1	
3	≤ 12.5	2S1	A2	B2, C2, D2, F2, J2
4	≤ 12.5	3S1	A3	B4, C3, D5, E3, F3, J3
5	≤ 25	6S1	A4	B5, C4, E5, J5

Table 2 – Quality levels for surface discontinuities (dimensions) – mechanically machined surfaces (partially from in part on EN 1370)

Quality level	Discontinuity size		Total area of discontinuities [mm ²]	Surface roughness Ra [µm]	Surface roughness comparator	
	Area of height or depth H [mm]	Max. length L in the area of or H oder Ø [mm]			BNIF 359	ASTM A802 (SCRATA)
1	< 0,5	0.5	7	≤ 1.6	1/0S2	---
2	0.5 bis 1.0	1.0	16	≤ 3.2	1S2	---
3	1.0 bis 1.5	1.5	40	≤ 6.3	2S2	---
4	1.0 bis 1.5	2.5	100	≤ 12.5	3S2	H1
5	1.0 bis 2.0	5.0	250	≤ 25	5S2	H3
Note	If the discontinuity height or depth is less than the lower limit value in the area of H, the discontinuity don't have to be evaluated. The minimum edge-to-edge distance between two aligned indications is 10L for levels 1 and 2 (L = length of largest indication), 8L for level 3, 5L level 4, and for 4L for level 5					

5 - TEST REPORT

The test report shall at least include:

- Identification of founder, manufacturer or designer
- Identification of the casting (heat number, traceability marking)
- Cast steel grade
- Designation of test documents used: Reference to the current specification
- Quality specification sheet
- Manufacturing state at the time of testing
- Type of surface preparation
- Testing conditions
- Tested zones
- Test result
- Name, signature and certification of ndt personell
- Identification of the testing institution, if subcontracted
- Date of testing, signature of the person responsible for testing

TECHNICAL SPECIFICATION FOR PENETRANT TESTING

1 - PURPOSE AND SCOPE OF APPLICATION

Penetrant testing is carried out to detect defects open to the surface of the casting.

Principally, penetrant testing is limited to the examination of finished components. It may however also be carried out at earlier stages, in particular of excavations.

2 - SURFACE PREPARATION

The surfaces to be tested shall be free of contaminants (oil, grease, sand, non-adherent scale, rust, etc.), unevenness or irregularities, which could impair assessment of the test.

For smaller discontinuities, the surface shall be prepared more carefully. The table below lists the surface quality levels according to the quality levels defined in section 4 (acceptance criteria).

The surfaces shall be prepared in accordance with the acceptance criteria.

Table – Minimum surface condition dependent on quality level

Quality level	Surface roughness Ra [μm]	Surface roughness - comparator			
		BNIF 359	Rugotest Nr. 2 (LCA – CEA) grinding	Rugotest Nr. 3 (LCA – CEA) blasting	ASTM A802 (SCRATA)
1	≤ 6.3	1S2, 2S2	≤ N9	not permitted	not applicable
2 to 3	≤ 12.5	1S1, 2S1, 3S2, 4S2, 5S2	≤ N10	not permitted	not applicable
4 to 5	≤ 12.5	4S1, 5S1, 6S1	≤ N10	permitted (*)	not applicable

(*)... Note: Excessive blasting may cause defects to become less noticeable or even unnoticeable.
It is therefore recommended, to limit blasting to the extent absolutely necessary.

If magnetic particle testing is to be carried out as well, it is recommended to perform the penetrant test previous to the magnetic particle test.

3 - METHOD AND PROCESS (following ISO 3452-1)

Typically, a water-washable colored liquid penetrant, visible under natural light, is used and applied to the surface to be tested. The excess penetrant is then rinsed off and the surface dried. Subsequent application of a layer of developer suspended in a liquid carrier makes defects visible. The product family used shall ensure a high test sensitivity and be approved according to ISO 3452-2.

The products available on the market and the processes described below may be employed with a test surface temperature of approx. 10 - 40 °C. Beyond these limits, the effectiveness of the products and procedure to be used with the intended test surface temperature shall be verified. (e.g. according to ISO 3452-5 or ISO 3452-6). Upon agreement, other methods may be used as well. ◆

3.1 CLEANING

Rust, scale, slag, paint, etc. shall be removed using a metal brush or by grinding. A solvent or vapour blasting shall be used to remove all traces of dust and grease from the surface to be examined. The products used shall comply with the valid national environmental regulations.

3.2 DRYING

After cleaning, the test pieces shall be thoroughly dried so as to ensure that neither water nor solvents remain in the surface defects.

3.3 PENETRANT APPLICATION

The penetrant may be applied by dipping, brushing, or spraying using either a spray gun or aerosol spray can. The minimum penetration time is 10 minutes. For polished surfaces, very fine defects or temperatures below 15°C, a longer penetration time may be required.

The penetration time is 10 to 20 minutes. During this period, the surface shall remain wet.

3.4 EXCESS PENETRANT REMOVAL

After the penetration time has elapsed, the excess penetrant is removed by wiping with a damp cloth (sponge), rinsing with water or using a water spray. Thereby, the water temperature shall be below 40°C and the pressure below 3.5 bar (at the outlet). The water shall be sprayed onto the surface from a distance of more than 50 cm. If this distance is not feasible, the spraying pressure shall be reduced accordingly. Immediately after penetrant removal, the surface shall be dried using a dry, clean, lint-free cloth. Drying may be accelerated using dry, oil-free compressed air pressurized below 2 bar.

3.5 DEVELOPER APPLICATION

The developer shall be applied immediately after drying the surface examined. A developer suspended in a liquid carrier shall be used. It is recommended that the developer be applied using a spray gun and to thoroughly mix and shake the developer prior to application so as to ensure a uniform suspension. Other methods (e.g. using aerosol spray cans) may be employed if the developer can be applied in a thin and even layer without disturbing the penetrant within the defects. Thick layers of developer are not admissible. Natural evaporation is used to dry the surface.

3.6 EXAMINATION

Since the dye in the developer spreads quickly, it is recommended that as soon as the developer has dried, the dye be observed very closely as it spreads. The indications shall be compared with the acceptance criteria within 10 to 20 minutes after application of the developer. The light intensity shall be more than 500 lx.

4 - EVALUATION OF RESULTS – ACCEPTANCE CRITERIA

4.1 DEFINITIONS

An “indication” is a bleed-out forming after application of the developer.

Significant indications are indications resulting from discontinuities in the material.

“Rounded” indications are indications of circular or elliptical shape having a length less than 3 times the mean width.

“Linear” indications are indications having a length greater than 3 times the mean width.

“Aligned” indications are three or more indications in a line separated by less than 2 mm edge-to-edge.

The “density of the indications” is the ratio (in ‰) of

$$\frac{\text{Total area of relevant indications}}{\text{Reference area (100 cm}^2\text{)}}$$

4.2 INDICATION EVALUATION

The smallest relevant isolated indication has been defined for each quality level.

Surface irregularities such as machining marks or other surface characteristics may produce false indications. All indications of unclear origin shall be treated as defects and re-examined in order to determine whether they are genuine defects. Prior to re-examination, an additional surface preparation shall be carried out.

Large zones (exceeding area more than 200 cm²) with many indications, so-called pigmented areas, even if below recording level, shall be considered non-acceptable, unless they are accepted by the design engineer.

4.3 ACCEPTANCE CRITERIA

Five test categories, No. 1 to 5, in descending order of quality have been defined.

The tested zone shall be evaluated and classified based on comparison to the criteria as specified on the following pages.

The reference area of 100 cm² used for comparison may be rectangular or square (the maximum length however being limited to 250 mm) corresponding to the shape and dimensions of the test zone, or based on the most unfavourable distribution of indications in the test zone.

Special indications and linear indications that cannot be clearly classified shall be re-examined in each individual case.

In borderline cases, the actual size and shape of the discontinuity on the surface should be taken into consideration in the evaluation.

It shall previously be agreed upon, whether relevant but acceptable indications shall be recorded.

CLASS 1

Acceptance criteria:

- 1) Smallest relevant isolated indication: $a = 0.5 \text{ mm}$
- 2) No "rounded" indication with $a > 2 \text{ mm}$
- 3) No "linear" indication with $a > 1.0 \text{ mm}$
- 4) No "aligned" indication with $l > 1.0 \text{ mm}$
- 5) Density 0.65 ‰. The total area of relevant indications may not exceed 6.5 mm^2 .

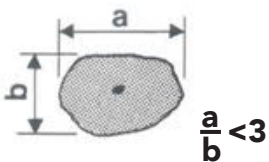


Note: The above example shows 6 relevant indications ($a > 0.5 \text{ mm}$).

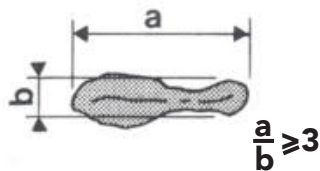
The total area of all indications is 6.5 mm^2 .

Definition of indications: (see PT 70-4 § 4.1)

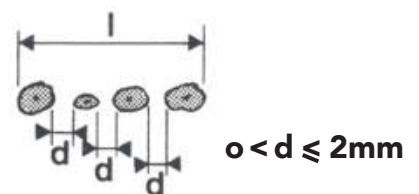
rounded



linear



aligned



CLASS 2

Acceptance criteria:

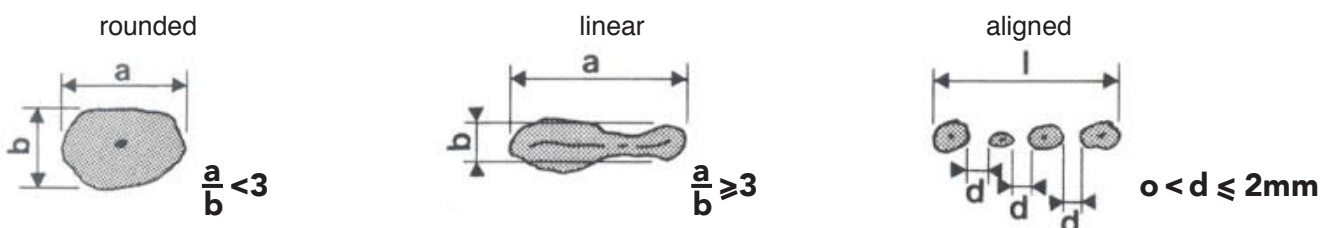
- 1) Smallest relevant isolated indication: $a = 1 \text{ mm}$
- 2) No "rounded" indication with $a > 3 \text{ mm}$
- 3) No "linear" indication ($a > 2 \text{ mm}$)
- 4) No "aligned" indications ($l > 3 \text{ mm}$)
- 5) Density 1.6 ‰. The total area of relevant indications may not exceed 16 mm^2 .



Note: The above example shows 8 indications, 3 of which are not relevant ($a < 1 \text{ mm}$).

The total area of relevant indications is 16 mm^2 .
The total area of all indications is 18 mm^2 .

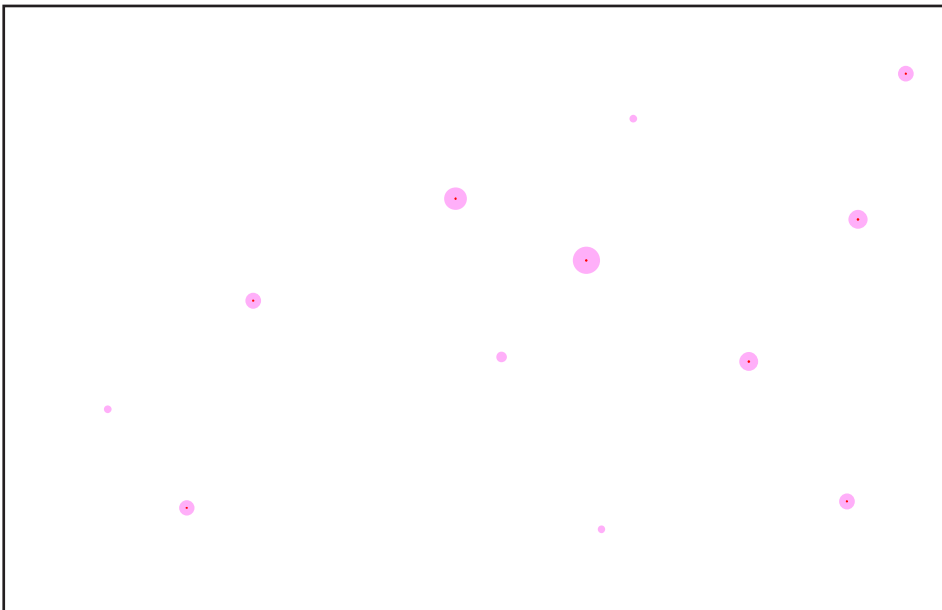
Definition of indications: (see PT 70-4 § 4.1)



CLASS 3

Acceptance criteria:

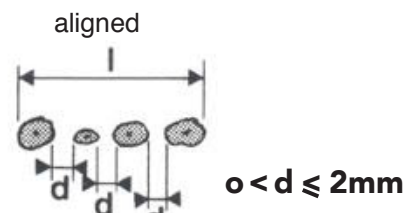
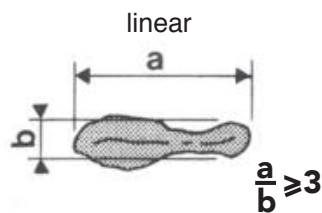
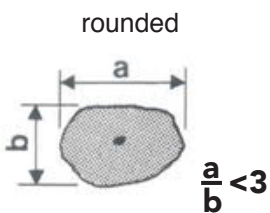
- 1) Smallest relevant isolated indication: $a = 1.5 \text{ mm}$
- 2) No "rounded" indication with $a > 4 \text{ mm}$
- 3) No "linear" indication ($a > 3 \text{ mm}$)
- 4) No "aligned" indications ($l > 4 \text{ mm}$)
- 5) Density 4.0 ‰. The total area of relevant indications may not exceed 40 mm^2 .



Note: The above example shows 12 indications, 4 of which are not relevant ($a < 1.5 \text{ mm}$).

The total area of relevant indications is 40 mm^2 .
The total area of all indications is 44 mm^2 .

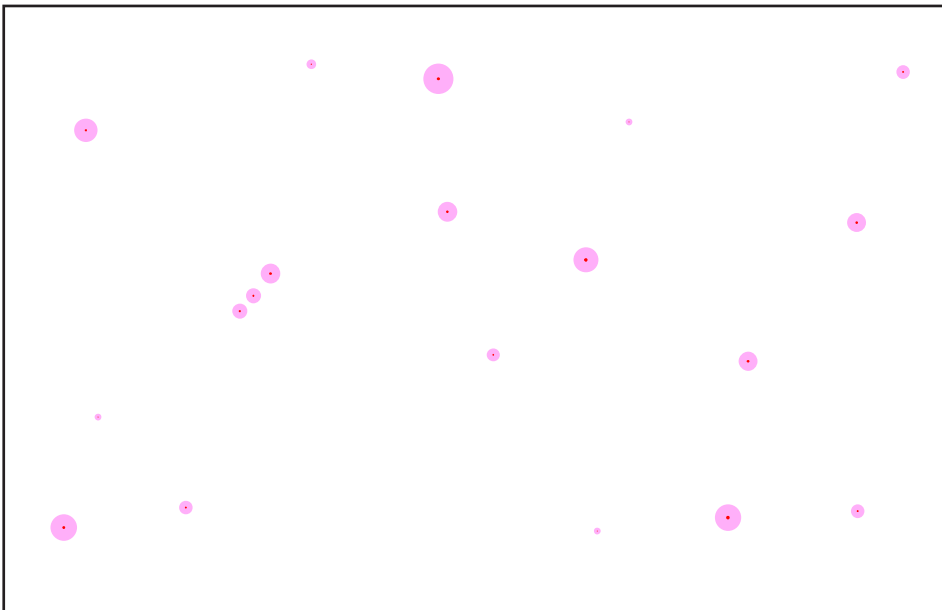
Definition of indications: (see PT 70-4 § 4.1)



CLASS 4

Acceptance criteria:

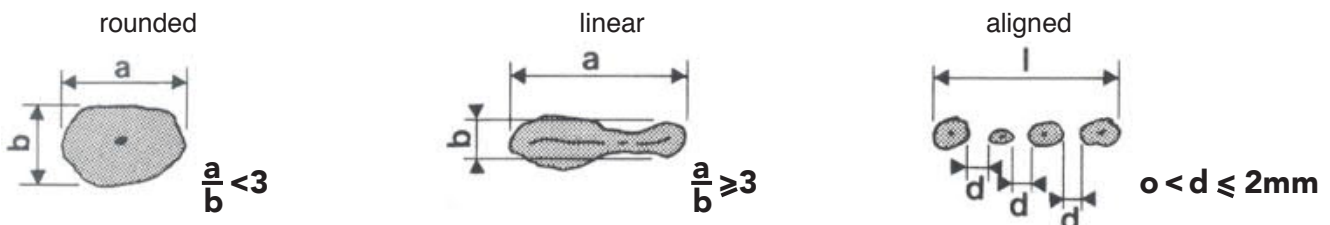
- 1) Smallest relevant isolated indication: $a = 2 \text{ mm}$
- 2) No "rounded" indication with $a > 6 \text{ mm}$
- 3) No "linear" indication ($a > 5 \text{ mm}$)
- 4) No "aligned" indications ($l > 10 \text{ mm}$)
- 5) Density 10 ‰. The total area of relevant indications may not exceed 100 mm^2 .



Note: The above example shows 19 indications, 6 of which are not relevant ($a < 2 \text{ mm}$).

The total area of relevant indications is 100 mm^2 .
The total area of all indications is 104 mm^2 .

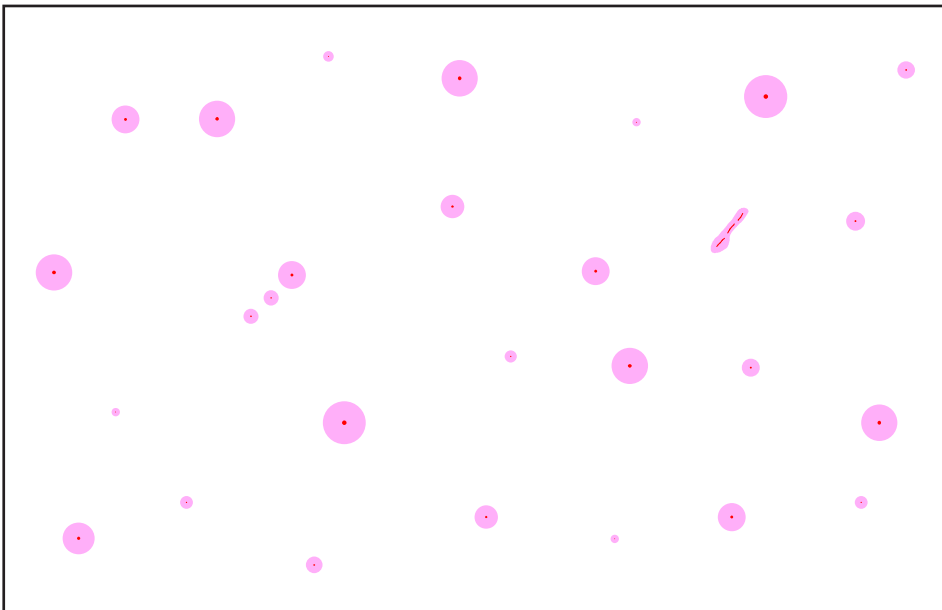
Definition of indications: (see PT 70-4 § 4.1)



CLASS 5

Acceptance criteria:

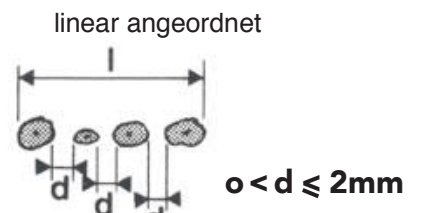
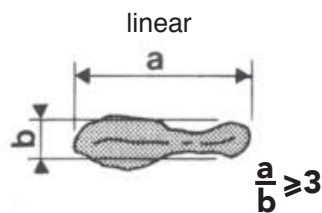
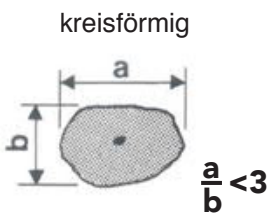
- 1) Smallest relevant isolated indication: a = 2 mm
- 2) No "rounded" indication with a > 8 mm
- 3) No "linear" indication (a > 7 mm)
- 4) No "aligned" indications with l > 16 mm
- 5) Density 25 ‰. The total area of relevant indications may not exceed 250 mm².



Note: The above example shows 28 indications, 7 of which are not relevant (a < 2 mm).



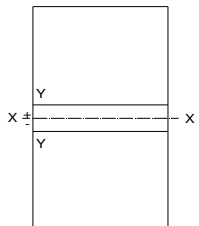
The total area of relevant indications is 250 mm².
The total area of all indications is 262 mm².

Definition of indications: (see PT 70-4 § 4.1)



ANEXO B.6 – Ensayos no destructivos para control de calidad durante el proceso de soldadura.

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC01	1	1 de 2		
		Cliente: CELEC EP	Fecha: 26/11/2016			
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T1		CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	4.85 Kg		
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02		
No. SERIE:	T1		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL		<input checked="" type="checkbox"/> Directo		<input type="checkbox"/> Remoto	
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN <input type="checkbox"/> En Recepción <input checked="" type="checkbox"/> En Proceso <input checked="" type="checkbox"/> Final		TIPO DE INSPECCIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local <input type="checkbox"/> Ens. Visual General		AUXILIARES VISUALES <input type="checkbox"/> Espejo <input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica <input type="checkbox"/> Sistema de Video <input type="checkbox"/> Boroscopio <input type="checkbox"/> Otro: _____	
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55						
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4						
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9						
<input type="checkbox"/> Otro: _____						
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN		ILUMINACIÓN		ACABADO SUPERFICIAL		
Distancia de Observación: 300 mm.		<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado		
Ángulo de Observación: 45 - 90 °		<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado		
Temperatura de la pieza: 24 °C		Nivel de Iluminación		<input type="checkbox"/> Otro: _____		
Área de Evaluación: 39 cm ²		656 lx		Rugosidad Superficial: 0.414 um		
ZONAS DE ENSAYO			CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura. Área de inspección: 30 x 130 mm. Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DISCONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H(mm)	L (mm)		
-	-	-	-	-	-	-
Leyenda:						
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
No hay presencia de discontinuidades. Nivel de calidad 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

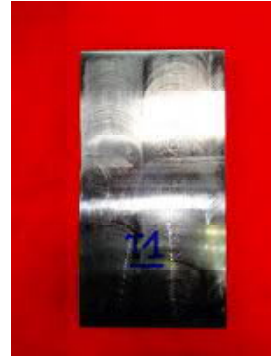


Reg. No.:	ETT-REG-CC01	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	26/11/2016		

REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



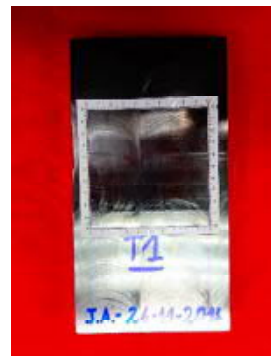
Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
 Vista de mecanizado final.





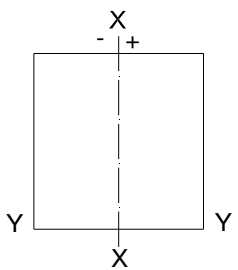
Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>					
		Reg. No.:	ETT-REG-CC01	Revisión: 1			Hoja: 1 de 2
EQUIPO/PIEZA: Placa de soldadura de recuperación II		CANTIDAD: 1					
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO: 0.25 Kg					
DIMENSIONES: 60 x 55 mm.		PLAN DE CALIDAD No.: -					
ESPESOR: 10 mm.		PLANO DE REFERENCIA: TTPS-04, TTPS-05					
No. SERIE: II		PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-CC-01					
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>							
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL							
NORMA APLICABLE <input type="checkbox"/> ASTM A-802 <input type="checkbox"/> MSS-SP 55 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9 <input type="checkbox"/> Otro: _____		MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto FASE DE INSPECCIÓN <input type="checkbox"/> En Recepción <input checked="" type="checkbox"/> En Proceso <input checked="" type="checkbox"/> Final		TIPO DE INSPECCIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local <input type="checkbox"/> Ens. Visual General		AUXILIARES VISUALES <input type="checkbox"/> Espejo <input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica <input type="checkbox"/> Sistema de Video <input type="checkbox"/> Boroscopio <input type="checkbox"/> Otro: _____	
CONDICIONES DEL ENSAYO							
PARÁMETROS DE MEDICIÓN Distancia de Observación: 300 mm. Ángulo de Observación: 45 - 90 ° Temperatura de la pieza: 24 °C Área de Evaluación: 33 cm ²			ILUMINACIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural Nivel de Iluminación: 656 lx		ACABADO SUPERFICIAL <input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado <input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado <input type="checkbox"/> Otro: _____ Rugosidad Superficial: 0.405 μm		
ZONAS DE ENSAYO Zona de recuperación mediante depósito de soldadura. Área de inspección: 60 x 55 mm. Inspección 100%			CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS 				
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.							
CRITERIO DE ACEPTACIÓN De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4							
DISCONTINUIDADES							
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación	
			H(mm)	L (mm)			
-	-	-	-	-	-	-	
Leyenda: RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.							
OBSERVACIONES: No hay presencia de discontinuidades. Nivel de calidad 1.							
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>							
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.			REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca				
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA				



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

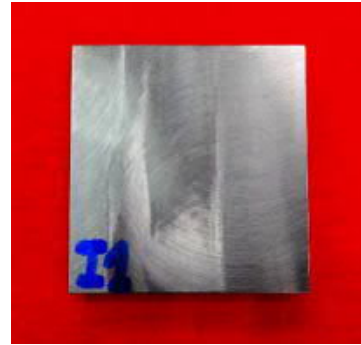


Reg. No.:	ETT-REG-CC01	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	01/12/2016		

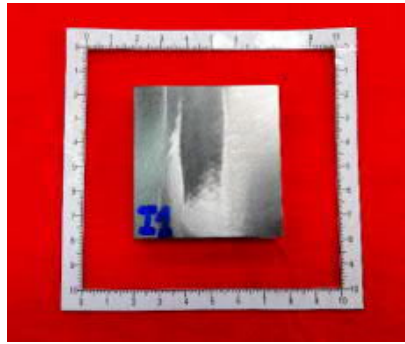
REGISTRO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Vista de mecanizado final.



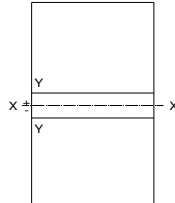






Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad I.



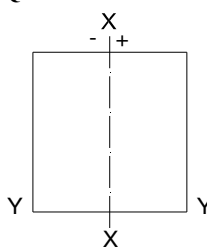
OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, SIN
TRATAMIENTO TÉRMICO**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:	26/11/2016	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T1	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T1	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR/ REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
		Lavable al Agua	Removible con Solvente			
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S	<input type="checkbox"/> SKL-WP	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2		
<input type="checkbox"/> METAL CHECK	<input type="checkbox"/> E-59	<input type="checkbox"/> VP-30	<input type="checkbox"/> VP-31	<input type="checkbox"/> D-70		
<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 24 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____		
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
-	-	-	-	-	-	-
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES: No hay presencia de indicaciones. Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES			
	Reg. No.: ETT-REG-CC02	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2	
Cliente: CELEC EP	Fecha: 26/11/2016			
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES				
				
<p>Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada" Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.</p>		<p>Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada" Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.</p>		
				
<p>Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada" Inspección final. No hay presencia de indicaciones. Aceptado. Nivel de calidad clase 1.</p>				
<p>OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.</p>				
ELABORADO POR:		REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.		Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Ciente: CELEC EP	Fecha:	01/12/2016		
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación I1	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	0.25 Kg			
DIMENSIONES:	60 x 55 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	10 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-04, TTPS-05			
No. SERIE:	I1	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR / REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
		Lavable al Agua	Removible con Solvente			
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2 <input type="checkbox"/> D-70 <input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 24 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____		
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con:						
CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
-	-	-	-	-	-	-
Leyenda:						
IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
No hay presencia de indicaciones. Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS
 PENETRANTES**



Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	01/12/2016		

REGISTRO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES



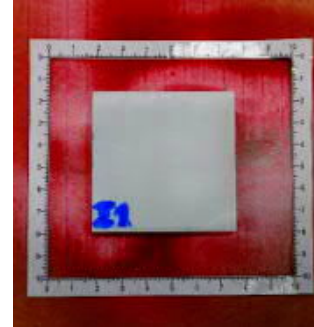
Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.
 Inspección de proceso en la condición soldada.



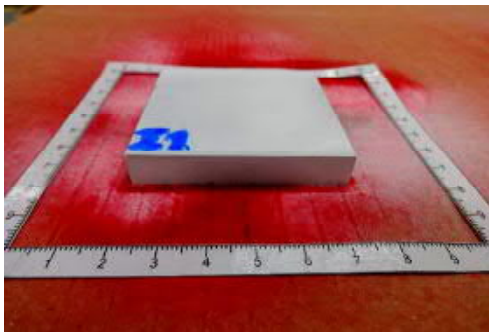
Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Inspección final. Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.



Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.





Placa de soldadura de recuperación II "Como Soldada"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, SIN TRATAMIENTO TÉRMICO

	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO <i>Ultrasonic Testing</i>														
	Reg. No.: ETT-REG-CC03	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2												
Cliente: CELEC EP	Fecha: 29/10/2016														
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T1	CANTIDAD:	1												
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	4.85 Kg												
DIMENSIONES:	250 X 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-												
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02												
No. SERIE:	T1	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-03												
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Mecanizado <input type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input type="checkbox"/> Sin TT <input checked="" type="checkbox"/>														
SISTEMA DE INSPECCIÓN															
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		MARCA	MODELO	No. DE SERIE											
Equipo de Ultrasonido A Scan		Olympus	Epoch LTC	100187505											
TRANSDUCTOR		ZAPATA		ACCESORIOS											
Descripción:	Palpador recto	Marca:	Panametrics	Tipo de conductor: Lemo 00 - Microdot											
Marca:	Panametrics	Modelo:	ABWU-51	Acoplante: Ultragel II											
Modelo:	A541S / A5435-S4	Material:	Lucita	Bloque calibrador: II WII Métrico											
Frecuencia:	5 / 5 (MHz)	Diámetro:	12,5 (mm)	DSC											
Diámetro:	0.5 / 0.25 (plg)	Ángulo (θ):	45°												
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO															
MÉTODO	TÉCNICA	NORMA APLICABLE	CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS												
<input checked="" type="checkbox"/> Eco-Pulsado <input type="checkbox"/> Transmisión <input type="checkbox"/> _____	<input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular <input type="checkbox"/> Inmersión	<input type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 4 <input type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> AWS D1.6													
CALIBRACIÓN		CONDICIONES DE AJUSTE													
<input checked="" type="checkbox"/> Punto índice de salida <input checked="" type="checkbox"/> Verificación ángulo refracción <input checked="" type="checkbox"/> Calibración en distancia <input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de sensibilidad <input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de espesor		Velocidad: 3191 / 5790 m/s Zero Offset: 10.242 / 0 Ángulo: 45 / 0 ° Espesor: 19 mm Ganancia: 45 - 66 dB													
ACABADO SUPERFICIAL		ZONAS DE ENSAYO													
Maquinado Rugosidad: 0.650 um		<input checked="" type="checkbox"/> Chequeo 100% <input type="checkbox"/> Chequeo Puntual													
CRITERIO DE ACEPTACIÓN															
De acuerdo con: AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel, UT Niveles 1 y 2.															
DISCONTINUIDADES															
No. de Pieza	No. de Indicación	Tipo de Discontinuidad	Cara	Pierna	DECIBELES				DISCONTINUIDAD (mm)				EVALUACIÓN	Observaciones	
					(a) Nivel de Indicación	(b) Nivel de Referencia	(c) Factor de Atenuación	(d) Rango de Indicación	Longitud	Distancia Angular	Profundidad	Distancia X			Distancia Y
T1	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
Leyenda: FF-Falta de Fusión, FL-Fisura Longitudinal, FT-Fisura Transversal, PO-Porosidad, IE-Inclusión de Escoria, A-Aceptable, R-Reparar, TT-Tratamiento Térmico.															
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>															
ELABORADO POR:								REVISADO POR:							
Nombre: Ing. Juan Auz M.								Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca							
AUTOR DEL PROYECTO								DIRECTOR DEL PROYECTO UTA							



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO
Ultrasonic Testing

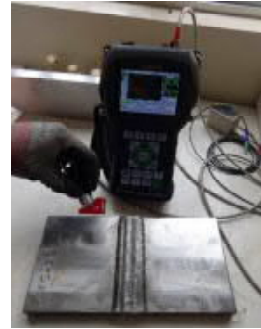


Reg. No.:	ETT-REG-CC03	Revisión	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	29/10/2016		

REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO



Equipo de medición Olympus Epoch LTC
Calibración y ajuste



Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
Inspección por Ultrasonido



Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
Inspección por Ultrasonido, haz angular.



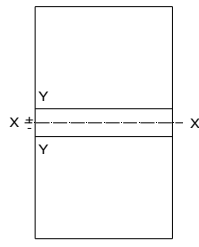


Placa de soldadura de recuperación T1 "Como Soldada"
Inspección por Ultrasonido, haz angular.
No hay presencia de discontinuidades relevantes.

OBSERVACIONES: Soldadura de recuperación GMAW, electrodo AWS A5.9 ER 410NIMO, sin tratamiento térmico. Se aplica el Criterio de Aceptación según los niveles de calidad UT 1 y 2 de la Norma AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2		
Cliente:		CELEC EP		Fecha: 26/11/2016		
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T2		CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	4.85 Kg		
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02		
No. SERIE:	T2		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL			<input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto		
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN		TIPO DE INSPECCIÓN		AUXILIARES VISUALES	
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción		<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local		<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica	
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso		<input type="checkbox"/> Ens. Visual General		<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video	
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final				<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio	
<input type="checkbox"/> Otro: _____					<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____	
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN			ILUMINACIÓN		ACABADO SUPERFICIAL	
Distancia de Observación: 300 mm.			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado	
Ángulo de Observación: 45 - 90 °			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado	
Temperatura de la pieza: 24 °C			Nivel de Iluminación: 656 lx		<input type="checkbox"/> Otro: _____	
Área de Evaluación: 39 cm ²					Rugosidad Superficial: 0.385 um	
ZONAS DE ENSAYO				CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS		
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura.						
Área de inspección: 30 x 130 mm.						
Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DIS CONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
1	PO	x = -14, y = 7	<0.5	1	0.79	Acceptable
Leyenda: RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES: 1 Indicación redondeada en la zona de descarte, H<0.5 mm. Nivel de calidad 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing



Reg. No.:	ETT-REG-CC01	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	26/11/2016		

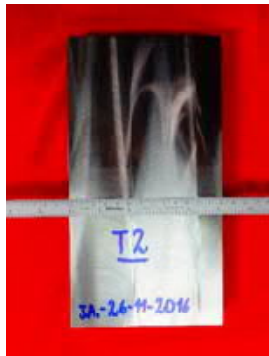
REGISTRO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



Placa de soldadura de recuperación T2
Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación". Vista de mecanizado final. 1 Indicación redondeada (porosidad) en la zona de descarte.



Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación".
Inspección final. 1 Indicación redondeada L=1 mm, x=-14, y=7 mm, zona de descarte. Aceptado. Nivel de calidad 1.



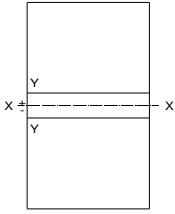


Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación".
Inspección final. 1 Indicación redondeada en la zona de descarte. H<0,5 mm. Aceptado. Nivel de calidad 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4. CCH 70-4 evalúa discontinuidades de resaltes y cavidades superficiales.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 1^{RA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:	26/11/2016	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T2	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T2	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR/ REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
		Lavable al Agua	Removible con Solvente			
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S	<input type="checkbox"/> SKL-WP	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2		
<input type="checkbox"/> METAL CHECK	<input type="checkbox"/> E-59	<input type="checkbox"/> VP-30	<input type="checkbox"/> VP-31	<input type="checkbox"/> D-70		
<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 24 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____		
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
-	-	-	-	-	-	-
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
1 Indicación redondeada en la zona de descarte, a=1.5 mm., área total de indicaciones relevantes ≤ 6,5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS
 PENETRANTES**



Reg. No.: ETT-REG-CC02	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 26/11/2016	

REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES



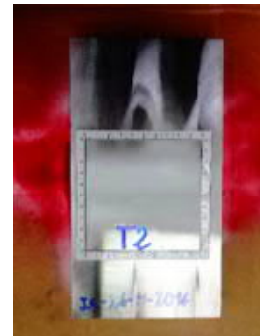
Placa de soldadura de recuperación T2
 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.



Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación"
 Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.



Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación"
 1 Indicación redondeada de $\varnothing=1.5$ mm en la zona de descarte,
 $x=-14$, $y=7$ mm.



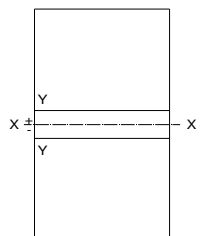


Placa T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación"
 Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm².
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>						
Reg. No.: ETT-REG-CC01		Revisión: 1				
Hoja: 1 de 2		Fecha: 07/01/2017				
Cliente: CELEC EP						
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T3	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T3	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto					
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN					
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción					
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso					
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final					
<input type="checkbox"/> Otro: _____	TIPO DE INSPECCIÓN					
	<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local					
	<input type="checkbox"/> Ens. Visual General					
	AUXILIARES VISUALES					
	<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica					
	<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video					
	<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio					
	<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____					
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN		ILUMINACIÓN				
Distancia de Observación: 300 mm.		<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial				
Ángulo de Observación: 45 - 90 °		<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural				
Temperatura de la pieza: 23.2 °C		Nivel de Iluminación				
Área de Evaluación: 39 cm ²		637 lx				
		ACABADO SUPERFICIAL				
		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado				
		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado				
		Rugosidad Superficial: 0.419 um				
ZONAS DE ENSAYO		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS				
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura.						
Área de inspección: 30 x 130 mm.						
Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con:						
CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DISCONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
1	PO	x = 4, y = 18.5	0.5	1	0.79	Aceptable
2	PO	x = 9, y = 18	0.5	1	0.79	Aceptable
3	PO	x = 8, y = 31	<0.5	0.5	0.20	Aceptable
4	PO	x = 8.5, y = 83	0.5	1	0.79	Aceptable
5	PO	x = 12, y = 105	<0.5	0.5	0.20	Aceptable
Leyenda:						
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
5 Indicaciones redondeadas, H=0.5 mm, Lmax=1 mm. Área total de discontinuidades 2.75 mm ² . Nivel de calidad 2.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC01 Revisión: 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 07/01/2017



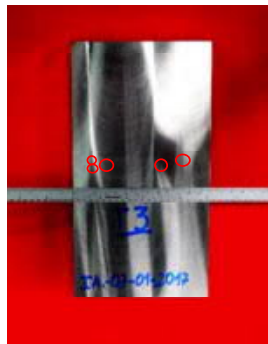
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



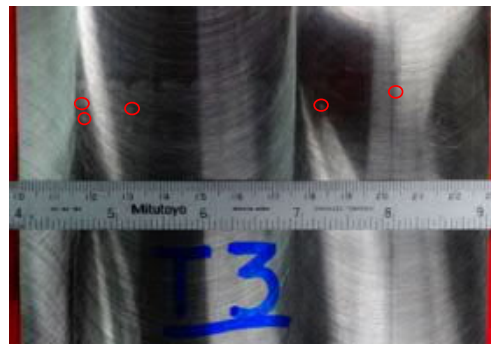
Placa de soldadura de recuperación T3
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación"
 Vista de mecanizado final. 5 Indicaciones redondeadas (porosidad) en la zona de depósito de soldadura.



Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación".
 Inspección final. 5 Indicaciones redondeadas x=4, y=18.5; x=9, y=18; x=8, y=31; x=8.5, y=83; x=12, y=105.



Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación".
 Inspección final. 5 Indicaciones redondeadas, H<0.5 mm, Lmax=1mm. Aceptado. Nivel de calidad 2.



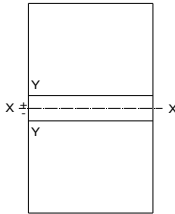





Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación". 5 Indicaciones redondeadas, Área total de discontinuidades 2.75 mm². Aceptado. Nivel de calidad 2.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.



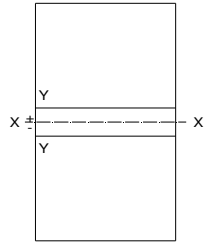
ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 2^{DA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES							
		Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión:			1	Hoja:	1 de 2
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:			07/01/2017		
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T3		CANTIDAD:	1					
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg					
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-					
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02					
No. SERIE:	T3		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01					
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>								
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES									
PRODUCTOS UTILIZADOS									
FABRICANTE	LIMPIADOR / REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR					
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Lavable al Agua <input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Removible con Solvente <input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2 <input type="checkbox"/> D-70 <input type="checkbox"/> Otro: _____					
CONDICIONES DEL ENSAYO									
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE					
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 23 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____					
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS						
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	ILUMINACIÓN	TIEMPO							
	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min							
CRITERIO DE ACEPTACIÓN									
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4									
INDICACIONES									
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación			
			a (mm)	b (mm)					
1	IR	x = 4, y = 18.5	1.5	1.5	1.77	Aceptable			
2	IR	x = 9, y = 18	1	1	0.79	Aceptable			
3	IR	x = -12, y = 13	0.5	0.5	0.20	Aceptable			
4	IR	x = 1, y = 50	1.5	1.5	1.77	Aceptable			
5	IL	x = 5, y = 50	0.5	1.5	0.75	Aceptable			
6	IR	x = 8.5, y = 83	1	1	0.79	Aceptable			
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.									
OBSERVACIONES: 5 Indicaciones redondeadas a max=1.5 mm, 1 indicación lineal a=0.5 mm. Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.									
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>									
ELABORADO POR:				REVISADO POR:					
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca					
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA					

	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES			
	Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión 1		Hoja: 2 de 2
	Cliente:	CELEC EP	Fecha:	07/01/2017
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES				
 <p>Placa de soldadura de recuperación T3 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.</p>	 <p>Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación" Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.</p>			
 <p>Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación". 5 Ind. redondeadas $\varnothing_{max}=1,5$ mm, $x=4$, $y=18,5$; $x=9$, $y=18$; $x=12$, $y=13$; $x=1$, $y=50$; $x=8,5$, $y=83$ mm. 1 Ind. lineal $a=0,5$ mm.</p>	 <p>Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación" Área total de indicaciones relevantes $\leq 6,5$ mm². Aceptado. Nivel de calidad 1.</p>			
OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.				
ELABORADO POR: Nombre: Ing. Juan Auz M.		REVISADO POR: Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO		DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>						
Reg. No.: ETT-REG-CC01		Revisión: 1				
Cliente: CELEC EP		Hoja: 1 de 2				
		Fecha: 18/02/2017				
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T4	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO:	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T4	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto					
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN	TIPO DE INSPECCIÓN	AUXILIARES VISUALES			
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción	<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local	<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica			
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso	<input type="checkbox"/> Ens. Visual General	<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video			
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final		<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio			
<input type="checkbox"/> Otro: _____			<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____			
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN		ILUMINACIÓN	ACABADO SUPERFICIAL			
Distancia de Observación:	300 mm.	<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial	<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado			
Ángulo de Observación:	45 - 90 °	<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado			
Temperatura de la pieza:	22.6 °C	Nivel de Iluminación	<input type="checkbox"/> Otro: _____			
Área de Evaluación:	39 cm ²	604 lx	Rugosidad Superficial: 0.403 um			
ZONAS DE ENSAYO		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS				
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura. Área de inspección: 30 x 130 mm. Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DISCONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
1	PO	x = -4, y = 26	0.5	0.5	0.20	Aceptable
2	PO	x = -10, y = 45	0.5	0.5	0.20	Aceptable
3	PO	x = -4, y = 95	0.5	0.5	0.20	Aceptable
4	PO	x = 9.5, y = 95	0.5	0.5	0.20	Aceptable
5	PO	x = 3, y = 116.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
Leyenda: RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES: 5 Indicaciones redondeadas, H=0.5 mm, Lmax=0.5 mm. Área total de discontinuidades 1 mm ² . Nivel de calidad 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC01 Revisión: 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 18/02/2017



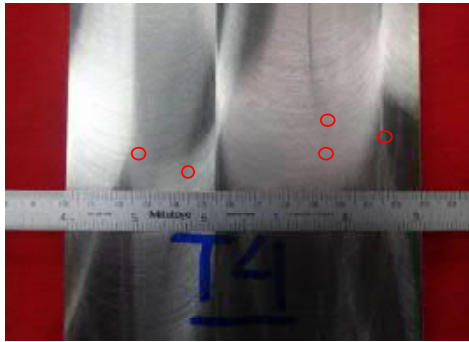
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



Placa de soldadura de recuperación T4
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación"
 Vista de mecanizado final. 5 Indicaciones redondeadas (porosidad) en la zona de depósito de soldadura.



Placa T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación".
 Inspección final. 5 Indicaciones redondeadas x=-4, y=26; x=-10, y=45; x=-4, y=95; x=9.5, y=95; x=3, y=116.5.



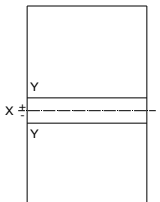








Placa de soldadura T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación". 5 Indicaciones redondeadas, Área total de discontinuidades 1 mm². Aceptado. Nivel de calidad I.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.



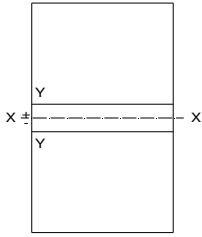
ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 1 HORA, 3^{RA} RECUPERACIÓN**

	PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES					
	Reg. No.: ETT-REG-CC02	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2			
Cliente: CELEC EP	Fecha: 18/02/2017					
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T4	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T4	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR / REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Lavable al Agua <input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> Removible con Solvente <input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2 <input type="checkbox"/> D-70 <input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 23 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____		
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
1	IR	x = -4, y = 26	0.5	0.5	0.20	Aceptable
2	IR	x = -10, y = 45	0.5	0.5	0.20	Aceptable
3	IR	x = -4, y = 95	1.5	1.5	1.77	Aceptable
4	IR	x = 9.5, y = 95	0.5	0.5	0.20	Aceptable
5	IR	x = -4, y = 101	1	1	0.79	Aceptable
6	IR	x = 3, y = 116.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES: 6 Indicaciones redondeadas a max=1.5 mm. Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES					
Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	18/02/2017		
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES					
					
Placa de soldadura de recuperación T4 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.			Placa T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación" Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.		
					
Placa T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación". 6 Indicaciones redondeadas $\text{Ø}_{\text{max}}=1,5 \text{ mm}$, $x=-4$, $y=26$; $x=-10$, $y=45$; $x=-4$, $y=95$; $x=9,5$, $y=95$; $x=-4$, $y=101$; $x=3$, $y=116,5$.			Placa T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación". Área total de indicaciones relevantes $< 6,5 \text{ mm}^2$. Aceptado. Nivel de calidad 1.		
OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.					
ELABORADO POR:			REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>							
Reg. No.:		ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2					
Cliente:		CELEC EP		Fecha: 26/11/2016					
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T5		CANTIDAD:	1					
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	4.85 Kg					
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-					
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02					
No. SERIE:	T5		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01					
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/>		Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>						
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL									
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto			AUXILIARES VISUALES					
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN <input type="checkbox"/> En Recepción <input checked="" type="checkbox"/> En Proceso <input checked="" type="checkbox"/> Final			TIPO DE INSPECCIÓN <input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local <input type="checkbox"/> Ens. Visual General			<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica <input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video <input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio <input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____		
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4							<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9			☐ Otro: _____
<input type="checkbox"/> Otro: _____									
CONDICIONES DEL ENSAYO									
PARÁMETROS DE MEDICIÓN			ILUMINACIÓN		ACABADO SUPERFICIAL				
Distancia de Observación: 300 mm.			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado				
Ángulo de Observación: 45 - 90 °			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado				
Temperatura de la pieza: 24 °C			Nivel de Iluminación		<input type="checkbox"/> Otro: _____				
Área de Evaluación: 39 cm ²			656 lx		Rugosidad Superficial: 0.385 um				
ZONAS DE ENSAYO				CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS					
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura.									
Área de inspección: 30 x 130 mm.									
Inspección 100%									
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN									
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.									
CRITERIO DE ACEPTACIÓN									
De acuerdo con:									
CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4									
DIS CONTINUIDADES									
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación			
			H (mm)	L (mm)					
1	PO	x = -4, y = 54	<0.5	0.5	0.20	Aceptable			
Leyenda:									
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.									
OBSERVACIONES:									
1 Indicación redondeada, H<0.5 mm, L=0.5 mm. Área total de discontinuidades 0.20 mm ² . Nivel de calidad 1.									
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>									
ELABORADO POR:				REVISADO POR:					
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca					
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA					



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC01 Revisión 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 26/11/2016



REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



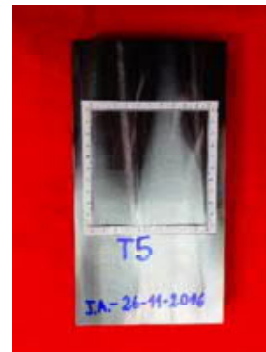
Placa de soldadura de recuperación T5
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa de soldadura T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación". Vista de mecanizado final. 1 Indicación redondeada (porosidad) en la zona de depósito de soldadura.



Placa T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación".
 Inspección final. 1 Indicación redondeada L=0,5 mm, x=-4, y=54 mm. Aceptado Nivel de calidad 1.



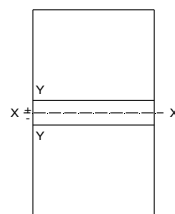


Placa T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación".
 Inspección final. 1 Indicación redondeada, H<0,5 mm.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES DE LA SOLDADURA DEL
ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 1^{RA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:	26/11/2016	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T5	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T5	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR/ REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
		Lavable al Agua	Removible con Solvente			
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2 <input type="checkbox"/> D-70 <input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
				Agua	Solvente	Otro: _____
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 24 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min			
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
1	IR	x=-6, y=19	1	1	0.79	Aceptable
2	IR	x=4, y=19	1	1	0.79	Aceptable
3	IR	x=-6, y=36	1	1	0.79	Aceptable
4	IR	x=-4, y=54	1	1	0.79	Aceptable
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
4 Indicaciones redondeadas con a=1 mm., área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS
 PENETRANTES**



Reg. No.: ETT-REG-CC02	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 26/11/2016	

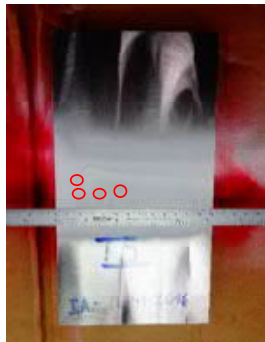
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES



Placa de soldadura de recuperación T5
 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.



Placa T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación"
 Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.



Placa T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación"
 4 Indicaciones redondeadas de $\varnothing=1$ mm, $x=-6$, $y=19$; $x=4$, $y=19$;
 $x=-6$, $y=36$; $x=-4$, $y=54$ mm.



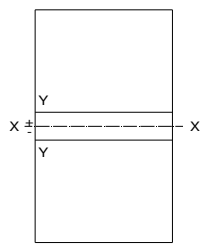


Placa T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación"
 Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm².
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO
CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2
HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2		
Cliente:		CELEC EP	Fecha: 07/01/2017			
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T6		CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	4.85 Kg		
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02		
No. SERIE:	T6		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL			<input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto		
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN		TIPO DE INSPECCIÓN		AUXILIARES VISUALES	
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción		<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local		<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica	
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso		<input type="checkbox"/> Ens. Visual General		<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video	
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final				<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio	
<input type="checkbox"/> Otro: _____					<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____	
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN			ILUMINACIÓN		ACABADO SUPERFICIAL	
Distancia de Observación: 300 mm.			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado	
Ángulo de Observación: 45 - 90 °			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado	
Temperatura de la pieza: 23.5 °C			Nivel de Iluminación		<input type="checkbox"/> Otro: _____	
Área de Evaluación: 39 cm ²			637 lx		Rugosidad Superficial: 0.419 um	
ZONAS DE ENSAYO				CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS		
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura. Área de inspección: 30 x 130 mm. Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DISCONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
1	PO	x = -9, y = 97.5	0.5	1	0.79	Acceptable
Leyenda:						
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
1 Indicación redondeada, H=0.5 mm, L=1 mm. Área total de discontinuidades 0.79 mm ² . Nivel de calidad 2.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC01 Revisión 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 07/01/2017



REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



Placa de soldadura de recuperación T6
 Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa de soldadura T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación". Vista de mecanizado final. 1 Indicación redondeada (porosidad) en la zona de depósito de soldadura.



Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación".
 Inspección final. 1 Indicación redondeada L=1 mm, x=-9, y=97,5 mm. Aceptado Nivel de calidad 2.



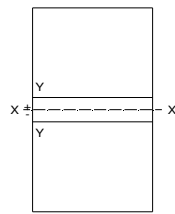


Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación".
 Inspección final. 1 Indicación redondeada, H=0,5 mm. Área de discontinuidades 0,79 mm². Aceptado. Nivel de calidad 2.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 2^{DA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:	07/01/2017	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T6	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T6	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR/ REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
		Lavable al Agua	Removible con Solvente			
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2 <input type="checkbox"/> D-70 <input type="checkbox"/> Otro: _____		
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE		REMOCIÓN DE PENETRANTE	
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 23 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ Secado <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua <input checked="" type="checkbox"/> Solvente <input type="checkbox"/> Otro: _____		
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
1	IL	x = -10, y = 37	0.5	2	1.00	Aceptable
2	IR	x = -4, y = 62	0.5	0.5	0.20	Aceptable
3	IR	x = -9, y = 97.5	1	1	0.79	Aceptable
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
3 Indicaciones redondeadas a max=1 mm, 1 indicación lineal a=0.5 mm. Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS
 PENETRANTES**



Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	07/01/2017		

REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES



Placa de soldadura de recuperación T6
 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.



Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.



Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 2 Indicaciones redondeadas $\varnothing_{max}=1$ mm, x=-4, y=54;
 x=-9, y=97.5 mm. 1 Indicación lineal a=0.5 mm.



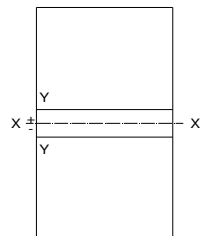


Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm².
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

INSPECCIÓN VISUAL SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL <i>Visual Testing</i>				
Reg. No.:		ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2		
Cliente:		CELEC EP		Fecha: 18/02/2017		
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T7		CANTIDAD:	1		
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	4.85 Kg		
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-		
ESPESOR:	19 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02		
No. SERIE:	T7		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01		
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL						
NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL			<input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto		
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN		TIPO DE INSPECCIÓN		AUXILIARES VISUALES	
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción		<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local		<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica	
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso		<input type="checkbox"/> Ens. Visual General		<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video	
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final				<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio	
<input type="checkbox"/> Otro: _____					<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____	
CONDICIONES DEL ENSAYO						
PARÁMETROS DE MEDICIÓN			ILUMINACIÓN		ACABADO SUPERFICIAL	
Distancia de Observación: 300 mm.			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial		<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado	
Ángulo de Observación: 45 - 90 °			<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural		<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado	
Temperatura de la pieza: 22,6 °C			Nivel de Iluminación		<input type="checkbox"/> Otro: _____	
Área de Evaluación: 39 cm ²			604 lx		Rugosidad Superficial: 0.403 um	
ZONAS DE ENSAYO				CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS		
Zona de recuperación mediante depósito de soldadura. Área de inspección: 30 x 130 mm. Inspección 100%						
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN						
Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4						
DISCONTINUIDADES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
1	PO	x = -14, y = 42	0.5	0.5	0.20	Aceptable
2	PO	x = -13, y = 49.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
3	PO	x = 3, y = 52.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
4	PO	x = -9.5, y = 90	0.5	0.5	0.20	Aceptable
5	PO	x = -4, y = 94.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
6	PO	x = -4, y = 100.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
Leyenda:						
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO - Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
6 Indicaciones redondeadas, H=0.5 mm, L=0.5 mm. Área total de discontinuidades 1.20 mm ² . Nivel de calidad 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:				REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing



Reg. No.:	ETT-REG-CC01	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	18/02/2017		

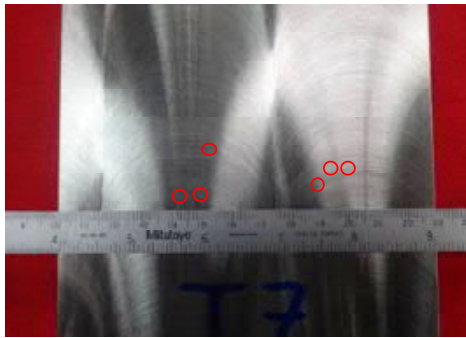
REGISTRO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN VISUAL



Placa de soldadura de recuperación T7
Inspección de proceso en la condición soldada.



Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación"
Vista de mecanizado final. 6 Indicaciones redondeadas (porosidad) en la zona de depósito de soldadura.



Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación". Insp. final. 6 Ind. redondeadas x=-14, y=42; x=-13, y=49.5; x=3, y=52.5; x=-9.5, y=90; x=-4, y=94.5; x=-4, y=100.5.



Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación". 6 Indicaciones redondeadas, Área total de discontinuidades 1.2 mm². Aceptado. Nivel de calidad 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL



Visual Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 1 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 18/02/2017	

EQUIPO/PIEZA: Placas de soldadura de recuperación	CANTIDAD: 6
MATERIAL: Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO: 0.25 Kg
DIMENSIONES: 60 x 55 mm.	PLAN DE CALIDAD No.: -
ESPESOR: 10 mm.	PLANO DE REFERENCIA: TTPS-04, TTPS-05
No. SERIE: I2, I3, I4, I5, I6, I7	PROCEDIMIENTO: ETT-PRO-CC-01
ESTADO/FASE: Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>	

PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL

NORMA APLICABLE	MÉTODO DE INSPECCIÓN VISUAL <input checked="" type="checkbox"/> Directo <input type="checkbox"/> Remoto	
<input type="checkbox"/> ASTM A-802	FASE DE INSPECCIÓN	AUXILIARES VISUALES
<input type="checkbox"/> MSS-SP 55	<input type="checkbox"/> En Recepción	<input type="checkbox"/> Espejo <input type="checkbox"/> Cámara Fotográfica
<input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4	<input checked="" type="checkbox"/> En Proceso	<input checked="" type="checkbox"/> Lentes <input type="checkbox"/> Sistema de Video
<input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 9	<input checked="" type="checkbox"/> Final	<input type="checkbox"/> Endoscopio <input type="checkbox"/> Boroscopio
<input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> En Recepción	<input type="checkbox"/> Fibra Óptica <input type="checkbox"/> Otro: _____
	<input checked="" type="checkbox"/> Ens. Visual Local	
	<input type="checkbox"/> Ens. Visual General	

CONDICIONES DEL ENSAYO

PARÁMETROS DE MEDICIÓN	ILUMINACIÓN	ACABADO SUPERFICIAL
Distancia de Observación: 300 mm.	<input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial	<input type="checkbox"/> Esmerilado <input checked="" type="checkbox"/> Maquinado
Ángulo de Observación: 45 - 90 °	<input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	<input type="checkbox"/> Cepillado <input type="checkbox"/> Granallado
Temperatura de la pieza: 23 - 24 °C	Nivel de Iluminación	<input type="checkbox"/> Otro: _____
Área de Evaluación: 33 cm ²	656 lx	Rugosidad Superficial: 0.391 um

ZONAS DE ENSAYO

Zona de recuperación mediante depósito de soldadura.
Área de inspección: 60 x 55 mm.
Inspección 100%

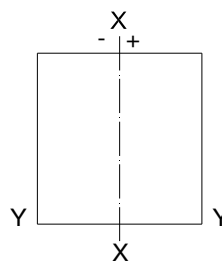
HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

Regla, cuadrante de 100 x 100 mm., calibrador.

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

De acuerdo con:
CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - VT 70-4

CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS



DIS CONTINUIDADES

No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			H (mm)	L (mm)		
-	-	-	-	-	-	-

Leyenda:
RE - Resalte, CA- Cavidad, BO - Borde, FF - Falta de Fusión, FL - Fisura Longitudinal, FT - Fisura Transversal, PO - Porosidad, SO Sobremonta, MO - Mordedura, IE - Inclusión de Escoria, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.

OBSERVACIONES:
No hay presencia de discontinuidades. Nivel de calidad 1.

CONCLUSIÓN: Aceptado Reparar Rechazado Verificación

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA



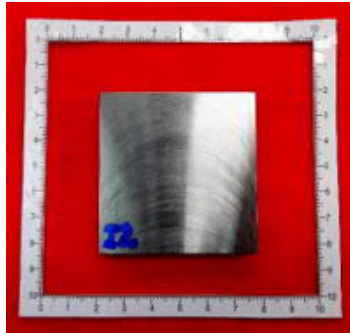
PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL

Visual Testing

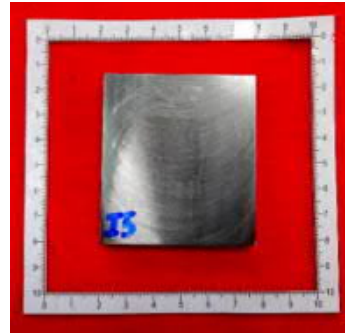


Reg. No.: ETT-REG-CC01	Revisión: 1	Hoja: 2 de 2
Cliente: CELEC EP	Fecha: 18/02/2017	

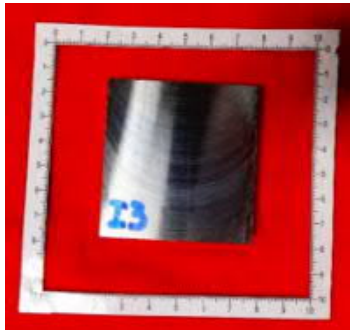
REGISTRO FOTOGRAFICO - INSPECCIÓN VISUAL



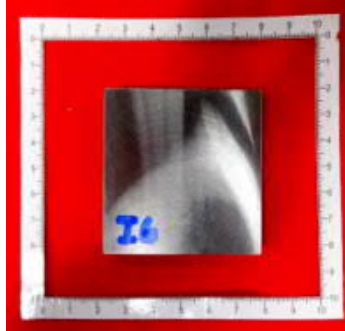
Placa 12 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



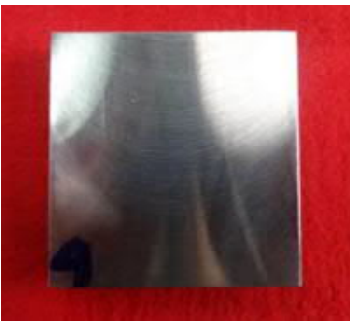
Placa 15 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



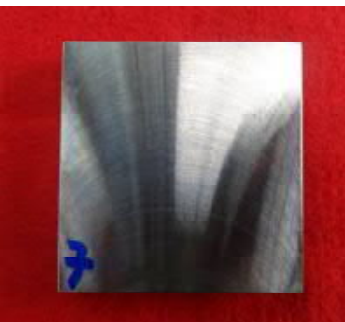
Placa 13 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



Placa 16 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



Placa 14 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.



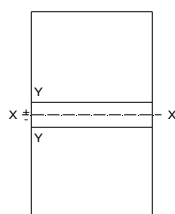


Placa 17 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de discontinuidades.
 Aceptado. Nivel de calidad 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

**INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES SOLDADURA DEL ACERO
ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo,
REVENIDO A 600 °C POR 2 HORAS, 3^{RA} RECUPERACIÓN**

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES				
		Reg. No.:	Revisión:	Hoja:		
		ETT-REG-CC02	1	1 de 2		
		Cliente:	CELEC EP	Fecha:	18/02/2017	
EQUIPO/PIEZA:	Placa de soldadura de recuperación T7	CANTIDAD:	1			
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM	PESO UNITARIO (Kg):	4.85 Kg			
DIMENSIONES:	250 x 130 mm.	PLAN DE CALIDAD No.:	-			
ESPESOR:	19 mm.	PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02			
No. SERIE:	T7	PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-01			
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>					
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES						
PRODUCTOS UTILIZADOS						
FABRICANTE	LIMPIADOR/ REMOVEDOR	PENETRANTE		REVELADOR		
<input checked="" type="checkbox"/> MAGNAFLUX <input type="checkbox"/> METAL CHECK <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKC-S <input type="checkbox"/> E-59 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Lavable al Agua <input type="checkbox"/> SKL-WP <input type="checkbox"/> VP-30 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Removible con Solvente <input checked="" type="checkbox"/> SKL-SP2 <input type="checkbox"/> VP-31 <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input checked="" type="checkbox"/> SKD-S2	<input type="checkbox"/> D-70	<input type="checkbox"/> Otro: _____
CONDICIONES DEL ENSAYO						
NORMA APLICABLE	ACABADO SUPERFICIAL	LIMPIEZA	APLICACIÓN DEL PENETRANTE	REMOCIÓN DE PENETRANTE		
<input type="checkbox"/> ASTM A-165 <input type="checkbox"/> ISO 3452 <input checked="" type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> ASME Sec.V Art.6 <input type="checkbox"/> Otro: _____	Maquinado Temperatura 23 °C	<input checked="" type="checkbox"/> Removedor <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input checked="" type="checkbox"/> Natural <input type="checkbox"/> Aire Forzado Tiempo: 2 Min	<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Brocha <input type="checkbox"/> Inmersión Tiempo: 12 Min	<input type="checkbox"/> Agua	<input checked="" type="checkbox"/> Solvente	<input type="checkbox"/> Otro: _____
APLICACIÓN DEL REVELADOR	EVALUACIÓN		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS			
	ILUMINACIÓN	TIEMPO				
<input checked="" type="checkbox"/> Pulverización <input type="checkbox"/> Otro: _____	<input type="checkbox"/> Luz Ultravioleta <input checked="" type="checkbox"/> Luz Artificial <input checked="" type="checkbox"/> Luz Natural	20 min				
CRITERIO DE ACEPTACIÓN						
De acuerdo con: CCH 70-4 Cahier des Charges Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines - PT 70-4						
INDICACIONES						
No.	Tipo	Posición (mm)	Dimensión		Área (mm ²)	Evaluación
			a (mm)	b (mm)		
1	IR	x = -14, y = 42	0.5	0.5	0.20	Aceptable
2	IR	x = -13, y = 49.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
3	IR	x = 3, y = 52.5	1	1	0.79	Aceptable
4	IR	x = -9.5, y = 90	0.5	0.5	0.20	Aceptable
5	IR	x = -4, y = 94.5	0.5	0.5	0.20	Aceptable
6	IR	x = -4, y = 100.5	1	1	0.79	Aceptable
Leyenda: IR - Indicación Redondeada, IL - Indicación Lineal, IA - Indicaciones Alineadas, A - Aceptable, R - Reparar, TT - Tratamiento Térmico.						
OBSERVACIONES:						
6 Indicaciones redondeadas a max=1 mm. Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm ² . Nivel de calidad clase 1.						
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>						
ELABORADO POR:			REVISADO POR:			
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca			
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA			

 PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS PENETRANTES					
Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	18/02/2017		
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES					
 <p>Placa de soldadura de recuperación T7 Aplicación de Penetrante Magnaflux SKL-SP2.</p>		 <p>Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación" Aplicación de Revelador Magnaflux SKD-S2.</p>			
 <p>Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación". 6 Ind. Ømax=1 mm, x=-14, y=42; x=-13, y=49.5; x=3, y=52.5; x=-9.5, y=90; x=-4, y=94.5; x=-4, y=100.5.</p>		 <p>Placa T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación" Área total de indicaciones relevantes ≤ 6.5 mm². Aceptado. Nivel de calidad 1.</p>			
<p>OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.</p>					
ELABORADO POR:			REVISADO POR:		
Nombre: Ing. Juan Auz M.			Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca		
AUTOR DEL PROYECTO			DIRECTOR DEL PROYECTO UTA		

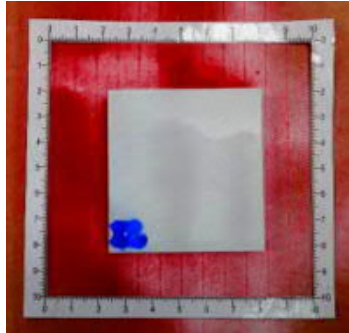


**PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
 REPORTE DE ENSAYO POR TINTAS
 PENETRANTES**

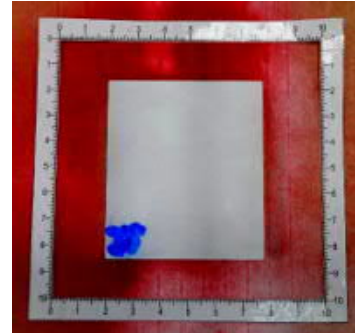


Reg. No.:	ETT-REG-CC02	Revisión:	1	Hoja:	2 de 2
Cliente:	CELEC EP	Fecha:	18/02/2017		

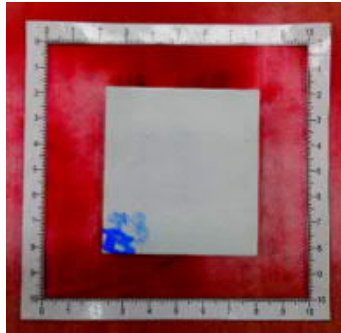
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR TINTAS PENETRANTES



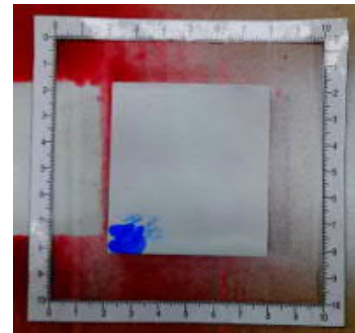
Placa 12 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.



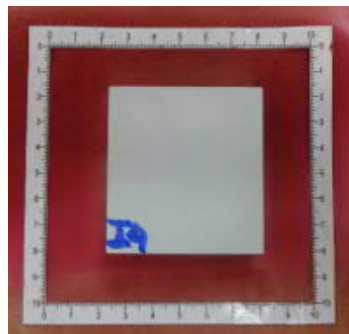
Placa 15 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.



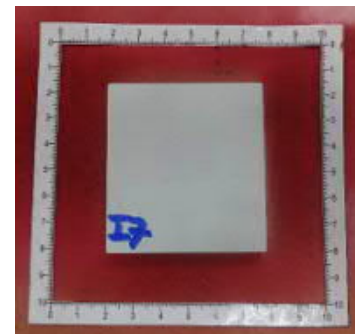
Placa 13 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.



Placa 16 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.



Placa 14 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.



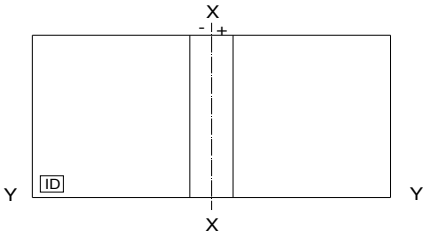


Placa 17 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación"
 Inspección final. No hay presencia de indicaciones.
 Aceptado. Nivel de calidad clase 1.

OBSERVACIONES: Se aplica el Criterio de Aceptación para los niveles de calidad requeridos en las zonas de inspección I, II, III y IV de la ficha de calidad modelo para un rodete Francis de la Norma CCH 70-4.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO SOLDADURA DEL ACERO ASTM A743 GRADO CA6-NM CON ELECTRODO ER 410 Ni-Mo, 1^{RA}, 2^{DA} Y 3^{RA} RECUPERACIÓN

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO <i>Ultrasonic Testing</i>														
Reg. No.:		ETT-REG-CC03		Revisión:	1		Hoja:	1 de 2								
Cliente:		CELEC EP		Fecha:	18/02/2017											
EQUIPO/PIEZA:	Placas de soldadura de recuperación			CANTIDAD:	6											
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM			PESO UNITARIO:	5.6 kg											
DIMENSIONES:	250 X 130 mm.			PLAN DE CALIDAD No.:	-											
ESPESOR:	22 mm.			PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-01, TTPS-02											
No. SERIE:	T2/T3/T4/T5/T6/T7			PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-03											
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>															
SISTEMA DE INSPECCIÓN																
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO			MARCA		MODELO		No. DE SERIE									
Equipo de Ultrasonido A Scan			Olympus		Epoch LTC		100187505									
TRANSDUCTOR			ZAPATA			ACCESORIOS										
Descripción: Palpador recto			Marca: Panametrics			Tipo de conductor: Lemo 00 - Microdot										
Marca: Panametrics			Modelo: ABWU-51			Acoplante: Ultragel II										
Modelo: A541S / A5435-S4			Material: Lucita			Bloque calibrador: II WII Métrico										
Frecuencia: 5 / 5 (MHz)			Diámetro: 12.5 (mm)			DSC										
Diámetro: 0.5 / 0.25 (plg)			Ángulo (θ): 45°													
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO																
MÉTODO		TÉCNICA		NORMA APLICABLE		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS 										
<input checked="" type="checkbox"/> Eco-Pulsado <input type="checkbox"/> Transmisión <input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular <input type="checkbox"/> Inmersión		<input type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 4 <input type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> AWS D1.6												
CALIBRACIÓN			CONDICIONES DE AJUSTE													
<input checked="" type="checkbox"/> Punto índice de salida			Velocidad: 3191 / 5790 m/s													
<input checked="" type="checkbox"/> Verificación ángulo refracción			Zero Offset: 10.242 / 0													
<input checked="" type="checkbox"/> Calibración en distancia			Ángulo: 45 / 0 °													
<input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de sensibilidad			Espesor: 22 mm													
<input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de espesor			Ganancia: 45 - 66 dB													
ACABADO SUPERFICIAL			ZONAS DE ENSAYO													
Maquinado			<input checked="" type="checkbox"/> Chequeo 100%													
Rugosidad: 0.685 um			<input type="checkbox"/> Chequeo Puntual													
CRITERIO DE ACEPTACIÓN																
De acuerdo con: AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel, UT Niveles 1 y 2.																
DIS CONTINUIDADES																
No. de Pieza	No. de Indicación	Tipo de Discontinuidad	Cara	Pierna	DECIBELES				DISCONTINUIDAD (mm)					EVALUACIÓN	Observaciones	
					(a) Nivel de Indicación	(b) Nivel de Referencia	(c) Factor de Atenuación	(d) Rango de Indicación	Longitud	Distancia Angular	Profundidad	Distancia X	Distancia Y			
T2	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
T3	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
T4	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
T5	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
T6	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
T7	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
Leyenda: FF-Falta de Fusión, FL-Fisura Longitudinal, FT-Fisura Transversal, PO-Porosidad, IE-Inclusión de Escoria, A-Aceptable, R-Reparar, TT-Tratamiento Térmico.																
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>																
ELABORADO POR:					REVISADO POR:											
Nombre: Ing. Juan Auz M.					Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca											
AUTOR DEL PROYECTO					DIRECTOR DEL PROYECTO UTA											



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO
Ultrasonic Testing



Reg. No.: ETT-REG-CC03 Revisión 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 18/02/2017

REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO



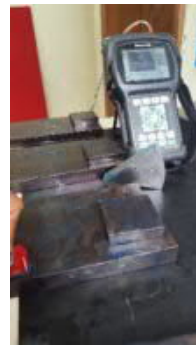
Placa de soldadura T2 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 1ra recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz angular.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T5 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 1ra recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz angular.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz recto.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz angular.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.





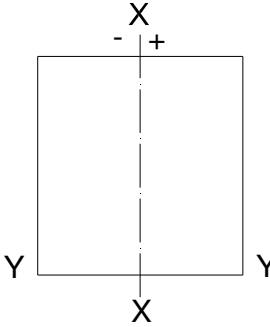
Placa de soldadura T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz recto.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación". Inspección por Ultrasonido, haz angular.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.

OBSERVACIONES: Soldadura de recuperación GMAW, electrodo AWS A5.9 ER 410NIMO, con tratamiento térmico. Se aplica el Criterio de Aceptación según los niveles de calidad UT 1 y 2 de la Norma AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

		PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO <i>Ultrasonic Testing</i>														
		Reg. No.:	ETT-REG-CC03	Revisión:			1	Hoja:	1 de 2							
Cliente:		CELEC EP		Fecha:		18/02/2017										
EQUIPO/PIEZA:	Placas de soldadura de recuperación		CANTIDAD:	6												
MATERIAL:	Acero Inoxidable ASTM A743 CA6-NM		PESO UNITARIO:	0.4 kg												
DIMENSIONES:	60 x 55 mm.		PLAN DE CALIDAD No.:	-												
ESPESOR:	13.5 mm.		PLANO DE REFERENCIA:	TTPS-04, TTPS-05												
No. SERIE:	I2, I3, I4, I5, I6, I7		PROCEDIMIENTO:	ETT-PRO-CC-03												
ESTADO/FASE:	Fundición <input type="checkbox"/> Soldadura <input type="checkbox"/> Mecanizado <input checked="" type="checkbox"/> Antes de TT <input type="checkbox"/> Después de TT <input checked="" type="checkbox"/> Sin TT <input type="checkbox"/>															
SISTEMA DE INSPECCIÓN																
DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO		MARCA		MODELO		No. DE SERIE										
Equipo de Ultrasonido A Scan		Olympus		Epoch LTC		100187505										
TRANSDUCTOR		ZAPATA		ACCESORIOS												
Descripción:	Palpador recto		Marca:	Panametrics		Tipo de conductor: Lemo 00 - Microdot										
Marca:	Panametrics		Modelo:	ABWU-51		Acoplante: Ultragel II										
Modelo:	A541S / A5435-S4		Material:	Lucita		Bloque calibrador: II WII Métrico										
Frecuencia:	5 / 5 (MHz)		Diámetro:	12.5 (mm)		DSC										
Diámetro:	0.5 / 0.25 (plg)		Ángulo (θ):	45°												
PROTOCOLO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO																
MÉTODO		TÉCNICA		NORMA APLICABLE		CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS										
<input checked="" type="checkbox"/> Eco-Pulsado <input type="checkbox"/> Transmisión <input type="checkbox"/> _____		<input checked="" type="checkbox"/> Haz Recto <input checked="" type="checkbox"/> Haz Angular <input type="checkbox"/> Inmersión		<input type="checkbox"/> ASME Sec. V, Art. 4 <input type="checkbox"/> CCH 70-4 <input checked="" type="checkbox"/> AWS D1.6												
CALIBRACIÓN			CONDICIONES DE AJUSTE													
<input checked="" type="checkbox"/> Punto índice de salida <input checked="" type="checkbox"/> Verificación ángulo refracción <input checked="" type="checkbox"/> Calibración en distancia <input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de sensibilidad <input checked="" type="checkbox"/> Ajuste de espesor			Velocidad: 3119 / 5790 m/s Zero Offset: 10.242 / 0 Ángulo: 45 / 0 ° Espesor: 13.5 mm Ganancia: 45 - 66 dB													
ACABADO SUPERFICIAL			ZONAS DE ENSAYO													
Maquinado			<input checked="" type="checkbox"/> Chequeo 100% <input type="checkbox"/> Chequeo Puntual													
Rugosidad: 0.685 um																
CROQUIS / ZONAS ENSAYADAS																
																
CRITERIO DE ACEPTACIÓN																
De acuerdo con: AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel, UT Niveles 1 y 2.																
DISCONTINUIDADES																
No. de Pieza	No. de Indicación	Tipo de Discontinuidad	Cara	Pieza	DECIBELES				DISCONTINUIDAD (mm)					EVALUACIÓN	Observaciones	
					(a) Nivel de Indicación	(b) Nivel de Referencia	(c) Factor de Atenuación	(d) Rango de Indicación	Longitud	Distancia Angular	Profundidad	Distancia X	Distancia Y			
I2	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
I3	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
I4	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
I5	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
I6	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
I7	-	-	S	-	-	40	0	-	-	-	-	-	-	-	-	No discontinuidades
Leyenda: FF-Falta de Fusión, FL-Fisura Longitudinal, FT-Fisura Transversal, PO-Porosidad, IE-Inclusión de Escoria, A-Aceptable, R-Reparar, TT-Tratamiento Térmico.																
CONCLUSIÓN: Aceptado <input checked="" type="checkbox"/> Reparar <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Verificación <input type="checkbox"/>																
ELABORADO POR:				REVISADO POR:												
Nombre: Ing. Juan Auz M.				Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca												
AUTOR DEL PROYECTO				DIRECTOR DEL PROYECTO UTA												



PLAN DE INSPECCIÓN Y PRUEBAS
REPORTE DE ENSAYO POR ULTRASONIDO

Ultrasonic Testing

Reg. No.: ETT-REG-CC03 Revisión: 1 Hoja: 2 de 2
 Cliente: CELEC EP Fecha: 18/02/2017



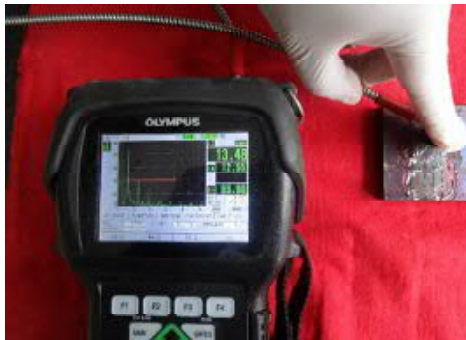
REGISTO FOTOGRÁFICO - INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO



Placa T3 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 2da recuperación"
 Ultrasonido, haz angular (verificación del borde).
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa T6 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 2da recuperación"
 Ultrasonido, haz recto.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T4 "Revenido a 600 °C x 1 hora, 3ra recuperación"
 Ultrasonido, haz recto.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.



Placa de soldadura T7 "Revenido a 600 °C x 2 horas, 3ra recuperación"
 Ultrasonido, haz recto.
 No hay presencia de discontinuidades relevantes.

OBSERVACIONES: Soldadura de recuperación GMAW, electrodo AWS A5.9 ER 410NIMO, con tratamiento térmico. Se aplica el Criterio de Aceptación según los niveles de calidad UT 1 y 2 de la Norma AWS D1.6/D1.6M:2007 Structural Welding Code—Stainless Steel.

ELABORADO POR:	REVISADO POR:
Nombre: Ing. Juan Auz M.	Nombre: Ing. Mg. Henry Vaca
AUTOR DEL PROYECTO	DIRECTOR DEL PROYECTO UTA

ANEXO B.7 – Extracto de la norma ASTM A370 - 16 Definiciones y Métodos de Prueba para Ensayos Mecánicos de Productos de Acero.



Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products¹

This standard is issued under the fixed designation A370; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods² cover procedures and definitions for the mechanical testing of steels, stainless steels, and related alloys. The various mechanical tests herein described are used to determine properties required in the product specifications. Variations in testing methods are to be avoided, and standard methods of testing are to be followed to obtain reproducible and comparable results. In those cases in which the testing requirements for certain products are unique or at variance with these general procedures, the product specification testing requirements shall control.

1.2 The following mechanical tests are described:

Tension	Sections 6 to 14
Bend	15
Hardness	16
Brinell	17
Rockwell	18
Portable	19
Impact	20 to 29
Keywords	31

1.3 Annexes covering details peculiar to certain products are appended to these test methods as follows:

Bar Products	Annex A1
Tubular Products	Annex A2
Fasteners	Annex A3
Round Wire Products	Annex A4
Significance of Notched-Bar Impact Testing	Annex A5
Converting Percentage Elongation of Round Specimens to Equivalents for Flat Specimens	Annex A6
Testing Multi-Wire Strand	Annex A7
Rounding of Test Data	Annex A8
Methods for Testing Steel Reinforcing Bars	Annex A9
Procedure for Use and Control of Heat-Cycle Simulation	Annex A10

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

¹ These test methods and definitions are under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee A01.13 on Mechanical and Chemical Testing and Processing Methods of Steel Products and Processes.

Current edition approved May 1, 2016. Published May 2016. Originally approved in 1953. Last previous edition approved in 2015 as A370 – 15. DOI: 10.1520/A0370-16.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-370 in Section II of that Code.

1.5 When this document is referenced in a metric product specification, the yield and tensile values may be determined in inch-pound (ksi) units then converted into SI (MPa) units. The elongation determined in inch-pound gauge lengths of 2 or 8 in. may be reported in SI unit gauge lengths of 50 or 200 mm, respectively, as applicable. Conversely, when this document is referenced in an inch-pound product specification, the yield and tensile values may be determined in SI units then converted into inch-pound units. The elongation determined in SI unit gauge lengths of 50 or 200 mm may be reported in inch-pound gauge lengths of 2 or 8 in., respectively, as applicable.

1.5.1 The specimen used to determine the original units must conform to the applicable tolerances of the original unit system given in the dimension table not that of the converted tolerance dimensions.

NOTE 1—This is due to the specimen SI dimensions and tolerances being hard conversions when this is not a dual standard. The user is directed to Test Methods A1058 if the tests are required in SI units.

1.6 Attention is directed to ISO/IEC 17025 when there may be a need for information on criteria for evaluation of testing laboratories.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- A623 Specification for Tin Mill Products, General Requirements
- A623M Specification for Tin Mill Products, General Requirements [Metric]
- A833 Practice for Indentation Hardness of Metallic Materials by Comparison Hardness Testers
- A956 Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

- A1038 Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method
- A1058 Test Methods for Mechanical Testing of Steel Products—Metric
- A1061/A1061M Test Methods for Testing Multi-Wire Steel Prestressing Strand
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E8/E8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- E10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials
- E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials
- E23 Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials
- E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E110 Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers
- E190 Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds
- E290 Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility
- 2.2 ASME Document:⁴
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division I, Part UG-8
- 2.3 ISO Standard:⁵
- ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

3. Significance and Use

3.1 The primary use of these test methods is testing to determine the specified mechanical properties of steel, stainless steel and related alloy products for the evaluation of conformance of such products to a material specification under the jurisdiction of ASTM Committee A01 and its subcommittees as designated by a purchaser in a purchase order or contract.

3.1.1 These test methods may be and are used by other ASTM Committees and other standards writing bodies for the purpose of conformance testing.

3.1.2 The material condition at the time of testing, sampling frequency, specimen location and orientation, reporting requirements, and other test parameters are contained in the pertinent material specification or in a General Requirement Specification for the particular product form.

3.1.3 Some material specifications require the use of additional test methods not described herein; in such cases, the required test method is described in that material specification or by reference to another appropriate test method standard.

3.2 These test methods are also suitable to be used for testing of steel, stainless steel and related alloy materials for

other purposes, such as incoming material acceptance testing by the purchaser or evaluation of components after service exposure.

3.2.1 As with any mechanical testing, deviations from either specification limits or expected as-manufactured properties can occur for valid reasons besides deficiency of the original as-fabricated product. These reasons include, but are not limited to: subsequent service degradation from environmental exposure (for example, temperature, corrosion); static or cyclic service stress effects, mechanically-induced damage, material inhomogeneity, anisotropic structure, natural aging of select alloys, further processing not included in the specification, sampling limitations, and measuring equipment calibration uncertainty. There is statistical variation in all aspects of mechanical testing and variations in test results from prior tests are expected. An understanding of possible reasons for deviation from specified or expected test values should be applied in interpretation of test results.

4. General Precautions

4.1 Certain methods of fabrication, such as bending, forming, and welding, or operations involving heating, may affect the properties of the material under test. Therefore, the product specifications cover the stage of manufacture at which mechanical testing is to be performed. The properties shown by testing prior to fabrication may not necessarily be representative of the product after it has been completely fabricated.

4.2 Improperly machined specimens should be discarded and other specimens substituted.

4.3 Flaws in the specimen may also affect results. If any test specimen develops flaws, the retest provision of the applicable product specification shall govern.

4.4 If any test specimen fails because of mechanical reasons such as failure of testing equipment or improper specimen preparation, it may be discarded and another specimen taken.

5. Orientation of Test Specimens

5.1 The terms “longitudinal test” and “transverse test” are used only in material specifications for wrought products and are not applicable to castings. When such reference is made to a test coupon or test specimen, the following definitions apply:

5.1.1 *Longitudinal Test*, unless specifically defined otherwise, signifies that the lengthwise axis of the specimen is parallel to the direction of the greatest extension of the steel during rolling or forging. The stress applied to a longitudinal tension test specimen is in the direction of the greatest extension, and the axis of the fold of a longitudinal bend test specimen is at right angles to the direction of greatest extension (Fig. 1, Fig. 2a, and Fig. 2b).

5.1.2 *Transverse Test*, unless specifically defined otherwise, signifies that the lengthwise axis of the specimen is at right angles to the direction of the greatest extension of the steel during rolling or forging. The stress applied to a transverse tension test specimen is at right angles to the greatest extension, and the axis of the fold of a transverse bend test specimen is parallel to the greatest extension (Fig. 1).

⁴ Available from American Society of Mechanical Engineers (ASME), ASME International Headquarters, Two Park Ave., New York, NY 10016-5990, <http://www.asme.org>.

⁵ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

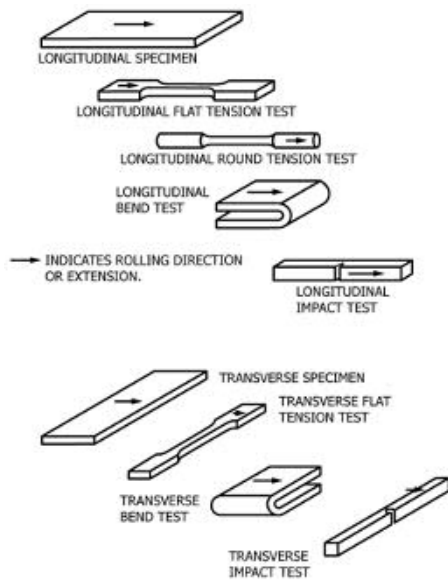


FIG. 1 Relation of Test Coupons and Test Specimens to Rolling Direction or Extension (Applicable to General Wrought Products)

5.2 The terms “radial test” and “tangential test” are used in material specifications for some wrought circular products and are not applicable to castings. When such reference is made to a test coupon or test specimen, the following definitions apply:

5.2.1 *Radial Test*, unless specifically defined otherwise, signifies that the lengthwise axis of the specimen is perpendicular to the axis of the product and coincident with one of the radii of a circle drawn with a point on the axis of the product as a center (Fig. 2a).

5.2.2 *Tangential Test*, unless specifically defined otherwise, signifies that the lengthwise axis of the specimen is perpendicular to a plane containing the axis of the product and tangent to a circle drawn with a point on the axis of the product as a center (Fig. 2a, Fig. 2b, Fig. 2c, and Fig. 2d).

TENSION TEST

6. Description

6.1 The tension test related to the mechanical testing of steel products subjects a machined or full-section specimen of the material under examination to a measured load sufficient to cause rupture. The resulting properties sought are defined in Terminology E6.

6.2 In general, the testing equipment and methods are given in Test Methods E8/E8M. However, there are certain exceptions to Test Methods E8/E8M practices in the testing of steel, and these are covered in these test methods.

7. Terminology

7.1 For definitions of terms pertaining to tension testing, including tensile strength, yield point, yield strength, elongation, and reduction of area, reference should be made to Terminology E6.

8. Testing Apparatus and Operations

8.1 *Loading Systems*—There are two general types of loading systems, mechanical (screw power) and hydraulic. These

differ chiefly in the variability of the rate of load application. The older screw power machines are limited to a small number of fixed free running crosshead speeds. Some modern screw power machines, and all hydraulic machines permit stepless variation throughout the range of speeds.

8.2 The tension testing machine shall be maintained in good operating condition, used only in the proper loading range, and calibrated periodically in accordance with the latest revision of Practices E4.

NOTE 2—Many machines are equipped with stress-strain recorders for autographic plotting of stress-strain curves. It should be noted that some recorders have a load measuring component entirely separate from the load indicator of the testing machine. Such recorders are calibrated separately.

8.3 *Loading*—It is the function of the gripping or holding device of the testing machine to transmit the load from the heads of the machine to the specimen under test. The essential requirement is that the load shall be transmitted axially. This implies that the centers of the action of the grips shall be in alignment, insofar as practicable, with the axis of the specimen at the beginning and during the test and that bending or twisting be held to a minimum. For specimens with a reduced section, gripping of the specimen shall be restricted to the grip section. In the case of certain sections tested in full size, nonaxial loading is unavoidable and in such cases shall be permissible.

8.4 *Speed of Testing*—The speed of testing shall not be greater than that at which load and strain readings can be made accurately. In production testing, speed of testing is commonly expressed: (1) in terms of free running crosshead speed (rate of movement of the crosshead of the testing machine when not under load), (2) in terms of rate of separation of the two heads of the testing machine under load, (3) in terms of rate of stressing the specimen, or (4) in terms of rate of straining the specimen. The following limitations on the speed of testing are recommended as adequate for most steel products:

NOTE 3—Tension tests using closed-loop machines (with feedback control of rate) should not be performed using load control, as this mode of testing will result in acceleration of the crosshead upon yielding and elevation of the measured yield strength.

8.4.1 Any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield point or yield strength. When this point is reached, the free-running rate of separation of the crossheads shall be adjusted so as not to exceed 1/16 in. per min per inch of reduced section, or the distance between the grips for test specimens not having reduced sections. This speed shall be maintained through the yield point or yield strength. In determining the tensile strength, the free-running rate of separation of the heads shall not exceed 1/2 in. per min per inch of reduced section, or the distance between the grips for test specimens not having reduced sections. In any event, the minimum speed of testing shall not be less than 1/10 the specified maximum rates for determining yield point or yield strength and tensile strength.

8.4.2 It shall be permissible to set the speed of the testing machine by adjusting the free running crosshead speed to the above specified values, inasmuch as the rate of separation of

specimens are obtained from extra metal on the periphery or end of the forging. For some forgings, such as rotors, radial tension tests are required. In such cases the specimens are cut or trepanned from specified locations.

9.2 *Size and Tolerances*—Test specimens shall be (1) the full cross section of material, or (2) machined to the form and dimensions shown in Figs. 3-6. The selection of size and type of specimen is prescribed by the applicable product specification. Full cross section specimens shall be tested in 8-in. (200-mm) gauge length unless otherwise specified in the product specification.

9.3 *Procurement of Test Specimens*—Specimens shall be extracted by any convenient method taking care to remove all distorted, cold-worked, or heat-affected areas from the edges of the section used in evaluating the material. Specimens usually have a reduced cross section at mid-length to ensure uniform distribution of the stress over the cross section and localize the zone of fracture.

9.4 *Aging of Test Specimens*—Unless otherwise specified, it shall be permissible to age tension test specimens. The time-temperature cycle employed must be such that the effects of previous processing will not be materially changed. It may be accomplished by aging at room temperature 24 to 48 h, or in shorter time at moderately elevated temperatures by boiling in water, heating in oil or in an oven.

9.5 *Measurement of Dimensions of Test Specimens:*

9.5.1 *Standard Rectangular Tension Test Specimens*—These forms of specimens are shown in Fig. 3. To determine the cross-sectional area, the center width dimension shall be measured to the nearest 0.005 in. (0.13 mm) for the 8-in. (200-mm) gauge length specimen and 0.001 in. (0.025 mm) for the 2-in. (50-mm) gauge length specimen in Fig. 3. The center thickness dimension shall be measured to the nearest 0.001 in. for both specimens.

9.5.2 *Standard Round Tension Test Specimens*—These forms of specimens are shown in Fig. 4 and Fig. 5. To determine the cross-sectional area, the diameter shall be measured at the center of the gauge length to the nearest 0.001 in. (0.025 mm) (see Table 1).

9.6 *General*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

9.6.1 It is desirable to have the cross-sectional area of the specimen smallest at the center of the gauge length to ensure fracture within the gauge length. This is provided for by the taper in the gauge length permitted for each of the specimens described in the following sections.

9.6.2 For brittle materials it is desirable to have fillets of large radius at the ends of the gauge length.

10. Plate-Type Specimens

10.1 The standard plate-type test specimens are shown in Fig. 3. Such specimens are used for testing metallic materials in the form of plate, structural and bar-size shapes, and flat material having a nominal thickness of $\frac{3}{16}$ in. (5 mm) or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used.

NOTE 4—When called for in the product specification, the 8-in. (200-mm) gauge length specimen of Fig. 3 may be used for sheet and strip material.

11. Sheet-Type Specimen

11.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 3. This specimen is used for testing metallic materials in the form of sheet, plate, flat wire, strip, band, and hoop ranging in nominal thickness from 0.005 to 1 in. (0.13 to 25 mm). When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in Section 10 (see Note 4).

12. Round Specimens

12.1 The standard 0.500-in. (12.5-mm) diameter round test specimen shown in Fig. 4 is frequently used for testing metallic materials.

12.2 Fig. 4 also shows small size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 3 cannot be prepared. Other sizes of small round specimens may be used. In any such small size specimen it is important that the gauge length for measurement of elongation be four times the diameter of the specimen (see Note 5, Fig. 4).

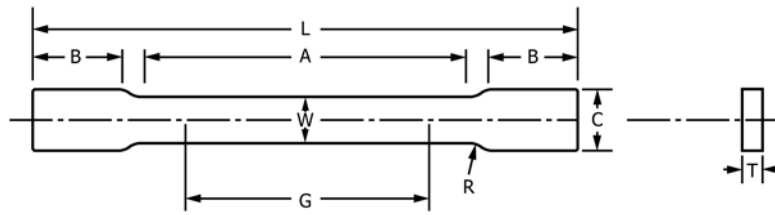
12.3 The type of specimen ends outside of the gauge length shall accommodate the shape of the product tested, and shall properly fit the holders or grips of the testing machine so that axial loads are applied with a minimum of load eccentricity and slippage. Fig. 5 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

13. Gauge Marks

13.1 The specimens shown in Figs. 3-6 shall be gauge marked with a center punch, scribe marks, multiple device, or drawn with ink. The purpose of these gauge marks is to determine the percent elongation. Punch marks shall be light, sharp, and accurately spaced. The localization of stress at the marks makes a hard specimen susceptible to starting fracture at the punch marks. The gauge marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the flat tension test specimen and within the parallel section; for the 8-in. gauge length specimen, Fig. 3, one or more sets of 8-in. gauge marks may be used, intermediate marks within the gauge length being optional. Rectangular 2-in. gauge length specimens, Fig. 3, and round specimens, Fig. 4, are gauge marked with a double-pointed center punch or scribe marks. One or more sets of gauge marks may be used; however, one set must be approximately centered in the reduced section. These same precautions shall be observed when the test specimen is full section.

14. Determination of Tensile Properties

14.1 *Yield Point*—Yield point is the first stress in a material, less than the maximum obtainable stress, at which an increase in strain occurs without an increase in stress. Yield point is intended for application only for materials that may exhibit the unique characteristic of showing an increase in strain without an increase in stress. The stress-strain diagram is characterized by a sharp knee or discontinuity. Determine yield point by one of the following methods:



DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen			
	Plate-Type, 1½-in. (40-mm) Wide							
	8-in. (200-mm) Gauge Length		2-in. (50-mm) Gauge Length		Sheet-Type, ½ in. (12.5-mm) Wide		¼-in. (6-mm) Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
<i>G</i> —Gauge length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
<i>W</i> —Width (Notes 3, 5, and 6)	1½ + ⅛ – ¼	40 + 3 – 6	1½ + ⅛ – ¼	40 + 3 – 6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
<i>T</i> —Thickness (Note 7)	Thickness of Material							
<i>R</i> —Radius of fillet, min (Note 4)	½	13	½	13	½	13	¼	6
<i>L</i> —Overall length, min (Notes 2 and 8)	18	450	8	200	8	200	4	100
<i>A</i> —Length of reduced section, min	9	225	2¼	60	2¼	60	1¼	32
<i>B</i> —Length of grip section, min (Note 9)	3	75	2	50	2	50	1¼	32
<i>C</i> —Width of grip section, approxi- mate (Notes 4, 10, and 11)	2	50	2	50	¾	20	¾	10

NOTE 1—For the 1½-in. (40-mm) wide specimens, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. For the 8-in. (200-mm) gauge length specimen, a set of nine or more punch marks 1 in. (25 mm) apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. (200 mm) apart may be used. For the 2-in. (50-mm) gauge length specimen, a set of three or more punch marks 1 in. (25 mm) apart, or one or more pairs of punch marks 2 in. (50 mm) apart may be used.

NOTE 2—For the ½-in. (12.5-mm) wide specimen, punch marks for measuring the elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of three or more punch marks 1 in. (25 mm) apart or one or more pairs of punch marks 2 in. (50 mm) apart may be used.

NOTE 3—For the four sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.004, 0.002, or 0.001 in. (0.10, 0.10, 0.05, or 0.025 mm), respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at either end shall not be more than 0.015 in., 0.015 in., 0.005 in., or 0.003 in. (0.40, 0.40, 0.10 or 0.08 mm), respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other with a tolerance of 0.05 in. (1.25 mm), and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in. (2.5 mm).

NOTE 5—For each of the four sizes of specimens, narrower widths (*W* and *C*) may be used when necessary. In such cases, the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used. If the width of the material is less than *W*, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 6—The specimen may be modified by making the sides parallel throughout the length of the specimen, the width and tolerances being the same as those specified above. When necessary, a narrower specimen may be used, in which case the width should be as great as the width of the material being tested permits. If the width is 1½ in. (38 mm) or less, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 7—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable product specification. Minimum nominal thickness of 1 to 1½-in. (40-mm) wide specimens shall be ⅜ in. (5 mm), except as permitted by the product specification. Maximum nominal thickness of ½-in. (12.5-mm) and ¼-in. (6-mm) wide specimens shall be 1 in. (25 mm) and ¼ in. (6 mm), respectively.

NOTE 8—To aid in obtaining axial loading during testing of ¼-in. (6-mm) wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit.

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½-in. (13-mm) wide specimens is over ⅜ in. (10 mm), longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For standard sheet-type specimens and subsize specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.01 and 0.005 in. (0.25 and 0.13 mm), respectively, except that for steel if the ends of the ½-in. (12.5-mm) wide specimen are symmetrical within 0.05 in. (1.0 mm), a specimen may be considered satisfactory for all but referee testing.

NOTE 11—For standard plate-type specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.25 in. (6.35 mm), except for referee testing in which case the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.10 in. (2.5 mm).

FIG. 3 Rectangular Tension Test Specimens

TABLE 1 Multiplying Factors to Be Used for Various Diameters of Round Test Specimens

Standard Specimen			Small Size Specimens Proportional to Standard					
0.500 in. Round			0.350 in. Round			0.250 in. Round		
Actual Diameter, in.	Area, in. ²	Multiplying Factor	Actual Diameter, in.	Area, in. ²	Multiplying Factor	Actual Diameter, in.	Area, in. ²	Multiplying Factor
0.490	0.1886	5.30	0.343	0.0924	10.82	0.245	0.0471	21.21
0.491	0.1893	5.28	0.344	0.0929	10.76	0.246	0.0475	21.04
0.492	0.1901	5.26	0.345	0.0935	10.70	0.247	0.0479	20.87
0.493	0.1909	5.24	0.346	0.0940	10.64	0.248	0.0483	20.70
0.494	0.1917	5.22	0.347	0.0946	10.57	0.249	0.0487	20.54
0.495	0.1924	5.20	0.348	0.0951	10.51	0.250	0.0491	20.37
0.496	0.1932	5.18	0.349	0.0957	10.45	0.251	0.0495	20.21
0.497	0.1940	5.15	0.350	0.0962	10.39	0.252	(0.05) ^A	(20.0) ^A
0.498	0.1948	5.13	0.351	0.0968	10.33	0.253	0.0499	20.05
0.499	0.1956	5.11	0.352	0.0973	10.28	0.254	(0.05) ^A	(20.0) ^A
0.500	0.1963	5.09	0.353	0.0979	10.22	0.255	0.0503	19.89
0.501	0.1971	5.07	0.354	0.0984	10.16	...	(0.05) ^A	(20.0) ^A
0.502	0.1979	5.05	0.355	0.0990	10.10	...	0.0507	19.74
0.503	0.1987	5.03	0.356	0.0995	10.05	...	0.0511	19.58
0.504	0.1995	5.01	0.357	(0.1) ^A	(10.0) ^A	...	...	...
0.505	(0.2) ^A	(5.0) ^A	...	0.1001	9.99	...	...	...
0.506	0.2003	4.99	...	(0.1) ^A	(10.0) ^A	...	...	...
0.507	(0.2) ^A	(5.0) ^A	...	...	...	...	...	...
0.508	0.2011	4.97	...	...	...	...	...	...
0.509	(0.2) ^A	(5.0) ^A	...	...	...	...	...	...
0.510	0.2019	4.95	...	...	...	...	...	...
	0.2027	4.93	...	...	...	...	...	...
	0.2035	4.91	...	...	...	...	...	...
	0.2043	4.90	...	...	...	...	...	...

^A The values in parentheses may be used for ease in calculation of stresses, in pounds per square inch, as permitted in Note 5 of Fig. 4.

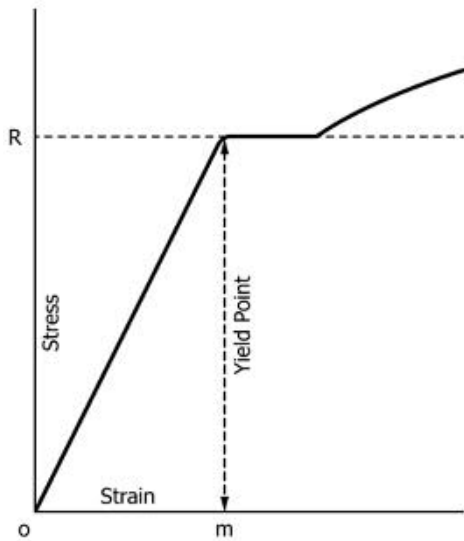


FIG. 7 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Corresponding with Top of Knee

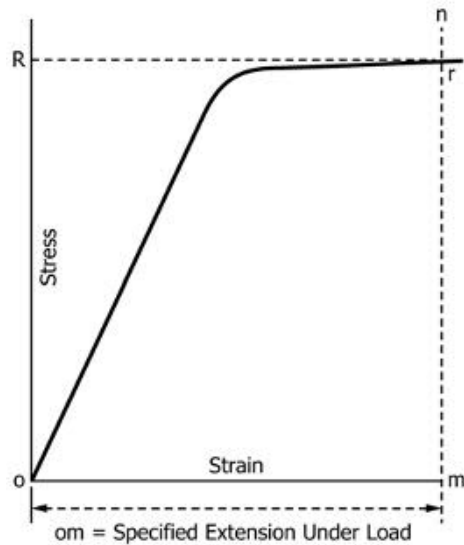


FIG. 8 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point or Yield Strength by Extension Under Load Method

not the origin of the stress-strain diagram, but rather where the straight-line portion of the stress-strain curve, intersects the strain axis that is pertinent. All offsets and extensions should be calculated from the intersection of the straight-line portion of the stress-strain curve with the strain axis, and not necessarily from the origin of the stress-strain diagram. See also Test Methods E8/E8M, Note 32.

14.2 *Yield Strength*—Yield strength is the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the pro-

portionality of stress to strain. The deviation is expressed in terms of strain, percent offset, total extension under load, and so forth. Determine yield strength by one of the following methods:

14.2.1 *Offset Method*—To determine the yield strength by the “offset method,” it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram with a distinct

modulus characteristic of the material being tested may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 9) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain curve corresponding to load R , which is the yield-strength load. In recording values of yield strength obtained by this method, the value of offset specified or used, or both, shall be stated in parentheses after the term yield strength, for example:

$$\text{Yield strength (0.2\% offset)} = 52\,000 \text{ psi (360 MPa)} \quad (1)$$

When the offset is 0.2 % or larger, the extensometer used shall qualify as a Class B2 device over a strain range of 0.05 to 1.0 %. If a smaller offset is specified, it may be necessary to specify a more accurate device (that is, a Class B1 device) or reduce the lower limit of the strain range (for example, to 0.01 %) or both. See also Note 10 for automatic devices.

NOTE 9—For stress-strain diagrams not containing a distinct modulus, such as for some cold-worked materials, it is recommended that the extension under load method be utilized. If the offset method is used for materials without a distinct modulus, a modulus value appropriate for the material being tested should be used: 30 000 000 psi (207 000 MPa) for carbon steel; 29 000 000 psi (200 000 MPa) for ferritic stainless steel; 28 000 000 psi (193 000 MPa) for austenitic stainless steel. For special alloys, the producer should be contacted to discuss appropriate modulus values.

14.2.2 *Extension Under Load Method*—For tests to determine the acceptance or rejection of material whose stress-strain characteristics are well known from previous tests of similar material in which stress-strain diagrams were plotted, the total strain corresponding to the stress at which the specified offset (see Notes 10 and 11) occurs will be known within satisfactory limits. The stress on the specimen, when this total strain is

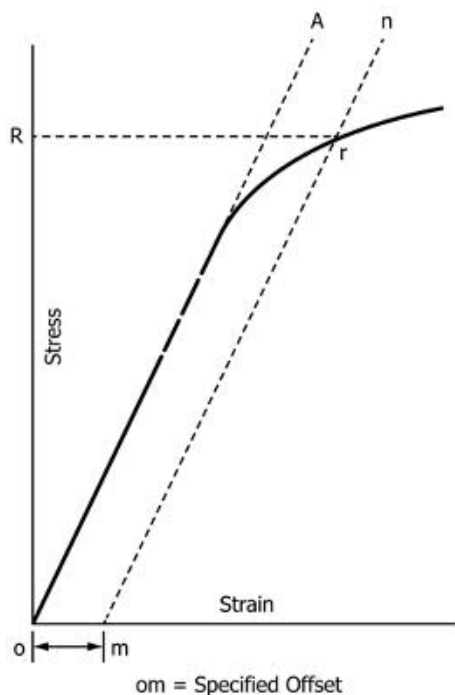


FIG. 9 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by Offset Method

reached, is the value of the yield strength. In recording values of yield strength obtained by this method, the value of “extension” specified or used, or both, shall be stated in parentheses after the term yield strength, for example:

$$\text{Yield strength (0.5\% EUL)} = 52\,000 \text{ psi (360 MPa)} \quad (2)$$

The total strain can be obtained satisfactorily by use of a Class B1 extensometer (Note 5, Note 6, and Note 8).

NOTE 10—Automatic devices are available that determine offset yield strength without plotting a stress-strain curve. Such devices may be used if their accuracy has been demonstrated.

NOTE 11—The appropriate magnitude of the extension under load will obviously vary with the strength range of the particular steel under test. In general, the value of extension under load applicable to steel at any strength level may be determined from the sum of the proportional strain and the plastic strain expected at the specified yield strength. The following equation is used:

$$\text{Extension under load, in./in. of gauge length} = (YS/E) + r \quad (3)$$

where:

- YS = specified yield strength, psi or MPa,
- E = modulus of elasticity, psi or MPa, and
- r = limiting plastic strain, in./in.

14.3 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load the specimen sustains during a tension test by the original cross-sectional area of the specimen. If the upper yield strength is the maximum stress recorded and if the stress-strain curve resembles that of Test Methods E8/E8M–15a Fig. 25, the maximum stress after discontinuous yielding shall be reported as the tensile strength unless otherwise stated by the purchaser.

14.4 Elongation:

14.4.1 Fit the ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gauge marks to the nearest 0.01 in. (0.25 mm) for gauge lengths of 2 in. and under, and to the nearest 0.5 % of the gauge length for gauge lengths over 2 in. A percentage scale reading to 0.5 % of the gauge length may be used. The elongation is the increase in length of the gauge length, expressed as a percentage of the original gauge length. In recording elongation values, give both the percentage increase and the original gauge length.

14.4.2 If any part of the fracture takes place outside of the middle half of the gauge length or in a punched or scribed mark within the reduced section, the elongation value obtained may not be representative of the material. If the elongation so measured meets the minimum requirements specified, no further testing is indicated, but if the elongation is less than the minimum requirements, discard the test and retest.

14.4.3 Automated tensile testing methods using extensometers allow for the measurement of elongation in a method described below. Elongation may be measured and reported either this way, or as in the method described above, fitting the broken ends together. Either result is valid.

14.4.4 Elongation at fracture is defined as the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many ductile materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

TABLE 5 Approximate Hardness Conversion Numbers for Austenitic Steels (Rockwell B to other Hardness Numbers)

Rockwell B Scale, 100-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Brinell Indentation Diameter, mm	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell Superficial Hardness		
				15T Scale, 15-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	30T Scale, 30-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	45T Scale, 45-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball
100	3.79	256	61.5	91.5	80.4	70.2
99	3.85	248	60.9	91.2	79.7	69.2
98	3.91	240	60.3	90.8	79.0	68.2
97	3.96	233	59.7	90.4	78.3	67.2
96	4.02	226	59.1	90.1	77.7	66.1
95	4.08	219	58.5	89.7	77.0	65.1
94	4.14	213	58.0	89.3	76.3	64.1
93	4.20	207	57.4	88.9	75.6	63.1
92	4.24	202	56.8	88.6	74.9	62.1
91	4.30	197	56.2	88.2	74.2	61.1
90	4.35	192	55.6	87.8	73.5	60.1
89	4.40	187	55.0	87.5	72.8	59.0
88	4.45	183	54.5	87.1	72.1	58.0
87	4.51	178	53.9	86.7	71.4	57.0
86	4.55	174	53.3	86.4	70.7	56.0
85	4.60	170	52.7	86.0	70.0	55.0
84	4.65	167	52.1	85.6	69.3	54.0
83	4.70	163	51.5	85.2	68.6	52.9
82	4.74	160	50.9	84.9	67.9	51.9
81	4.79	156	50.4	84.5	67.2	50.9
80	4.84	153	49.8	84.1	66.5	49.9

17.5.1 Brinell hardness values shall not be designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and which force has been employed in making the test. Brinell hardness numbers shall be followed by the symbol HBW, and be supplemented by an index indicating the test conditions in the following order:

17.5.1.1 Diameter of the ball, mm,

17.5.1.2 A value representing the applied load, kgf, and,

17.5.1.3 The applied force dwell time, s, if other than 10 to 15 s.

17.5.1.4 The only exception to the above requirement is for the HBW 10/3000 scale when a 10 to 15 s dwell time is used. Only in the case of this one Brinell hardness scale may the designation be reported simply as HBW.

17.5.1.5 *Examples:* 220 HBW = Brinell hardness of 220 determined with a ball of 10 mm diameter and with a test force of 3000 kgf applied for 10 to 15 s; 350 HBW 5/1500 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5 mm diameter and with a test force of 1500 kgf applied for 10 to 15 s.

17.6 *Detailed Procedure*—For detailed requirements of this test, reference shall be made to the latest revision of Test Method E10.

18. Rockwell Test

18.1 Description:

18.1.1 In this test a hardness value is obtained by determining the depth of penetration of a diamond point or a tungsten carbide ball into the specimen under certain arbitrarily fixed conditions. A minor load of 10 kgf is first applied which causes an initial penetration, sets the penetrator on the material and holds it in position. A major load which depends on the scale being used is applied increasing the depth of indentation. The major load is removed and, with the minor load still acting, the

Rockwell number, which is proportional to the difference in penetration between the major and minor loads is determined; this is usually done by the machine and shows on a dial, digital display, printer, or other device. This is an arbitrary number which increases with increasing hardness. The scales most frequently used are as follows:

Scale Symbol	Penetrator	Major Load, kgf	Minor Load, kgf
B	1/16-in. tungsten carbide ball	100	10
C	Diamond brale	150	10

18.1.2 Rockwell superficial hardness machines are used for the testing of very thin steel or thin surface layers. Loads of 15, 30, or 45 kgf are applied on a tungsten carbide (or a hardened steel) ball or diamond penetrator, to cover the same range of hardness values as for the heavier loads. Use of a hardened steel ball is permitted only for testing thin sheet tin mill products as found in Specifications A623 and A623M using HR15T and HR30T scales with a diamond spot anvil. (Testing of this product using a tungsten carbide indenter may give significantly different results as compared to historical test data obtained using a hardened steel ball.) The superficial hardness scales are as follows:

Scale Symbol	Penetrator	Major Load, kgf	Minor Load, kgf
15T	1/16-in. tungsten carbide or steel ball	15	3
30T	1/16-in. tungsten carbide or steel ball	30	3
45T	1/16-in. tungsten carbide ball	45	3
15N	Diamond brale	15	3
30N	Diamond brale	30	3
45N	Diamond brale	45	3

18.3 *Test Blocks*—Machines should be checked to make certain they are in good order by means of standardized Rockwell test blocks.

18.4 *Detailed Procedure*—For detailed requirements of this test, reference shall be made to the latest revision of Test Methods E18.

19. Portable Hardness Test

19.1 Although this standard generally prefers the use of fixed-location Brinell or Rockwell hardness test methods, it is not always possible to perform the hardness test using such equipment due to the part size, location, or other logistical reasons. In this event, hardness testing using portable equipment as described in Test Methods A956, A1038, and E110 shall be used with strict compliance for reporting the test results in accordance with the selected standard (see examples below). Standard Practice A833 may be used, although it might not always be suitable as a criterion for acceptance or rejection since Practice A833 does not contain a precision and bias statement.

19.1.1 *Practice A833*—The measured hardness number shall be reported in accordance with the standard methods and given the HBC designation followed by the comparative test bar hardness to indicate that it was determined by a portable comparative hardness tester, as in the following example:

19.1.1.1 *232 HBC/240* where 232 is the hardness test result using the portable comparative test method (HBC) and 240 is the Brinell hardness of the comparative test bar.

19.1.2 *Test Method A956*:

19.1.2.1 The measured hardness number shall be reported in accordance with the standard methods and appended with a Leeb impact device in parenthesis to indicate that it was determined by a portable hardness tester, as in the following example:

(1) *350 HLD* where 350 is the hardness test result using the portable Leeb hardness test method with the HLD impact device.

19.1.2.2 When hardness values converted from the Leeb number are reported, the portable instrument used shall be reported in parentheses, for example:

(1) *350 HB (HLD)* where the original hardness test was performed using the portable Leeb hardness test method with the HLD impact device and converted to the Brinell hardness value (HB)

19.1.3 *Test Method A1038*—The measured hardness number shall be reported in accordance with the standard methods and appended with UCI in parenthesis to indicate that it was determined by a portable hardness tester, as in the following example:

19.1.3.1 *446 HV (UCI) 10* where 446 is the hardness test result using the portable UCI test method under a force of 10 kgf.

19.1.4 *Test Method E110*—The measured hardness number shall be reported in accordance with the standard methods and appended with a /P to indicate that it was determined by a portable hardness tester, as follows:

19.1.4.1 *Rockwell Hardness Examples*:

(1) *40 HRC/P* where 40 is the hardness test result using the Rockwell C portable test method.

(2) *72 HRBW/P* where 72 is the hardness test result using the Rockwell B portable test method using a tungsten carbide ball indenter.

19.1.4.2 *Brinell Hardness Examples*:

(1) *220 HBW/P 10/3000* where 220 is the hardness test result using the Brinell portable test method with a ball of 10 mm diameter and with a test force of 3000 kgf (29.42 kN) applied for 10 s to 15 s.

(2) *350 HBW/P 5/750* where 350 is the hardness test result using the Brinell portable test method with a ball of 5 mm diameter and with a test force of 750 kgf (7.355 kN) applied for 10 s to 15 s.

CHARPY IMPACT TESTING

20. Summary

20.1 A Charpy V-notch impact test is a dynamic test in which a notched specimen is struck and broken by a single blow in a specially designed testing machine. The measured test values may be the energy absorbed, the percentage shear fracture, the lateral expansion opposite the notch, or a combination thereof.

20.2 Testing temperatures other than room (ambient) temperature often are specified in product or general requirement specifications (hereinafter referred to as the specification). Although the testing temperature is sometimes related to the expected service temperature, the two temperatures need not be identical.

21. Significance and Use

21.1 *Ductile vs. Brittle Behavior*—Body-centered-cubic or ferritic alloys exhibit a significant transition in behavior when impact tested over a range of temperatures. At temperatures above transition, impact specimens fracture by a ductile (usually microvoid coalescence) mechanism, absorbing relatively large amounts of energy. At lower temperatures, they fracture in a brittle (usually cleavage) manner absorbing appreciably less energy. Within the transition range, the fracture will generally be a mixture of areas of ductile fracture and brittle fracture.

21.2 The temperature range of the transition from one type of behavior to the other varies according to the material being tested. This transition behavior may be defined in various ways for specification purposes.

21.2.1 The specification may require a minimum test result for absorbed energy, fracture appearance, lateral expansion, or a combination thereof, at a specified test temperature.

21.2.2 The specification may require the determination of the transition temperature at which either the absorbed energy or fracture appearance attains a specified level when testing is performed over a range of temperatures. Alternatively the specification may require the determination of the fracture appearance transition temperature (FATT_n) as the temperature at which the required minimum percentage of shear fracture (n) is obtained.

21.3 Further information on the significance of impact testing appears in **Annex A5**.

22. Apparatus

22.1 Testing Machines:

22.1.1 A Charpy impact machine is one in which a notched specimen is broken by a single blow of a freely swinging pendulum. The pendulum is released from a fixed height. Since the height to which the pendulum is raised prior to its swing, and the mass of the pendulum are known, the energy of the blow is predetermined. A means is provided to indicate the energy absorbed in breaking the specimen.

22.1.2 The other principal feature of the machine is a fixture (see **Fig. 10**) designed to support a test specimen as a simple beam at a precise location. The fixture is arranged so that the notched face of the specimen is vertical. The pendulum strikes the other vertical face directly opposite the notch. The dimensions of the specimen supports and striking edge shall conform to **Fig. 10**.

22.1.3 Charpy machines used for testing steel generally have capacities in the 220 to 300 ft-lbf (300 to 400 J) energy range. Sometimes machines of lesser capacity are used; however, the capacity of the machine should be substantially in excess of the absorbed energy of the specimens (see Test Methods **E23**). The linear velocity at the point of impact should be in the range of 16 to 19 ft/s (4.9 to 5.8 m/s).

NOTE 15—An investigation of striker radius effect is available.⁶

22.2 Temperature Media:

22.2.1 For testing at other than room temperature, it is necessary to condition the Charpy specimens in media at controlled temperatures.

22.2.2 Low temperature media usually are chilled fluids (such as water, ice plus water, dry ice plus organic solvents, or liquid nitrogen) or chilled gases.

22.2.3 Elevated temperature media are usually heated liquids such as mineral or silicone oils. Circulating air ovens may be used.

22.3 **Handling Equipment**—Tongs, especially adapted to fit the notch in the impact specimen, normally are used for removing the specimens from the medium and placing them on the anvil (refer to Test Methods **E23**). In cases where the machine fixture does not provide for automatic centering of the test specimen, the tongs may be precision machined to provide centering.

23. Sampling and Number of Specimens

23.1 Sampling:

23.1.1 Test location and orientation should be addressed by the specifications. If not, for wrought products, the test location shall be the same as that for the tensile specimen and the orientation shall be longitudinal with the notch perpendicular to the major surface of the product being tested.

23.1.2 Number of Specimens.

23.1.2.1 All specimens used for a Charpy impact test shall be taken from a single test coupon or test location.

23.1.2.2 When the specification calls for a minimum average test result, three specimens shall be tested.

23.1.2.3 When the specification requires determination of a transition temperature, eight to twelve specimens are usually needed.

23.2 Type and Size:

23.2.1 Use a standard full size Charpy V-notch specimen as shown in **Fig. 11**, except as allowed in **23.2.2**.

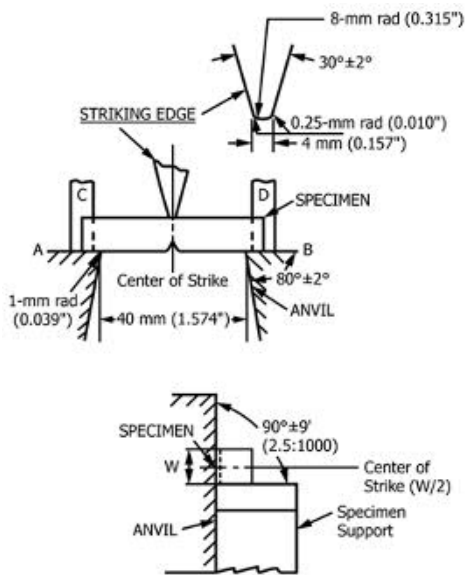
23.2.2 Subsize Specimens.

23.2.2.1 For flat material less than 7/16 in. (11 mm) thick, or when the absorbed energy is expected to exceed 80 % of full scale, use standard subsize test specimens.

23.2.2.2 For tubular materials tested in the transverse direction, where the relationship between diameter and wall thickness does not permit a standard full size specimen, use standard subsize test specimens or standard size specimens containing outer diameter (OD) curvature as follows:

(1) Standard size specimens and subsize specimens may contain the original OD surface of the tubular product as shown in **Fig. 12**. All other dimensions shall comply with the requirements of **Fig. 11**.

NOTE 16—For materials with toughness levels in excess of about 50 ft-lbs, specimens containing the original OD surface may yield values in excess of those resulting from the use of conventional Charpy specimens.



All dimensional tolerances shall be ±0.05 mm (0.002 in.) unless otherwise specified.

NOTE 1—A shall be parallel to B within 2:1000 and coplanar with B within 0.05 mm (0.002 in.).

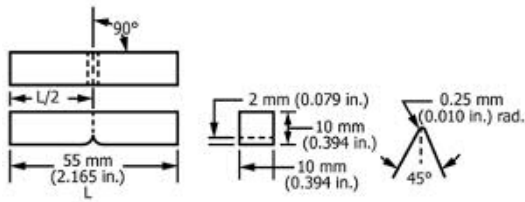
NOTE 2—C shall be parallel to D within 20:1000 and coplanar with D within 0.125 mm (0.005 in.).

NOTE 3—Finish on unmarked parts shall be 4 μm (125 μin.).

NOTE 4—Tolerance for the striker corner radius shall be -0.05 mm (.002 in.)/+0.50 mm (0.020 in.)

FIG. 10 Charpy (Simple-Beam) Impact Test

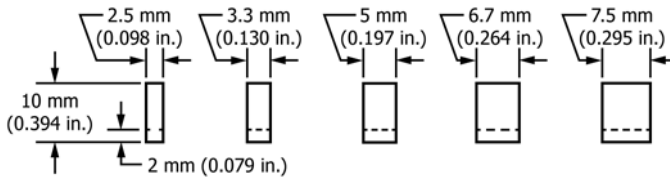
⁶ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:A01-1001.



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	±0.075 mm (±0.003 in.)
Length of specimen (L)	+ 0, - 2.5 mm (+ 0, - 0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	±1 mm (±0.039 in.)
Angle of notch	±1°
Radius of notch	±0.025 mm (±0.001 in.)
Notch depth	±0.025 mm (±0.001 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

(a) Standard Full Size Specimen



(b) Standard Subsize Specimens

NOTE 2—On subsize specimens, all dimensions and tolerances of the standard specimen remain constant with the exception of the width, which varies as shown above and for which the tolerance shall be ±1 %.

FIG. 11 Charpy (Simple Beam) Impact Test Specimens

23.2.2.3 If a standard full-size specimen cannot be prepared, the largest feasible standard subsize specimen shall be prepared. The specimens shall be machined so that the specimen does not include material nearer to the surface than 0.020 in. (0.5 mm).

23.2.2.4 Tolerances for standard subsize specimens are shown in Fig. 11. Standard subsize test specimen sizes are: 10 × 7.5 mm, 10 × 6.7 mm, 10 × 5 mm, 10 × 3.3 mm, and 10 × 2.5 mm.

23.2.2.5 Notch the narrow face of the standard subsize specimens so that the notch is perpendicular to the 10 mm wide face.

23.3 Notch Preparation—The machining (for example, milling, broaching, or grinding) of the notch is critical, as minor deviations in both notch radius and profile, or tool marks at the bottom of the notch may result in variations in test data, particularly in materials with low-impact energy absorption. (see Annex A5).

24. Calibration

24.1 Accuracy and Sensitivity—Calibrate and adjust Charpy impact machines in accordance with the requirements of Test Methods E23.

25. Conditioning—Temperature Control

25.1 When a specific test temperature is required by the specification or purchaser, control the temperature of the heating or cooling medium within ±2 °F (1 °C).

NOTE 17—For some steels there may not be a need for this restricted temperature, for example, austenitic steels.

NOTE 18—Because the temperature of a testing laboratory often varies from 60 to 90 °F (15 to 32 °C) a test conducted at “room temperature” might be conducted at any temperature in this range.

26. Procedure

26.1 Temperature:

26.1.1 Condition the specimens to be broken by holding them in the medium at test temperature for at least 5 min in liquid media and 30 min in gaseous media.

26.1.2 Prior to each test, maintain the tongs for handling test specimens at the same temperature as the specimen so as not to affect the temperature at the notch.

26.2 Positioning and Breaking Specimens:

26.2.1 Carefully center the test specimen in the anvil and release the pendulum to break the specimen.

26.2.2 If the pendulum is not released within 5 s after removing the specimen from the conditioning medium, do not break the specimen. Return the specimen to the conditioning medium for the period required in 26.1.1.

26.3 Recovering Specimens—In the event that fracture appearance or lateral expansion must be determined, recover the matched pieces of each broken specimen before breaking the next specimen.

26.4 Individual Test Values:

26.4.1 Impact energy—Record the impact energy absorbed to the nearest ft-lbf (J).

26.4.2 Fracture Appearance:

26.4.2.1 Determine the percentage of shear fracture area by any of the following methods:

(1) Measure the length and width of the brittle portion of the fracture surface, as shown in Fig. 13 and determine the percent shear area from either Table 7 or Table 8 depending on the units of measurement.

(2) Compare the appearance of the fracture of the specimen with a fracture appearance chart as shown in Fig. 14.

(3) Magnify the fracture surface and compare it to a precalibrated overlay chart or measure the percent shear fracture area by means of a planimeter.

(4) Photograph the fractured surface at a suitable magnification and measure the percent shear fracture area by means of a planimeter.

26.4.2.2 Determine the individual fracture appearance values to the nearest 5 % shear fracture and record the value.

26.4.3 Lateral Expansion:

26.4.3.1 Lateral expansion is the increase in specimen width, measured in thousandths of an inch (mils), on the compression side, opposite the notch of the fractured Charpy V-notch specimen as shown in Fig. 15.

26.4.3.2 Examine each specimen half to ascertain that the protrusions have not been damaged by contacting the anvil,

ANEXO B.8 – Extracto de la norma ASTM E111 - 04 Método de prueba estándar para el módulo de Young, el módulo tangente y el módulo cordal.

as the cooling medium, it is desirable to have forced air circulation to provide uniform cooling.

NOTE 2—At low temperatures, when using a coolant bath, immersion-type extensometers are recommended.

6.7 Temperature measuring, controlling, and recording instruments shall be calibrated periodically against a secondary standard, such as a precision potentiometer. Lead-wire error should be checked with the lead wires in place as they normally are used.

7. Test Specimens

7.1 *Selection and Preparation of Specimens*—Special care shall be taken to obtain representative specimens which are straight and uniform in cross section. If straightening of the material for the specimen is required, the resultant residual stresses shall be removed by a subsequent stress relief heat treatment which shall be reported with the test results.

7.2 *Dimensions*—The recommended specimen length (and fillet radius in the case of tension specimens) is greater than the minimum requirements for general-purpose specimens. In addition, the ratio of length to cross section of compression specimens should be such as to avoid buckling (see Test Methods E9).

NOTE 3—For examples of tension and compression specimens, see Test Methods E8 and E9.

7.3 For tension specimens, the center lines of the grip sections and of the threads of threaded-end specimens shall be concentric with the center line of the gage section within close tolerances in order to obtain the degree of alignment required. If pin-loaded sheet-type specimens are used, the centers of the gripping holes shall be not more than 0.005 times the width of the gage section from its center line. For sheet-type specimens, it may be necessary to provide small tabs or notches for attaching the extensometer.

NOTE 4—The effect of eccentric loading may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.5-mm diameter specimen, the stress increase is 1.5 % for each 0.025 mm of eccentricity. This error increases to about 2.5 % per 0.025 mm for a 9-mm diameter specimen and to about 3.2 % per 0.025 mm for a 6-mm diameter specimen.

7.4 The length of the reduced section of tension specimens shall exceed the gage length by at least twice the diameter or twice the width. The length of compression specimens shall be in accordance with Test Methods E9, and all specimens shall have a uniform cross-sectional area throughout the gage length.

NOTE 5—If a general-purpose tension specimen such as those shown in Test Methods E8, having a small amount of taper in the reduced section is used, the average cross-sectional area for the gage length should be used in computing stress.

7.5 For compression specimens, the ends shall be flat, parallel and perpendicular to the lateral surfaces as specified in Test Methods E9.

7.6 This test method is intended to produce intrinsic materials properties. Therefore, the specimen needs to be free of residual stresses, which may require an annealing procedure at $T_m/3$ for 30 min to relieve the stresses in the material (where T_m is the melting point of the material in K). The procedure

must be mentioned in the report section. If the intent of the test is to verify the performance of a product, the heat treatment procedure may be omitted. Record the condition of the material tested, including any heat treatment, in the test report.

8. Procedure

8.1 For most loading systems and test specimens, effects of backlash, specimen curvature, initial grip alignment, etc., introduce significant errors in the extensometer output when applying a small force to the test specimen. Measurements shall therefore be made from a small force or preload, known to be high enough to minimize these effects, to some higher applied force, still within either the proportional limit or elastic limit of the material. For linearly elastic materials, the slope of the straight-line portion of the stress-strain curve shall be established between the preload and the proportional limit to define Young's modulus. If the actual stress-strain curve is desired, this line can appropriately be shifted along the strain axis to coincide with the origin. For nonlinearly elastic materials the tangent or chord modulus may be established between the appropriate stress values on the stress strain curve.

8.2 *Measurement of Specimens*—Make the measurements for the determination of average cross-sectional area at the ends of the gage length and at least at one intermediate location. Use any means of measuring that is capable of producing area calculations within 1 % accuracy.

8.3 *Alignment*—Take special care to ensure as nearly axial loading as possible. The strain increments between the initial-load and the final-load measurement on opposite sides of the specimens should not differ from the average by more than 3 %.

8.4 *Soaking Time of Specimens at Testing Temperature*—After the specimen to be tested has reached the testing temperature, maintain the specimen at the testing temperature for a sufficient length of time to attain equilibrium conditions of the specimen and extensometer before applying force. Report the time to attain test temperature and the time at temperature before applying force.

NOTE 6—The recommended soak time at the test temperature is 1 hour per 25 mm (1 hour/inch) of specimen thickness or diameter.

If the temperature of the system is not uniform by the time loading of the specimen is started, variations in thermal expansion will be reflected in the modulus line. Furthermore, fluctuations in temperature of the extensometer extensions during testing which result from cycling of the furnace temperature or changes in the level of the cooling bath may also affect the slope of the modulus line.

8.5 *Speed of Testing*—The speed of testing shall be low enough that thermal effects of adiabatic expansion or contraction are negligible and that accurate determination of load and extension is possible, yet the speed shall be high enough that creep will be negligible. In loading with dead weights, avoid temporary overloading due to inertia of the weights. The strain rate should be reported.

NOTE 7—A minimum of three runs are recommended for each specimen. Care must be taken not to exceed the proportional limit in the case of Young's modulus, and the elastic limit in the case of the tangent or chord modulus. Report each of the three values or the average along with the method for getting them.

NOTE 8—It is recognized that Young’s modulus, tangent modulus, or chord modulus for a given specimen may be determined along with yield strength and tensile strength using a single loading cycle. If modulus values are determined this way, report that only one loading cycle was used. Three cycles within the elastic region as recommended in Note 7, can be used to determine the modulus, before straining the specimen into the plastic range to determine yield and tensile strengths.

8.6 *Temperature Control*—The average temperature over the specimen gage length shall not deviate from the indicated nominal test temperature by more than $\pm 2^\circ\text{C}$. In elevated-temperature tests, indicated temperature variations along the gage length of the specimen shall not exceed the following limits: up to and including $900 \pm 1.5^\circ\text{C}$, above $900 \pm 3.0^\circ\text{C}$. (See 6.5.) The test must be performed with the same setup and under similar conditions as those of the instrumented test described in 6.5.

NOTE 9—The terms “indicated nominal temperature” or “indicated temperature” mean the temperature that is indicated by the temperature-measuring device using good pyrometric practice.⁵

NOTE 10—It is recognized that actual temperatures may vary more than the indicated temperatures. The use of “indicated temperatures” for the limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

8.7 In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen shall be maintained at temperatures within 1.5°C of the specified temperature. Bath temperatures or the temperature of circulating air from a refrigeration system may be done with a copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see Note 6) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in 8.6.

8.7.1 **Caution**—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

8.8 *Temperature Measurement*—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 8.6 and 8.7. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods E21.

9. Interpretation of Data

9.1 If a plot of load-versus-extension (force versus elongation) is obtained by means of an autographic recorder, the value

for Young’s modulus is obtained by determining the slope of the line for forces less than the force corresponding to the proportional limit. Choice of the lower force point depends on the limitations set forth in 8.1. Young’s modulus is calculated from the force increment and corresponding extension increment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o} \right) / \left(\frac{\Delta_c}{L_o} \right) \quad (1)$$

where:

- Δ_p = force increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- Δ_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

The precision of the value obtained for Young’s modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young’s modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections shall be made for changes in cross-sectional area and gage length by substituting the instantaneous cross section and instantaneous gage length for the original values.

9.2 If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points are reduced by determining Young’s modulus as the slope of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young’s modulus fitted by the method of least squares (all data pairs having equal weight) is:

$$\text{Young’s modulus, } E = \left(\sum(XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) / \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right) \quad (2)$$

where:

- Y = applied axial stress, and
- X = corresponding strain.

In terms of the measured load P_i and measured original cross-sectional area A_o and gage length L_o ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

K = number of X, Y data pairs and \sum = sum from 1 to K .

The coefficient of determination, r^2 , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

⁵ For further information on temperature control and measurement, see Panel Discussion on Pyrometric Practices, ASTM STP 178, 1955.

$$r^2 = \left(\left[\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{K} \right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{K} \right] \right) \quad (3)$$

Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see Table 1).

TABLE 1 Fitting of Straight Lines Coefficient of Variation of Slope (Percent) (V_1)

Data Pairs (K)	Sample Correlation Coefficients (r)				
	0.90000	0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	±48.4	±14.2	±4.47	±1.41	±0.447
5	27.9	8.22	2.58	0.816	0.258
10	17.1	5.03	1.58	0.500	0.158
20	11.4	3.35	1.05	0.333	0.105
30	9.1	2.69	0.84	0.267	0.084
50	6.9	2.05	0.64	0.204	0.064
100	4.8	1.44	0.45	0.142	0.045

NOTE 11—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and their coefficient of determination. Details of the procedure may be found in standard textbooks on statistics or numerical analysis.^{6, 7, 8, 9}

Calculate the coefficient of variation of the slope as follows (see Table 1 for representative values):

$$V_1 = 100 \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1} / (K - 2) \quad (4)$$

where:

V_1 = coefficient of variation, %

NOTE 12—Under normal circumstances the coefficient of variation should not be larger than 2 %; however with care, values less than 0.5 % have been found to be achievable in aluminum alloys.

9.3 In determining the stress range to be used in these calculations it is often helpful to examine the data by the strain deviation method.^{10,11,12} For this test method, random variations in the data are considered as variations in strain, a trial modulus is chosen so that the deviations will be small, and the strain deviations are calculated as follows: Strain deviation = strain – (stress/trial modulus). These deviations are plotted to a large scale as abscissas with the stresses or loads as ordinates (Fig. 2). The stress range for which data are used to obtain Young’s modulus is determined by analyzing the random

⁶ Youden, W. J., *Statistical Methods for Chemists*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1951, Ch. S, pp. 40–49.

⁷ Fröberg, C. E., *Introduction to Numerical Analysis*, Second Edition, Addison Wesley Publishing Co., Reading, MA, 1969, p. 335.

⁸ *Experimental Statistics*, NBS Handbook No. 91. May be obtained from Superintendent of Natrella, M.G., Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

⁹ Bowker, A. H., and Lieberman, G. J., *Engineering Statistics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1959, pp. 331–333.

¹⁰ Smith, C. S., “Proportional Limit Tests on Copper Alloys,” *Proceedings, ASTM*, Vol 40, 1974, p. 864.

¹¹ McVetty, P. G., and Mochel, N. L., “The Tensile Properties of Stainless Iron and Other Alloys at Elevated Temperatures,” *Transactions, Am. Soc. Steel Treating*, Vol 11, 1927, pp. 78–92.

¹² Discussion by L. B. Tuckerman of paper by Templin, R. L., “The Determination and Significance of the Proportional Limit in the Testing of Metals,” *Proceedings, ASTM*, Vol 29, Part II, 1929, p. 538.

variations in strain deviation, typically from the least count of the extensometer (extensometer least count). This method is illustrated graphically in Fig. 2.

9.4 Young’s modulus may also be determined by means of the deviation graph by fitting graphically a straight line to the appropriate points. From this line the deviation increment corresponding to a given stress increment can be read and substituted in the following equation:

$$\text{Young’s modulus} = A / [(A/B) + C] \quad (5)$$

where:

A = stress increment,

B = trial modulus, and

C = deviation increment.

It is suggested that the strain corresponding to the spacing of the parallel lines be reported as measure of the variability of the data.

9.5 In the case of nonlinear elastic materials, the stress-strain curve may be obtained by fitting the load-versus-extension or load-versus-strain data pairs to a polynomial approximation⁷ and the chord modulus obtained in calculating the slope between two specified sets of data pairs below the elastic limit on the fitting curve. The choice of the lower of the two sets of data pairs depends on the limitations set forth in 8.1.

9.6 To establish confidence intervals for the regression line the following equation may be used:

$$\pm I = tV_1 \quad (6)$$

where:

I = percent of slope confidence interval,

V_1 = coefficient of variation, expressed in percent (see 9.2), and

t = t – statistic from standard tables at K – 2 degrees of freedom and confidence level selected.

Table 2 gives an example of representative values calculated using a 95 % confidence interval.

10. Report

10.1 Report the following information:

10.1.1 *Specimen Material*—Specimen material, alloy, heat treatment, mill batch number, grain direction, and other relevant material information.

10.1.2 *Specimen Configuration*—Sketch of the specimen configuration or reference to the specimen drawing.

10.1.3 *Specimen Dimensions*—Actual measured dimensions for the specimen.

TABLE 2 Fitting of Straight Lines for 95 % Confidence Interval Percentage Values of Slope Confidence Interval (I)

Data Pairs (K)	t-Statistic	Sample Correlation Coefficients (r)			
		0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	12.71	±180	±56.8	±17.9	±5.7
5	3.182	26.2	8.2	2.6	0.8
10	2.306	11.6	3.6	1.2	0.4
20	2.101	7.0	2.2	0.7	0.2
30	2.048	5.5	1.7	0.5	0.17
50	2.011	4.1	1.29	0.41	0.129
100	1.984	2.8	0.89	0.28	0.089

ANEXO B.9 – Extracto de la Norma ASTM E3-11 Práctica estándar para la preparación de muestras metalográficas.



Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A90/A90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings²
- E7 Terminology Relating to Metallography
- E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation. Current edition approved May 1, 2011. Published June 2011. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2007 as E3–01(2007)^{ε1}. DOI: 10.1520/E0003-11.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- E768 Guide for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel
- E1077 Test Methods for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens
- E1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis (Withdrawn 2006)³
- E1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis
- E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
- E1558 Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens
- E1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E7.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 μ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

4. Significance and Use

4.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

4.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

5. Selection of Metallographic Specimens

5.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

5.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens should be chosen from locations most likely to reveal the maximum variations within the material under study. For example, specimens could be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation could be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens could be taken from each end of the coils.

5.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. In many cases, specimens should be taken from a sound area for a comparison of structures and properties.

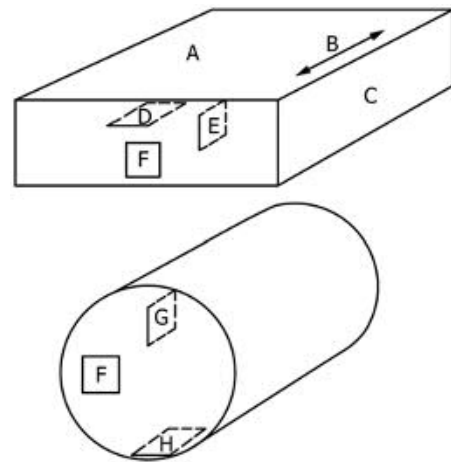
5.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

5.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Planar section
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

5.3 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

5.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method [E1077](#)),

5.3.4 Depth of surface imperfections,

5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and

5.3.7 Structure of protective coating. See Guide [E1920](#).

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices [E45](#), [E768](#), [E1122](#), and [E1245](#)),

5.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,

5.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice [E1268](#)), and

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in [Fig. 1](#).

6. Size of Metallographic Specimens

6.1 For convenience, specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med.
up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	med.
up to 600	medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	hard
up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	medium
up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic
R—rubber
R&R—resin and rubber
M—metal

mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).

7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. **Table 1** lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see **Appendix X1**) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO₃, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H₂SO₄) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO₃ method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method **A90/A90M**.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (poethylene polyamine) or SbCl₃ are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in **Appendix X1**.

9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used.

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy ^A	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic ^A (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

^A These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.

Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist

of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

9.5 Mounting Porous Specimen:

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes.

9.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

9.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for porous metallographic mounts. It is imperative that the specimens be completely dry prior to impregnation.

9.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

10. Plating of Specimens

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good

TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90- 120 C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time ½-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

10.3 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

10.3.2 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

11. Grinding and Polishing

General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 *Grinding*—Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. **Table 4** provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages- planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,

11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,

11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive ($\leq 6\mu\text{m}$) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

11.3.1 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	...	...
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	...	...
P360	40.5	280	42.3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	...	...
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000 ^A	5.0	...	...

^A Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute
 CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute
 FEPA—European Federation of Abrasive Producers

11.3.2 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO₂ or Al₂O₃. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as edge rounding and relief.

11.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

11.3.4 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

Manual (Hand-held) Methods

11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45-90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in [Table 5](#).

Automated Methods

11.8 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

11.9 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

11.10 [Table 5](#) illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. [Tables 6 and 7](#) are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in [Table 6](#) has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in [Table 7](#) may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See [Guide E1558](#).

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see [9.5](#)) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of

**ANEXO B.10 – Extracto de la Norma ASTM E407-07^{E1} Práctica estándar para
Microataque de metales y aleaciones.**

TABLE 1 *Continued*

Metal	Etchants	Uses
<i>Erbium Base:</i>	55, 56	general structure
<i>Gadolinium Base:</i>	55, 56, 57	general structure
<i>Germanium Base:</i>	58, 59, 60	general structure
<i>Gold Base:</i>		
Pure Au	61, 62	general structure
	63	chemical polish and etch
Au alloys	64b, 62	general structure
	63	chemical polish and etch
>90 % noble metals	61	general structure
<90 % noble metals	65	general structure
<i>Hafnium base:</i>	66, 67, 68, 69, 70	general structure
	71	grain structure under polarized light
	72	chemical polish and etch
<i>Holmium Base:</i>	55, 56	general structure
<i>Iridium Base:</i>	73c	general structure
<i>Iron Base:</i>		
Pure Fe	74a	grain boundaries
	75	substructure
	210	colors ferrite grains
Fe + C	76, 74a, 77, 78, 79	general structure
and	74a, 77, 31a, 223	ferrite grain boundaries
Fe + <1C + <4 % additions	80, 81, 82	prior austenitic grain boundaries in martensitic and bainitic steels
	78, 222a	untempered martensite
	31b, 78	carbides and phosphides (matrix darkened, carbides and phosphides remain bright)
	83	cementite attacked rapidly, susenite less, ferrite and iron phosphide least
	84	overheating and burning
	85	stains carbides
	86	chemical polish-etch
	210, 211	colors ferrite
	213, 214	colors carbides
	216	colors lath martensite in low-carbon high-alloy grades
	222b	for dual phase steels; reveals pearlite, darkens martensite and outlines austenite
Fe + 4–12 Cr	80, 87, 88, 89, 90, 91, 79, 210	general structure
	86	chemical polish-etch
Fe + 12–30 Cr + <6 Ni (400 Series)	80, 87, 88, 89, 34, 40, 92, 93, 94, 95, 91, 226	general structure
	96, 97, 98	signs phase
	31c	carbides
	86	chemical polish-etch
	219	grain boundary etch
	220	darkens delta ferrite
Fe + 12–20 Cr + 4–10 Ni + <7 % other elements (controlled transformation, precipitation hardening, stainless maraging alloys)	80, 31c, 89, 99, 100, 91	general structure
	31c	carbides
	86	chemical polish-etch
	220	darkens delta ferrite
Fe + 15–30 Cr + 6–40 Ni + <5 % other elements (300 Series)	13b, 89, 87, 88, 83a, 80, 94, 95, 91, 101, 212, 221, 226	general structure
	13a, 102, 31c, 48c, 213	carbides and sensitization
and	48, 96, 97, 98	stains sigma phase
Fe + 16–25 Cr + 3–6 Ni + 5–10 Mn (200 series)	103, 104, 98	delineates sigma phase and welds of dissimilar metals
	103, 104	chemical polish-etch
	86	chemical polish-etch
	219	grain boundary etch (no twins)
	220	darkens delta ferrite
High temperature	89, 25, 105, 106, 97, 212, 221	general structure
	107, 108, 213	γ' precipitate
	86	chemical polish-etch
Nonstainless maraging steels	109, 89, 99, 100, 221	general structure
	83b	grain boundaries
	86	chemical polish-etch

TABLE 2 *Continued*

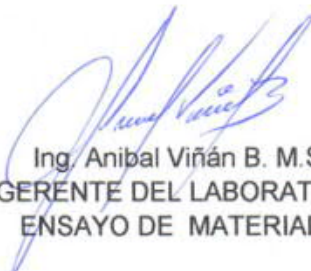
Etchant	Composition	Procedure
72	10 mL HF 45 mL HNO ₃ 45 mL water	Swab for 5–20 s.
73	20 mL HCl 25 g NaCl 65 mL water	Electrolytic etch—use carbon cathode and platinum wire connection to specimen. (a) 6 V ac for 1 min. (b) 5 V–20 V ac for 1–2 min. (c) 20 V ac for 1–2 min. For etch-polishing, use shorter times. After etching, water rinse, alcohol rinse, and dry.
74	1–5 mL HNO ₃ 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Etching rate is increased, sensitivity decreased with increased percentage of HNO ₃ . (a) Immerse few seconds to a minute. (b) Immerse 5–40 s in 5 % HNO ₃ solution. To remove stain, immerse 25 s in 10 % HCl-methanol solution. (c) For Inconels and Nimonics, use 5 mL HNO ₃ solution—electrolytic at 5–10 V for 5–20 s. (d) Swab or immerse several minutes. (e) Swab 5–60 s. HNO ₃ may be increased to 30 mL in methanol only depending on alloy. (Ethanol is unstable with over 5 % HNO ₃ .) Do not store.
75	5 g picric acid 8 g CuCl ₂ 20 mL HCl 200 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Immerse 1–2 s at a time and immediately rinse with methanol. Repeat as often as necessary. (Long immersion times will result in copper deposition on surface.)
76	4 g picric acid 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Composition given will saturate with picric acid. Immerse few seconds to a minute or more. Adding a wetting agent such as zepherin chloride will increase response.
77	10 g picric acid 5 drops HCl 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Composition given will saturate the solution with picric acid. Immerse few seconds to a minute or more.
78	10 g potassium metabisulfite 100 mL water	Immerse 1–15 s. Better results are sometimes obtained by first etching lightly with No. 76 or 74.
79	40 mL HCl 5 g CuCl ₂ 30 mL water 25 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Swab few seconds to a minute.
80	5 mL HCl 1 g picric acid 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %)	Immerse or swab few seconds to 15 min. Reaction may be accelerated by adding a few drops of 3 % H ₂ O ₂ . Optional (for prior austenite grain boundaries)—temper specimen at 600–900°F prior to preparation.
81	2 g picric acid 1 g sodium tridecylbenzene sulfonate. 100 mL water	Composition given will saturate the solution with picric acid. (a) Immerse few seconds to a minute. (b) Immerse to 15 min with occasional swabbing for heavy grain boundary attack.
82	5 g FeCl ₃ 5 drops HCl 100 mL water	Immerse 5–10 s.
83	10 g CrO ₃ 100 mL water	Use a certified and tested hood—(a) Electrolytic at 6 V for 5–60 s. Attacks carbides. (b) Electrolytic at 6 V for 3–5 s.
84	10 mL H ₂ SO ₄ 10 mL HNO ₃ 80 mL water	Use a certified and tested hood. Precaution—Add H ₂ SO ₄ slowly to water and cool, then add HNO ₃ . Immerse 30 s. Swab in running water. Repeat three times and repolish lightly.
85	2 g picric acid 25 g NaOH 100 mL water	Use a certified and tested hood. Immerse in boiling solution for 5 min. Precaution—Do not boil dry—anhydrous picric acid is unstable and highly explosive. Alternative: Electrolytic at 6 V for 40 s (room temperature). Use stainless steel cathode.
86	3 g oxalic acid 4 mL H ₂ O ₂ (30 %) 100 mL water	Use a certified and tested hood. Solution should be freshly prepared. Immerse 15–25 min when specimens or parts cannot be given usual metallographic polish. Multiple etching may be required.
87	10 mL HNO ₃ 20–50 mL HCl 30 mL glycerol	Use a certified and tested hood—Can give off nitrogen dioxide gas. Precaution—Mix HCl and glycerol thoroughly before adding HNO ₃ . Do not store. Properly discard before solution attains a dark orange color. Immerse or swab few seconds to few minutes. Higher percentage of HCl minimizes pitting. A hot water rinse just prior to etching may be used to activate the reaction. Sometimes a few passes on the final polishing wheel is also necessary to remove a passive surface.
88	10 mL HNO ₃ 20 mL HCl 30 mL water	Use a certified and tested hood—Can give off nitrogen dioxide gas. Precaution—Properly discard before solution attains a dark orange color. Immerse few seconds to a minute. Much stronger reaction than No. 87.

ANEXO C.1 – Informes de Laboratorio de los ensayos de Tracción.

INFORME DE RESULTADOS								
ENSAYO DE TRACCIÓN					Denominación: RG-18-02			
N° 1								
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz							
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS							
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM							
MATERIAL:	PROBETA SOLDADA SECCIÓN RECTANGULAR							
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8							
FECHA DE ENSAYO:	10-dic-16							
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B								
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD								
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016-051				CÓD IDENT: M1			
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-0.1	P-0.2	P-0.3	P-0.4	P-1.1	P-1.2	P-1.3	P-1.4
ESPESOR [mm]	18,97	19	19	18,91	18,93	18,96	19,05	19
ANCHO [mm]	12,54	12,45	12,45	12,42	12,34	12,34	12,57	12,35
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	237,88	236,55	236,55	234,86	233,60	233,97	239,46	234,65
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	387,99	196,82	192,39	199,23	188,66	187,11	204,11	193,4
CARGA DE FLUENCIA [KN]	161,26	170,46	163,88	160,72	172,18	169,56	171,54	168,44
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	677,89	720,61	692,79	684,32	737,08	724,72	716,37	717,84
CARGA MAXIMA [KN]	205,1	198,4	198	196,8	198,3	199,9	200,3	199,7
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	862,10	838,89	837,12	837,94	848,73	854,40	836,30	851,14
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	12,50	16,50	23,00	26,00	7,50	8,00	10,50	8,50
OBSERVACIONES:	Fractura: De Taza y cono							



Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

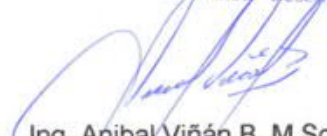
Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS								
ENSAYO DE TRACCIÓN						Denominación: RG-18-02		
N° 2								
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz							
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS							
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM							
MATERIAL:	PROBETA SOLDADA SECCIÓN RECTANGULAR							
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8							
FECHA DE ENSAYO:	17-dic-16							
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B								
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD								
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016-051					CÓD IDENT: M1		
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-2.1	P-2.2	P-2.3	P-2.4	P-5.1	P-5.2	P-5.3	P-5.4
ESPESOR [mm]	19,05	19,03	19,02	19,02	19,09	18,97	18,99	18,98
ANCHO [mm]	12,44	12,43	12,45	12,36	12,52	12,45	12,45	12,4
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	236,98	236,54	236,80	235,09	239,01	236,18	236,43	235,35
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	193,59	195,75	206,1	214,4	195,16	200,59	202,04	191,05
CARGA DE FLUENCIA [KN]	174,30	173,04	174,02	170,90	180,06	178,88	175,82	175,90
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	735,50	731,54	734,88	726,96	753,37	757,40	743,66	747,39
CARGA MAXIMA [KN]	201,3	200,9	200,6	199,4	204,3	202,6	201,5	201
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	849,52	849,15	847,05	848,03	854,87	857,92	852,11	853,87
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	23,50	21,50	22,00	20,00	20,00	21,50	22,50	22,00
OBSERVACIONES:	Fractura: De Taza y cono							



Aprobado por:

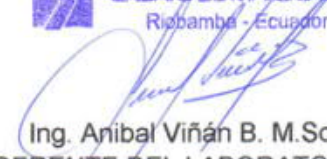

 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS								
ENSAYO DE TRACCIÓN						Denominación: RG-18-02		
N° 1								
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz							
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO							
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS							
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM							
MATERIAL:	PROBETA SOLDADA SECCIÓN RECTANGULAR							
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8							
FECHA DE ENSAYO:	06-mar-17							
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B								
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD								
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016-051					CÓD IDENT: M1		
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-3,1	P-3,2	P-3,3	P-3,4	P-6,1	P-6,2	P-6,3	P-6,4
ESPESOR [mm]	19,05	19	19,02	19,07	18,80	18,78	18,80	18,80
ANCHO [mm]	12,56	12,56	12,56	12,47	12,54	12,54	12,54	12,54
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	239,27	238,64	238,89	237,80	235,75	235,50	235,75	235,75
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	181,13	174,42	203,96	200,22	182,11	156,76	303,85	196,66
CARGA DE FLUENCIA [KN]	169,52	167,46	165,86	172,22	165,26	165,52	166,18	164,48
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	708,49	701,73	694,29	724,21	700,99	702,84	704,89	697,68
CARGA MAXIMA [KN]	201,1	198,8	199	199,2	197,70	198,40	197,80	197,02
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	840,56	833,22	832,93	837,50	838,59	842,46	839,02	835,71
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	22,00	22,00	25,00	22,50	21,50	20,50	22,00	22,00
OBSERVACIONES:	Fractura: De Taza y cono							

Aprobado por:

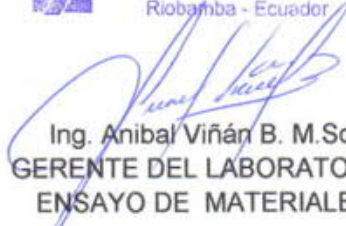


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS								
ENSAYO DE TRACCIÓN						Denominación: RG-18-02		
N° 2								
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz							
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO							
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS							
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM							
MATERIAL:	PROBETA SOLDADA SECCIÓN RECTANGULAR							
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8							
FECHA DE ENSAYO:	18-mar-17							
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B								
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD								
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016-051					CÓD IDENT: MI		
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P-4,1	P-4,2	P-4,3	P-4,4	P-7,1	P-7,2	P-7,3	P-7,4
ESPESOR [mm]	19,04	18,99	18,95	18,99	19,02	19,00	19,00	19,00
ANCHO [mm]	12,64	12,64	12,60	12,60	12,59	12,58	12,58	12,59
SECCION TRANSVERSAL [mm²]	240,67	240,03	238,77	239,27	239,46	239,02	239,02	239,21
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	205,24	170,54	233,67	184,12	164,66	212,11	150,56	170,47
CARGA DE FLUENCIA [KN]	166,30	167,16	167,90	167,48	165,20	167,24	166,94	167,98
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	691,00	696,40	703,19	699,95	689,88	699,69	698,44	702,23
CARGA MAXIMA [KN]	192,5	196,8	196,2	194,9	195,8	195,50	196,12	197,16
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	800,03	820,05	821,54	814,71	817,58	817,92	820,52	824,21
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	23,00	23,00	20,50	23,00	23,00	26,00	26,00	23,50
OBSERVACIONES:	Fractura: De Taza y cono							

Aprobado por:



 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1



Servicio
Ecuatoriano
de Normalización



LABORATORIO NACIONAL DE METROLOGÍA CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

DIVISIÓN MECÁNICA

Laboratorio de Fuerza

Número de Certificado: LNM-F-201616500064D

Adhesivo N°: 4485

Fecha de Calibración: 2016-12-14

Instrumento de Medida: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

Marca: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO.,LTD

Modelo o Tipo: WAW600B

Serie: 7136

Intervalo de Medida: 600 kN*

Código de Identificación: M1

Propietario: JORGE ANIBAL VIÑAN BARRAGÁN

Dirección: ROMA Nro.7 Y PADUA. Riobamba - Chimborazo

Observaciones: * Se calibra en compresión hasta 500 kN.

El Servicio Ecuatoriano de Normalización, realizó en el laboratorio de la empresa, la calibración del instrumento arriba descrito, utilizando Patrones de Referencia trazables a la unidad de Fuerza del Sistema Internacional de Unidades, SI, y al patrón nacional, pertenecientes al Laboratorio Nacional de Metrología.

La calibración fue realizada bajo un Sistema de Gestión de la Calidad conforme con la NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006.

Los resultados de la calibración y su incertidumbre se exponen en las páginas siguientes y son parte de este documento, además se refieren al momento y condiciones en que se realizó la calibración.

El LNM no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento calibrado.

Es responsabilidad del cliente establecer la fecha de una nueva calibración del instrumento. El tiempo de validez de los resultados contenidos en éste Certificado, depende tanto de las características del instrumento como de las prácticas de manejo y uso.

El usuario está obligado a tener el instrumento recalibrado en intervalos apropiados.

El presente certificado de calibración certifica los valores obtenidos expresados como los resultados de las calibraciones y no constituye un certificado de aptitud para el uso del patrón, instrumento o equipo.

Este documento no significa certificación de calidad y no debe ser utilizado con fines publicitarios. Prohibida su reproducción parcial, la reproducción total deberá hacerse con la autorización escrita de la Dirección Ejecutiva.

Fecha de emisión: 2017-01-16

Ing. Sebastián Vicente Laguna
Responsable del Laboratorio de Fuerza y Presión

ANEXO C.2 – Informes de Laboratorio de los ensayos de Impacto.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 1			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	03-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J		CÓD IDENT: M6
MUESTRA N°	0.1	0.2	0,3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPEJOR [mm]	10,02	10,01	10,02
ANCHO [mm]	10,02	10,06	10,01
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,99	2,00	2,00
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,8046	0,8058	0,8028
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	57,00	58,50	55,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	70,84	72,60	68,51
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES:	S.I = Superficie Irregular		

Aprobado por:




Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 2			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	03-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD: 320 J	CÓD IDENT: M6		
MUESTRA N°	1.1	1.2	1.3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	10,04	10,00	10,04
ANCHO [mm]	10,05	10,01	10,07
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,99	1,99	1,99
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,8090	0,8018	0,8106
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	20,00	18,00	21,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	24,72	22,45	25,91
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES: S.I = Superficie Irregular			

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 3			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	03-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J	CÓD IDENT: M6	
MUESTRA N°	2.1	2.2	2.3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	9,98	9,97	9,93
ANCHO [mm]	10,07	10,07	9,94
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	2,00	2,00	1,99
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,8036	0,8026	0,7892
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	36,00	30,00	32,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	44,80	37,38	40,55
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES:	S.I = Superficie Irregular		

Aprobado por:



LenMav
 LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES
 Riobamba - Ecuador
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 5			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	13-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J		CÓD IDENT: M6
MUESTRA N°	3.1	3.2	3.3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	9,96	9,96	9,96
ANCHO [mm]	10,00	10,00	10,00
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,98	1,98	1,99
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,7980	0,7980	0,7970
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	40,00	40,00	36,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	50,13	50,13	45,17
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES:	S.I = Superficie Irregular		

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 6			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	13-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J		CÓD IDENT: M6
MUESTRA N°	4.1	4.2	4,3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	9,95	9,95	9,94
ANCHO [mm]	10,00	10,00	10,00
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,98	1,98	1,98
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,7970	0,7970	0,7960
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	45,00	41,00	44,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	56,46	51,44	55,28
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES:	S.I = Superficie Irregular		

Aprobado por:



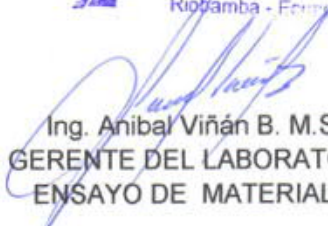
Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 4			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	03-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J		CÓD IDENT: M6
MUESTRA N°	5.1	5.2	5.3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	10,02	10,02	10,02
ANCHO [mm]	10,07	10,07	10,07
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	2,00	2,00	1,99
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,8076	0,8076	0,8086
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	33,00	30,00	35,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	40,86	37,15	43,28
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES: S.I = Superficie Irregular			



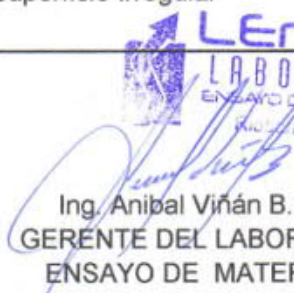

Aprobado por:


Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 7			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	13-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD:	320 J		CÓD IDENT: M6
MUESTRA N°	6.1	6.2	6,3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPESOR [mm]	9,95	9,94	9,95
ANCHO [mm]	10,01	10,00	10,00
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	1,98	1,98	1,99
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,7978	0,7960	0,7960
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	45,00	40,00	46,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	56,41	50,25	57,79
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES:	S.I = Superficie Irregular		

Aprobado por:



 LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		Denominación: RI-20-02	
N° 8			
SOLICITADO POR:	Ing. Juan José Auz		
DIRECCION:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
PROYECTO:	ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POS SOLDADURA DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO ASTM A743 GRADO CA6 - NM Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL APLICADO A LA RECUPERACIÓN DE RODETES HIDRÁULICOS		
TIPO DE MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO GRADO CA6NM		
MATERIAL:	PROBETA DE SECCIÓN CUADRADA		
NORMA UTILIZADA:	ASTM - E 23, ASTM 370		
TEMPERATURA [°C]:	21		
FECHA DE ENSAYO:	13-mar-17		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE IMPACTO "CHARPY"		
MARCA:	FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH - 2012		
CAPACIDAD: 320 J	CÓD IDENT: M6		
MUESTRA N°	7.1	7.2	7,3
CARACTERISTICA [entalle en V]	Probeta	Probeta	Probeta
LONGITUD DE LA PROBETA [mm]	55	55	55
ESPEJOR [mm]	10,00	10,01	10,03
ANCHO [mm]	10,00	9,94	10,00
PROFUNDIDAD DEL ENTALLE [mm]	2,00	2,01	2,02
SECCIÓN TRANSVERSAL (zona entalle) [cm²]	0,8000	0,7952	0,8010
LECTURA ENERGÍA ABSORBIDA [J]	44,00	46,00	44,00
RESISTENCIA AL IMPACTO [J/cm²]	55,00	57,85	54,93
APARIENCIA DE LA FRACTURA:	S.I	S.I	S.I
OBSERVACIONES: S.I = Superficie Irregular			

Aprobado por:



LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES
Riobamba - Ecuador

Anibal Viñán B.

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Panamericana Sur km. 1 ½ - PO. Box: 06 -01-4703 - Telefax: 032605910 - Ext: 171 Email: fm@esPOCH.edu.ec

FAC DE MECÁNICA

CERTIFICADO

Ingeniero Jorge Anibal Viñán Barragán PROFESOR-RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE MECÁNICA, DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CERTIFICA QUE: Los Señores: Rubio Rodríguez Iván Patricio y Yuquilema Paca Byron Lizandro, egresados de la facultad de Mecánica, desarrollaron, bajo mi dirección, la Tesis titulada; "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ELEVACIÓN Y FRENADO DEL PÉNDULO CHARPY", Habiendo concluido a cabalidad con toda la planificación establecida en el mencionado Proyecto de Tesis; entre otros se verificaron los siguientes aspectos:

- Desplazamiento independiente del brazo del péndulo mediante un motor-reductor.
- Frenado del sistema pendular mediante un sistema de zapatas
- Lectura analógica de la resistencia al impacto.
- Lectura digital y registro, mediante una tarjeta lectora de datos y la correspondiente utilización de un computador.
- Instalación de una cámara de protección transparente para evitar accidentes.
- Se validó la calibración del equipo mediante el estudio comparativo de la resistencia al impacto de 4 materiales estandarizados que se encuentran en el mercado: DF2, ASTM A36, V320, A304.

Lo que certifico como consta en los archivos correspondientes, a los que me remito en caso necesario.

Riobamba, junio 08 del 2012




Ing. Anibal Viñán B.
PROFESOR-RESPONSABLE
LAB. RESISTENCIA DE MATERIALES
FAC DE MECÁNICA
E.S.P.O.CH

ANEXO C.3 – Certificados de Calibración.

**Verification with reference to EN ISO 6508-2
Überprüfung in Anlehnung an EN ISO 6508-2**



Tester Model <i>Härteprüfer Typ</i>	N4B 000
Serial Number <i>Seriennummer</i>	6642

EMCO-TEST Prüfmaschinen GmbH
Kellau 174
5431 Kuchl, Austria
phone: 0043/6244/20438-33
telefax: 0043/6244/20438-8
www.emcotest.com
e-mail: service@emcotest.com

**Direct Verification:
Direkte Überprüfung:**

Manufacturer of measurement device <i>Hersteller d. Messmittels</i>	HUM	Indenter Type <i>Typ Eindringkörper</i>	Rockwell
Model	C2113	Indenter S/N <i>Eindringkörper-Nr.</i>	5497
S/N	35589	Date of Calibration <i>Kalibrierdatum</i>	07.11.2015
Certifications label <i>Kalibrierzeichen</i>			MPA STUTTGART

Testmethod <i>Prüfmethode</i>	load (kfg) <i>Kraft (KG)</i>	actual 1 <i>Messwert 1</i>	actual 2 <i>Messwert 2</i>	actual 3 <i>Messwert 3</i>	Results <i>Ergebnisse</i>		
					low value <i>Kleinwert</i>	high value <i>Höchstwert</i>	Deviation (%) <i>Abweichung (%)</i>
HR (preliminary test force) <i>HR (Prüfvorkraft)</i>	10,000	10,009	10,012	10,007	10,012	0,09	
HR (total test force) <i>HR (Prüfgesamtkraft)</i>	150,000	150,103	150,098	150,067	150,103	0,06	

Tolerances on Applied Force <i>Grenzabweichungen von den verwendeten Kräften</i>	
Force, kgf <i>Kraft KG</i>	Tolerance (%) <i>Toleranz (%)</i>
preliminary test force F_0 <i>Prüfvorkraft F_0</i>	\pm 2,0
total test force F <i>Prüfgesamtkraft F</i>	\pm 1,0

Indirect Verification:
Indirekte Überprüfung:

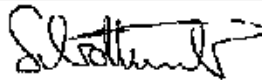
Test Block S/N Prüfplatten-Nr.	Test Block Value Härtewert	Testmethod Prüfmethode	Indenter Type Typ Eindringkörper	Indenter S/N Eindringkörper-Nr.
S956702.0115	54,41	HRC	Rockwell	5497

	1	2	3	4	5
Measurements Messwerte	54,40	54,70	54,50	54,30	54,70

Min.	Max.	Mean Mittelwert	Error Fehler		Repeatability Wiederholgenauigkeit	
			Error E (HR units) Fehler (HR Einheit)	Max Error E Maximalfehler E	R (HR units) R (HR Einheit)	R less than R kleiner als
54,3	54,7	54,52	0,1	from chart siehe Tabelle	0,4	from chart siehe Tabelle

Range of Standardized Test Blocks Härtebereich der zertifizierten Härtevergleichsplatte		Permissible error Rockwell units Einzabwahrung in HR-Einheiten	Permissible repeatability of the testing machine ^a Zul. Wiederholpräz. der Prüfmaschine ^a
A	20 to ≤ 75 > 75 to ≤ 95	+/- 2 1/ 1,5	≤ 0,02 (100 - H) or oder 0,8 Rockwell unit ^b Einheiten ^b
B	10 to ≤ 45 > 45 to ≤ 80 > 80 to ≤ 100	+/- 4 +/- 3 +/- 2	< 0,04 (130 - H)
C	10 to ≤ 70	+/- 1,5	≤ 0,02 (100 - H) or oder 0,8 Rockwell unit ^b Einheiten ^b
D	40 to ≤ 70 HRD > 70 to ≤ 77 HRD	+/- 2 +/- 1,5	≤ 0,02 (100 - H) or oder 0,8 Rockwell unit ^b Einheiten ^b
E	70 to ≤ 90 HRE > 90 to ≤ 100 HRE	1/ 2,5 1/ 2	≤ 0,04 (130 - H)
F	60 to ≤ 90 HRF > 90 to ≤ 100 HRF	+/- 3 +/- 2	≤ 0,04 (130 - H)
G	30 to ≤ 50 HRG > 50 to ≤ 75 HRG > 75 to ≤ 94 HRG	+/- 6 1/ 4,5 1/ 3	≤ 0,04 (130 - H)
H	80 to ≤ 100 HRH	1/ 2	≤ 0,04 (130 - H)
K	40 to ≤ 60 HRK > 60 to ≤ 80 HRK > 80 to ≤ 100 HRK	1/ 4 1/ 3 +/- 2	≤ 0,04 (130 - H)
N		+/- 2	≤ 0,04 (100 - H) or oder 1,2 Rockwell unit ^b Einheiten ^b
T		+/- 3	< 0,05 (100 - H) or oder 2,4 Rockwell unit ^b Einheiten ^b

^a where H is the mean hardness value. H ist der mittlere Härtewert.
^b whichever is greater. Der größere der beiden Werte muss genommen werden.

Performed By Erstellt von	Weldker H.P.
Date of Verification Überprüfungsdatum	16.12.2015
Signature (Head of Quality Management) Unterschrift (Leitung Qualitätsmanagement)	

Verification was administered under the shown conditions. Alteration of the instrument may affect the measurements and is the responsibility of the user.

The information above is believed to be accurate. However, we make no warranty expressed or implied with respect to such information and we assume no liability resulting from its use. Users should make their own investigations to determine the suitability of the information for their particular purposes. In no way shall EMCO-TEST be liable for any claims, losses or damages of any third party or for lost profits or any special, indirect, incidental, consequential or exemplary damages, however arising, even if EMCO-TEST has been advised of the possibility of such damages.

Diese Überprüfung wurde mit den angeführten Messmitteln und der angeführten Ausstattung durchgeführt. Eine Veränderung des Härteprüfers kann die Messergebnisse beeinflussen und liegt in der Verantwortung des Bedieners.

Die oben angeführten Informationen wurden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Angaben sind aber ausdrücklich ohne Gewähr. Eine Haftung für die Richtigkeit dieser Angaben wird ausgeschlossen. Es ist der Einschätzung des Bedieners überlassen, wie weit diese Daten für die angestrebten Zwecke geeignet sind. EMCO-TEST schließt in jedem Fall ausdrücklich Schadenersatz an dritten Parteien sowie Schadenersatz für Folgeschäden aus Produktionsstillstand, entgangenem Gewinn, Nutzungsausfall, Vertragsinhalten oder jeden anderen wirtschaftlichen direkten oder indirekten Folgeschaden aus. Dies gilt, selbst wenn EMCO-TEST auf die Möglichkeit eines Schadens aufmerksam gemacht wurde.

akkreditiert durch die / accredited by the

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

als Kalibrierlaboratorium im / as calibration laboratory in the

Deutschen Kalibrierdienst



DAkkS

Deutsche
 Akkreditierungsstelle
 D-K-11027-01-08

Kalibrierschein
 Calibration certificate

Kalibrierzeichen
 Calibration mark

E 26136
D-K- 11027-01-08
2015 - 11

Gegenstand <i>Object</i>	Eindringstempel
Hersteller <i>Manufacturer</i>	---
Typ <i>Type</i>	Rockwell, DIN EN ISO 6508-2
Serien-Nr. <i>Serial number</i>	5497
Auftraggeber <i>Customer</i>	---
Auftragsnummer <i>Order No.</i>	9 900 601 115
Anzahl der Seiten des Kalibrierscheines <i>Number of pages of the certificate</i>	2
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration</i>	07.11.2015

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die Rückführung auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem internationalen Einheitensystem (SI).

Die DAkkS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine.

Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The DAkkS is signatory to the multilateral agreement of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung sowohl der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH als auch des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of both the Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH and the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

Datum <i>Date</i>	Leiter des Kalibrierlaboratoriums <i>Head of the calibration laboratory</i>	Bearbeiter <i>Person in charge</i>
11.11.2015	S. Gerber Dipl.-Ing. S. Gerber	 M. Itskov

Kalibrierergebnis / Result of the calibration:

Serien-Nr.: 5497
Serial number

Auftrags-Nr. (Auftraggeber): B1502252 vom 08.10.2015
Order No. (customer)

Die Kalibrierung des Rockwell-Eindringstempels erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 6508-2 zusammen mit dem zu dieser Norm empfohlenen Nationalen Anhang NA, das die Form des Eindringstempels beschreibt. Hierbei wurden die nachstehend angegebenen Werte ermittelt.

The calibration of the Rockwell indenter, was made according to DIN EN ISO 6508-2 together with the recommended national supplement NA to this standard, which describes the shape of the indenter. The values determined are given below.

Die Oberflächenbeschaffenheit und geometrische Form entsprechen den Anforderungen. Eine indirekte Prüfung auf 4 Härtevergleichsplatten wurde nicht durchgeführt.

The quality of the surface and the geometrical shape fulfills the requirements. An indirect test was not made.

	Sollwert <i>expected value</i>	Istwert <i>measured value</i>	Messunsicherheit U^{**} <i>uncertainty of measurement U</i>
Mittlerer Kegelwinkel <i>mean angle of the cone</i>	$120^\circ \pm 21'$	$120^\circ 01'$	5'
Mittlerer Kugelradius der Kugelkalotte <i>mean radius of the spherical calotte</i>	$0,200 \pm 0,010$ mm	0,196 mm	5 μ m
Winkel zwischen den Achsen <i>angle between the axes</i>	$\leq 30'$	$\leq 30'$	5'
Mittlerer Zapfendurchmesser <i>mean diameter of the cylindrical part</i>	$6,35_{H5}$ mm	6,345 mm	2 μ m
Indirekte Prüfung <i>indirect test</i>	max. Abweichung 0,8 HR <i>max. deviation</i>	---	---

^{**} Angegeben ist die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Erweiterungsfaktor $k=2$ ergibt. Sie wurde gemäß DAkkS-DKD-3 ermittelt. Der Wert der Messgröße liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % im zugeordneten Werteintervall.

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k=2$, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. The standard uncertainty of measurement has been determined in accordance with DAkkS-DKD-3.

Der Eindringstempel trägt folgendes Kalibrierzeichen:
The indenter has the following calibration mark



Datum der ersten Benutzung:
Date of the first use

Unterschrift:
Signature

**CALIBRATION CERTIFICATE
KALIBRIERZERTIFIKAT
CERTIFICAT DE CALIBRATION
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CERTIFICATO DI CALIBRATURA
СЕРТИФИКАТ КАЛБРОВКИ**

**定标证书
校正証明書**



0441

EURO PRODUCTS LIMITED



Yardley House, Yardley Street,
Stourbridge, West Midlands DY9 7AT

Tel: (01384) 895000

Fax: (01384) 897000

E-Mail: sales@europroducts.co.uk

Website: www.europroducts.co.uk

APPROVED SIGNATORY

D. Perkins T. Chandler C. Perkins

Issued By: EURO PRODUCTS CALIBRATION LABORATORY

Date of Issue: 21 December 2015

Certificate Number: 260355

Customer: Struers
Pederstrupvej 12
2750 Ballerup
Denmark

Description: HRC Rockwell Reference Hardness Block

Mean Hardness Value: 35.3 HRC

Block Serial Number: EP15182683

Date of Calibration: 21 December 2015

Date of Issue: 21 December 2015
Certificate Number: 260355
Description: Rockwell Reference Hardness Block
Block Serial Number: EP15182683
Date of Calibration: 21 December 2015

Calibration Details: The above Reference Hardness Block has been examined in the EURO PRODUCTS calibration laboratory and was found to comply with the requirements of BS EN ISO 6508-3 2005 clause 3 and ASTM E18:2014a Annex A4. The above Reference Hardness Block value was calibrated on a standardising machine complying with the requirements of BS EN ISO 6508-3 2005 clause 4 and ASTM E18:2014a Annex A2, having hardness scales traceable to the UK National Scales as defined by NIST and PTB.


Reference Indenter Identification: E104, E116, E117, E118, E119

Calibration made at: 23 ± 2°C

Humidity: < 70%

Reference Hardness Block Thickness: 14.87 mm *EN ISO 6508-3:2005 clause 3.2 - To minimise the effect of hardness changes with increasing number of indents, a minimum thickness of 12mm should be used for steel.*

Approved Signatory:



Validity: This Hardness Reference Block is only valid for the scale for which it was calibrated. It is recommended that the duration of the calibration validity should be limited to 5 years. Attention is drawn to the fact that, for Al-alloys and Cu-alloy, the calibration validity could be reduced to 2 to 3 years.

Results: The above Reference Hardness Block was found to comply with the requirements of BS EN ISO 6508-3 2005 clause 7 and ASTM E18:2014a Table A4.2 and the hardness values obtained are given below:

Mean Hardness Value: 35.3 HRC
Maximum Hardness Value: 35.4 HRC
Minimum Hardness Value: 35.3 HRC

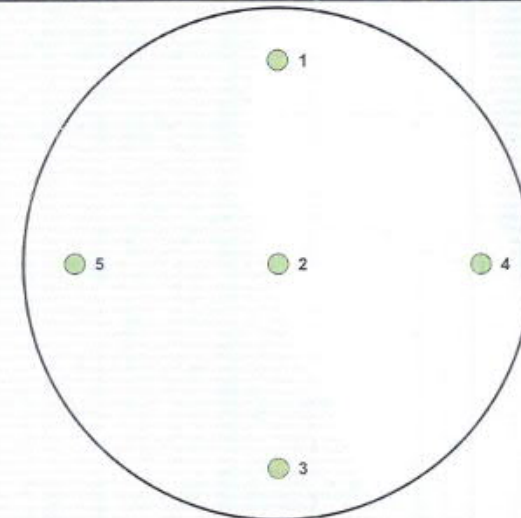
Indentation 1: 35.3 HRC
Indentation 2: 35.3 HRC
Indentation 3: 35.3 HRC
Indentation 4: 35.4 HRC
Indentation 5: 35.3 HRC

Uniformity of Hardness: 0.1 units

Time Cycle: Preliminary Force: 2.0 secs

Total Force: 4.0 secs

Elastic Recovery: 4.4 secs



NOT TO SCALE

Uncertainty of Measurement: 0.37 HRC
Thickness: ± 0.005mm
Time Cycle: ± 0.1 secs

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $K=2$, providing a level of confidence of approximately 95%. The uncertainty evaluation has been carried out in accordance with International requirements.

This certificate is issued in accordance with the laboratory accreditation requirements of the United Kingdom Accreditation Service. It provides traceability of measurement to the SI system of units and/or to units of measurement realised at the National Physical Laboratory or other recognised national metrology institutes. This certificate may not be reproduced other than in full, except with the prior written approval of the issuing laboratory.