



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESTUDIO DE LA AUSTENITA RETENIDA EN EL ACERO  
INOXIDABLE BAJO CONDICIONES EXPERIMENTALES  
DE SOLDADURA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**AUTORES:**

**CHUQUIMARCA POMAGUALLI KEVIN FERNANDO**

**GARCES MANCERO HUGO JHONNATAN**

**DIRECTOR:**

**ING. CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2020**

**© Año, Nombres y Apellidos**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Kevin Fernando Chuquimarca Pomagualli y Hugo Jhonnatan Garces Mancero, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de enero de 2020

Kevin Fernando Chuquimarca Pomagualli

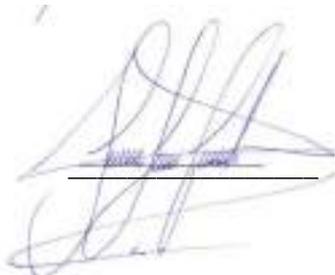
060449469-0

Hugo Jhonnatan Garces Mancero

060408449-1

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo Investigación ESTUDIO DE LA AUSTENITA RETENIDA EN EL ACERO INOXIDABLE BAJO CONDICIONES EXPERIMENTALES DE SOLDADURA Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS realizado por los señores: KEVIN FERNANDO CHUQUIMARCA POMAGUALLI y HUGO JHONNATAN GARCES MANCERO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2020-01-22
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2020-01-22
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2020-01-22

## **DEDICATORIA**

El trabajo de titulación esta dedicado a mi familia y amigos que con dedicación y esfuerzo supieron ser mi soporte y guía durante mis estudios, espero seguir contando con todos ustedes mientras dios nos lo permita, impulsándonos mutuamente en la realización de nuevos retos y objetivos que nos hagan crecer tanto como personas, así como profesionales.

Kevin Fernando Chuquimarca Pomagualli

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi familia, a mis padres por ser el pilar en mi vida por apoyarme durante toda mi vida estudiantil, a mis sobrín@s por alegrarme con sus ocurrencias, a mis amigos que conocí durante mi trayecto universitario, a usted niña que me ayudó a ser una mejor persona en este corto periodo de tiempo, por haber tenido un poco de fe en mí y brindarme su confianza y enseñarme a ser más sociable.

Hugo Jhonnatan Garces Mancero

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por bendecirme con una familia que me motivan a ser una mejor persona cada día, a mis padres Alicia y Pablo que siempre son pacientes conmigo, a mi hermano Joel que me demostró que siempre existe tiempo para todo principalmente para disfrutar los pequeños detalles en familia y por su puesto a mis amigos que durante toda mi vida estudiantil me acompañaron y apoyaron, ¡siempre fue mejor el poder estudiar junto a todos ustedes muchachos! A mi amigo Hugo Garcés que me enseñó que la sinceridad y responsabilidad son parte importante en todos los ámbitos de nuestra vida. Un agradecimiento sincero a los profesionales que conforman el CIRT, que gracias a su ayuda se pudo desarrollar con éxito este proyecto de investigación.

Kevin Fernando Chuquimarca Pomagualli

Quiero agradecer a todas las personas que estuvieron a lo largo de mi vida, a mi familia por enseñarme valores, ética, moral, a mis hermanas por aconsejarme durante toda mi vida Mayra, Flor y mi segunda madre Nelly, agradecer a mis amigos y compañeros que estuvieron ahí siempre, a Kevin por enseñarme a tener más paciencia y enseñarme el valor de la ética. Un agradecimiento muy especial a todo el personal todos quienes conforman el CIRT por facilitarnos su apoyo y ayuda en la ejecución durante todo el periodo de investigación, al Ingeniero Carlos Serrano, Isaías Caicedo y Mario Pastor por habernos guiado durante toda la ejecución de nuestro trabajo de titulación. En fin, muchas gracias a todas las personas que me acompañaron durante todo este largo trayecto.

Hugo Jhonnatan Garces Mancero

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
--------------------	---

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Formulación del problema .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Justificación.....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Alcance.....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 Objetivos.....</b>	<b>7</b>
<i>1.5.1 Objetivo General .....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>7</i>
<b>1.6 Aceros Inoxidables .....</b>	<b>8</b>
<i>1.6.1 Procesos de fabricación de los aceros inoxidables .....</i>	<i>9</i>
<i>1.6.2 Clasificación de los aceros inoxidables .....</i>	<i>9</i>
<i>1.6.2.1 Aceros inoxidables martensíticos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.6.2.2 Aceros inoxidables austeníticos .....</i>	<i>11</i>
<b>1.7 Tratamientos térmicos.....</b>	<b>15</b>
<i>1.7.1 Tipos de tratamientos térmicos .....</i>	<i>16</i>
<i>1.7.1.1 Recocido .....</i>	<i>16</i>
<i>1.7.1.2 Revenido .....</i>	<i>17</i>
<i>1.7.1.3 Normalizado .....</i>	<i>17</i>
<b>1.8 Principales fases presentes en los aceros inoxidables .....</b>	<b>18</b>
<i>1.8.1 Aceros inoxidables martensíticos.....</i>	<i>18</i>
<i>1.8.1.1 Fase martensítica.....</i>	<i>18</i>
<i>1.8.1.2 Austenita retenida AR.....</i>	<i>18</i>
<i>1.8.2 Aceros inoxidables austeníticos .....</i>	<i>18</i>
<i>1.8.2.1 Fase austenítica.....</i>	<i>18</i>
<i>1.8.2.2 Fase ferrítica .....</i>	<i>19</i>
<b>1.9 Estructuras cristalinas.....</b>	<b>19</b>
<i>1.9.1 Estructura BCT.....</i>	<i>19</i>

<b>1.9.2</b>	<b>Estructura FCC.....</b>	<b>20</b>
<b>1.10</b>	<b>Soldadura en aceros inoxidable.....</b>	<b>20</b>
<b>1.10.1</b>	<b>Metalurgia de los aceros inoxidable.....</b>	<b>20</b>
<b>1.10.2</b>	<b>Soldabilidad de los aceros inoxidable.....</b>	<b>21</b>
1.10.2.1	Soldabilidad en aceros inoxidable austeníticos.....	21
1.10.2.2	Soldabilidad en aceros inoxidable martensíticos.....	22
<b>1.10.3</b>	<b>Soldadura GTAW.....</b>	<b>23</b>
1.10.3.1	Aplicaciones más empleadas en la soldadura GTAW.....	24
<b>1.11</b>	<b>Espectrometría.....</b>	<b>25</b>
<b>1.12</b>	<b>Ensayos no destructivos.....</b>	<b>25</b>
1.12.1	Inspección visual.....	26
1.12.2	Ensayos de tintas penetrantes.....	26
<b>1.13</b>	<b>Ensayos destructivos.....</b>	<b>26</b>
1.13.1	Ensayo de dureza.....	27
1.13.1.1	Dureza vickers.....	27
1.13.2	Ensayo de impacto.....	28
<b>1.14</b>	<b>Categoría fundamental.....</b>	<b>30</b>
<b>1.15</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>30</b>
<b>1.16</b>	<b>Señalamiento de variables.....</b>	<b>30</b>
1.16.1	Variable independiente.....	30
1.16.2	Variable dependiente.....	30

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1</b>	<b>Enfoque.....</b>	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>Modalidad básica de la investigación.....</b>	<b>31</b>
2.2.1	Investigación documental.....	31
2.2.2	Investigación de campo.....	31
2.2.3	Investigación Experimental.....	32
<b>2.3</b>	<b>Niveles de la investigación.....</b>	<b>32</b>
2.3.1	Exploratorio.....	32
2.3.2	Descriptiva.....	32
<b>2.4</b>	<b>Población y muestra.....</b>	<b>33</b>
2.4.1	Población.....	33
2.4.2	Muestra.....	35
<b>2.5</b>	<b>Operacionalización de las variables.....</b>	<b>35</b>

2.5.1	<i>Variable Independiente</i> .....	35
2.5.2	<i>Variable Dependiente</i> .....	35
2.6	<b>Recolección de información</b> .....	36
2.7	<b>Procesamiento de la información</b> .....	36
2.7.1	<i>Planificación de procesamiento de datos</i> .....	36
2.7.2	<i>Análisis e interpretación de resultados</i> .....	37
2.8	<b>Plan obtención y análisis de resultados</b> .....	37
2.9	<b>Establecimiento de los parámetros de la investigación</b> .....	40
2.9.1	<i>Alabe directriz – turbina francis</i> .....	40
2.9.2	<i>Caracterización acero inoxidable austenítico AISI 304L</i> .....	42
2.10	<b>Espectrometría</b> .....	42
2.11	<b>Metalografía</b> .....	44
2.12	<b>Tratamientos térmicos</b> .....	46
2.12.1	<i>Ensayos de tintas penetrantes</i> .....	48
2.13	<b>Ensayos destructivos</b> .....	49
2.13.1	<i>Ensayo de microdureza</i> .....	49
2.13.2	<i>Ensayo de impacto</i> .....	51
2.14	<b>Cálculo del tamaño de muestra</b> .....	53

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	55
3.1	<b>Espectrometría</b> .....	55
3.1.1	<i>Espectrometría acero ASTM A743 grado CA6-NM</i> .....	55
3.1.2	<i>Espectrometría acero austenítico AISI 304L</i> .....	56
3.2	<b>Tratamientos térmicos</b> .....	57
3.3	<b>Metalografía</b> .....	91
3.4	<b>Ensayos No Destructivos</b> .....	176
3.4.1	<i>Ensayo de Tintas Penetrantes</i> .....	176
3.5	<b>Ensayos Destructivos</b> .....	180
3.5.1	<i>Microdurezas</i> .....	180
3.6	<b>Ensayos de Impacto</b> .....	203
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	226
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	228
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1- 1:</b> Ventajas que presentan los aceros inoxidables .....	8
<b>Tabla 2- 1:</b> Composición química del acero ASTM A743 CA6-NM.....	11
<b>Tabla 3- 1:</b> Propiedades Mecánicas ASTM A743 Grado CA6-NM.....	11
<b>Tabla 4- 1:</b> Composición química del acero AISI 304 .....	13
<b>Tabla 5- 1:</b> Propiedades del acero AISI 304 .....	14
<b>Tabla 6- 1:</b> Propiedades físicas del acero AISI 304L .....	14
<b>Tabla 7- 1:</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 304L.....	15
<b>Tabla 8- 1:</b> Composición química del acero AISI 304L.....	15
<b>Tabla 9- 1:</b> Ventajas y desventajas de la soldadura GTAW .....	24
<b>Tabla 10- 1:</b> Composición química del electrodo ER309LMo.....	24
<b>Tabla 11- 1:</b> Parámetros de soldadura GTAW del electrodo ER309LMo.....	25
<b>Tabla 1-2:</b> Codificación para cada caso de estudio acero ASTM A743 CA6-NM.....	34
<b>Tabla 2-2:</b> Codificación para cada caso de estudio acero AISI 304L.....	34
<b>Tabla 3-2:</b> Variable independiente para la investigación. ....	35
<b>Tabla 4-2:</b> Variable dependiente para la investigación .....	35
<b>Tabla 5-2:</b> Dimensiones lote de acero ASTM A743 grado CA6-NM .....	42
<b>Tabla 6-2:</b> Dimensiones plancha de acero AISI 304L.....	42
<b>Tabla 7-2:</b> Dimensiones lote de acero AISI 304L.....	42
<b>Tabla 8-2:</b> Procedimiento para la realización de la espectrometría .....	43
<b>Tabla 9-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización de la espectrometría .....	44
<b>Tabla 10-2:</b> Procedimiento para la realización de los ensayos metalográficos.....	44
<b>Tabla 11-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización de los ensayos metalográficos...46	46
<b>Tabla 12-2:</b> Procedimiento para la realización de los tratamientos térmicos .....	46
<b>Tabla 13-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización de los tratamientos térmicos. ....47	47
<b>Tabla 14-2:</b> Procedimiento para la realización del ensayo de tintas penetrantes. ....	48
<b>Tabla 15-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización del ensayo de tintas penetrantes.49	49
<b>Tabla 16-2:</b> Procedimiento para la realización del ensayo de microdureza.....	49
<b>Tabla 17-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización del ensayo de microdureza. ....50	50
<b>Tabla 18-2:</b> Procedimiento para la realización del ensayo de impacto.....	51
<b>Tabla 19-2:</b> <b>(Continúa):</b> Procedimiento para la realización del ensayo de impacto .....	52
<b>Tabla 20-2:</b> Codificación de los registros y procedimientos .....	52
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados espectrometría-álabe directriz .....	55
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados espectrometría-plancha acero inoxidable .....	56

<b>Tabla 3-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE2.....	57
<b>Tabla 4-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE3.....	59
<b>Tabla 5-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE4.....	61
<b>Tabla 6-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE5.....	63
<b>Tabla 7-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE6.....	65
<b>Tabla 8-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE7.....	67
<b>Tabla 9-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE9.....	69
<b>Tabla 10-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE10.....	71
<b>Tabla 11-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE11.....	73
<b>Tabla 12-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE12.....	75
<b>Tabla 13-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE13.....	77
<b>Tabla 14-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE15.....	79
<b>Tabla 15-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE2.....	81
<b>Tabla 16-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE3.....	83
<b>Tabla 17-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE4.....	85
<b>Tabla 18-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE6.....	87
<b>Tabla 19-3:</b>	Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE8.....	89
<b>Tabla 20-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE1.....	91
<b>Tabla 21-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE2.....	94
<b>Tabla 22-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE3.....	97
<b>Tabla 23-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE4.....	100
<b>Tabla 24-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE5.....	103
<b>Tabla 25-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE6.....	106
<b>Tabla 26-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE7.....	109
<b>Tabla 27-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE8.....	112
<b>Tabla 28-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE9.....	116
<b>Tabla 29-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE10.....	120
<b>Tabla 30-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE11.....	124
<b>Tabla 31-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE12.....	128
<b>Tabla 32-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE13.....	132
<b>Tabla 33-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE14.....	136
<b>Tabla 34-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE15.....	140
<b>Tabla 35-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio A-CE1.....	144
<b>Tabla 36-3:</b>	Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio A-CE2.....	146
<b>Tabla 37-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica para el caso de estudio A-CE3.....	148
<b>Tabla 38-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica para el caso de estudio A-CE4.....	150
<b>Tabla 39-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE5.....	152

<b>Tabla 40-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE5.....	154
<b>Tabla 41-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE5.....	156
<b>Tabla 42-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE6.....	158
<b>Tabla 43-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE6.....	160
<b>Tabla 44-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE6.....	162
<b>Tabla 45-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE7.....	164
<b>Tabla 46-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE7.....	166
<b>Tabla 47-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE7.....	168
<b>Tabla 48-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE8.....	170
<b>Tabla 49-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE8.....	172
<b>Tabla 50-3:</b>	Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE8.....	174
<b>Tabla 51-3:</b>	Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero ASTM A743 CA6-NM, material de aporte ER410NiMo .....	176
<b>Tabla 52-3:</b>	Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero ASTM A743 CA6-NM, material de aporte E309LMo.....	177
<b>Tabla 53-3:</b>	Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero AISI 304L, material de aporte ER410NiMo.....	178
<b>Tabla 54-3:</b>	Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero AISI 304L, material de aporte E309LMo.....	179
<b>Tabla 55-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE1.....	180
<b>Tabla 56-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE2.....	181
<b>Tabla 57-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE3.....	182
<b>Tabla 58-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE4.....	183
<b>Tabla 59-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE5.....	184
<b>Tabla 60-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE6.....	185
<b>Tabla 61-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE7.....	186
<b>Tabla 62-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE8.....	187
<b>Tabla 63-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE9.....	188
<b>Tabla 64-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE10.....	189
<b>Tabla 65-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE11.....	190
<b>Tabla 66-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE12.....	191
<b>Tabla 67-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE13.....	192
<b>Tabla 68-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE14.....	193
<b>Tabla 69-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE15.....	194
<b>Tabla 70-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE1 .....	195
<b>Tabla 71-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE2 .....	196
<b>Tabla 72-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE3 .....	197

<b>Tabla 73-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE4 .....	198
<b>Tabla 74-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE5 .....	199
<b>Tabla 75-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE6 .....	200
<b>Tabla 76-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE7 .....	201
<b>Tabla 77-3:</b>	Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE8 .....	202
<b>Tabla 78-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE1 .....	203
<b>Tabla 79-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE11 .....	204
<b>Tabla 80-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE15 .....	205
<b>Tabla 81-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE1 .....	206
<b>Tabla 82-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE8 .....	207
<b>Tabla 83-3:</b>	Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE6 .....	208
<b>Tabla 84-3:</b>	Resultados de ensayos metalográficos en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	209
<b>Tabla 85-3:</b>	Resultados de ensayos metalográficos en el acero AISI 304L .....	211
<b>Tabla 86-3:</b>	Resultados de microdureza en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	212
<b>Tabla 87-3:</b>	Resultados de microdureza en el acero AISI 304L .....	213
<b>Tabla 88-3:</b>	Resultados de ensayo de impacto en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	214
<b>Tabla 89-3:</b>	Resultados de ensayo de impacto en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	214
<b>Tabla 90-3:</b>	Fases presentes en la investigación del acero ASTM A743 CA6-NM .....	216
<b>Tabla 91-3:</b>	Morfología microestructural presente en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	219
<b>Tabla 92-3:</b>	Morfología presente en el acero ASTM A743 CA6-NM .....	220
<b>Tabla 93-3:</b>	Resultados de los ensayos del acero ASTM A743 CA6-NM usados para reparación de partes hidráulicas .....	223
<b>Tabla 94-3:</b>	Resultados de los ensayos del acero AISI 304L usados para reparación de partes hidráulicas .....	223

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1.</b> Diagrama de equilibrio hierro-cromo .....	9
<b>Figura 2-1.</b> Estructura tetragonal centrada en el cuerpo BCT .....	10
<b>Figura 3-1.</b> Influencia del níquel en la fase gama en un acero inoxidable .....	12
<b>Figura 4-1.</b> Estructura cúbica centrada en las caras FCC .....	13
<b>Figura 5-1:</b> Sección transversal de una junta soldada por fusión común .....	20
<b>Figura 6-1.</b> Diagrama de Schaeffler .....	22
<b>Figura 7-1.</b> Relleno de una placa mediante soldadura GTAW .....	23
<b>Figura 8-1.</b> Espectrómetro de emisión por chipa.....	25
<b>Figura 9-1.</b> Microdurómetro. ....	28
<b>Figura 10-1.</b> Máquina charpy para ensayo de impacto.....	29
<b>Figura 11-3.</b> Estereoscopia del cordón de soldadura.....	213

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1-1.</b> Variables del trabajo de investigación .....	30
<b>Gráfico 1-2.</b> Proceso general de recuperación de rodets de turbinas hidráulicas .....	37
<b>Gráfico 2-2.</b> Proceso metodológico para el trabajo de investigación.....	40
<b>Gráfico 1-3.</b> %AR en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a T.T. ....	217
<b>Gráfico 2-3.</b> %AR en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a soldadura.....	218
<b>Gráfico 3-3.</b> %AR en la zona de fusión del acero AISI 304L sometidos a soldadura.....	218
<b>Gráfico 4-3.</b> Dureza en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a T.T. ....	221
<b>Gráfico 5-3.</b> Dureza en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a soldadura. ....	221
<b>Gráfico 6-3.</b> Dureza en el acero AISI 304L sometido a T.T.....	222
<b>Gráfico 7-3.</b> Dureza en el acero AISI 304L sometidos a soldadura.....	222

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A.** PROBETA DE IMPACTO.

**ANEXO B.** PROBETAS SOLDADAS PARA ENSAYOS DE TINTAS PENETRANTES.

**ANEXO C.** WPS PARÁMETROS DE SOLDADURA GTAW.

**ANEXO D.** CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES.

**ANEXO E.** COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ELECTRODOS ER410NIMO Y ER309LMO

## SIMBOLOGÍA

$M_xC_y$	Carburos
$\delta$	Ferrita
Ms	Martensita revenida o templada
Msf	Martensita fresca
$\gamma$	Austenita
$\gamma'$	Austenita retenida
$\emptyset$	Cantidad
$n$	Tamaño de muestra
máx.	Máximo
$p_o$	Proporción verdadera
$e$	Margen de error de muestra aceptable
$z_\alpha$	Intervalo de confianza para un determinado nivel de confianza
h	Horas
min.	Minutos
BM	Material base
ZAT	Zona térmicamente afectada
FZ	Zona de fusión

## LISTA DE ABREVIACIONES

AISI	Instituto Americano del Hierro y del Acero
AR	Austenita Retenida
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales
AWS	Sociedad Americana de Soldadura
BCC	Cúbico Centrado en el Cuerpo
BCT	Tetragonal Centrado en el Cuerpo
CCH	Cahier Des Charges
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
CIRT	Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas y Partes Industriales
CNC	Control Numérico Computarizado
DF	Campo Oscuro
ED	Ensayos Destructivos
END	Ensayos No Destructivos
EP	Empresa Pública
E.P.P.	Equipos de Protección Personal
FCC	Cúbico Centrado en las Caras
GTAW; TIG	Soldadura por Arco de Gas Tungsteno
Inox.	Inoxidable
Sost.	Sostenimiento
T.T.P.S.	Tratamiento Térmico Post Soldadura
T.T.	Tratamiento Térmico
UNS	Sistema Unificado de Numeración

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue realizar el estudio de la austenita retenida en el acero inoxidable bajo condiciones experimentales de soldadura y tratamientos térmicos. Se ha procedido a estudiar el comportamiento microestructural de los aceros: A743 CA6-NM y AISI 304L. En cada caso de estudio se analizó cada ensayo metalográfico, y de microdureza con la finalidad de realizar una adecuada recolección de datos para tener una fuente segura y confiable con la cual el Área de Control de Calidad del Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas y Partes Industriales tenga referencia en futuros campos de reparación de elementos hidráulicos. Los resultados indican que el caso de estudio que presenta mejores efectos en cuanto a homogenización de la microestructura, dispersión de austenita retenida y microdureza en el acero ASTM A743 CA6-NM es M-CE12, sin embargo, en cuanto a los ensayos de impacto los casos de estudio que mejor resultados presenta en cuanto a mayor energía de absorción es el M-CE15, teniendo como una excelente alternativa en cuanto a reparaciones de álabes y otros elementos hidráulicos este tipo de soldadura disímil. En cuanto al acero AISI 304L se observó que estos no pueden mejorar sus propiedades mecánicas mediante tratamientos térmicos, presentando problemas como la corrosión intergranular degradando el material. Por medio del ensayo de impacto se concluyó que la microestructura austenítica presenta mejores características en cuanto a resistencia al impacto, sin embargo, en el acero A743 CA6-NM al presentarse una dispersión muy pequeña de austenita retenida este acero no logra obtener un mayor grado de tenacidad o ductilidad, se recomienda evaluar al material con varios casos de reparación ya que en este trabajo de investigación se lo hizo con un material sin ningún tipo de reparación.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <CONTROL DE CALIDAD>, <MARTENSITA (A743 CA6-NM)>, <AUSTENITA RETENIDA>, <ACERO INOXIDABLE>, <CAMPO OSCURO>, <ÁLABE DIRECTRIZ>, <RODETE FRANCIS>, <TRATAMIENTO TÉRMICO>.



## ABSTRACT

The main objective of this research is to carry out the study of retained austenite in stainless steel under experimental welding conditions and technical treatments. The microstructural procedure of steels has been studied: A743 CA6-NM and AISI 304L. In each case study, each metallographic and microhardness test was analyzed with the purpose of carrying out an adequate data collection to have a safe and reliable source in which the Quality Control Turbines and Parts Research and Recovery Center Industrialists have reference in future fields of repairing hydraulic elements. The results indicate that the case study that presents better effects in terms of homogenization of the microstructure, dispersion of retained austenite and microhardness in ASTM A743 CA6-NM steel is M-CE12, however, in terms of impact tests the cases of study that better results presents in terms of absorption energy is the M-CE15, having this as an excellent alternative in terms of repairs of blades and other hydraulic elements of this type of dissimilar welding. As for AISI 304L steel, it was observed that they cannot improve their mechanical properties though heat treatments, presenting problems such as intergranular corrosion degrading the material. Through the impact test, it was concluded that the austenitic microstructure has better characteristics in terms of impact resistance, however, in the A743 CA6-NM steel with a very small dispersion of retained austenite occurs, this steel does not achieve a higher degree of tenacity or ductility, it is recommended to evaluate the material with several cases of repair since in this research was done with a material without any type of repair.

**Keywords:** <MECHANICAL ENGINEERING>, <QUALITY CONTROL>, <MARTENSITE (A743 CA6-NM)>, < AUSTENITE RETAINED >, <STAINLESS STEEL>, <DARK FIELD>, <GUIDE VANE>, <FRANCIS IMPELLER>, <HEAT TREATMENT>



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo realizar el estudio de la austenita retenida en los aceros inoxidable: martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y austenítico AISI 304L, mediante el análisis metalográfico. Estos aceros en cuestión son usados en la construcción de álabes directrices en los sistemas de generación de turbinas Francis de la central hidroeléctrica San Francisco y en otras piezas de sistemas hidráulicos, sometidos bajo procesos experimentales de tratamientos térmicos y bajo soldadura de relleno GTAW, para lo cual se procede a realizar una adecuada recolección de datos que servirán como una fuente de información y referencia para el conocimiento del cambio microestructural que pueden experimentar dichos aceros.

Esta investigación es de gran importancia debido a que se genera información en lo que se refiere a procesos de reparación de los álabes directrices de las turbinas Francis, debido a que uno de los procesos de reparación usados comúnmente es la soldadura, la cual tiene como finalidad rellenar las fisuras y porosidades generadas principalmente por abrasión y erosión.

Durante el desarrollo de la investigación se sometió al acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y al acero inoxidable austenítico AISI 304L a tratamientos térmicos y bajo soldadura de relleno, evaluando la calidad de la soldadura de relleno en el material en cuanto a soldadura mediante tintas penetrantes. Además, mediante la identificación de fases presentes después de cada tratamiento o proceso de soldadura sometido a dichos materiales, del mismo modo se realizó un análisis de la composición química de los mismos, esto por medio de una espectrometría.

Subsecuentemente se cuantificó las micro durezas obtenidas en cada uno de los procesos a los cuales fueron sometidos cada una de las probetas de los aceros ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L. Finalmente se realizó ensayos de impacto para cuantificar la energía absorbida en casos de estudio del material base de ambos aceros y de soldadura disímil con el uso de electrodos ER410NiMo y ER309LMo con un revenido a 600°C post soldadura, los cuales son procesos usados continuamente en el CIRT para reparación de varios elementos hidráulicos.

La cuantificación de la austenita retenida, mediciones de grano y calibraciones de micrografías se lo realizó por medio del software Stream Basic de la marca Olympus, mientras que el dimensionamiento de las dendritas fue obtenido mediante el software SCENTIST de la marca

STRUERS. Las microdurezas fueron medidas por medio de un micro durómetro de la marca STRUERS, todos estos equipos propiedad del CIRT.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1 Antecedentes

En la actualidad diversos países de distintas regiones del mundo que se hallan en proceso de desarrollo priorizan proyectos que sean rentables económicamente y a su vez amigables con el medio ambiente. Dentro de este cuadro de países se halla el Ecuador el cual debido a su ubicación y cuencas hidrográficas posee un enorme potencial hídrico el cual a su vez debe ser aprovechado para sustentar la demanda de energía producida día tras día por toda la población del Ecuador.

En la actualidad una de las fuentes de generación eléctrica es mediante la energía hidráulica empleada en centrales hidroeléctricas, siendo esta una fuente de energía renovable y limpia que juega un papel muy primordial en la productividad del Ecuador, esto en gran parte se debe a que para la generación de este tipo de energía no se produce gases de efecto contaminante y principalmente a la gran eficiencia que tienen en la actualidad las turbinas hidráulicas. Por las razones ya mencionadas en la actualidad este tipo de generación eléctrica es considerado como el mejor sistema de obtención de energía limpia en el país y en el mundo.

En la generación de energía hidráulica en el Ecuador son empleadas las turbinas Francis, Pelton y Kaplan, siendo las de tipo Francis las más versátiles en cuanto al aprovechamiento y generación de energía, además este tipo de turbinas las que se acoplan de mejor manera al sistema hídrico del Ecuador. Las turbinas Francis son seleccionadas para saltos o cabezales de agua medio y caudales altos, de esta manera aprovechan en mayor forma la energía hidráulica teniendo el mayor rango de eficiencia posible, la cual no se lograría conseguir con otros tipos de turbinas existentes.

Como se mencionó anteriormente en el Ecuador las turbinas usadas casi en su totalidad en centrales hidroeléctricas son las turbinas Francis que debido a su diseño en cuanto a su geometría están ligados a cambios drásticos de presión, lo cual conlleva al fenómeno de la cavitación que como su nombre lo indica es la formación de cavidades debido a la formación de burbujas, las mismas que posteriormente tenderán a implosionar, siendo este fenómeno a su vez uno de los aspectos más relevantes para el deterioro y/o desgaste de las turbinas, conllevando de esta manera a la

disminución en cuanto a la eficiencia en la generación de energía hidráulicas (Balseca & Telenchana, 2019, p. 2).

Debido a las razones expuestas anteriormente las turbinas Francis presentarán deterioro ya sea por el desgaste paulatino de las turbinas que tienen ciclos de trabajos de 24 horas al día, o por factores externos, se hace necesario un proceso adecuado de reparación y/o recuperación el cual en cierta manera merme aquellos daños e imperfecciones, que sufren a través del continuo funcionamiento de estos. Uno de los métodos más usados para la recuperación de las turbinas es la soldadura con los tratamientos térmicos, siendo estos procesos usados para devolver o restaurar al material y a los alabes en cierto grado a su estado original.

En general debido al tipo de aplicación y al ambiente de trabajo al cual están sometidos los álabes son usados para la construcción de estos aceros inoxidable, los mismos que contienen un porcentaje de carbono sumamente bajo menores a 0,7% y elementos tales como el cromo de mayores a 10%, siendo este elemento el que le da la característica al acero de ser resistente a la corrosión. La resistencia a la corrosión de este tipo de aceros se debe a que se forma una capa muy fina de óxido de cromo en la superficie del material, protegiendo de esta manera al acero de los medios corrosivos presentes en el ambiente, y siendo esta regenerada continua y rápidamente por la presencia de oxígeno presente en el aire. Esta resistencia a la corrosión a su vez puede ser mejorada gradualmente en el acero con la adición de otros elementos aleantes tales como el níquel y el molibdeno. Los aceros inoxidable se dividen en 3 familias principales las cuales son: aceros inoxidable ferríticos, martensíticos, y austeníticos. De los cuales en el presente trabajo de investigación se procederá a realizar el estudio de los aceros inoxidable martensíticos y austeníticos, siendo los que más presentes están en los componentes hidráulicos (Castro, Escorcía, & Ramírez, 2012, p. 5).

Los altos costos de reparación y el bajo desarrollo tecnológico del Ecuador hasta hace algunos años impedía una adecuada reparación e investigación de elementos hidráulicos, el país se veía obligado a la búsqueda de otros tipos de empresas ecuatorianas que proporcionen los servicios de reparación y recuperación de elementos hidromecánicos, no obstante a través de un estudio e investigación realizado en el año 2009 por parte de CELEC EP se concluyó que hasta aquel año no existían producciones competitivas dentro del país, viéndose obligado el Ecuador a acudir a países con mayor grado tecnológico como: Suecia, Italia, Alemania, Colombia entre muchos otros países (Sagñay & Pilamunga, 2011, p. 1).

Concluyendo de esta manera la Unidad de Negocios de Hidroagoyán crear el Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas y Partes Industriales “CIRT”, cuyo objetivo es ser

líderes en procesos de recuperación, fabricantes y proveedores de turbinas y sus componentes con investigación, desarrollo tecnológico y el uso de tecnología en beneficio de la soberanía energética en el Ecuador. Su misión es brindar innovación respecto a procesos de reparación y recuperación de turbinas y partes industriales, por medio de la Disciplina, Compromiso, y Trabajo en equipo brindado por todos los empleados que comprenden su stand de trabajo.

## **1.2 Formulación del problema**

Con el transcurrir del tiempo las turbinas Francis, Pelton y Kaplan, álabes directrices y otras piezas hidráulicas debido a diversos factores como la cavitación, oscilaciones bruscas de presión, e impurezas del agua sufren desgaste y deterioro en su geometría, como pueden ser discontinuidades y/o porosidades, esto conlleva una disminución notable en cuanto a la eficiencia del sistema, por lo cual deben ser sometidas a procedimientos de reparación para la restauración de estos elementos hidráulicos. Existen varios procesos para la reparación de las turbinas y otras piezas como son la soldadura, seguido de tratamientos térmicos post soldadura. La soldadura es usada en múltiples ocasiones con la finalidad de realizar relleno en las discontinuidades generadas en los rodets y otras piezas, además de esto después de realizar la soldadura el material este es sometido a procesos post soldadura con la finalidad de reducir las tensiones residuales en la zona afectada térmicamente, además de homogenizar la microestructura y dureza del material entre las zonas de fusión, zona afectada térmicamente y el material base después de haber sido sometido al proceso de soldadura. Sin embargo, antes de realizar la soldadura en el material base, este es sometido a precalentamiento, con el objetivo de evitar choques térmicos en el material base evitando así un posible agrietamiento y un pandeo en el material. Los alabes directrices pueden ser montados máximo en 2 ocasiones por su hermeticidad y acoplamiento.

Los materiales que son utilizados en los alabes directrices y otros elementos de piezas hidráulicas son: acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM, y el acero inoxidable austenítico AISI 304L, estos tipos de aceros son de una denominación y usos especiales de los cuales no existe un conocimiento e investigación adecuada, por lo que es recomendable una recolección de datos acerca del cambio microestructural al ser sometidos a procesos de soldadura y tratamiento térmico, también de propiedades propias como micro dureza, y tenacidad.

Esto se lo realizará con el fin de realizar una guía de información adecuada el cual pueda servir para posteriores estudios y aplicaciones acerca de las transformaciones y cambios que sufren estos aceros al ser sometidos a tratamientos térmicos y soldadura TIG, haciendo énfasis en que los costos una recuperación de un rodete Francis de la central San Francisco tiene un precio de

USD850.000, teniendo el mismo componente nuevo un valor cercano a los USD4.800.000 presentándose un ahorro de USD3.950.000 gracias a la reparación generada en el CIRT.

Este tipo de estudio puede ser posteriormente usado como referencias en el Área de Control de Calidad del CIRT, en las inspecciones y revisiones realizadas a este tipo de elementos después de ser intervenidas y ser reparadas cada vez que sea detectado fallas en esta clase de sistemas.

### **1.3 Justificación**

En el país desde hace muchos años atrás se promovió el cambio de la matriz productiva, esta inició por medio de la innovación e investigación, de los cuales es sumamente primordial el estudio de materiales los cuales están inmiscuidos en todo ámbito laboral, siendo uno de estos la matriz energética a través de la generación de energía hidráulica, en cuestión esta es producida por medio del aprovechamiento de grandes cabezales de agua y por las altas velocidades producidas por la misma que generan la rotación de una turbina en una central hidroeléctrica.

Las turbinas y otros elementos hidráulicos empleados en centrales hidroeléctricas debido al ambiente al cual son expuesto son construidos de aceros inoxidable siendo los mayormente usados en centrales de Ecuador los aceros: ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L, los cuales proporcionan grandes ventajas y versatilidad en cuanto a las propiedades mecánicas y a la soldabilidad. CELEC EP, hoy en día cuenta con el CIRT, el cual está dividido en varios departamentos especializados, uno de ellos el Departamento de Control de Calidad el cual está encargado de la revisión de los procesos que sean sometidos todos los elementos hidráulicos que sean sometidos a reparación.

El CIRT por tanto se plantea como tema de investigación el estudio de la austenita retenida presente en los aceros inoxidables: ASTM A743 grado CA6-NM, y AISI 304L, sometidos bajo procesos experimentales de tratamientos térmicos y soldadura, esto ya que desde hace mucho tiempo el país ha tratado de realizar aportaciones en el campo científico y promover el intercambio de información en cuanto a la investigación de materiales.

Por medio de esto se pretende realizar una recolección de datos y una adecuada investigación, que como resultado permita generar una guía handbook, el cual proporcione datos acerca de la formación de austenita retenida en la microestructura, y el cambio de las propiedades mecánicas que se presente en los casos de estudio mencionados anteriormente, después de ser sometido a varios procesos experimentales de soldadura y tratamientos térmicos, sirviendo como una fuente de información para posteriores estudios e investigaciones.

## **1.4 Alcance**

Proporcionar un handbook o guía de referencia que proporcione datos acertados de la microestructura, cuantificación de austenita retenida y su incidencia en cuanto a las propiedades mecánicas de los aceros inoxidable: ASTM A743 grado CA6-NM y AISI 304L, sometidos a procedimientos experimentales de soldadura y tratamientos térmicos, con el fin de servir como un manual técnico para conocimiento para fines investigativos y de control de calidad.

## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo General***

Realizar el estudio de la austenita retenida en el acero inoxidable bajo condiciones experimentales de soldadura y tratamientos térmicos.

### ***1.5.2 Objetivos Específicos***

- Realizar procesos experimentales de tratamientos térmicos variando las temperaturas de enfriamiento y de calentamiento, en los aceros inoxidable: ASTM A743 CA-6NM y AISI 304L.
- Caracterizar los aceros inoxidable: ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L, antes y después de someterlos a procesos experimentales de soldadura TIG con material de aporte E410NiMo y E309L, y tratamientos térmicos.
- Maquinar probetas para la realización del análisis metalográfico y para ensayos de microdureza e impacto.
- Elaborar un handbook o guía, que sirva como fuente de información acerca de la austenita retenida y los cambios micro estructurales que sufren los aceros inoxidable: ASTM A743 CA-6NM y AISI 304L.
- Realizar la evaluación de las propiedades mecánicas mediante ensayos de impacto y microdureza en los aceros inoxidable: ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L

## 1.6 Aceros Inoxidables

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro formadas con carbono y por cromo principalmente con un porcentaje en peso superiores al 10% llegando a tener hasta porcentajes de 18%, siendo posible aumentar la resistencia a la corrosión por medio de otros elementos aleantes tales como: níquel y molibdeno. Este tipo de aceros presentan una excelente resistencia a la corrosión, razón por lo cual este tipo de acero es usado principalmente en medios agresivos en cuanto a salinidad se refiera (Sealing, 2012, p. 4).

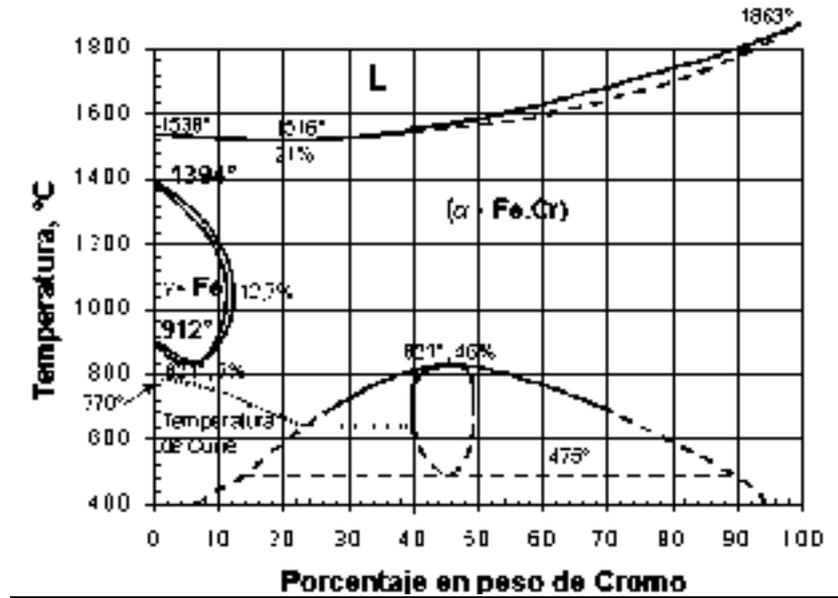
**Tabla 1- 1:** Ventajas que presentan los aceros inoxidables

VENTAJAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES	
VENTAJAS	DETALLES
<b>Resistentes a la corrosión</b>	Los aceros que presentan baja aleación pueden resistir a la corrosión en condiciones atmosféricas sin embargo, los aceros inoxidables altamente aleados tienen la capacidad de resistir la corrosión incluso en varios entornos o medios ácidos, y a temperaturas relativamente altas.
<b>Resistentes a altas temperaturas</b>	Ciertos aceros inoxidables tienen la capacidad de resistir grandes gradientes térmicos.
<b>Versátiles</b>	Los aceros inoxidables pueden ser cortados, soldados, forjados y mecanizados fácilmente.
<b>Resistencia Mecánica</b>	Algunos aceros inoxidables pueden ser endurecidos por trabajo en frío, este proceso es usado principalmente para reducir espesores, por medio de esto disminuir costos y peso. Otros aceros inoxidables pueden ser sometidos a procesos de tratamientos térmicos para mejorar la resistencia mecánica
<b>Apariencia</b>	Los aceros inoxidables tienen excelentes acabados superficiales, presentando una excelente estética a este tipo de aceros
<b>Alta duración</b>	Presentan una excelente duración, sobre todo analizando la relación costo/duración

Fuente: Castro et al., 2012, p. 9

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Los aceros inoxidables están conformados principalmente de cromo, siendo este elemento el que permite la creación de una película pasiva en la superficie del acero, esta capa pasiva se forma por la afinidad que tiene el cromo a reaccionar con el oxígeno, gracias a esta reacción la formación de esta lámina se logra impedir la penetración del óxido en el material. Si ocurriera cualquier tipo de daño mecánico o químico sobre la capa pasiva el material no se vería afectado la resistencia a la corrosión del acero inoxidable ya que la fina lámina se repara instantáneamente al entrar en contacto nuevamente el cromo del acero con el oxígeno del ambiente, regenerándose así continuamente la capa pasiva las veces que fuesen necesarias (Sealing, 2012, p. 3).



**Figura 1-1.** Diagrama de equilibrio hierro-cromo  
 Realizado por: Sealing, 2012, p. 8

Existen varios métodos para mejorar la resistencia a la corrosión en los aceros inoxidable, uno de ellos es el aumento en la cantidad de cromo conjuntamente con cierto porcentaje de níquel y/o molibdeno en la composición química del acero inoxidable. Hay que recalcar que el grado de impenetrabilidad que presente el acero inoxidable no solamente depende de su composición química y sus elementos aleantes, existen también otros factores que influyen en la resistencia a la corrosión del material tales como: medio o entorno al cual está sujeto el acero inoxidable, temperatura, concentración del agente corrosivo, entre otros factores (Castro et al., 2012, p. 7).

### 1.6.1 *Procesos de fabricación de los aceros inoxidables*

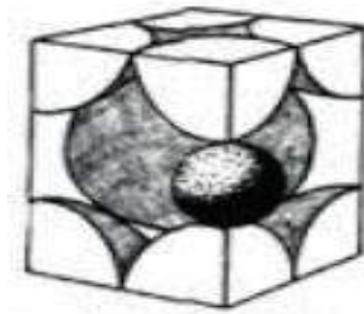
Los procesos que se llevan a cabo para la fabricación de los aceros inoxidables comienza a partir de la fusión del hierro, la chatarra y los elementos ferro-aleantes, esto dependiendo del tipo de acero inoxidable que se proceda a obtener. Posteriormente se procede a refinar el acero, esto con el fin de eliminar las impurezas presentes y reducir el porcentaje/contenido de carbono. A continuación, el acero en forma líquida se cuela de forma continua, se corta en planchas formando rollos rodados en calientes, para finalmente laminarlos en frío limpiándolos (Castro et al., 2012, p. 8).

### 1.6.2 *Clasificación de los aceros inoxidables*

De acuerdo a la micro estructura, los principales aceros inoxidables son:

#### 1.6.2.1 *Aceros inoxidables martensíticos*

Los aceros inoxidable martensíticos, poseen como todo acero inoxidable un alto contenido de cromo que le proporciona una adecuada resistencia a la corrosión, no obstante, estos aceros inoxidables no poseen ningún contenido de aluminio, titanio, azufre o niobio. Estos aceros aleados poseen un excelente límite elástico y una alta dureza, esto en gran medida se debe a que la martensita se forma a partir del porcentaje moderado de carbono existente pudiendo alcanzar el 0,01% de contenido, siendo esta la principal razón por la cual estos aceros inoxidables pueden presentar dificultades al momento de soldar. (Sealing, 2012, p. 8)



**Figura 2-1.** Estructura tetragonal centrada en el cuerpo BCT

Realizado por: Sealing, 2012, p. 8

Estas familias de aceros inoxidables están fundamentadas en un sistema binario Fe-Cr, siendo endurecibles por precipitación, además estos aceros se exponen a transformaciones alotrópicas que produce la formación de austenita al alcanzar y sobrepasar temperaturas próximas a los 650°C posterior a eso formar martensita, además en pequeñas proporciones se formarán ferrita y ciertos carburos. Se debe remarcar que la martensita se formará con relativa facilidad en esta familia de aceros incluso si las velocidades de enfriamiento son lentas, en consecuencia debido a estos factores el uso de los diagramas CCT Continuous Cooling Transformation, diagrama de transformación de enfriamiento continuo se hace innecesario e inútil, siendo necesario la aplicación de revenido en esta familia de aceros inoxidables, con la finalidad de llegar a obtener una adecuada combinación de propiedades como son: excelente tenacidad, buena ductilidad, una alta dureza, adecuada para acrecentar la resistencia a la abrasión, y por medio de esto obtener un acero con propiedades mecánicas apropiadas para las aplicaciones destinadas para estos tipos de aceros (Phillips, 2016, p. 20).

Acero Inoxidable ASTM A743 Grado CA-6NM (J191540) UNS

En la familia de aceros inoxidables martensíticos una de las series más usadas en la industria y sobre todo en centrales hidroeléctricas, en alabes de turbinas, bombas, propulsores, en rodets hidráulicos, además de otros componentes y partes hidráulicas es el acero ASTM A743 Grado CA6-NM. A partir de la década de 1960 comenzó el auge de la fabricación de este tipo de acero, esto en gran medida a la combinación de propiedades que este acero posee, siendo estas las siguientes: alta resistencia mecánica, buena soldabilidad, alta tenacidad. La designación de este acero es dada High Allow Product Group of the Steel Founder's Society of America la cual proporciona los siguientes datos: la primera letra C señala que este acero presenta resistencia bajo ataques corrosivos, la siguiente letra A indica la presencia de cromo y níquel, la tercera letra indica el porcentaje máximo que presenta de carbono multiplicado por 100, finalmente las ultimas letras proporcionan la presencia de elementos aleantes (Balseca & Telenchana, 2019, p. 28)

**Tabla 2- 1:** Composición química del acero ASTM A743 CA6-NM

Composición Química del Acero ASTM A743 CA6-NM							
%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Si	%Mn	Estructura	Templado
0,063% max.	11,5%-14%	3,5%-4,5%	0,4%-1%	1% max.	1% max.	Martensítica	>1050 °C

Fuente: ASTM, 2002, p. 2

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Las propiedades del aceros inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM son muy importantes en cuanto a la aplicación y desarrollo que estos tienen, presentando un límite elástico de 550 MPa bajo una temperatura ambiente de 20°C, las propiedades mecánicas de este acero se indican en la Tabla 3-1.

**Tabla 3- 1:** Propiedades Mecánicas ASTM A743 Grado CA6-NM

Acero	Resistencia a la tensión		Esfuerzo último		Elongación en 2 plg. (50mm) mínimo,%	Dureza [HB]
	ksi	MPa	ksi	MPa		
Grado ASTM A743 GRADO CA6-NM	110	755	80	550	15	250-270

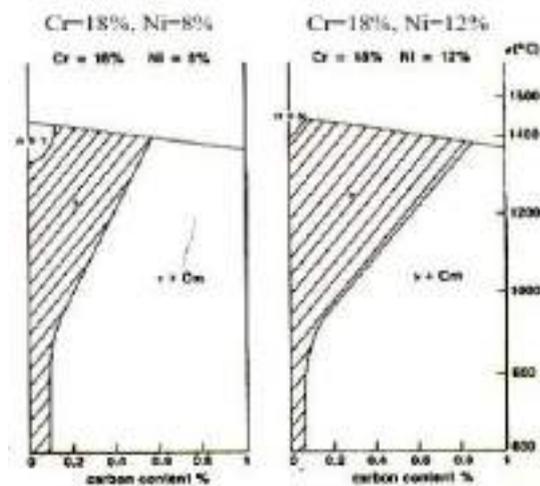
Fuente: Balseca & Telenchana, 2019, p. 29

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 1.6.2.2 Aceros inoxidables austeníticos

Los aceros inoxidables austeníticos presentan una buena resistencia a la corrosión esto se debe al contenido de cromo que estos aceros presentan, además de que este material presenta una muy versátil combinación de propiedades mecánicas tales como: buena ductilidad, buena resistencia mecánica, excelente soldabilidad (Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2014, p. 13).

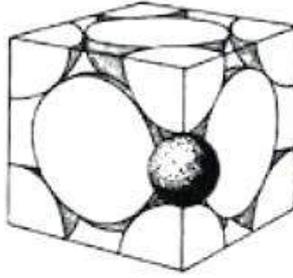
La característica que hace a un acero inoxidable ser austenítico, es mediante la adición de un mínimo de 7,5% de níquel, debido a esto los aceros inoxidables austeníticos son conocidos también aceros al cromo-níquel, siendo esta familia constituida por la serie 300. Para aplicaciones en ambientes sumamente corrosivos, el acero inoxidable debe poseer un porcentaje de carbono menor al 0,08% siendo estos el acero 304 y el 316, mientras que para aplicaciones en las cuales sea necesario soldar el acero inoxidable austenítico se debe tomar otras consideraciones tales como: porcentaje de carbono inferiores al 0,03%, en lo cual se recomienda el uso de las series 304L y 316L, en donde L significa Low en referencia a la baja cantidad de carbono (Laufgang, 2003, p. 20).



**Figura 3-1.** Influencia del níquel en la fase gama en un acero inoxidable

Realizado por: Laufgang, 2003, p. 20

Los aceros inoxidables austeníticos debido a sus características son muy populares y de los más usados, ya que pueden conservar sus propiedades tanto en temperatura ambiente, así como también llegando a soportar temperaturas sumamente elevadas, en ciertos casos hasta los 1150°, siendo esta una gran ventaja que tiene sobre otros tipos de materiales (Castro et al., 2012, p. 17).



**Figura 4-1.** Estructura cúbica centrada en las caras FCC

**Realizado por:** Sealing, 2012, p. 10

En cuanto a las aplicaciones, el acero inoxidable AISI 304 con una composición de 19%Cr-10%Ni, es el más usado de los aceros inoxidables austeníticos, siendo estos usados principalmente en la industria química, en hidroeléctricas, así como en otros campos más (Castro et al., 2012, p. 22). A continuación, se procede a describir otras series muy usadas en la industria:

**Serie 304:** esta serie de aceros inoxidables austeníticos presenta una excelente resistencia ante medios corrosivos tales como: vapor, agua, ácidos, soluciones alcalinas, entre otros. La estructura que este tipo de acero presenta es la cúbica centrada en las caras FCC, además este tipo de aceros no son magnéticos, y solamente pueden ser endurecidos por medio de trabajo en frío. Hay que destacar que su buena resistencia a la corrosión se debe al bajo contenido de carbono en la composición de estos aceros inoxidables, y debido a esto también estos aceros presentan una buena soldabilidad (GoodFellow, n.d.).

**Tabla 4- 1:** Composición química del acero AISI 304

Composición Química						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0-0,03	0,1-07	1-2	0-0,045	0-0,03	8-10,5	17-20

**Fuente:** DIPAC, 2016

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Tabla 5- 1:** Propiedades del acero AISI 304

PROPIEDADES		
Propiedades Mecánicas	% Alargamiento	45% – 65%
	Dureza [HB]	160 – 190
	Resistencia al Impacto [J/m]	20 – 136
	Módulo de Elasticidad [GPa]	190 – 210
	Resistencia a la Tracción [MPa]	460 – 1100
Propiedades Físicas	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	7,93
	Punto de Fusión [°C]	1400 – 1555
Propiedades Térmicas	Coefficiente de Expansión Térmica [K <sup>-1</sup> ]	(20 – 100)x10 <sup>-6</sup>
	Conductividad Térmica [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	23

Fuente: DIPAC, 2016

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Esta serie de aceros inoxidable austeníticos poseen una alta durabilidad, razón por la cual son fáciles de desinfectar y tienen un fácil limpiado, siendo éstas una de las razones por la cual entre sus principales aplicaciones se da en componentes hidráulicos (DIPAC, 2016).

#### Acero inoxidable AISI 304L

Esta serie de acero inoxidable es una alternativa del uso del AISI 304, siendo esta diferente en su composición química puesto a que presenta una proporción de carbono inferior a 0,03%, como consecuencia de esto se presenta una prolongación de tiempo en cuanto a la precipitación de carburos de cromo.

**Tabla 6- 1:** Propiedades físicas del acero AISI 304L

Propiedades Físicas	Valor	Unidades
Peso Específico	7,9	[g/cm <sup>3</sup> ]
Módulo de Young	193	[N/mm <sup>2</sup> ]
Calor Específico a 20°C	500	[J/kg K]
Conductividad Térmica a 100°C	16	[W/m K]
Coefficiente de Dilatación Térmico a 100°C	17,3	[°C <sup>-1</sup> ]

Fuente: Irestal Group, 2012, p. 2

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Otras de las características que estos aceros presentan es que debido a su fase austenítica son generalmente endurecidos por medio de deformación en frío, logrando de esta forma un aumento considerable en cuanto a su tenacidad, dureza, resistencia mecánica, sin embargo, esto conlleva a la disminución del porcentaje de alargamiento y de la estricción.

**Tabla 7- 1:** Propiedades mecánicas del acero AISI 304L

PROPIEDADES MECÁNICAS	VALOR	UNIDADES
Dureza	160 – 190	[HBW]
Resistencia al Impacto	20 – 136	[J/m]
Módulo de Young	190 – 210	[GPa]
Resistencia a la Tracción	17,3	[MPa]
% de Alargamiento	60	[%]

Fuente: GoodFellow, n.d.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

En cuanto a lo que se refiere a la composición química del acero inoxidable austenítico AISI 304L presenta como los demás miembros de su familia un alto contenido de cromo bordeando entre el 17% hasta un 20%, además presenta un considerable contenido de níquel oscilando entre el 7,5% a 12%, formando gracias a estos elementos la capa pasiva de óxido dando su característica de ser inoxidable sin embargo, este tipo de acero se caracteriza por presentar molibdeno en su composición logrando por medio de este elemento aleante aumentar su resistencia a la corrosión localizada, mientras que para aumentar la resistencia a la corrosión intergranular se añade elementos aleantes tales como: molibdeno, y tantalio (FUNDINOX, 2012, p. 6).

**Tabla 8- 1:** Composición química del acero AISI 304L

%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%P	%Mo	%S
0,03 max.	2 max.	1 max.	18-20	8-12	0-0,03	<0,002	0,03

Fuente: (ACERINOX, n.d.)

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 1.7 Tratamientos térmicos

El punto de partida en los tratamientos térmicos en los aceros inoxidables martensíticos, es el calentamiento y su posterior enfriamiento. La temperatura de austenización en el acero ASTM A743 grado CA6-NM inicia a los 1010°C, en el mayor de los casos la velocidad o celeridad de calentamiento no es significativamente importante, sobre todo tomando aspectos más relevantes tales como el tipo de enfriamiento, o el tiempo de permanencia en el horno del material (ASTM, 2002, p. 2).

Los tratamientos térmicos se fundamentan en la transformación micro estructural que experimentan ciertos materiales tales como los aceros inoxidables, siendo las transformaciones del acero alotrópicas, y posteriormente de sus procesos de recristalización y de la difusión de los granos. Los tratamientos térmicos de los aceros incluyen tanto la transformación, así como la

descomposición de la fase austenítica o también conocida como fase gamma (BELZUNCE, 2001, p. 94).

### ***1.7.1 Tipos de tratamientos térmicos***

Existen varios tipos de tratamientos térmicos usados en los aceros inoxidable, que son usados dependiendo del tipo de propiedades mecánicas que se deseen obtener siendo estas:

#### **En aceros inoxidable martensíticos:**

##### ***1.7.1.1 Recocido***

El recocido o en inglés también conocido como full annealing, es el tipo de recocido más frecuentemente usado. Por medio de este tipo de tratamiento térmico lo que se busca es llegar a obtener las estructuras correspondientes al diagrama Fe-C-Cr. Dependiendo del tipo de acero al cual se proceda a realizar el recocido la temperatura variará siendo para los aceros hipoeutectoides la temperatura un poco superior a la temperatura A3, la temperatura de recocido será ligeramente superior a la A1. En aceros inoxidable los tratamientos térmicos no difieren de los aceros hipoeutectoides puesto a que ambos poseen bajos porcentajes de carbono siendo estos menores al 0,1% (Güemes & Martín, 2012, p. 303).

El procedimiento para realizar el recocido total o de regeneración consiste en calentar al acero a una determinada temperatura, manteniendo al material durante un tiempo prudencial, posteriormente enfriar al acero muy lentamente. Generalmente el enfriamiento se lo da en el mismo horno o a su vez en materiales que sean excelentes aislantes térmicos. Esto con el objetivo de disminuir la densidad de dislocaciones, y proveer ductilidad al material (Pinzon, Trejos, & Medina, 2009, p. 3).

El recocido es uno de los tratamientos térmicos más usados esto puesto a que tiene varias funciones tales como: eliminar tensiones, incrementar ductilidad, la tenacidad y la plasticidad, esto en baja medida puesto que la función más importante es realizar un cambio de microestructura. Es necesario tomar en cuenta que dependiendo de la geometría y de las dimensiones de la pieza a ser sometida al recocido puede existir un gradiente de temperatura muy considerable entre la parte interna y la superficie de la pieza, pudiéndose generar con esto tensiones internas, y producto de esto producirse deformaciones y dependiendo de la gravedad de esto agrietamientos (Callister, 2005, p. 338).

### *1.7.1.2 Revenido*

El revenido es un tratamiento térmico que es aplicado al acero inoxidable martensítico posterior al temple y a ser sometidos a soldadura, esto como consecuencia a que producto del temple el material queda sumamente duro y subsecuentemente muy frágil para los usos a ser destinados dicho acero, mientras que durante la soldadura el material base acumula demasiadas tensiones internas como consecuencia del choque térmico viéndose en la necesidad de aliviar tensiones por medio del revenido (Pinzon et al., 2009, p. 7).

### *1.7.1.3 Normalizado*

El tratamiento térmico del normalizado, es aquel proceso en el cual se calienta al acero, posterior al calentamiento al acero se enfría al aire o temperatura ambiente. Debido a la composición química y a los elementos aleantes del acero ASTM A743 grado CA6-NM su microestructura será martensítica, no siendo un aspecto relevante el grado de enfriamiento de este tipo de acero (Pero-Sanz Elorz, 2000, p. 316).

La normalización tiene como objetivo proporcionar al acero una mayor dureza que la que se obtiene con el recocido total, siendo esta razón por la cual para aplicaciones específicas el normalizado es un tratamiento térmico final al cual se procede a dar al acero, eso debido a gran medida también a que otros de los aspectos que se mejora con el normalizado son: la mejora de la maquinabilidad, refinación del grano, homogenización de la microestructura del acero (Avner, n.d., p. 257).

El normalizado es un tratamiento térmico muy usado en la industria para mejorar significativamente las propiedades de los aceros, esto se debe a gran medida a que el normalizado es relativamente barato en comparación con otros tratamientos térmicos. Además, el normalizado es usado con frecuencia en virtud de la presencia de elementos aleantes en estos aceros poseyendo una gran templabilidad, produciéndose así la formación de bainitas y martensita durante el enfriamiento en el aire del acero (Avner, n.d., p. 258).

### **En aceros inoxidables austeníticos:**

Los aceros inoxidables austeníticos debido a su bajo porcentaje de carbono no presentan susceptibilidad a ser tratados térmicamente para mejorar sus propiedades mecánicas, sin embargo, para mejorar las propiedades mecánicas de este tipo de materiales se lo logra por medio de trabajo en frío tales como: forjado, trefilado, laminado, acritud, entre otros.

## **1.8 Principales fases presentes en los aceros inoxidables**

### ***1.8.1 Aceros inoxidables martensíticos***

#### *1.8.1.1 Fase martensítica*

La martensita es una de las fases micro estructurales que se presenta en los aceros inoxidables martensíticos, siendo esta una solución sólida meta estable y sobresaturada de carbono, esta fase presenta una estructura tetragonal centrada en cuerpo, sus átomos de carbono están dispuestos de forma que ocupan todas las posiciones octaédricas a lo largo del mayor eje de la celda cristalina. La martensita se forma a partir del enfriamiento rápido del acero austenizado, la velocidad de enfriamiento debe ser crítica de templado, este proceso de enfriamiento es denominado como templado, con esto se logra en el acero la formación de dicha fase con una alta dureza, pero a su vez con una fragilidad alta (BELZUNCE, 2001, p. 27).

La cantidad de carbono en esta fase está directamente ligada a las propiedades mecánicas en esta fase siendo este componente el que da propiedades mecánicas como: dureza, resistencia mecánica y sobre todo su fragilidad. La microdureza de la estructura martensítica de debe a la tensión ocasionada en los cristales, siendo esta deformación similar a la deformación producida en trabajo en frío (Capote, 2011, pp. 6–7).

#### *1.8.1.2 Austenita retenida AR*

En los aceros inoxidables martensíticos con el revenido como tratamiento térmico a una temperatura cercana a los 600°C se originan precipitaciones como partículas, siendo estas conocidas como austenita retenida. Esta microestructura es aquella austenita que no logra a transformarse en una nueva fase, ubicándose principalmente en los bordes de grano. Como consecuencia de la austenita retenida presente en un acero en un post tratamiento térmico es el aumento en ductilidad y tenacidad, esto sin disminuir la dureza y la resistencia mecánica (Mendez, Gervasi, Llorente, Ceré, & Giudice, 2013, p. 23).

### **1.8.2 Aceros inoxidables austeníticos**

#### *1.8.2.1 Fase austenítica*

La austenita es una solución sólida de carbono en hierro gamma (FCC), presente a temperatura ambiente en ciertos aceros inoxidables con alto contenido en peso de níquel, esta fase presenta

la mayor densidad en los aceros formando una inserción de carbono en hierro gamma  $\gamma$ . Las propiedades mecánicas que esta fase presente son: buena ductilidad, buena resistencia a la tracción, un alto porcentaje de alargamiento de hasta 68%, una baja dureza, alta resistencia al desgaste, no es magnética. Para que un acero posea la fase austenítica es aleado con varios elementos llamado gamagénos como el níquel y el manganeso, logrando por medio de esto disminuir la temperatura de austenización y favorecer la estabilidad de la fase gamma a temperatura ambiente (Capote, 2011, pp. 4-5).

#### *1.8.2.2 Fase ferrítica*

Es una de las formas alotrópicas que se presentan en los aceros sometido a temperaturas menores a 700°C, siendo denominada esta fase como  $\alpha$ , cuando esta fase es sometida a temperaturas elevadas llegando hasta aproximadamente los 1300°C presenta si forma  $\delta$ , teniendo una estructura BCC. Esta fase se caracteriza por ser presentar una baja dureza, una alta ductilidad además de presentar la característica de ser magnética, teniendo como resultado de estos una excelente maleabilidad, sin embargo, esta fase es perjudicial si se busca un acero que posea una alta dureza, una excelente resistencia mecánica que son necesarias para evitar el desgaste y la fractura en varios componentes y partes hidráulicas (Cañizares & Quinchuela, 2017, pp. 18-19).

### **1.9 Estructuras cristalinas**

En los aceros inoxidables martensíticos y austeníticos debido a sus microestructuras descritas anteriormente se presentan estructuras cristalinas propias en cada material, las cuales son descritas a continuación:

#### *1.9.1 Estructura BCT*

La estructura BCT o también conocida como Tetragonal centrada en el cuerpo, es la estructura cristalina propia de la fase martensítica, su forma propia de tetragonalidad se debe al carbono intersticial, a su vez el grado de tetragonalidad depende del porcentaje de carbono que posea el acero, un inconveniente de esta fase se da cuanto existe una transformación FCC hacia una BCT ya que el material o pieza en cuestión puede fallar y no tener las propiedades mecánicas adecuadas para las cuales fueras diseñadas (Course Hero, n.d.).

## 1.9.2 Estructura FCC

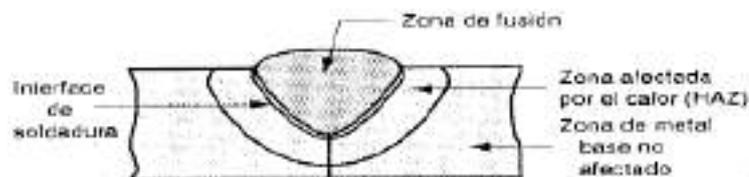
La estructura FCC o también conocida como Cúbica Centrada en las Caras, es la estructura cristalina propia de la fase austenítica. En este tipo de estructura cristalina se diluyen en solución sólida los átomos de carbono en los espacios intersticiales, además esta estructura permite una mejor difusión del carbono dando susceptibilidad al material a ser carburizado (Aguilar, n.d., p. 8).

## 1.10 Soldadura en aceros inoxidable

### 1.10.1 Metalurgia de los aceros inoxidable

Como consecuencia de los elementos aleantes en los aceros inoxidable, teniendo entre ellos al cromo siendo este elemento el que genera la propiedad de generar la capa pasiva de óxido, además de que suministrar estabilización en su estructura atómica (BCC). A temperaturas elevadas los aceros inoxidable con un porcentaje de cromo no mayor a 20% presentan la fase ferrítica. Además de esto existen elementos aleantes como el fósforo, azufre, y el oxígeno no tiene la capacidad de solubilizarse en el hierro (Gámez, 2017, p. 8).

Los electrodos poseen en su composición manganeso y silicio que tienen como finalidad servir de revestimiento para la acción oxidante que provoca el ambiente atmosférico sobre el electrodo, otro elemento presente en el electrodo es el titanio que estabiliza la soldadura produciendo una escoria de fácil remoción sin la presencia de carburos. La presencia de óxido de calcio cumple la función de propiciar la eliminación del hidrógeno reduciendo de esta forma el riesgo de fisuración en el cordón de la soldadura, otro de los aspectos que más control se tiene en los electrodos es el contenido en peso de carbono, esto se debe a gran medida que este elemento propicia la formación de martensita en el acero inoxidable. La designación de los electrodos es de forma análoga a la de los aceros inoxidable teniendo así las series: 300 (austeníticos), 400 (martensíticos), 500 (dúplex) siendo estos últimos los más usados puesto que se puede soldar la gran mayoría de aceros inoxidable con esta serie de electrodos (Pástor, 2004, pp. 39–40).



**Figura 5-1:** Sección transversal de una junta soldada por fusión común

Realizado por: Pástor, 2004, p. 10

## ***1.10.2 Soldabilidad de los aceros inoxidable***

### ***1.10.2.1 Soldabilidad en aceros inoxidable austeníticos***

Los aspectos que limitan la soldabilidad en esta serie de aceros inoxidable son los siguientes:

#### **Tendencia al agrietamiento de las soldaduras de acero inoxidable**

Este fenómeno producido en el transcurso de la soldadura es establecido por el diagrama de Schaeffler, una de las causas que provoca este fenómeno es en gran parte al calentamiento de la austenita pura dando lugar a la propagación de una película de silicato bordeando los granos de austenita, esto sin embargo puede ser mermado con la formación de la fase ferrítica, teniendo un control en el porcentaje de esta fase ya que un exceso de la fase ferrítica disminuye la ductilidad de la austenita (Pástor, 2004, p. 41).

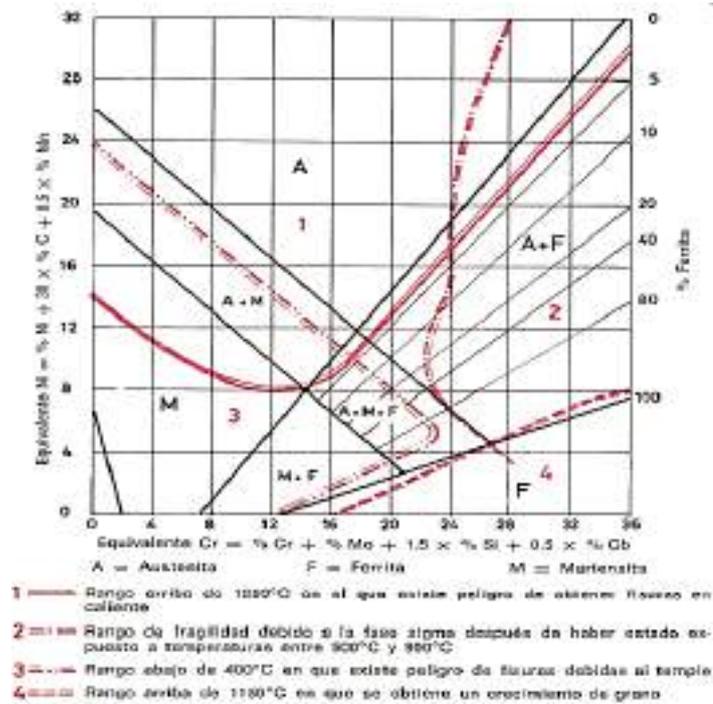
#### **Diagrama de Schaeffler**

El diagrama de Schaeffler, es una figura que es usado para determinar la estructura que presentará el metal posterior a ser sometido al proceso de soldadura por medio de la fusión de aceros inoxidable disímiles o también entre aceros al carbono de bajo o alta aleación. Para la utilización del diagrama de Schaeffler es necesario conocer la composición del metal base, lo cual si en un caso se lo desconoce se lo puede obtener por medio de una espectrometría. Para la utilización del diagrama de Schaeffler se tiene limitaciones ya que no puede ser usado cuando el acero no cumple con el siguiente régimen en su composición: carbono máximo 0,2%, manganeso máximo 1%, silicio máximo 1%, molibdeno 3%, niobio 1,5% (Ospina, Aguirre, & Parra, 2007, p. 3).

Como punto de partida se debe obtener el cromo y níquel equivalente del material de aporte y del material de base, estas son calculadas por fórmulas que son presentadas a continuación:

$$\text{Cromo equivalente} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5Nb$$

$$\text{Níquel equivalente} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$



**Figura 6-1.** Diagrama de Schaeffler

Realizado por: Leon, 2016, p. 29

### 1.10.2.2 Soldabilidad en aceros inoxidables martensíticos

#### Problemas físicos

Los aceros inoxidables martensíticos presentan ciertos inconvenientes de carácter físico en la soldadura siendo los más relevantes: bajo coeficiente de dilatación térmico en comparación con aceros sin elementos aleantes, una baja conductividad térmica que no permite la disipación fácil de calor a lo largo del material, presentan magnetismo como consecuencia presentan soplo del arco (OERLIKON, 2013, p. 129).

#### Problemas metalúrgicos

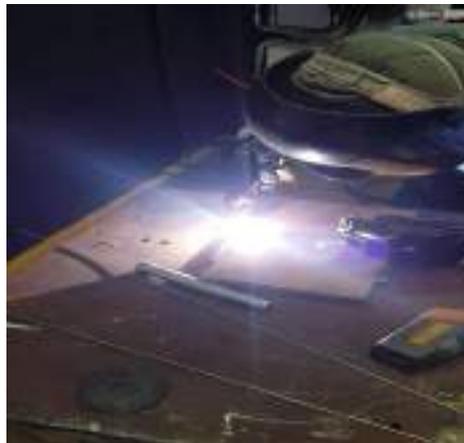
Los aceros inoxidables martensíticos con un contenido en peso de cromo alto poseen el inconveniente que durante el proceso y posterior a la soldadura tiende a endurecerse generando una disminución considerable de la ductilidad del acero. Otro inconveniente que se tiene es la presencia de rajaduras por el gradiente de temperatura que ocurre en el cordón de soldadura en el momento de fusión del material y en su posterior enfriamiento, no obstante, este inconveniente puede eliminarse en el acero ASTM A743 CA6-NM con un precalentamiento que no exceda los 200°C, reduciendo a su vez otros inconvenientes como tensiones residuales, contracciones, entallado, por medio también de post tratamiento térmico (OERLIKON, 2013, pp. 8-9).

### 1.10.3 Soldadura GTAW

La soldadura GTAW es conocida en muchos países como TIG “Tungsten Inert Gas”, puesto que este tipo de soldadura usa como gas protector un gas inerte, por lo general se lo realiza manualmente, no obstante, en ciertos usos se puede realizar de forma semiautomática. Una de los beneficios que presenta este tipo de soldadura es que es sumamente limpia y su acabado presenta una muy buena calidad de soldadura sin presencia de escoria evitando costos y tiempo muerto en la limpieza, sus aplicaciones son diversas esto en a la versatilidad y beneficios que se presentan con esta soldadura siendo usados frecuentemente en la industria: energética, automotriz, aeroespacial, entre muchos otros campos (OASA, n.d., pp. 8–9).

La soldadura GTAW en un principio usó como gas protector el helio, sin embargo, con el pasar del tiempo este gas fue reemplazado por el argón, en virtud de la relativa accesibilidad de este y al factor económico que tiene el argón. El electrodo que se usa para este tipo de soldadura es hecho de tungsteno no consumible y desnudo que mantiene una conexión con la fuente de poder, pudiendo ser este de corriente alterna lográndose así poder efectuar soldadura autógena (INTECWELD, 2013).

El procedimiento para realizar un cordón de soldadura tiene cierto grado de similitud con la soldadura mediante gas combustible, calentándose el material de aporte a mediante un soplete manipulado por el operador. Por medio de la soldadura TIG es posible realizar cordones con velocidades muy altas y una muy buena precisión (Horwitz, 1984, p. 109).



**Figura 7-1.** Relleno de una placa  
mediante soldadura GTAW

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Por medio de la soldadura TIG es posible realizar cordones con velocidades muy altas y una muy buena precisión, en sí la velocidad dependerá netamente del soldador, de la habilidad y destreza que este posea, además una virtud de este tipo de soldadura es que no es necesario realizar una pulida post soldadura, a no ser simplemente por razones estéticas (Fulcer, 2008, p. 2).

**Tabla 9- 1:** Ventajas y desventajas de la soldadura GTAW

Ventajas	Desventajas
Soldadura con una alta calidad en su acabado.	Presenta una velocidad sumamente baja de deposición sobre el metal base.
Soldadura limpia.	Soldadura con un alto nivel de aprendizaje.
No presenta humo, chispas o escoria.	Se necesita un elevado nivel de habilidad de parte del soldador.
Se puede emplear en la mayoría de metales.	Presenta más riesgos químicos hacia el soldador debido a la presencia de rayos UV.

**Fuente:** Fulcer, 2008, p. 2

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 1.10.3.1 Aplicaciones más empleadas en la soldadura GTAW

La soldadura GTAW como se ha mencionado posee tanto ventajas como desventajas, con lo que tomando aspecto principal un espesor menor a 1 pulgada (Fulcer, 2008, p. 3), este tipo de soldadura tiene como principales aplicaciones la siguientes:

- Industria energética: reparación y relleno de alabes y rodets de hidroeléctricas.
- Industria automotriz: jaulas de seguridad, chasis, tubos de escape.
- Industria petroquímica.
- Tuberías.

La soldadura TIG para aceros inoxidable usan el electrodo 309L, posee una composición química de 24% cromo, 13% níquel con lo cual se logra impedir la formación de fisuras en caliente, un electrodo adecuado para la soldadura disímil entre aceros inoxidable.

**Tabla 10- 1:** Composición química del electrodo ER309LMo

%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Ni	%Cu
0,03 máx.	1-2,5	0,3-0,65	0,025 máx.	0,025 máx.	11-14	1,5 aprox.

**Fuente:** (SELECTARC, n.d., p. 24)

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Tabla 11- 1:** Parámetros de soldadura GTAW del electrodo ER309LMo

Diámetro (mm,[pulg.])	2,5[3/32"]	3,25[1/8"]
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo	
Gas protector	100% Ar	
Amperaje (A)	20-150	30-250
Voltaje (V)	9-15	10-20
Flujo de gas protector (l/min)	5-15	5-15

Fuente: SELECTARC, n.d., p. 24

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 1.11 Espectrometría

La espectrometría de emisión es un método espectroscópico que mediante el análisis de las longitudes de onda de los fotones emitidos por átomos mientras existe una transición desde un estado de excitación de más bajo de energía. Debido a la naturaleza de cada elemento químico este emitirá un conjunto propio de longitud de onda en función de su estructura electrónica. A través de la comparación de estas longitudes de ondas discretas en función de su onda se logra determinar la composición de la muestra que está siendo analizada (Balseca & Telenchana, 2019, p. 74).

Para la determinación de la composición química de esta técnica se utilizan actualmente espectrómetros de emisión por chispa, Figura 1-8, los cuales tienen un amplio grado de exactitud en cuanto a resultados.



**Figura 8-1.** Espectrómetro de emisión por chipa

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 1.12 Ensayos no destructivos

Los ensayos no destructivos son procesos que tienen como objetivos evaluar y conocer el estado en el cual se encuentran materiales, sin la necesidad de alterar las propiedades y operatividad de estos (Smith, 1998, p. 3).

### ***1.12.1 Inspección visual***

Es el método más usado en cuanto a ensayos no destructivos, pero a su vez el más básico esto como consecuencia que es usado simplemente elementos como: lupas, gafas de aumento, entre otros. Son usados para inspecciones de cordones de soldadura, en lugares peligrosos o de difícil acceso como gasoductos, oleoductos, tuberías, reactores por medio de robots motorizados (Anónimo, 2017, p. 9).

Estos ensayos presentan ventajas sobre otras técnicas puesto que es posible visualizar la superficie directamente, de esta forma el inspector podrá diferenciar y analizar las texturas y colores del material, sin embargo, presenta la limitación que solo se la puede realizar superficialmente (Anónimo, 2017, p. 10).

### ***1.12.2 Ensayos de tintas penetrantes***

Los ensayos de tintas penetrantes son frecuentemente usados después de las inspecciones visuales puesto que analiza la superficie del material, siendo una segunda evaluación después de llevar a cabo una inspección visual. Este método se basa en el principio de la capilaridad que poseen los líquidos usado para hallar discontinuidades sobre las superficies en aquellos materiales como: metales, cerámicos, vidrios, polímeros, entre muchos otros (Anónimo, 2017, p. 10).

El procedimiento que se debe seguir para realizar los ensayos penetrantes es el siguiente:

- Limpiar completamente la superficie del material a evaluar.
- Esparcir la tinta penetrante sobre la superficie del material, permitiendo que la tinta penetre la superficie del material durante un tiempo de 15 minutos aproximadamente.
- Limpiar la tinta penetrante expuesta en la superficie del material.
- Aplicar el revelador sobre la superficie del material.
- Evaluar las discontinuidades (en caso de existir) en la superficie del material.

### **1.13 Ensayos destructivos**

En muchos de los casos y aplicación en la industria en general se hará necesario conocer las propiedades mecánicas, esto debido a que se desconoce los valores de estas propiedades o su vez para corroborar los datos proporcionados por el fabricante del material y/o pieza. Los métodos utilizados para determinar las propiedades mecánicas de los materiales son los ensayos destructivos de propiedades mecánicas, que logran de establecer las características mecánicas de los materiales sometidos bajo condiciones de esfuerzo y deformación simulando las condiciones que los elementos estarán sujetos en las aplicaciones para las cuales fueron diseñados. Son llamados ensayos destructivos debido a que las piezas posteriores a ser sometidos a estos ensayos

quedan deterioradas, ya sea por una marca, una deformación permanente o pudiendo llegar a una fractura parcial o total de la pieza (Anónimo, 2011, p. 2).

Las principales propiedades mecánicas son:

**Dureza:** esta propiedad mecánica describe la resistencia que presentan un material a ser rayado o penetrado.

**Tenacidad:** es la capacidad que presentan los materiales de soportar esfuerzos o cargas sin fracturarse.

**Fragilidad:** esta propiedad es la contra parte a la tenacidad, describe la tendencia o facilidad de un material a fracturarse

### ***1.13.1 Ensayo de dureza***

La dureza es una propiedad de los materiales que describen la resistencia que un cuerpo presenta a ser rayado o penetrado por otro material. Esta propiedad es calculada en su mayoría en los aceros con la finalidad de pronosticar la resistencia mecánica del material en cuestión, a su vez también del grado magnitud del tratamiento térmico al cual fue sometido el acero, prediciendo de este modo la resistencia al desgaste y tipo de mecanizado del material (Anónimo, n.d., p. 1).

A través de los años se han desarrollado varios métodos con los cuales se puede determinar la dureza de los materiales, mediante la resistencia que presentan a ser penetrados por indentadores, quedando debido a la acción de una carga una impresión sobre el material (Anónimo, n.d., p. 2).

Los procedimientos más importantes para medir dureza son los siguientes:

#### ***1.13.1.1 Dureza vickers***

El ensayo de dureza vickers es el más idóneo para ensayos de microdurezas, para ensayos jominy, y cordones de soldadura, esto debido a la versatilidad que este presenta pues presenta un amplio rango de carga y la facilidad de realizar el ensayo (STRUERS, 2019).

El proceso de este ensayo es aplicar una carga sobre el material a medir la dureza por medio de un indentador de forma piramidal con base cuadrada con un ángulo de vértice de 130°, y posterior a la descarga de esta fuerza se procede a medir la diagonal de la impresión dejada por el indentador (Esparza, 1998, p. 3).



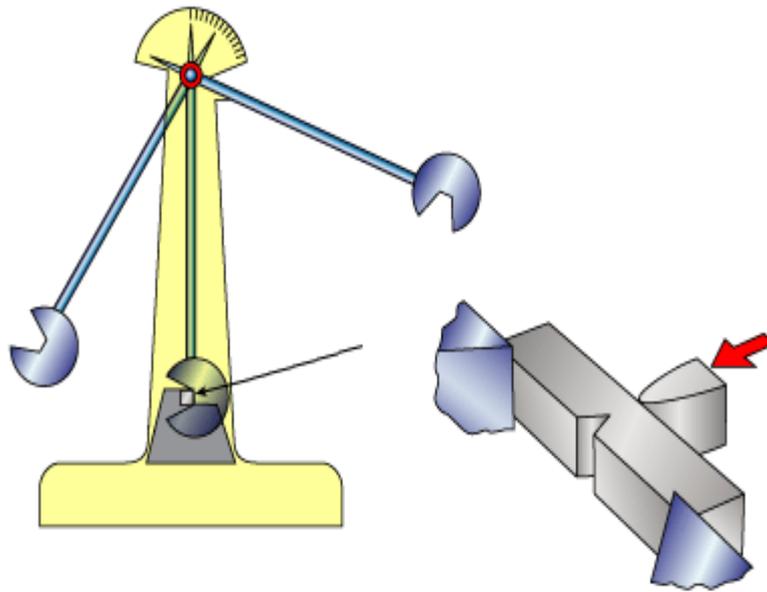
**Figura 9-1.** Microdurómetro.

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### ***1.13.2 Ensayo de impacto***

El ensayo de impacto es uno de los ensayos destructivos más utilizados, esto en gran medida a la simplicidad de ejecución, este se lo puede realizar en una máquina llamada péndulo de charpy, no obstante, a pesar de la simplicidad por la rapidez y dinamismo del ensayo se pueden obtener datos relevantes del material (Ortega, 2006, p. 51).

En el momento que un material es sometido una carga súbita e intensa, la celeridad de la deformación de este es sumamente alta, llegando el material a comportarse como un material sumamente frágil, siendo de esta manera usado el ensayo de impacto para lograr tasar la fragilidad bajo la aplicación del impacto del péndulo charpy. El material al momento de recibir el impacto por parte del péndulo charpy presenta la capacidad de absorber está energía antes de fracturarse súbitamente, llamando así esta propiedad como tenacidad del material (Auz, 2011, p. 50).



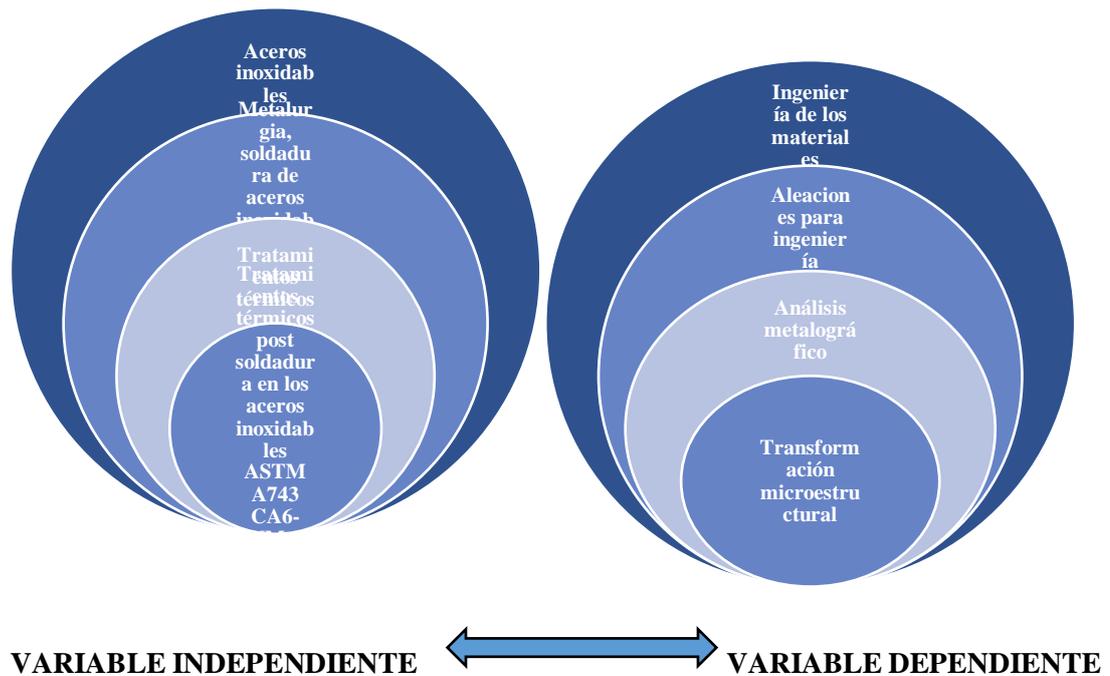
**Figura 10-1.** Máquina charpy para ensayo de impacto.

Realizado por: Auz, 2011, p. 50

El procedimiento que se sigue para realizar este tipo de ensayo es golpear por medio de una masa  $M$  sujeta en el extremo del péndulo charpy suspendida a una altura  $H$  a la probeta del material a analizar. La energía absorbida por el material para generar la fractura es calculada por medio de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y al final del impacto (Ortega, 2006, p. 52).

Los modos de fractura que tienden a experimentar los materiales pueden ser tanto de tipo frágil como del dúctil, esto se encuentra sujeto a la capacidad del material absorber energía, sin embargo, existen varios criterios para establecer el tipo de material en cuestión. El criterio más acertado se da en que los materiales más dúctiles tienen la capacidad de absorber mayor que la necesaria para que un material llegue al punto de fractura frágil (Ortega, 2006, p. 52). Las normas que se rigen para este ensayo son diversas entre las principales tenemos: ISO 148 y la ASTM E23.

## 1.14 Categoría fundamental



**Gráfico 1-1.** Variables del trabajo de investigación

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## 1.15 Hipótesis

Los tratamientos térmicos, y los tratamientos térmicos post soldadura afectan al porcentaje volumétrico de Austenita Retenida.

## 1.16 Señalamiento de variables

### 1.16.1 Variable independiente

Tratamientos térmicos y soldadura en los aceros inoxidables: martensítico ASTM A743 CA-6NM y austenítico AISI 304L.

### 1.16.2 Variable dependiente

Transformación microestructural.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1 Enfoque**

La investigación llevada a cabo tiene como enfoque determinar la formación de “Austenita Retenida” en los aceros inoxidable: ASTM A743 grado CA-6NM y AISI 304L, posterior a ser sometidos bajo condiciones experimentales de tratamientos térmicos y soldadura; debido al carácter experimental del estudio se emplea un enfoque cuantitativo mediante la manipulación de las variables continuas durante el análisis de formación de austenita retenida, y a la interpretación de resultados por medio del estudio metalográfico, además se realizará un control de calidad de estos procesos por medio de ensayos destructivos y ensayos no destructivos.

#### **2.2 Modalidad básica de la investigación**

##### ***2.2.1 Investigación documental***

Es necesaria la obtención de conocimiento y recolección de información acerca del comportamiento de los aceros inoxidable martensíticos y austeníticos, esta investigación documental es llevada a cabo mediante la revisión de investigaciones y publicaciones en: libros, monografías, revistas científicas, tesis de grado, etc. Terminado el proceso de revisión bibliográfica se utiliza la información obtenida para determinar en primera instancia las variables y parámetros que intervienen en el estudio, además de que sean de utilidad como complemento o apoyo para los resultados obtenidos en esta investigación.

##### ***2.2.2 Investigación de campo***

Como parte de la metodología utilizada para el estudio, la investigación de campo es necesaria con el objetivo de tener información actualizada del proceso de recuperación de rodets hidráulicos llevado a cabo en el CIRT; especialmente de los procedimientos realizados por el departamento de ingeniería y control de calidad durante las etapas de: “Control previo a tratamientos térmicos”, “Aplicación de tratamientos térmicos” y “Control post tratamiento térmico”.

### **2.2.3 *Investigación Experimental***

El proceso experimental contempla diversos casos de estudio entre material base, tratamientos térmicos, soldadura, tratamientos térmicos post soldadura planteados por los autores con base a la información obtenida en la investigación documental más la de campo a ser aplicados en los aceros: martensítico ASTM A743 grado CA-6NM y austenítico AISI 304L,

Los experimentos se procedieron a realizar en probetas de acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM y AISI 304L; los procedimientos de soldadura y tratamientos térmicos son utilizados para la recuperación de rodets y otros componentes hidráulicos los cuales fueron en ciertos casos replicados con modificaciones en cuanto temperaturas de calentamiento para posteriormente evaluar el comportamiento microestructural, y la formación de la austenita retenida observada en los especímenes mediante ensayos metalográficos.

## **2.3 Niveles de la investigación**

### **2.3.1 *Exploratorio***

Como parte importante de esta investigación se obtuvo una recopilación de información acerca de la austenita retenida, con la finalidad de formular con mayor exactitud el esquema metodológico a emplear para la investigación; que surge como solución a un problema con poca exploración en el campo de la ingeniería de materiales.

### **2.3.2 *Descriptiva***

Uno de los objetivos del presente estudio es describir la formación de austenita retenida por medio de tratamientos térmicos experimentales, y realizar una adecuada interpretación de los resultados obtenidos mediante la fase experimental.

## **2.4 Población y muestra**

### **2.4.1 Población**

La presente investigación fue llevada a cabo utilizando probetas y procesos estandarizados en aceros inoxidable: martensítico ASTM A743 grado CA-6NM y austenítico AISI 304L, sometidos a procesos experimentales de tratamientos térmicos, soldadura y tratamientos térmicos post soldadura (TTPS), a continuación, se describen los casos de estudio evaluados:

Acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM:

- Material base – condiciones de fábrica.
- Sometidas a un tratamiento térmico de normalizado desde 1100 °C.
- Sometidas a un tratamiento térmico de normalizado desde 1000 °C.
- Sometidas a un proceso de recocido desde 1100 °C.
- Sometidas a un proceso de recocido desde 1000 °C.
- Sometidas a un tratamiento térmico de recocido desde 1000 °C seguido de un revenido desde 600 °C.
- Sometidas a un tratamiento térmico de recocido desde 1100 °C seguido de un revenido desde 600°C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 640 °C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 620 °C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 600 °C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 580 °C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 560 °C.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo.
- Sometidas a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo seguido de un revenido desde 600 °C.

Acero inoxidable austenítico AISI 304L:

- Material base – condiciones de fábrica.
- Sometidas a un tratamiento térmico de recocido desde 1010 °C.
- Sometidas a un proceso de normalizado desde 1010 °C.
- Sometidas a un proceso de normalizado a 1010°C seguido de un revenido desde 600°C.
- Sometida a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo.
- Sometida a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo seguido de un revenido desde 600°C.
- Sometida a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo.
- Sometida a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C.

Codificaciones para cada caso de estudio:

El proyecto de investigación contempla varios tipos de estudio, donde se analizarán varias muestras por caso de estudio en el cual subíndice X que significa el número de probeta.

**Tabla 12-2:** Codificación para cada caso de estudio acero ASTM A743 CA6-NM

Caso de estudio	Codificación
Material base – condiciones de fábrica	M-CE1-PX
Normalizado desde 1100 °C	M-CE2-PX
Normalizado desde 1000 °C	M-CE3-PX
Recocido desde 1100 °C	M-CE4-PX
Recocido desde 1000 °C.	M-CE5-PX
Recocido desde 1000 °C seguido de un revenido desde 600 °C	M-CE6-PX
Recocido desde 1100 °C seguido de un revenido a 600°C	M-CE7-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo	M-CE8-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 640 °C	M-CE9-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 620 °C	M-CE10-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 600 °C	M-CE11-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 580 °C	M-CE12-PX
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 560 °C.	M-CE13-PX
Soldadura TIG con electrodo E309L.	M-CE14-PX
Soldadura TIG con electrodo E309L seguido de un revenido desde 600 °C.	M-CE15-PX

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Tabla 13-2:** Codificación para cada caso de estudio acero AISI 304L

Caso de estudio	Codificación
Material Base – condiciones de fábrica	A-CE1-PX
Recocido desde 1010 °C	A-CE2-PX
Normalizado desde 1010 °C	A-CE3-PX
Normalizado a 1010°C seguido de un revenido desde 600°C.	A-CE4-PX
Soldadura TIG con electrodo E309L	A-CE5-PX
Soldadura TIG con electrodo E309L seguido de un revenido desde 600°C	A-CE6-PX
Soldadura TIG con electrodo E410	A-CE7-PX
Soldadura TIG con electrodo E410 seguido de un revenido desde 600°C	A-CE8-PX

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 2.4.2 Muestra

Al no existir una muestra pre definida debido al tipo de investigación denominada como “estudio de casos”, se calculó el número de probetas a ser usados para cada tipo de ensayo.

## 2.5 Operacionalización de las variables

### 2.5.1 Variable Independiente

Tratamientos Térmicos en los aceros: ASTM A743 grado CA-6NM y AISI 304L.

**Tabla 14-2:** Variable independiente para la investigación.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	INSTRUMENTOS
Los tratamientos térmicos son un conjunto de ciclos calentamiento, enfriamiento y tiempo de permanencia que se le dan a un material con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas.	Parámetro de temperatura	°C	600 – revenido 1000 – austenización	Observación: -Termómetro del horno. -Fichas de reporte.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 2.5.2 Variable Dependiente

Morfología y porcentaje de Austenita Retenida.

**Tabla 15-2:** Variable dependiente para la investigación

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Austenita Retenida: Fase meta estable de los aceros que es producida al evitar la transformación de la austenita en martensita durante la etapa de enfriamiento.	Microestructura	Componente metalográfico/ Fases.	Volumen porcentual	Ensayos de Laboratorio: -Ensayos Metalográficos -Ficha de reporte de ensayo.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## **2.6 Recolección de información**

Acero ASTM A743 grado CA6-NM con 15 casos de estudio, acero AISI 304L con 8 casos de estudio tienen procedimientos que fueron propuestos por medio de la recopilación de datos a través de:

- Fichas técnicas para toma de datos.
- Diario de Campo.
- Bitácora de trabajo para el registro de tratamientos térmicos, temperaturas y notas.

## **2.7 Procesamiento de la información**

### **2.7.1 Planificación de procesamiento de datos**

A continuación, se presenta la planificación utilizada para el procesamiento de la información:

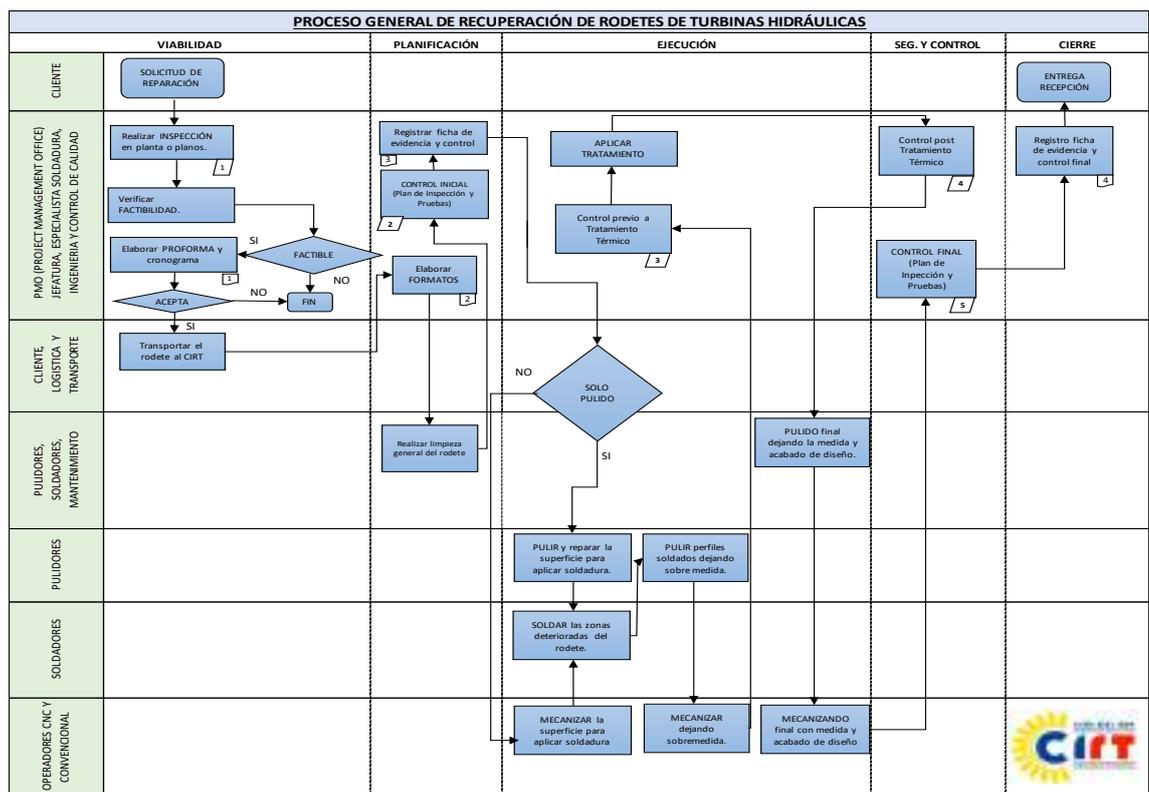
- Revisión documental y generación de los parámetros que influyen en el cambio morfológico y porcentual de la austenita retenida, para realizar un contraste de dichos parámetros hacia los procedimientos aplicados en el CIRT para la recuperación de turbinas y partes hidráulicas.
- Selección del material de estudio; la investigación se centra en el comportamiento de la austenita retenida contenida en los materiales que constituyen los álabes directrices de una turbina hidráulica: acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y otros componentes hidráulicos: acero inoxidable austenítico AISI 304L.
- Identificación de los parámetros para los procesos de soldadura y tratamientos térmicos como: temperatura de austenización, temperatura de revenido, tiempo de sostenimiento, etc.
- Mecanización de las probetas utilizadas para evaluar el comportamiento de la AR.
- Realización la evaluación de las cantidades de AR mediante microscopio metalográfico
- Realización de los ensayos destructivos para evaluar las propiedades mecánicas del material base y con los tratamientos térmicos de interés: ensayo de dureza, ensayo de impacto, ensayo de tracción.
- Registro de los datos obtenidos mediante informes, tablas, fotografías, etc.

### 2.7.2 Análisis e interpretación de resultados

Mediante los datos obtenidos durante la fase experimental de la investigación se hace necesaria una comparativa entre las diferentes condiciones de soldadura y tratamientos térmicos con el objetivo de identificar la formación de austenita retenida.

### 2.8 Plan obtención y análisis de resultados

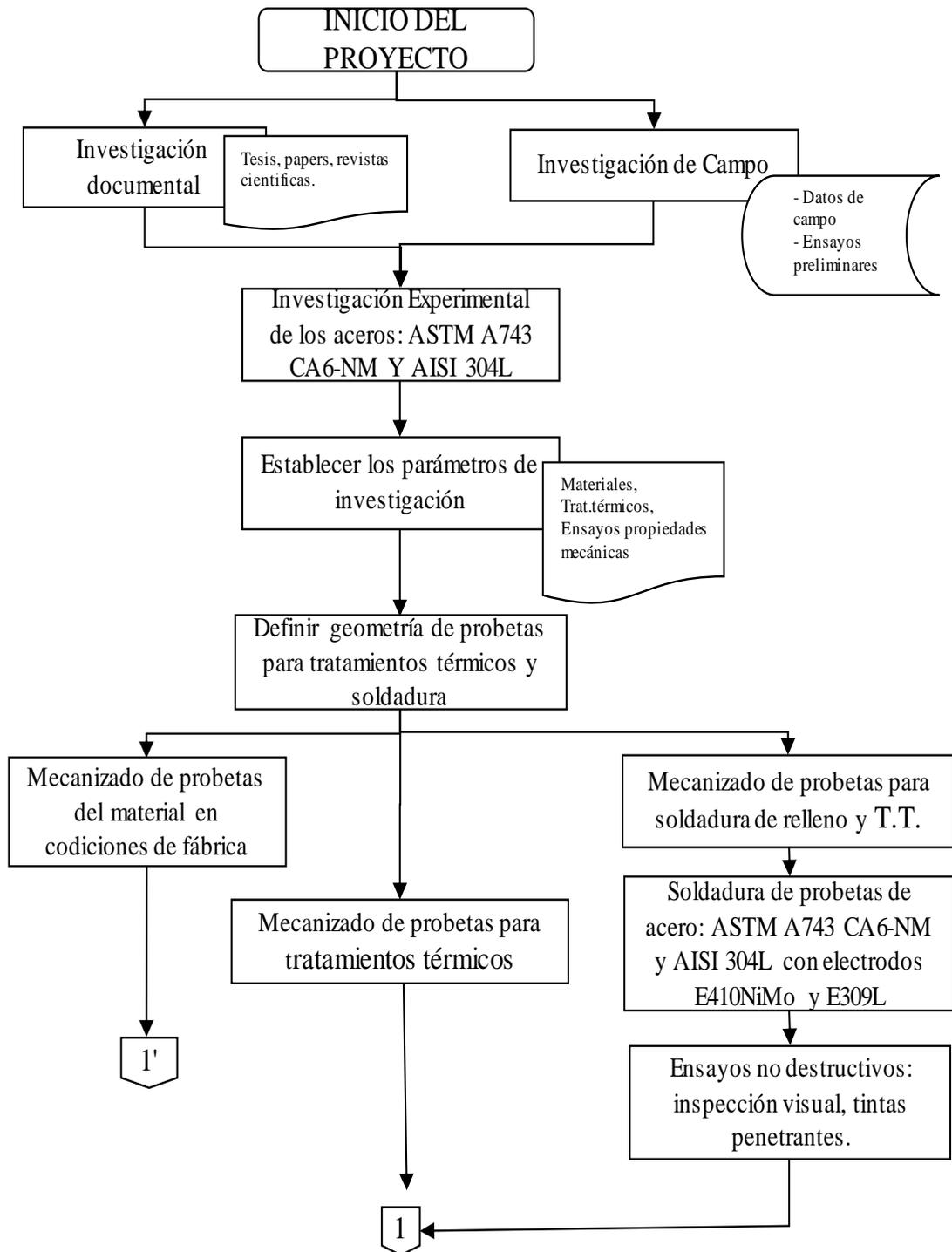
La metodología empleada para el desarrollo del presente estudio toma como base el procedimiento convencional de recuperación de rodetes de turbinas hidráulicas utilizado en el CIRT, mismo que consiste principalmente en el relleno de discontinuidades y/o porosidades mediante procesos de soldadura, presentado a continuación:

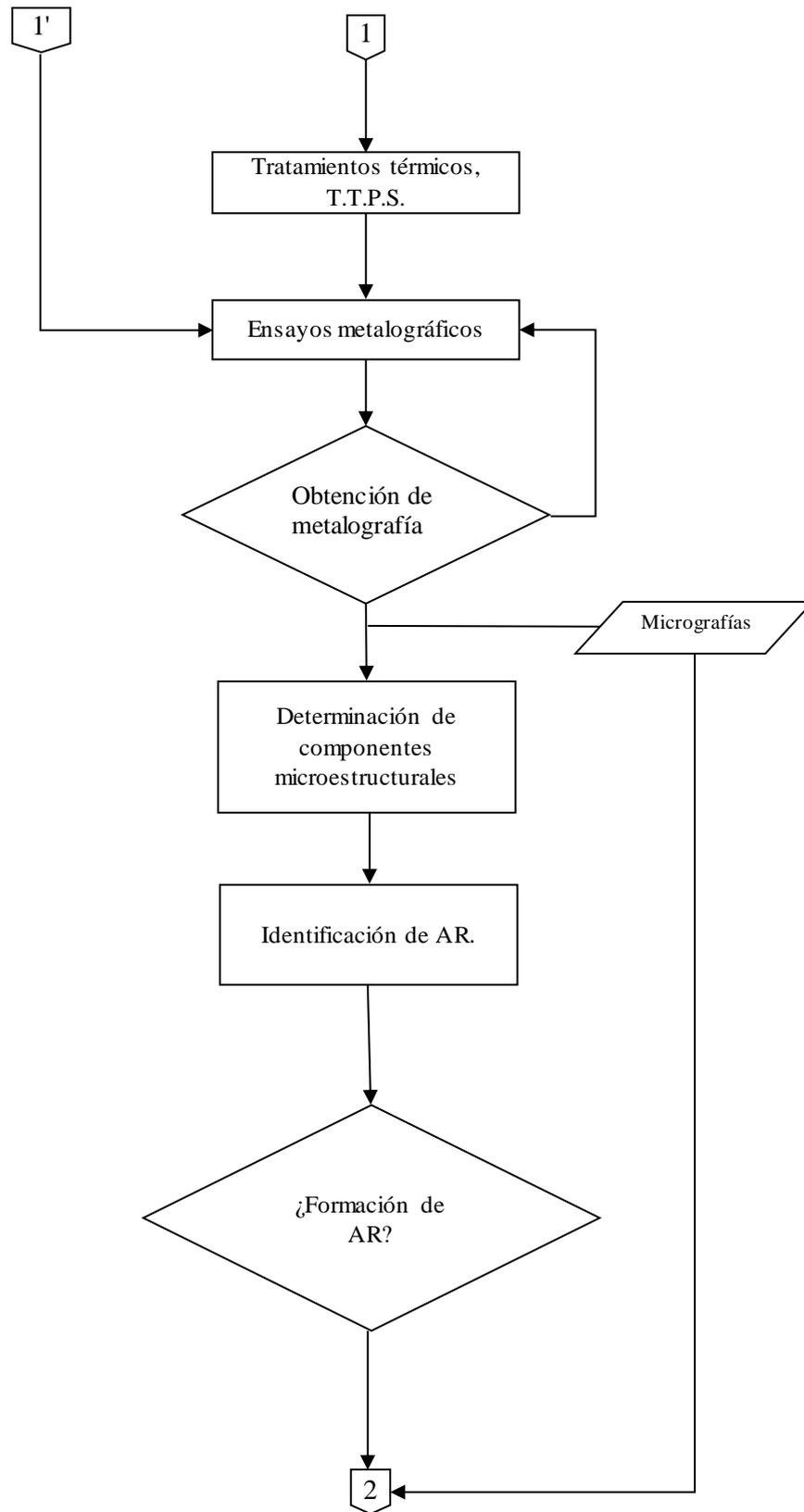


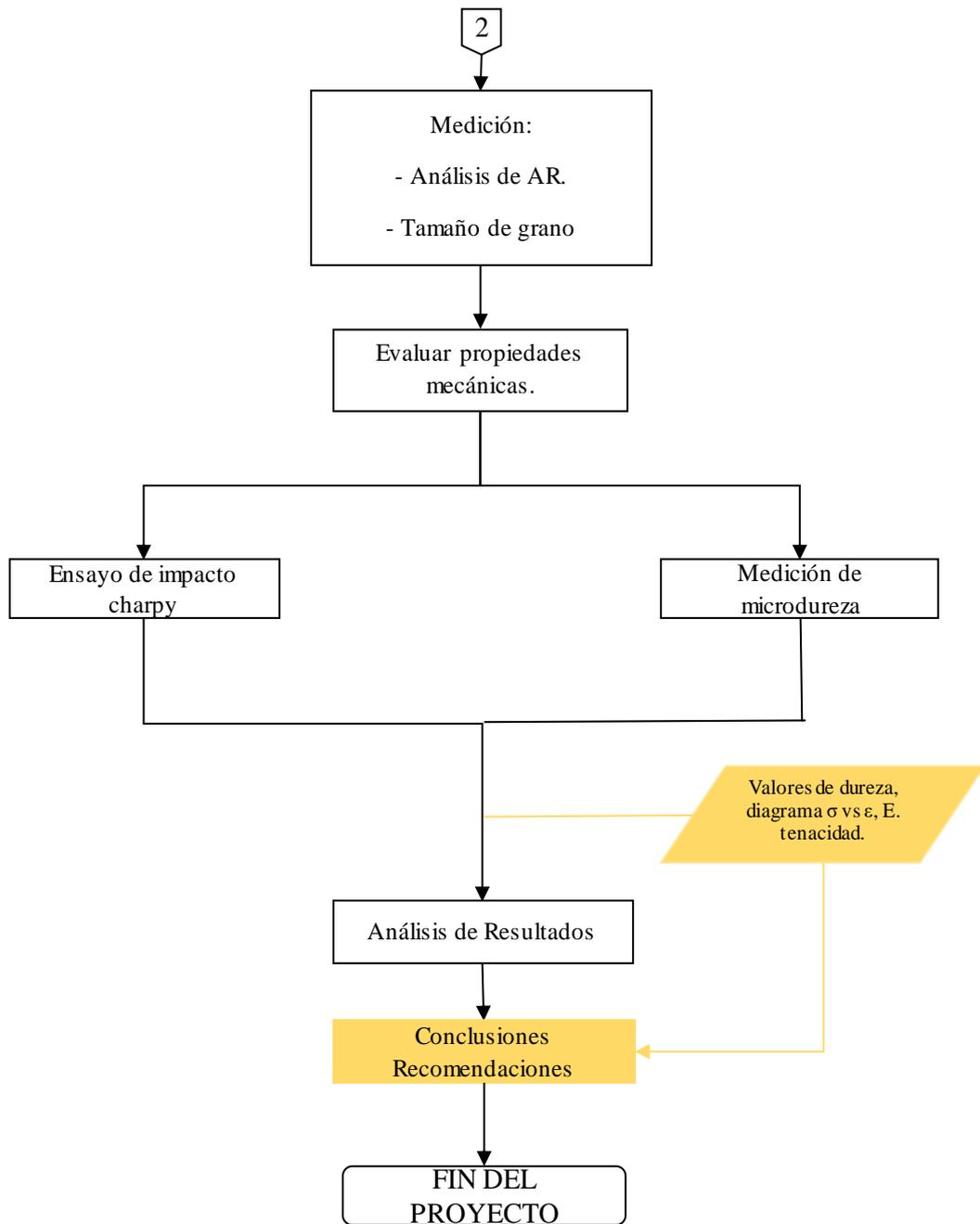
**Gráfico 2-2.** Proceso general de recuperación de rodetes de turbinas hidráulicas

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Como se mostró en el Gráfico 1-2, el procedimiento utilizado para la recuperación general de rodetes de turbinas hidráulicas, durante el período de ejecución son llevados a cabo procesos de mecanizado, pulido y soldadura de relleno en las zonas deterioradas del rodetes para finalmente pasar a la etapa de control y aplicación de tratamientos térmicos. Por lo que se procedió a plantear el siguiente proceso metodológico para el estudio de la formación de la AR:







**Gráfico 3-2.** Proceso metodológico para el trabajo de investigación

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 2.9 Establecimiento de los parámetros de la investigación

Antes de establecer los parámetros de investigación se vio la necesidad de determinar las características generales los materiales de interés, mediante una caracterización general de los aceros inoxidables: ASTM A743 grado CA6-NM y AISI 304L en condiciones de fábrica.

### Caracterización acero ASTM A743 grado CA6-NM

#### 2.9.1 Alabe directriz – turbina francis

Material base: acero inoxidable ASTM A743 grado CA6-NM, para la obtención del material base se realizó la selección de un alabe directriz de una turbina francis que se encontraba fuera de operación, para esto se realizó la evaluación de los siguientes parámetros a cada uno de los alabes alojados en el CIRT:

### **Control de funcionalidad**

Se realiza una inspección visual del eje principal del alabe, verificando que el eje principal que sostiene la bandera tenga como máximo dos mecanizados de chaveteros, esto debido a por la disposición de los alabes al ser colocados en el distribuidor pueden ser asegurados en dos posiciones.

### **Figura alabes y distribuidor**

Es necesario recalcar que no es posible realizar una restauración del material de esta zona mediante soldadura debido a que el material aportado y el material base es afectado térmicamente generando dos zonas: zona de fusión y la zona afectada térmicamente caracterizadas por tener diferentes durezas por lo que puede considerarse como una zona propensa a fallar si es sometida a ciclos de esfuerzo.

### **Control de desgaste de los soportes.**

Se realiza una revisión del desgaste que han sufrido los soportes ubicados en los extremos de la bandera, esto mediante ensayos no destructivos como tintas penetrantes.

### **Control de desgaste de la bandera.**

De la misma manera en la que se revisó el desgaste ocasionado en los soportes del álabe es necesaria una evaluación de desgaste en la bandera, esto para evitar cambios en la geometría del alabe que puedan modificar el perfil de velocidades del ingreso de agua al distribuidor, esto debido a que se busca que no exista transformación de energía hidráulica en mecánica durante el redireccionamiento del agua en el distribuidor; esto asegura además que no existan discontinuidades que provoquen la falla del álabe.

El álabe proporcionado para esta investigación no superó el control de funcionalidad por lo que se dio paso al siguiente procedimiento, que consiste en el seccionamiento del álabe por zonas y posteriormente la obtención de probetas.

## Seccionamiento del álabe.

El corte del álabe se realizó mediante una lotización de sus partes esto para evitar el exceso de desperdicios y realizar un uso eficiente del material suministrado. El lote obtenido de la bandera del alabe cumple las siguientes dimensiones:

**Tabla 16-2:** Dimensiones lote de acero ASTM A743 grado CA6-NM

<b>Dimensiones – lotes de material base acero ASTM A743 grado CA6-NM</b>		
Ancho [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]
350	40	45

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 2.9.2 Caracterización acero inoxidable austenítico AISI 304L

Material base: acero inoxidable austenítico AISI 304L, la obtención del material base se la realizó por medio de un oxicorte de una plancha ubicada represa de Hidroagoyán. Las planchas de este acero inoxidable son usadas como blindaje de los desagües del fondo de la represa.

## Seccionamiento de la plancha

El corte de la plancha se realizó mediante una lotización de sus partes esto para evitar el exceso de desperdicios y realizar un uso eficiente del material suministrado. El lote obtenido cumple las siguientes dimensiones:

**Tabla 17-2:** Dimensiones plancha de acero AISI 304L

<b>Dimensiones – plancha acero AISI 304L</b>		
Ancho[mm]	Largo[mm]	Espesor[mm]
1220	2440	10

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Tabla 18-2:** Dimensiones lote de acero AISI 304L.

<b>Dimensiones – lote acero AISI 304L</b>		
Ancho[mm]	Largo[mm]	Espesor[mm]
800	700	10

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 2.10 Espectrometría

**Objetivo:** este ensayo tuvo como finalidad la caracterización del material base con el cual se pudo determinar la composición química de los materiales base a tratar.

Se describe a continuación el procedimiento utilizado para la realización de la espectrometría del material.

**Tabla 19-2:** Procedimiento para la realización de la espectrometría

Nº.	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
<b>Preparación de la muestra</b>					
1.	Limpieza de la probeta.	Dejar la superficie completamente libre de polvos, grasas e impurezas.	-Tela.	5 min.	
2.	Pulido del área a analizar.	Pulido de la superficie, eliminando objetos ajenos al material propio de la muestra. Realizar 2 etapas de pulido, con el objetivo de eliminar toda impureza que puede encontrarse en la superficie y afectar el ensayo.	Discos Zr # 80. -Amoladora. -Equipos de protección personal (EPP).	5min.	
<b>Preparación del equipo</b>					
3.	Montaje del electrodo.	Realizar el cambio del electrodo a uno para análisis de muestras ferrosas.	- Espectrómetro. -Electrodo.	10 min.	-
4.	Purgado.	Encendido del espectrómetro y liberación del caudal del argón contenido en el cilindro de gas dando inicio al proceso de flushing (purgado).	- Espectrómetro. -Cilindro de argón UHP grado 5 (> 99.999% Ar).	15 min.	-
5.	Estandarización del equipo.	Realizar la estandarización del equipo mediante bloques de calibración, asegurando una desviación menor al 5% entre lecturas.	- Espectrómetro. -Patrones de calibración para acero.	60 min.	
6.	Selección del método.	Escoger el método a utilizar dependiendo del tipo de aleación a analizar (aceros, bronce, aluminio).	- Espectrómetro.	2 min.	-

**Tabla 20-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización de la espectrometría

Ejecución del ensayo					
7.	Ubicación de la pistola.	Posicionar de forma perpendicular la superficie de la muestra a ser analizada con la pistola del espectrómetro.	- Espectrómetro. -Probetas.	3 min.	
8.	Inicio del análisis.	Presionar el gatillo para dar inicio con el análisis, mantener en una posición estática tanto la probeta como la pistola durante la ejecución del ensayo.	- Espectrómetro. -Probetas.	3 min.	
9.	Determinación de la composición química.	Para determinar valores de composición química en un material, es necesario realizar el ensayo al menos tres veces donde la desviación estándar entre los valores medidos sea menor al 5%.	- Espectrómetro. -Software OES Elemental Suite.	15 min.	
Generación del reporte					
10.	Exportar Reporte.	Generar el reporte con los porcentajes de elementos aleantes registrados durante el ensayo.	-Formato CIRT-REG- ESP.	2 min.	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 2.11 Metalografía

**Objetivo:** identificar las fases presentes y caracterizar la microestructura, se procedió a realizar el análisis metalográfico, teniendo la relevancia en la investigación pudiéndose obtener datos tales como: tamaños de grano, precipitados, fases presentes, dendritas.

**Normas:** ASTM E3, ASTM E112, ASTM E407, ASTM E562.

El procedimiento a seguir para el análisis de la metalografía es presentado a continuación:

**Tabla 21-2:** Procedimiento para la realización de los ensayos metalográficos

N°.	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
Preparación de la muestra					
1.	Seccionamiento de especímenes.	Realizar el corte del material en secciones de 1 in de diámetro aproximadamente,	-Equipo de corte: LABOTOM-5.	30 min.	

		dimensiones que pueden ser manejadas por el equipo de montaje en caliente y posteriormente los microscopios: metalográfico.	-Disco de corte ( $\phi=250$ mm). Cod: 50A25. -Refrigerante.		-
2.	Limpieza del espécimen.	Remover elementos que no pertenezcan al espécimen como polvos, grasas, residuos de carbono, etc.	-Limpiador. -Guaípe.	10 min.	-
3.	Montaje del espécimen.	Realizar el montaje en caliente en resina epoxy, seguir el instructivo del equipo dependiendo de la resina de montaje que se utilice.	-Prensa CitoPress-5. -Resina PolyFast. -Resina DuroFast. -Resina ClaroFast. -AntiStick.	10 min.	
<b>Lijado y pulido</b>					
4.	Lijado.	Utilizar lijas de papel con tamaño de grano de 125 – 10 $\mu\text{m}$ sobre la superficie a ser preparada, utilizar agua como lubricante durante el proceso de lijado.	-Pileta para lijado y pulido LaboPol-5 -Lijas de papel # 80 hasta la # 2000. -Equipo para lijado y pulido LaboForce-3.	60 min.	
5.	Pulido.	Para el procedimiento de pulido usar el paño MD-Floc y suspensión de alúmina de 1 $\mu\text{m}$ , seguida de suspensión de 0,3 $\mu\text{m}$ y finalmente 0,1 $\mu\text{m}$ .	-Equipo para lijado y pulido LaboForce-3. -Paño MD-Floc. -Suspensión de alúmina de 1, 0,3 y 0,1 $\mu\text{m}$ . -Agua. -Guantes.	40 min.	
<b>Inspección de microestructura</b>					
6.	Ataque químico.	Aplicar una capa fina del reactivo VILELLA – ASTM 407 # (80) sobre la superficie previamente preparada durante aproximadamente 30s; limpiar el reactivo con alcohol y agua, finalmente secar la superficie con aire comprimido.	-Reactivo VILELLA – ASTM 407 # 80. -Cronómetro. -Isopo. -Alcohol. -Agua. -Aire comprimido.	5 min.	
7.	Inspección microestructural.	Colocar la muestra en el microscopio, visualizar la microestructura revelada por el reactivo; fotografiar las zonas de mayor	-Microscopio metalográfico invertido: OLYMPUS GX51. -Software STREAM BASIC. -Guantes.	30 min.	

**Tabla 22-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización de los ensayos metalográficos.

		relevancia de acuerdo al tipo de investigación.			
8.	Fotografía y medición de fases.	Mediante las fotografías obtenidas y el software STREAM BASIC, cuantificar las fases identificadas en la metalografía.	-Microscopio metalográfico invertido: OLYMPUS GX51. -Software STREAM BASIC. -Guantes.	45 min.	
<b>Generación del reporte</b>					
9.	Exportar Reporte.	Generar el reporte con los valores de porcentajes de fases registrados durante la metalografía, además de los registros fotográficos realizados sobre un espécimen.	-Formato CIRT-REG-MET.	20 min.	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 2.12 Tratamientos térmicos

**Objetivo:** el objetivo de los tratamientos térmicos es obtener un cambio microestructural en los materiales a investigar, y obtener austenita retenida, esto es efectuado para obtener determinadas propiedades mecánicas para sus aplicaciones y aliviar tensiones provocadas durante el proceso de soldadura.

El procedimiento a seguir para la realización de los tratamientos térmicos es presentado a continuación:

**Tabla 23-2:** Procedimiento para la realización de los tratamientos térmicos

N°	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
<b>Preparación de la muestra</b>					
1.	Limpieza de probetas.	Limpier las superficies de cada probeta, con el objetivo de evitar problemas como contaminación o carburación.	-Disco de pulido Zr #80. -Amoladora.	10 min.	
2.	Colocar recipiente de muestras.	Ubicar las probetas a ser tratadas térmicamente en el recipiente que las protegerá de contaminación durante el ensayo.	-Recipiente de asbesto. -Probetas.	2 min.	
<b>Preparación del equipo</b>					
3.	Inspección del horno.	Revisar que las partes constitutivas del horno se	-Guantes.	5 min.	

**Tabla 24-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización de los tratamientos térmicos.

		<p>encuentren en buen estado.</p> <p>Retirar de los alrededores cualquier elemento inflamable (aceites, madera, gasolina, etc.) que pueda ocasionar accidentes.</p> <p>Asegurar una distancia mínima de seguridad de 1m entre cualquier objeto circundante del horno.</p>			
4.	Encendido y configuración en del horno.	<p>Encender el horno el horno y configurar los parámetros del tratamiento térmico a realizar (temperatura inicial, temperatura final, tasa de calentamiento, tiempo de permanencia, etc.)</p> <p>La programación del horno fue realizada de acuerdo al documento <b>“Operating Instructions - Nabertherm”</b> y las temperaturas objetivo correspondientes a los casos de estudio.</p>	<p>-Documento <b>“Operating Instructions - Nabertherm”</b></p> <p>-Horno eléctrico Nabertherm</p>	10 min.	-
5.	Dar inicio al tratamiento térmico.	<p>Ingresar el recipiente que contiene las probetas a ser tratadas térmicamente y dar inicio al tratamiento térmico.</p> <p>Realizar registros de temperatura durante todo el ensayo.</p>	<p>-Horno eléctrico Nabertherm.</p> <p>-Cuaderno de registros.</p>	-	
6.	Extracción del recipiente.	<p>Una vez terminado el ciclo de tratamiento térmico retirar el recipiente del horno.</p> <p>Apagar y cerrar el horno, dejarlo enfriar hasta temperatura ambiente antes de realizar un nuevo tratamiento térmico.</p>	<p>-Pinzas de extracción de muestras.</p> <p>-Guantes de protección al calor.</p> <p>-Delantal protector de calor.</p> <p>-Máscara de seguridad.</p> <p>-Zapatos de seguridad.</p>	10 min.	
<b>Generación del reporte</b>					
7.	Exportar reporte.	<p>Generar el reporte correspondiente a los registros de temperatura del tratamiento térmico realizado.</p>	-Formato CIRT-REG-TT.	30 min.	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Ensayos no destructivos

### 2.12.1 Ensayos de tintas penetrantes

**Objetivo:** el ensayo de tintas penetrantes tiene como finalidad realizar el contraste que de aquellas discontinuidades que no pudieron ser detectadas por la apreciación del inspector por medio de la inspección visual, por lo cual durante la investigación se procedió a realiza el ensayo de tintas penetrantes y de esta forma analizar aquellas posibles discontinuidades presentadas a lo largo de los cordones de soldadura.

**Norma:** CCH 70-4.

El procedimiento a seguir para el ensayo de tintas penetrantes es presentado a continuación:

**Tabla 25-2:** Procedimiento para la realización del ensayo de tintas penetrantes.

N°	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
<b>Preparación del espécimen</b>					
1.	Limpieza del espécimen.	Remover todas las impurezas que se encuentren en la superficie del material que se procederá a realizar a analizar.	-Lienzo -Limpiador, SKC-S AEROSOL. -Guaípe. -Mascarilla.	5 min.	
2.	Inspección.	Realizar una inspección, a fin de que no exista ningún tipo de impureza en el espécimen.	-	5 min.	-
<b>Efectuar el ensayo</b>					
3.	Uso del penetrante.	Se procede a esparcir de forma adecuada y uniforme las tintas penetrantes sobre el cordón de soldadura, y se procede a permanecer un tiempo de penetración de 15 minutos	-Penetrante SKL-SP2 AEROSOL. -Mascarilla. -Guantes.	20 min.	
4.	Uso del revelador.	Se procede a esparcir de forma adecuada y uniforme el revelador sobre el cordón de soldadura a una distancia aproximada de 30cm, y se procede a dejar secar la superficie de forma natural con la corriente de aire.	-Revelador SKD-S2 AEROSOL.	5 min.	

**Tabla 26-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización del ensayo de tintas penetrantes.

Inspección y evaluación					
5.	Realizar la inspección.	Una vez seco el revelador, se realiza la inspección del cordón de soldadura por medio de una lupa.	-Lupa.	10 min.	-
6.	Realizar la evaluación.	Medir con un calibrador y analizar aquellas discontinuidades presentadas en el cordón de la soldadura	-Calibrador.	10 min.	
Generación del reporte					
7.	Realizar reporte.	Generar el reporte correspondiente bajo la evaluación realizada bajo la norma CCH 70-4	-Formato CIRT-PRO-TP.	-	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 2.13 Ensayos destructivos

### 2.13.1 Ensayo de microdureza

**Objetivo:** el ensayo de microdureza tiene como finalidad cuantificar la propiedad mecánica de la dureza por medio de la inspección de granos y la identificación de zonas en las probetas sometidas a soldadura TIG por medio de un sondeo a través de las probetas por medio de un husillo y los lentes de aumento.

**Norma:** ASTM E 384.

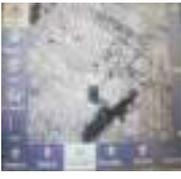
El procedimiento a seguir para el ensayo de microdureza es presentado a continuación:

CIRT-REG-MICRDUR-01.

**Tabla 27-2:** Procedimiento para la realización del ensayo de microdureza

Nº	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
Preparación de la muestra					
1.	Preparación metalográfica.	Realizar la preparación del espécimen de acuerdo al procedimiento CIRT-REG-MET.	-Equipo de lijado y pulido LaboPol-5. -Paño MD-Floc. -Suspensión de Alúmina de 1, 0,3 y 0,1 $\mu\text{m}$ . -Agua. -Guantes.	-	

**Tabla 28-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización del ensayo de microdureza.

<b>Preparación del equipo</b>					
2.	Tipo de ensayo.  Método y Objetivo.	La selección del tipo de ensayo; este dependerá de si es una medida sencilla o en serie.  Seleccionar el tipo de medida (Vickers/Knoop), el método indicará la magnitud de la carga aplicada durante el ensayo (HV1); seleccionar el lente objetivo con el que se desea visualizar las diagonales de la indentación (20x).	-Microdurómetro DuraScan 20.	5 min.	
3.	Calibración.	Haciendo uso de un bloque patrón realizar la calibración respectiva del micro durómetro.	-Micro durómetro DuraScan 20. -Bloque de calibración.	10 min.	-
<b>Montaje de la probeta</b>					
4.	Fijar el espécimen.	Colocar la muestra y asegurarla al soporte. Garantizar que se encuentre en el centro del transportador del micro durómetro y debidamente alejada de los lentes objetivos y el identador para evitar colisiones durante su intercambio al realizar una medición de micro dureza.	-Micro durómetro DuraScan 20. -Probeta.	5 min.	
<b>Ejecución del ensayo</b>					
5.	Posición.	Mediante los usillos de desplazamiento inspeccionar las fases reveladas en el espécimen, una vez encontrada un área/fase de interés seleccionar la ubicación donde será realizada la indentación.	-Micro durómetro DuraScan 20. -Probeta.	5 min.	
6.	Medir microdureza.	Dar inicio al ensayo aplicando la carga principal y realizando la indentación en la zona de interés.	-Micro durómetro DuraScan 20. -Probeta.	5 min.	-
7.	Medir diagonales.	Realizar el cálculo de la dureza Vickers del material mediante la medición de las diagonales de la indentación. Repetir el proceso para medición de micro dureza según las zonas que se crea conveniente evaluar.	-Software Ecos WorkFlow. -Micro durómetro DuraScan 20. -Probeta.	5 min.	
<b>Generación del reporte.</b>					
8.	Exportar Reporte.	Generar el reporte con los valores de micro dureza correspondientes a las fases de interés evaluadas durante el ensayo.	-Formato CIRT-REG-MICDUR.	15 min.	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 2.13.2 Ensayo de impacto

**Objetivo:** el ensayo de impacto o también conocido como charpy, es realizado con el objetivo de obtener la tenacidad, propiedad mecánica de suma relevancia que indica la energía que los materiales pueden acumular antes de llegar al punto de rotura en condición de estar sometidos a impacto, acumulando en sí dislocaciones en su interior.

**Norma:** ASTM E23.

El procedimiento a seguir para el ensayo de impacto es presentado a continuación:

**Tabla 29-2:** Procedimiento para la realización del ensayo de impacto

N°	Actividad	Descripción	Equipos y materiales	Tiempo	Fotografía
<b>Preparación de la muestra</b>					
1.	Diseño y bosquejo de planos.	Dimensionar las probetas para el ensayo de impacto Charpy de acuerdo a la norma ASTM E23. Realizar el croquis de las probetas Tipo A para el ensayo de impacto Charpy.	-Norma ASTM E23. -SolidWorks. -Calibrador.	20 min.	
<b>Preparación del equipo</b>					
2.	Mecanizado de probetas.	Mecanizar las placas lotizadas de material base hasta obtener las dimensiones especificadas en los planos. Garantizar un acabado superficial N7 en las probetas, asegurando evitar la presencia de discontinuidades, ranuras, rebaba, etc.	-Fresadora CNC -Sierra	3 horas	
3.	Inspección dimensional de las probetas.	Usando un calibrador verificar las dimensiones de las probetas respecto a las establecidas en el plano.	-Probetas para ensayo de impacto charpy. -Calibrador.	5 min.	
<b>Montaje de la probeta</b>					
4.	Revisión del equipo.	Inspeccionar las condiciones de la máquina de impacto y del péndulo.	-Máquina de impacto charpy.	2 min.	-
5.	Registro de Temperatura.	Medir la temperatura ambiente de la habitación donde será llevado a cabo el ensayo. Se recomienda una temperatura de $20 \pm 5$ °C.	-Termómetro.	2 min.	
6.	Fijar el espécimen.	Colocar la probeta en las mordazas de la bancada de sujeción.	-Máquina de impacto charpy. -Guantes.	5 min.	-

**Tabla 30-2: (Continúa):** Procedimiento para la realización del ensayo de impacto

Ejecución del ensayo					
7.	Caída del Péndulo.	Colocar el péndulo en su posición de trabado y preparar el indicador de energía. Dejar caer el péndulo produciendo la rotura del espécimen en la sección transversal de la probeta.	-Péndulo charpy -Guantes.	5 min.	
8.	Medición de energía absorbida.	Registrar los datos de energía mostrados por el indicador una vez terminado el ensayo.	-Máquina de impacto charpy. -Indicador de energía absorbida. -Guantes	10 min.	-
9.	Desmontaje de la muestra.	Retirar la probeta de sus sujeciones. Y devolver el péndulo a su posición original.	-Máquina de impacto charpy. -Guantes	2 min.	-
10.	Preparación para siguiente ensayo.	En caso de producirse algún atascamiento durante el ensayo, descartar el ensayo, verificar el alineamiento de la probeta y el péndulo y realizar un nuevo ensayo.	-Máquina de impacto charpy. -Guantes	3 min.	
Generación del reporte					
11.	Exportar Reporte.	Generar el reporte con los valores de energía de impacto absorbida por cada probeta.	-Formato CIRT-REG-IMP.	15 min.	

**Realizado por:** Autores

**Fuente:** Propia

### Codificación de registro y procedimientos:

Para la realización del trabajo de investigación se planteó una codificación para cada procedimiento para cada tipo de ensayo realizado, estos son presentados a continuación:

**Tabla 31-2:** Codificación de los registros y procedimientos

Ensayo	Procedimiento	Registro
Espectrometría	CIRT-PRO-ESP	CIRT-REG-ESP
Metalografía	CIRT-PRO-MET	CIRT-REG-MET
Tratamientos térmicos	CIRT-PRO-TT	CIRT-REG-TT
Tintas penetrantes	CIRT-PRO-TP	CIRT-REG-TP
Microdureza	CIRT-PRO-MICDUR	CIRT-REG-MICDUR
Ensayo de impacto	CIRT-PRO-IMP	CIRT-REG-IMP

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## 2.14 Cálculo del tamaño de muestra

### Cálculo del tamaño de muestra

Para la realización del proyecto de investigación se procedió a determinar el tamaño de muestra para realizar los ensayos metalográficos, ensayos destructivos, y ensayos no destructivos.

Para el cálculo del número de muestras se debe tomar en cuenta la clasificación de tipos de muestras:

**Aleatoria:** este tipo de muestras se la toma al azar, y cada elemento de nuestra población tiene la misma probabilidad de ser agregado.

**Estratificada:** este tipo de muestras se las debe seleccionar cuando se realice una subdivisión debido a las diferentes variables o características que se plantea investigar

**Por Etapas:** este tipo de muestreo se la usa en varios procesos consecutivos y/o dependientes

Debido a lo expuesto se planteó utilizar el método de cálculo de muestreo aleatorio. Además, se analiza como una “Distribución Normal”, puesto que las variables presentes son continuas.

Asumiremos una confianza de 80% que le corresponde un valor de  $\alpha = 0.2$

$$n = \frac{z_{\alpha}^2 \cdot p_o(1 - p_o)}{e^2}$$

**Donde:**

n: Tamaño de la muestra

$z_{\alpha}$ : Intervalo de confianza para un determinado nivel de confianza

$p_o$ : Proporción verdadera

e: Margen de error de muestreo aceptable

Debido a que nuestra muestra es pequeño (“inferior a 30”), y a una mayor exactitud se procedió a utilizar una distribución normal, con un nivel de confianza de 80%, que corresponde a un  $z = 1,28$  y asumiendo un variabilidad de la población de 95%, y un margen de error de 16% tenemos que:

$$n = \frac{(1,28)^2 \cdot (0,95)(1 - 0,95)}{(0,16)^2}$$

$$n = 3,04$$

Con lo cual se definió un número de muestras como estudio de 3 para cada tipo de análisis y estudio para los aceros inoxidable: ASTM A743 grado CA6-NM y AISI 304L.

Para cada análisis que se procede a realizar con el cálculo obtenido en el tamaño de muestras, se esperará tener una probabilidad del 95% del que al menos el 80% de la población del material presenten un máximo de error de 15%.

## CAPÍTULO III

### MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Espectrometría

##### 3.1.1 Espectrometría acero ASTM A743 grado CA6-NM

A partir del seccionamiento del álabe directriz, se procedió a realizar la espectrometría en varios puntos de una plancha y por medio de esta cuantificar los valores de la composición química con los elementos presentes en el acero martensítico presentados en la Tabla 3-1.

**Tabla 32-3:** Resultados espectrometría-álabe directriz

		<b>Reporte de Análisis Químico</b> <b>Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas</b> <b>y Partes Industriales</b>				
LABORATORIO DE ESPECTROMETRÍA - CIRT						
<b>Registro No.:</b>	CIRT-REG-ESP-01	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-ESP			
<b>Muestra / parte:</b>	Álabe directriz de turbina Francis					
<b>Fecha y hora:</b>	lunes, 12 de agosto de 2019		10:50:47			
<b>Equipo:</b>	Espectrómetro de emisión óptica por chispa / Q4 MOBILE / Q0037					
<b>Método:</b>	Fe130F S					
<b>Lugar:</b>	Baños de Agua Santa					
Ø	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	
	0,056	0,408	0,599	0,032	0,012	
Ø	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]	
	11,84	0,500	4,376	0,071	<0,0100	
Ø	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]	
	0,070	<0,0100	<0,0020	0,038	81,93	
Ø	Sn [%]	W [%]	N [%]			
	0,0089	<0,030	<0,150			
<b>OBSERVACIONES:</b> El material analizado, corresponde a un acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM. <b>Aplicaciones:</b> sus aplicaciones diversas en los que incluyen fabricación de: rodets impulsores, diafragmas, elementos de bombas turbinas, componentes hidráulicos en general.						

Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

### 3.1.2 Espectrometría acero austenítico AISI 304L

A partir del seccionamiento de la plancha de acero inoxidable, se procedió a realizar la espectrometría en varios puntos y por medio de esta cuantificar los valores de la composición química con los elementos presentes en el acero inoxidable presentados en la Tabla 3-2.

**Tabla 33-3:** Resultados espectrometría-plancha acero inoxidable

		<b>Reporte de Análisis Químico</b> <b>Centro de Investigación y Recuperación de Turbinas</b> <b>y Partes Industriales</b>			
LABORATORIO DE ESPECTROMETRÍA - CIRT					
<b>Registro No.:</b>	CIRT-REG-ESP-02	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-ESP		
<b>Muestra / parte:</b>	Plancha de acero				
<b>Fecha y hora:</b>	lunes, 12 de agosto de 2019		10:41:08		
<b>Equipo:</b>	Espectrómetro de emisión óptica por chispa / Q4 MOBILE / Q0037				
<b>Método:</b>	Fe131F S				
<b>Lugar:</b>	Baños de Agua Santa				
Ø	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
	0,021	0,401	1,476	0,039	0,011
Ø	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
	17,24	0,133	8,10	0,468	<0,010
Ø	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	Fe [%]
	0,112	0,017	0,0090	0,058	72,44
Ø	Sn [%]	N [%]	W [%]		
	0,024	<0,150	<0,030		
<b>OBSERVACIONES:</b> El material analizado, corresponde a un acero inoxidable austenítico 304L.					
<b>Aplicaciones:</b> son aceros sumamente empleados en la industria sobre todo en equipos químicos, intercambiadores de calor, aplicaciones arquitectónicas, estructurales, atmósferas no marinas, componentes hidráulicos.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

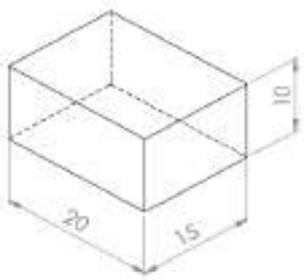
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

### 3.2 Tratamientos térmicos

#### Caso de estudio M-CE2

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE2 a continuación:

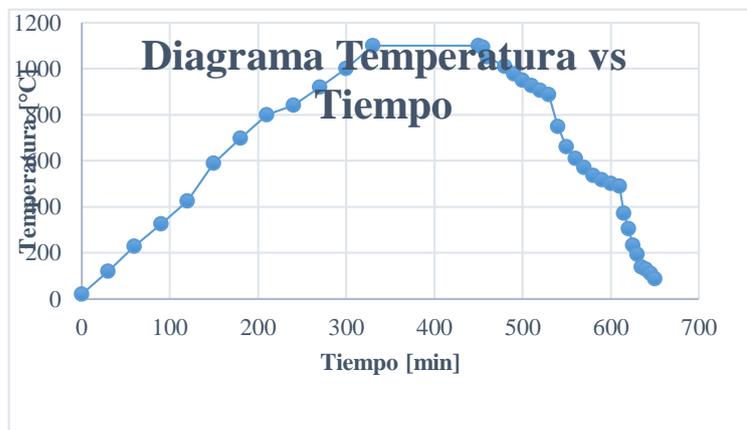
**Tabla 34-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE2

 <b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT-01		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 27/6/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
DATOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Normalizado desde 1100°C: Enfriamiento en aire mediante convección natural posterior al tiempo de sostenimiento de una hora desde 1100°C.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		200°C/h	
Temperatura de tratamiento:		1100°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		150-200°C/h	
Temperatura de salida de la pieza:		305°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

Fuente: Chuquimarka K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarka K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT-01	<b>Hoja:</b>	2 de 2	
	<b>Lugar:</b>	CIRT	<b>Fecha:</b>	27/6/2019	
<b>RESULTADOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO</b>					
No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	750
2	07h30 - 08h00	119	17	15h00 - 15h30	572
3	08h00 - 08h30	228	18	15h30 - 16h00	502
4	08h30 - 09h00	326	19	16h00 - 16h30	305
5	09h00 - 09h30	425	20	16h30 - 17h00	138
6	09h30 - 10h00	590	21	17h00 - 17h30	88
7	10h00 - 10h30	698	22	17h30 - 18h00	-
8	10h30 - 11h00	800	23	18h00 - 18h30	-
9	11h00 - 11h30	841	24	18h30 - 19h00	-
10	11h30 - 12h00	921	25	19h00 - 19h30	-
11	12h00 - 12h30	1000	26	19h30 - 20h00	-
12	12h30 - 13h00	1100	27	20h00 - 20h30	-
13	13h00 - 13h30	1100	28	20h30 - 21h00	-
14	13h30 - 14h00	1010	29	21h00 - 21h30	-
15	14h00 - 14h30	927	30	21h30 - 22h00	20°C

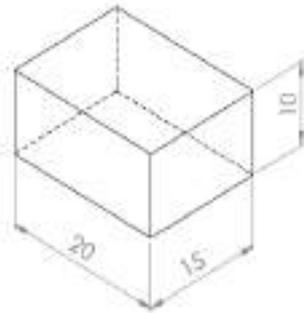


Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
 Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE3

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE3 a continuación:

**Tabla 35-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE3

 <b>ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT-02		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 2/7/2019	
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g	<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm		
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Normalizado desde 1000°C: Enfriamiento en aire mediante convección natural posterior al tiempo de sostenimiento de una hora desde 1000°C			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		200°C/h	
Temperatura de tratamiento:		1000°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		150-200°C/h	
Temperatura de salida de la pieza:		300°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja			

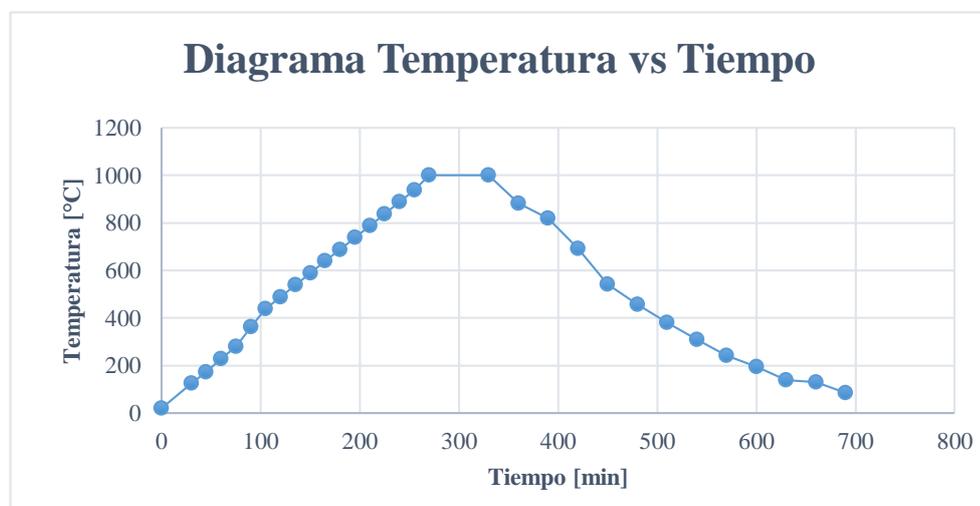
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT-02	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 2/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	541
2	07h30 - 08h00	126	17	15h00 - 15h30	456
3	08h00 - 08h30	229	18	15h30 - 16h00	380
4	08h30 - 09h00	364	19	16h00 - 16h30	310
5	09h00 - 09h30	488	20	16h30 - 17h00	242
6	09h30 - 10h00	588	21	17h00 - 17h30	196
7	10h00 - 10h30	688	22	17h30 - 18h00	140
8	10h30 - 11h00	787	23	18h00 - 18h30	86
9	11h00 - 11h30	888	24	18h30 - 19h00	-
10	11h30 - 12h00	1000	25	19h00 - 19h30	-
11	12h00 - 12h30	1000	26	19h30 - 20h00	-
12	12h30 - 13h00	1000	27	20h00 - 20h30	-
13	13h00 - 13h30	882	28	20h30 - 21h00	-
14	13h30 - 14h00	820	29	21h00 - 21h30	-
15	14h00 - 14h30	691	30	21h30 - 22h30	20°C



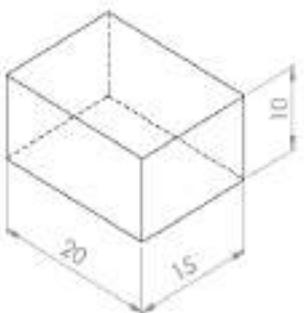
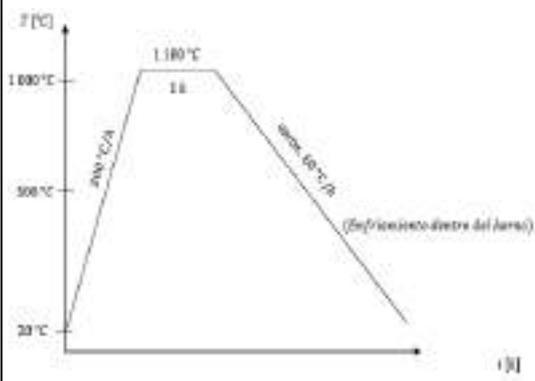
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE4

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE4 a continuación:

**Tabla 36-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE4

 <b>ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT-03		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 4/7/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b>			
Recocido desde 1100°C: Enfriamiento dentro del horno hasta los 300°C			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		200°C/h	
Temperatura de tratamiento:		1100°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		150-200°C/h	
Temperatura de salida de la pieza:		300°C	
Temperatura final:		20°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

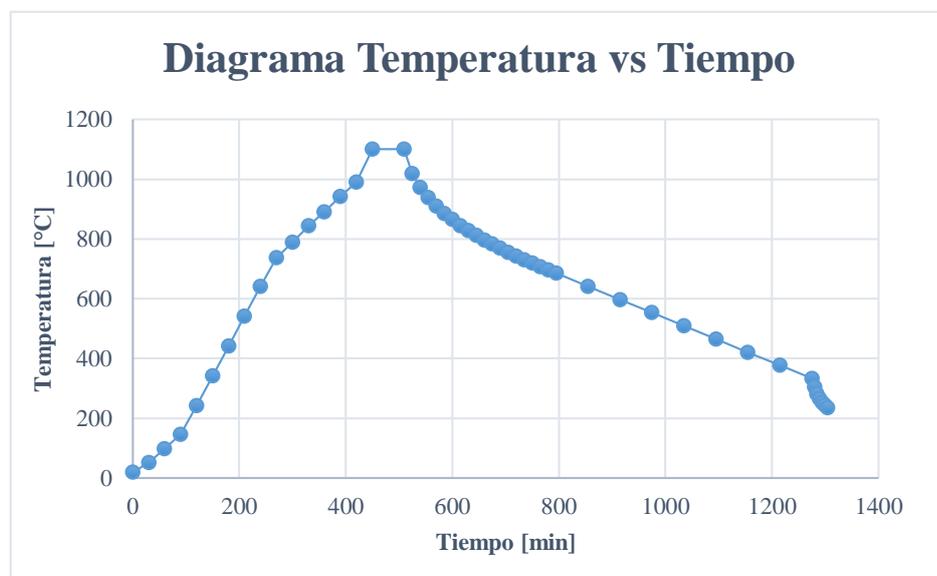
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO</b>		
	<b>TÉRMICO</b>		
	<i>Heat Treatment</i>		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT-03	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 4/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	14	19h30 - 20h30	797
2	07h30 - 08h30	98	15	20h30 - 21h30	769
3	08h30 - 09h30	242	16	21h30 - 22h30	743
4	09h30 - 10h30	442	170	22h30 - 23h30	719
5	10h30 - 11h30	641	18	23h30 - 00h30	696
6	11h30 - 12h30	789	19	00h30 - 01h30	641
7	12h30 - 13h30	891	20	01h30 - 02h30	553
8	13h30 - 14h30	990	21	02h30 - 03h30	509
9	14h30 - 15h30	1100	22	03h30 - 04h30	421
10	15h30 - 16h30	972	23	04h30 - 05h30	333
11	16h30 - 17h30	910	24	05h30 - 06h30	282
12	17h30 - 18h30	865	25	06h30 - 07h30	253
13	18h30 - 19h30	828	26	07h30 - 08h30	235

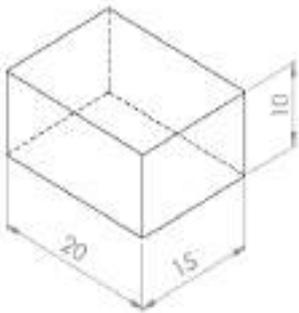
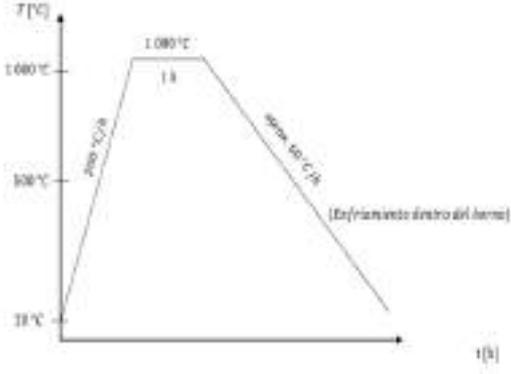


Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
 Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE5

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE5 a continuación:

**Tabla 37-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE5

 <b>ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT-04	<b>Hoja:</b> 1 de 2
<b>Lugar:</b>	CIRT	<b>Fecha:</b> 9/7/2019
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO		
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b>		
Recocido desde 1000°C: Enfriamiento dentro del horno hasta los 300°C		
Temperatura inicial:	20°C	
Tasa de calentamiento:	200°C/h	
Temperatura de tratamiento:	1000°C	
Tiempo de sostenimiento:	1 hora	
Velocidad de enfriamiento:	150-200°C/h	
Temperatura de salida de la pieza:	290°C	
Temperatura final:	20°C	
Esquema de la(s) pieza(s)	Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
		
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

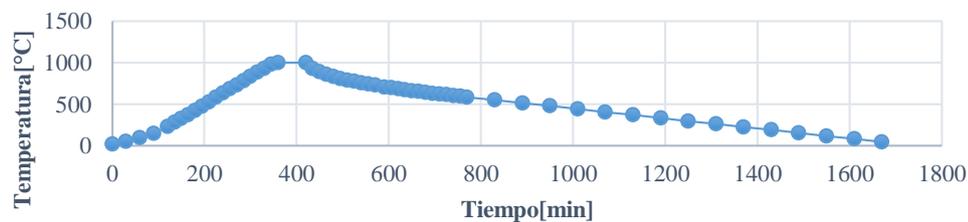
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 4	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 9/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	21h30 - 22h30	758
2	07h30 - 08h30	98	17	22h30 - 23h30	729
3	08h30 - 09h30	228	18	23h30 - 00h30	697
4	09h30 - 10h30	327	19	00h30 - 01h30	674
5	10h30 - 11h30	426	20	01h30 - 02h30	652
6	11h30 - 12h30	526	21	02h30 - 03h30	631
7	12h30 - 13h30	633	22	03h30 - 04h30	613
8	13h30 - 14h30	733	23	04h30 - 05h30	595
9	14h30 - 15h30	833	24	05h30 - 06h30	550
10	15h30 - 16h30	930	25	06h30 - 07h30	478
11	16h30 - 17h30	1000	26	07h30 - 08h30	406
12	17h30 - 18h30	930	27	08h30 - 09h30	309
13	18h30 - 19h30	858	28	09h30 - 10h30	302
14	19h30 - 20h30	810	29	10h30 - 11h30	290
15	20h30 - 21h30	791	30	-	-

**Diagrama Temperatura vs Tiempo**

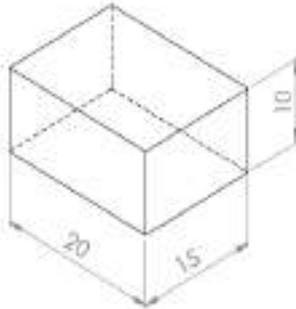
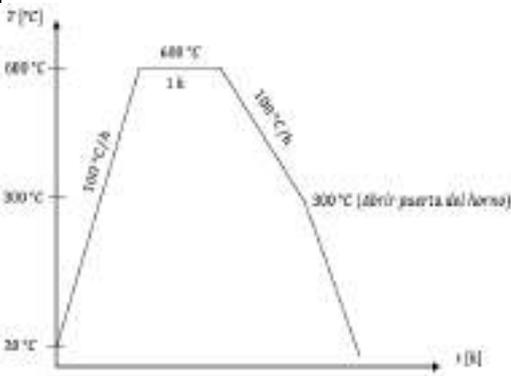


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE6

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE6 a continuación:

**Tabla 38-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE6

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
		Reg. No.:	CIRT-REG-TT 5		Hoja:
		Lugar:	CIRT	Fecha:	11/7/2019
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g		
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT		
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm		
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:					
Recocido desde 1000°C seguido de un revenido desde 600°C: tiene como finalidad aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.					
Temperatura inicial:		20°C			
Tasa de calentamiento:		100°C/h			
Temperatura de tratamiento:		600°C			
Tiempo de sostenimiento:		1 hora			
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.			
Temperatura de salida de la pieza:		306°C			
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica			
					
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.					

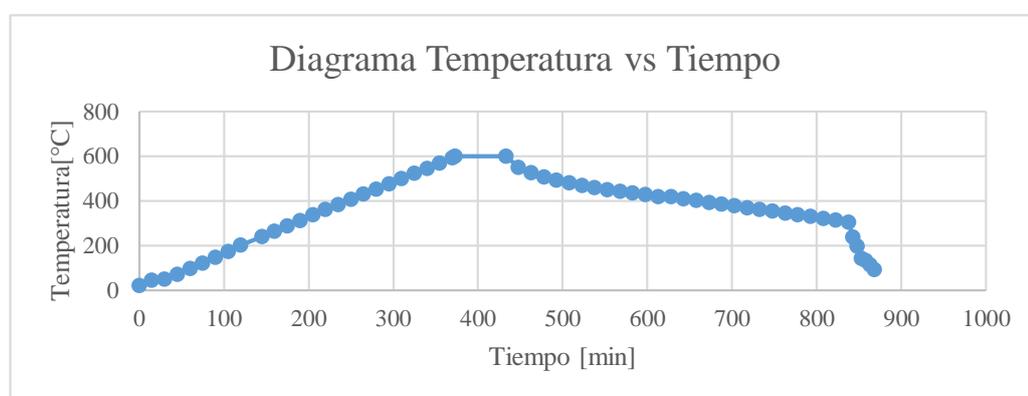
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 5	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 11/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	525
2	07h30 - 08h00	50	17	15h00 - 15h30	493
3	08h00 - 08h30	97	18	15h30 - 16h00	470
4	08h30 - 09h00	148	19	16h00 - 16h30	451
5	09h00 - 09h30	202	20	16h30 - 17h00	435
6	09h30 - 10h00	264	21	17h00 - 17h30	420
7	10h00 - 10h30	313	22	17h30 - 18h00	410
8	10h30 - 11h00	361	23	18h00 - 18h30	394
9	11h00 - 11h30	407	24	18h30 - 19h00	378
10	11h30 - 12h00	453	25	19h00 - 19h30	362
11	12h00 - 12h30	500	26	19h30 - 20h00	346
12	12h30 - 13h00	546	27	20h00 - 20h30	330
13	13h00 - 13h30	592	28	20h30 - 21h00	314
14	13h30 - 14h00	600	29	21h00 - 21h30	306
15	14h00 - 14h30	600	30	21h30 - 22h00	-

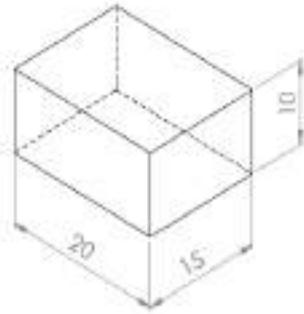
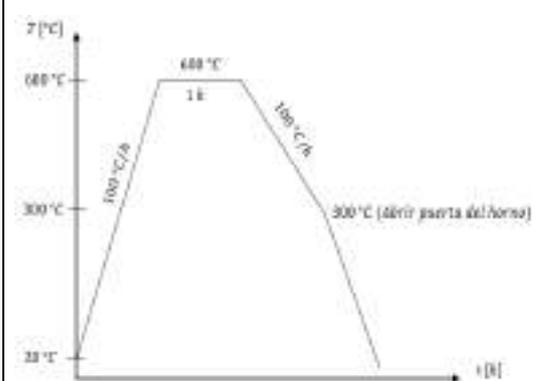


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE7

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE7 a continuación:

**Tabla 39-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE7

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
		<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 6	<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 16/7/2019		
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g			
<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT			
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm			
<b>INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b>				
Recocido desde 1100°C seguido de un revenido desde 600°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.				
Temperatura inicial:		20°C		
Tasa de calentamiento:		100°C/h		
Temperatura de tratamiento:		600°C		
Tiempo de sostenimiento:		1 hora		
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.		
Temperatura de salida de la pieza:		306°C		
<b>Esquema de la(s) pieza(s)</b>		<b>Curva de Tratamiento Térmico Teórica</b>		
				
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.				

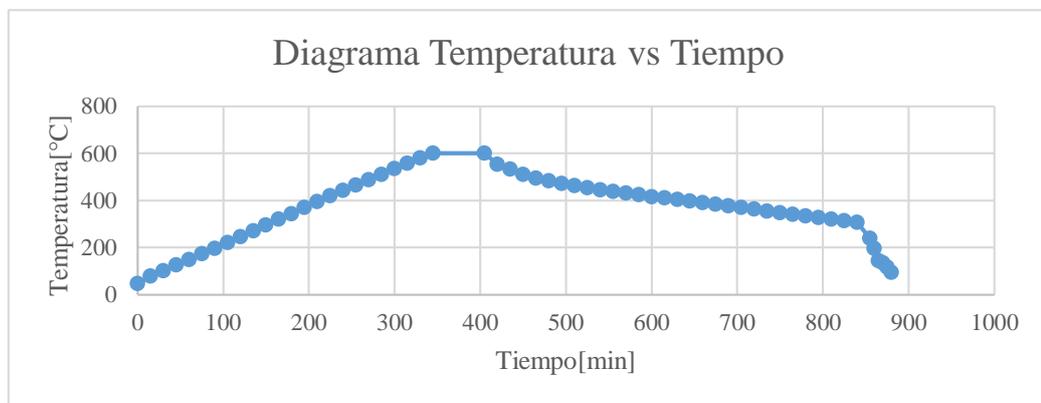
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 6	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 16/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	525
2	07h30 - 08h00	50	17	15h00 - 15h30	493
3	08h00 - 08h30	97	18	15h30 - 16h00	470
4	08h30 - 09h00	148	19	16h00 - 16h30	451
5	09h00 - 09h30	202	20	16h30 - 17h00	435
6	09h30 - 10h00	264	21	17h00 - 17h30	420
7	10h00 - 10h30	313	22	17h30 - 18h00	410
8	10h30 - 11h00	361	23	18h00 - 18h30	394
9	11h00 - 11h30	407	24	18h30 - 19h00	378
10	11h30 - 12h00	453	25	19h00 - 19h30	362
11	12h00 - 12h30	500	26	19h30 - 20h00	346
12	12h30 - 13h00	546	27	20h00 - 20h30	330
13	13h00 - 13h30	592	28	20h30 - 21h00	314
14	13h30 - 14h00	600	29	21h00 - 21h30	306
15	14h00 - 14h30	600	30	21h30 - 22h00	-



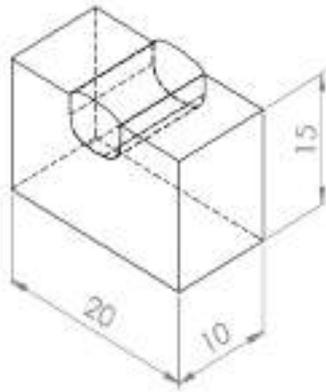
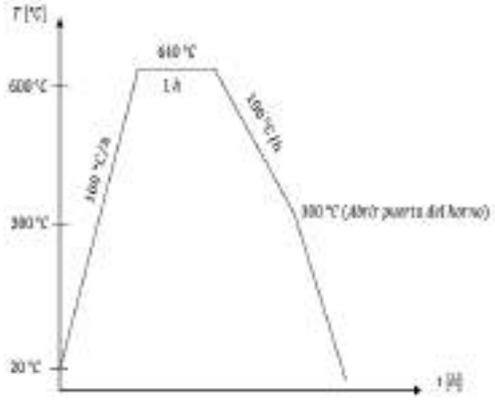
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE9

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE9 a continuación:

**Tabla 40-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE9

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
		<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 7	<b>Hoja:</b> 1 de 2		
		<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 22/8/2019		
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g				
<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT				
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm				
<b>INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 640°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.					
Temperatura inicial: 20°C Tasa de calentamiento: 100°C/h máx. Temperatura de tratamiento: 640°C Tiempo de sostenimiento: 1 hora Velocidad de enfriamiento: 100°C/h máx. Temperatura de salida de la pieza: 309°C					
<b>Esquema de la(s) pieza(s)</b>			<b>Curva de Tratamiento Térmico Teórica</b>		
					
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.					

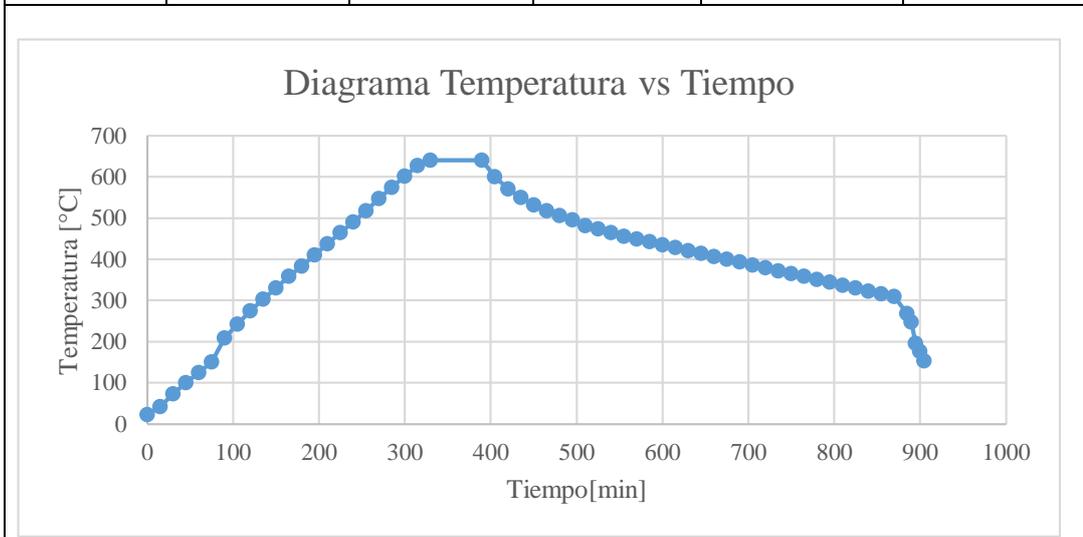
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 7	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 22/8/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	506
2	07h30 - 08h00	73	17	15h00 - 15h30	481
3	08h00 - 08h30	125	18	15h30 - 16h00	464
4	08h30 - 09h00	209	19	16h00 - 16h30	449
5	09h00 - 09h30	275	20	16h30 - 17h00	435
6	09h30 - 10h00	330	21	17h00 - 17h30	421
7	10h00 - 10h30	383	22	17h30 - 18h00	407
8	10h30 - 11h00	437	23	18h00 - 18h30	393
9	11h00 - 11h30	491	24	18h30 - 19h00	379
10	11h30 - 12h00	547	25	19h00 - 19h30	365
11	12h00 - 12h30	601	26	19h30 - 20h00	351
12	12h30 - 13h00	640	27	20h00 - 20h30	337
13	13h00 - 13h30	640	28	20h30 - 21h00	323
14	13h30 - 14h00	571	29	21h00 - 21h30	309
15	14h00 - 14h30	532	30	21h30 - 22h00	268



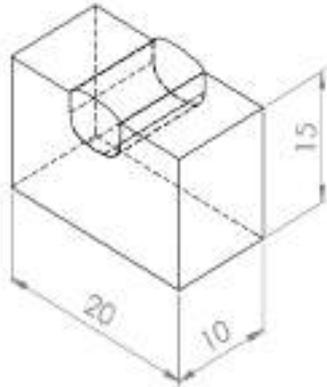
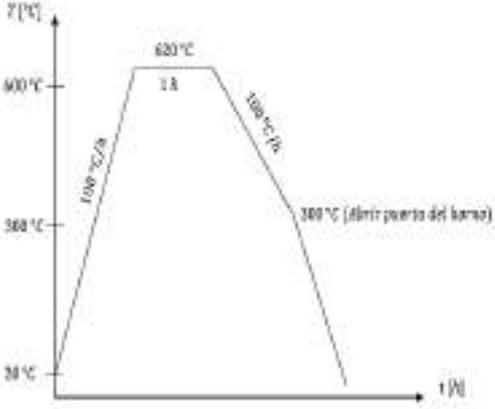
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## Caso de estudio M-CE10

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE10 a continuación:

**Tabla 41-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE10

		<b>REGISTROS DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
		<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 8	<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 27/8/2019		
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g			
<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT			
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm			
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO				
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:				
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 620°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.				
Temperatura inicial:		20°C		
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.		
Temperatura de tratamiento:		620°C		
Tiempo de sostenimiento:		1 hora		
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.		
Temperatura de salida de la pieza:		301°C		
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica		
				
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.				

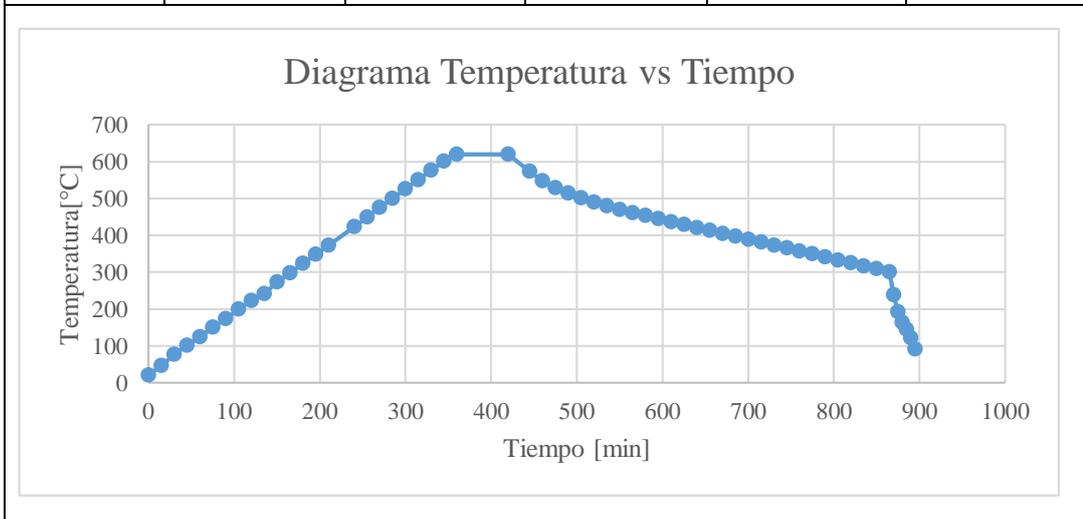
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 8	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 27/8/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	514
2	07h30 - 08h00	77	17	15h00 - 15h30	489
3	08h00 - 08h30	125	18	15h30 - 16h00	470
4	08h30 - 09h00	174	19	16h00 - 16h30	453
5	09h00 - 09h30	223	20	16h30 - 17h00	437
6	09h30 - 10h00	273	21	17h00 - 17h30	421
7	10h00 - 10h30	323	22	17h30 - 18h00	405
8	10h30 - 11h00	373	23	18h00 - 18h30	389
9	11h00 - 11h30	450	24	18h30 - 19h00	373
10	11h30 - 12h00	500	25	19h00 - 19h30	357
11	12h00 - 12h30	551	26	19h30 - 20h00	341
12	12h30 - 13h00	601	27	20h00 - 20h30	325
13	13h00 - 13h30	620	28	20h30 - 21h00	309
14	13h30 - 14h00	620	29	21h00 - 21h30	301
15	14h00 - 14h30	548	30	21h30 - 22h00	-



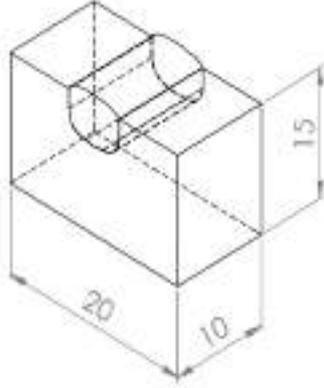
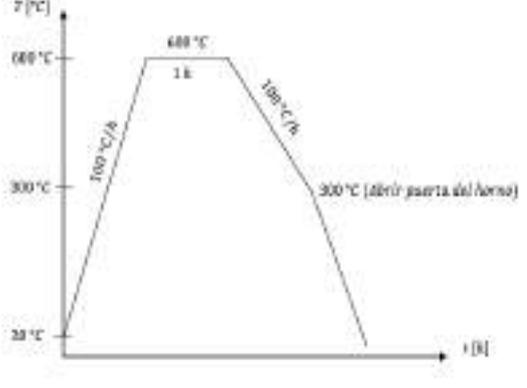
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE11

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE11 a continuación:

**Tabla 42-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE11

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
		<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 9	<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 20/8/2019		
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g			
<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT			
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm			
<b>INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b> Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un evenido desde 600°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.				
Temperatura inicial:		20°C		
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.		
Temperatura de tratamiento:		600°C		
Tiempo de sostenimiento:		1 hora		
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.		
Temperatura de salida de la pieza:		295°C		
<b>Esquema de la(s) pieza(s)</b>		<b>Curva de Tratamiento Térmico Teórica</b>		
				
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.				

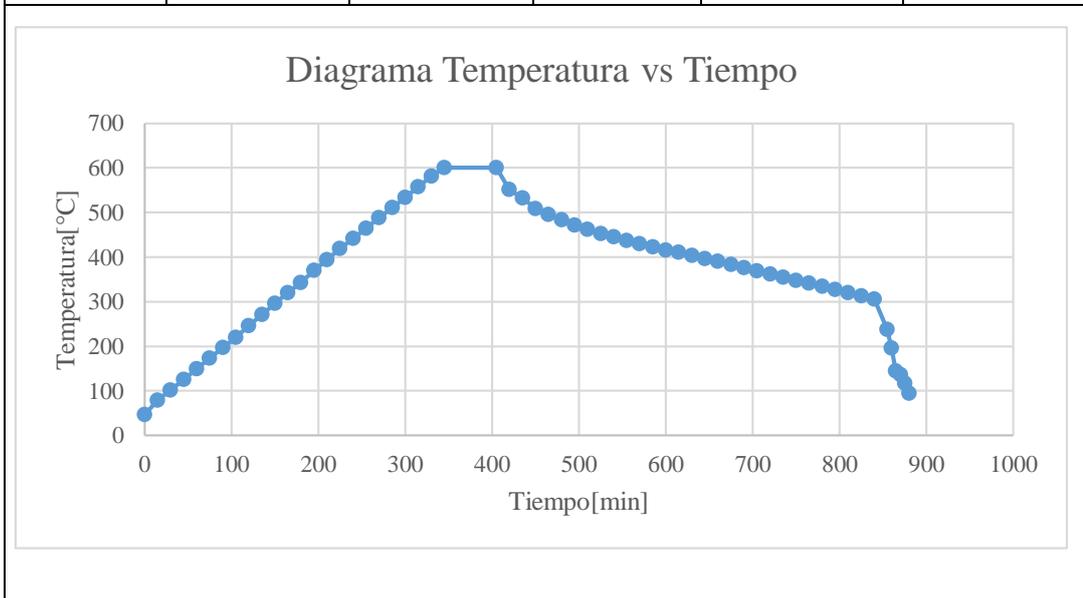
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 9	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 20/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	460
2	07h30 - 08h00	86	17	15h00 - 15h30	442
3	08h00 - 08h30	133	18	15h30 - 16h00	426
4	08h30 - 09h00	180	19	16h00 - 16h30	414
5	09h00 - 09h30	229	20	16h30 - 17h00	402
6	09h30 - 10h00	278	21	17h00 - 17h30	390
7	10h00 - 10h30	327	22	17h30 - 18h00	378
8	10h30 - 11h00	378	23	18h00 - 18h30	366
9	11h00 - 11h30	436	24	18h30 - 19h00	354
10	11h30 - 12h00	494	25	19h00 - 19h30	342
11	12h00 - 12h30	552	26	19h30 - 20h00	330
12	12h30 - 13h00	600	27	20h00 - 20h30	318
13	13h00 - 13h30	600	28	20h30 - 21h00	306
14	13h30 - 14h00	510	29	21h00 - 21h30	295
15	14h00 - 14h30	481	30	21h30 - 22h00	-

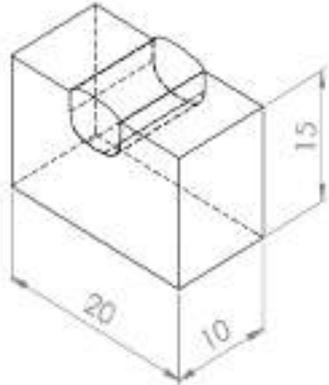


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE12

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE12 a continuación:

**Tabla 43-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE12

 <b>ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT 10	<b>Hoja:</b>	1 de 2
<b>Lugar:</b>	CIRT	<b>Fecha:</b>	29/8/2019
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 580°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de tratamiento:		580°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de salida de la pieza:		305°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

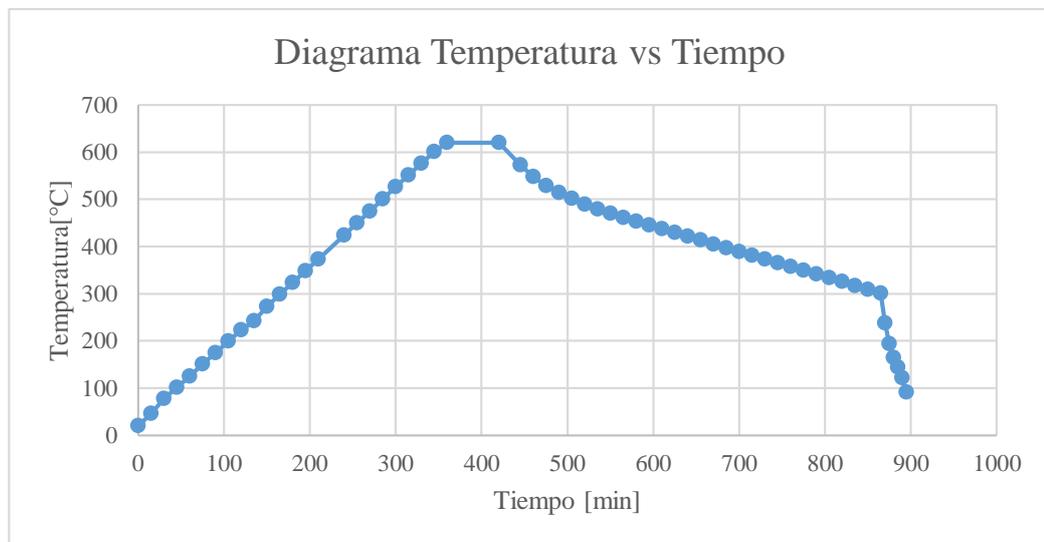
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 10	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 29/8/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	14	13h30 - 14h00	479
2	07h30 - 08h00	69	15	14h00 - 14h30	455
3	08h00 - 08h30	136	16	14h30 - 15h00	436
4	08h30 - 09h00	184	17	15h00 - 15h30	421
5	09h00 - 09h30	262	18	15h30 - 16h00	406
6	09h30 - 10h00	313	19	16h00 - 16h30	391
7	10h00 - 10h30	378	20	16h30 - 17h00	377
8	10h30 - 11h00	418	21	17h00 - 17h30	362
9	11h00 - 11h30	466	22	17h30 - 18h00	347
10	11h30 - 12h00	514	23	18h00 - 18h30	333
11	12h00 - 12h30	580	24	18h30 - 19h00	319
12	12h30 - 13h00	580	25	19h00 - 19h30	305
13	13h00 - 13h30	511	26	19h30 - 20h00	-



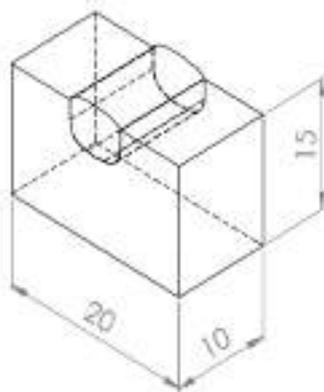
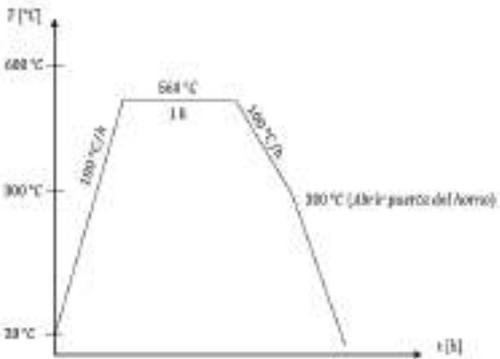
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE13

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE13 a continuación:

**Tabla 44-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE13

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
		<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 11	<b>Hoja:</b> 1 de 2		
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 03/9/2019			
<b>Pieza:</b> Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b> 23,4 g				
<b>Material:</b> Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-TT				
<b>Dimensiones:</b> 20 x 15 mm	<b>Espesor:</b> 10 mm				
<b>INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
<b>TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:</b>					
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 560°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.					
Temperatura inicial:		20°C			
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.			
Temperatura de tratamiento:		560°C			
Tiempo de sostenimiento:		1 hora			
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.			
Temperatura de salida de la pieza:		304°C			
<b>Esquema de la(s) pieza(s)</b>			<b>Curva de Tratamiento Térmico Teórica</b>		
					
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.					

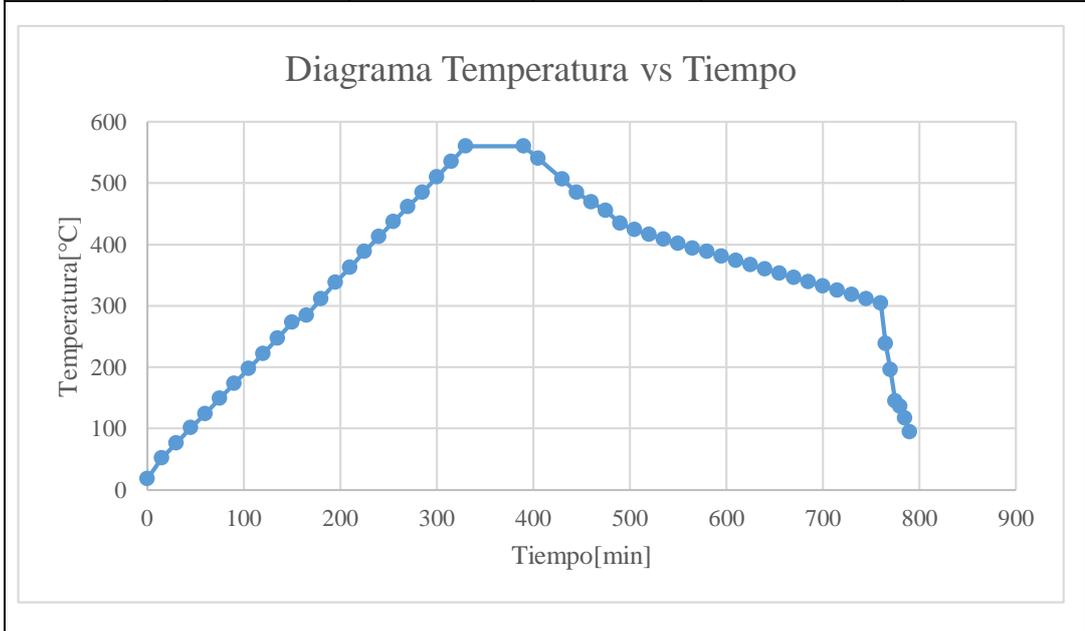
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 11	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 03/9/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	14	13h30 - 14h00	506
2	07h30 - 08h00	76	15	14h00 - 14h30	469
3	08h00 - 08h30	124	16	14h30 - 15h00	434
4	08h30 - 09h00	173	17	15h00 - 15h30	416
5	09h00 - 09h30	222	18	15h30 - 16h00	401
6	09h30 - 10h00	273	19	16h00 - 16h30	388
7	10h00 - 10h30	311	20	16h30 - 17h00	374
8	10h30 - 11h00	362	21	17h00 - 17h30	360
9	11h00 - 11h30	413	22	17h30 - 18h00	346
10	11h30 - 12h00	461	23	18h00 - 18h30	332
11	12h00 - 12h30	510	24	18h30 - 19h00	318
12	12h30 - 13h00	560	25	19h00 - 19h30	304
13	13h00 - 13h30	560	26	19h30 - 20h00	-

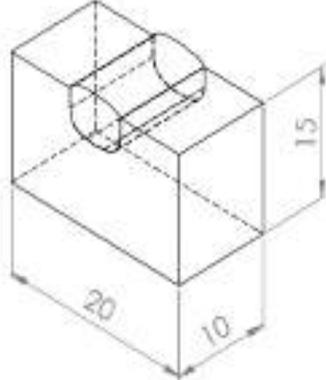
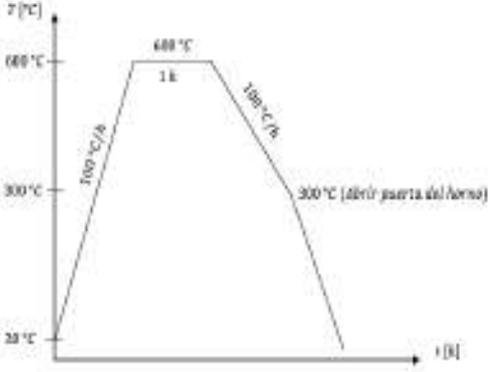


Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
 Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE15

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio M-CE15 a continuación:

**Tabla 45-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio M-CE15

 <b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 12		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 20/8/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309L: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de tratamiento:		600°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de salida de la pieza:		295°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

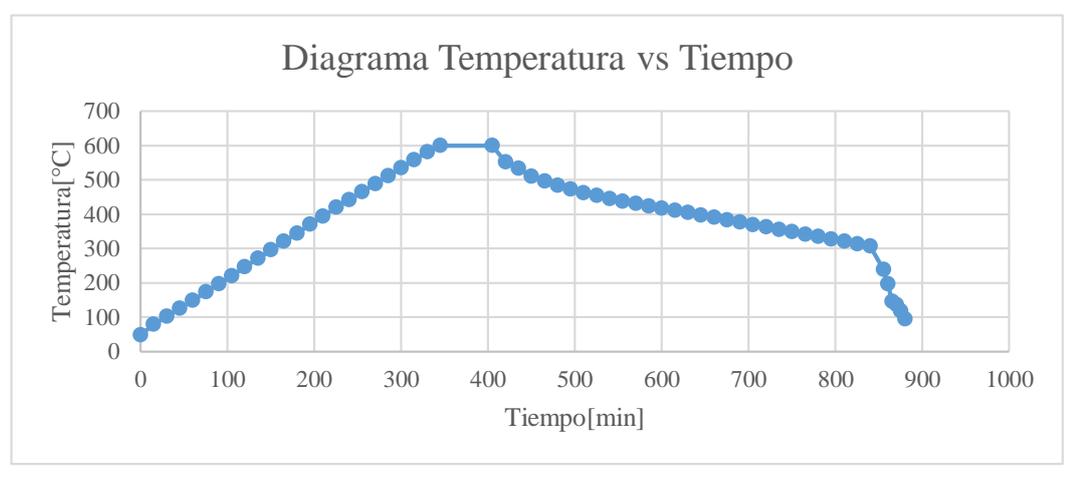
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 12	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 20/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	460
2	07h30 - 08h00	86	17	15h00 - 15h30	442
3	08h00 - 08h30	133	18	15h30 - 16h00	426
4	08h30 - 09h00	180	19	16h00 - 16h30	414
5	09h00 - 09h30	229	20	16h30 - 17h00	402
6	09h30 - 10h00	278	21	17h00 - 17h30	390
7	10h00 - 10h30	327	22	17h30 - 18h00	378
8	10h30 - 11h00	378	23	18h00 - 18h30	366
9	11h00 - 11h30	436	24	18h30 - 19h00	354
10	11h30 - 12h00	494	25	19h00 - 19h30	342
11	12h00 - 12h30	552	26	19h30 - 20h00	330
12	12h30 - 13h00	600	27	20h00 - 20h30	318
13	13h00 - 13h30	600	28	20h30 - 21h00	306
14	13h30 - 14h00	510	29	21h00 - 21h30	295
15	14h00 - 14h30	481	30	21h30 - 22h00	-

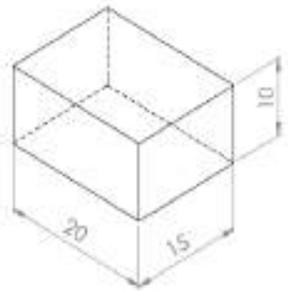
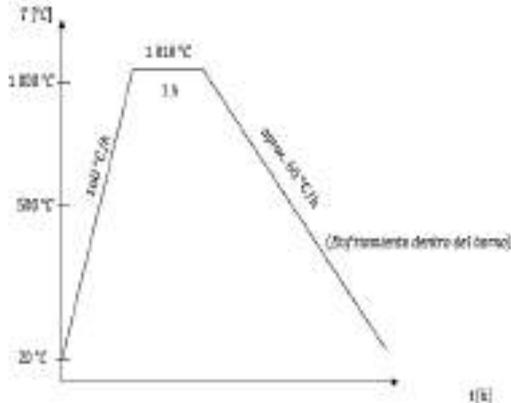


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE2

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio A-CE2 a continuación:

**Tabla 46-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE2

 <b>ESPECIFICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> <i>Heat Treatment</i> 			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT 13	<b>Hoja:</b>	1 de 2
<b>Lugar:</b>	CIRT	<b>Fecha:</b>	05/9/2019
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero Inoxidable AISI 304L	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Recocido desde 1010°C: tiene como finalidad aliviar tensiones, y aumentar la ductilidad.			
Temperatura inicial:	20°C		
Tasa de calentamiento:	160°C/h máx.		
Temperatura de tratamiento:	1010°C		
Tiempo de sostenimiento:	1 hora		
Velocidad de enfriamiento:	100°C/h máx.		
Temperatura de salida de la pieza:	300°C		
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

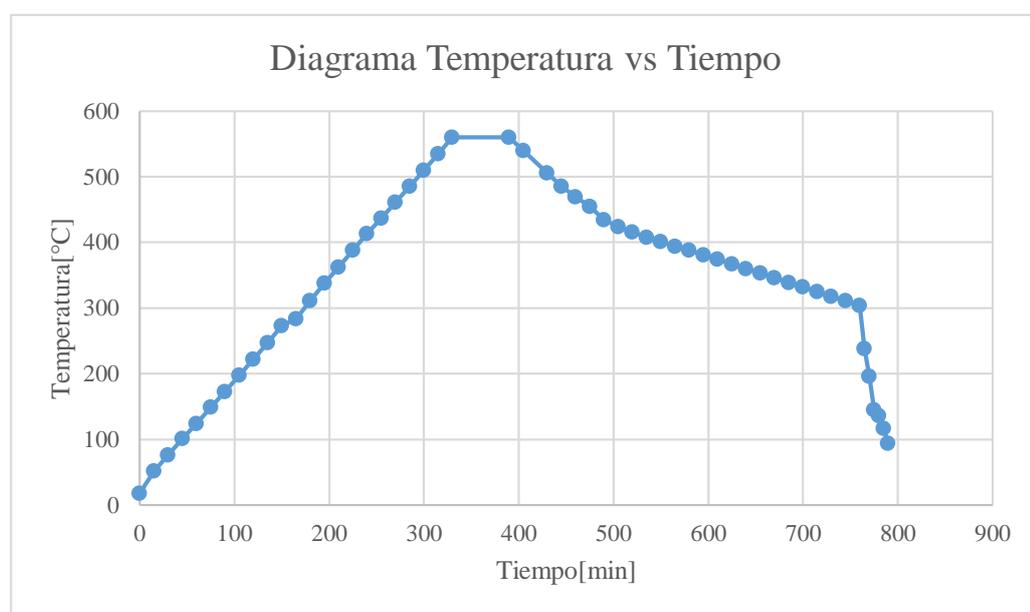
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT 13		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Lugar:</b>	CIRT		<b>Fecha:</b>	05/9/2019

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	14	19h30 - 20h30	680
2	07h30 - 08h30	166	15	20h30 - 21h30	638
3	08h30 - 09h30	351	16	21h30 - 22h30	580
4	09h30 - 10h30	517	17	22h30 - 23h30	523
5	10h30 - 11h30	683	18	23h30 - 00h30	448
6	11h30 - 12h30	856	19	00h30 - 01h30	381
7	12h30 - 13h30	1010	20	01h30 - 02h30	358
8	13h30 - 14h30	1010	21	02h30 - 03h30	345
9	14h30 - 15h30	951	22	03h30 - 04h30	330
10	15h30 - 16h30	899	23	04h30 - 05h30	316
11	16h30 - 17h30	836	24	05h30 - 06h30	310
12	17h30 - 18h30	775	25	06h30 - 07h30	305
13	18h30 - 19h30	729	26	07h30 - 08h30	300



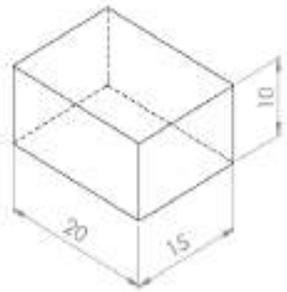
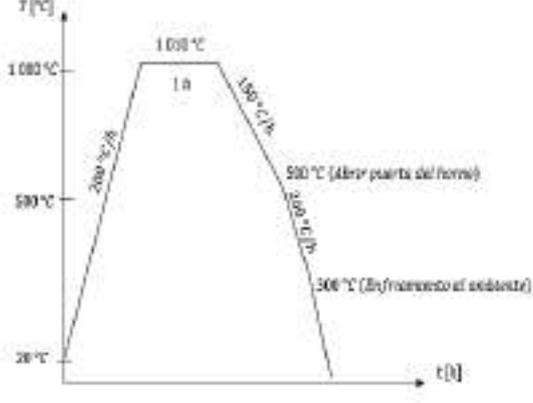
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE3

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio A-CE3 a continuación:

**Tabla 47-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE3

 <b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 14		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 09/9/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero Inoxidable AISI 304L	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Normalizado desde 1010°C: tiene como finalidad refinar el tamaño de grano, y aumentar la tenacidad.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		200°C/h máx.	
Temperatura de tratamiento:		1010°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de salida de la pieza:		303°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

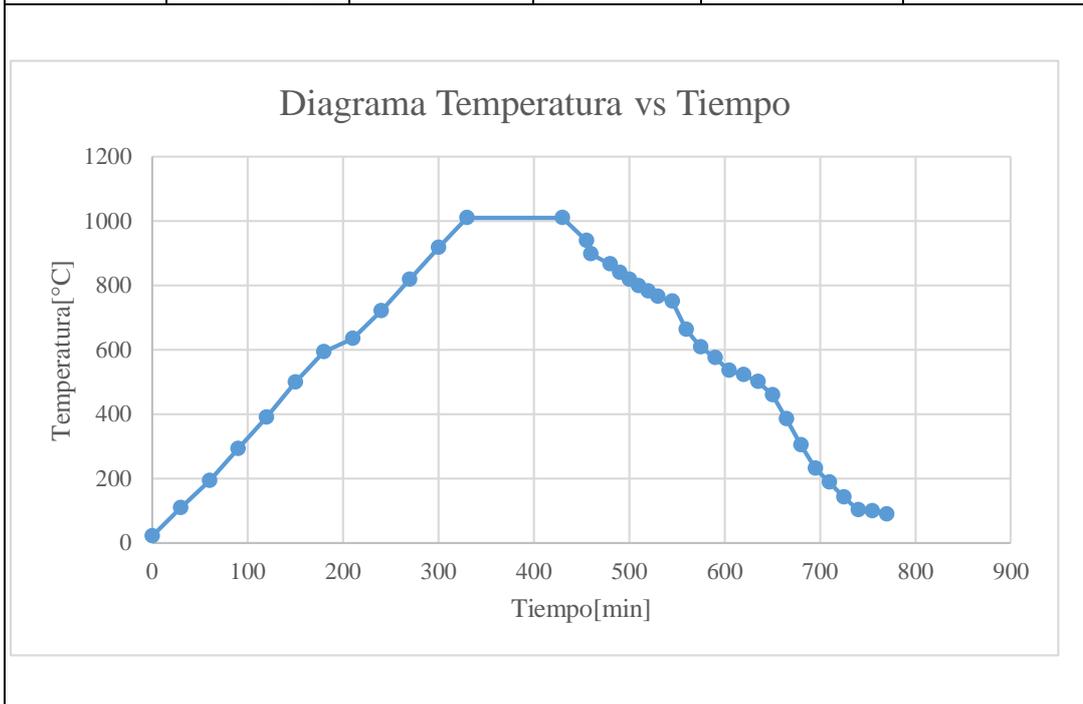
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 14	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 09/9/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	14	15h00 - 15h15	535
2	07h30 - 08h30	192	15	15h15 - 15h30	522
3	08h30 - 09h30	389	16	15h30 - 15h45	500
4	09h30 - 10h30	593	17	15h45 - 16h00	459
5	10h30 - 11h30	720	18	16h00 - 16h15	385
6	11h30 - 12h30	918	19	16h15 - 16h30	303
7	12h30 - 13h30	1010	20	16h30 - 16h45	230
8	13h30 - 13h45	897	21	16h45 - 17h00	188
9	13h45 - 14h00	840	22	17h00 - 17h15	142
10	14h00 - 14h15	799	23	17h15 - 17h30	102
11	14h15 - 14h30	765	24	17h30 - 17h45	99
12	14h30 - 14h45	633	25	17h45 - 18h00	88
13	14h45 - 15h00	575	26	18h00 - 18h15	-



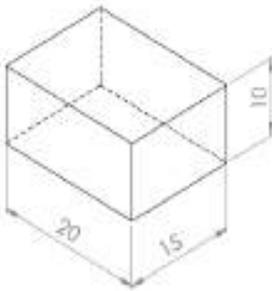
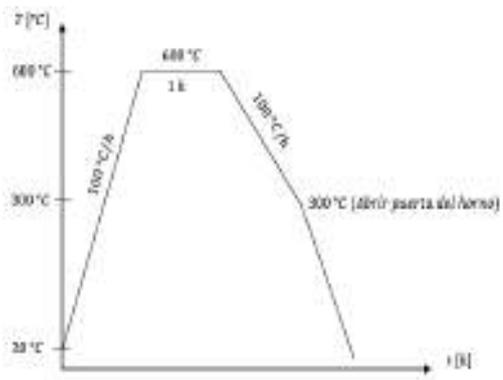
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE4

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio A-CE4 a continuación:

**Tabla 48-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE4

 <b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 15		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 12/9/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero Inoxidable AISI 304L	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Revenido desde 600°C post normalizado desde 1010°C: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		150°C/h máx.	
Temperatura de tratamiento:		600°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de salida de la pieza:		306°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

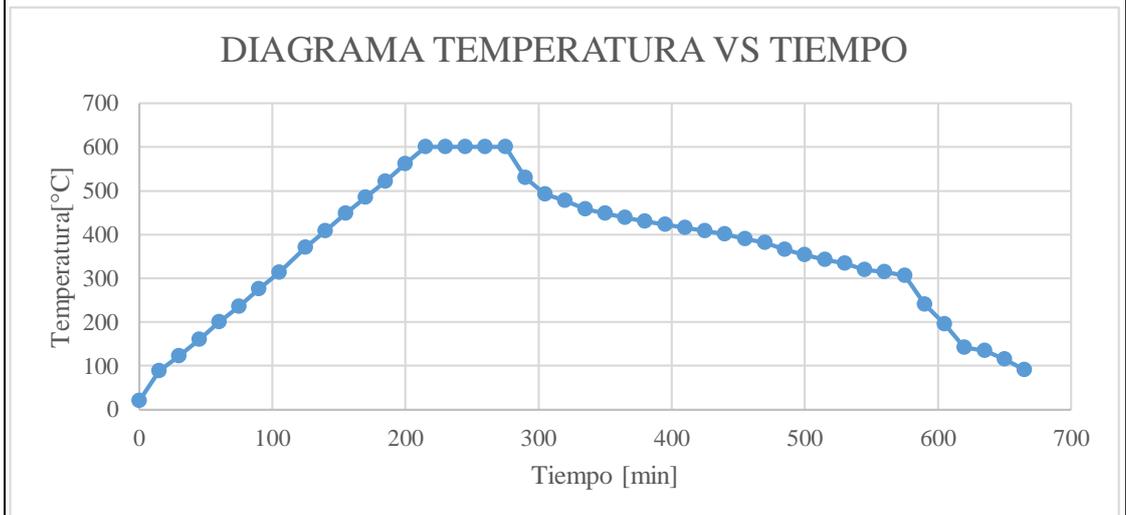
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 15	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 12/9/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	13	13h00 - 13h30	439
2	07h30 - 08h00	122	14	13h30 - 14h00	423
3	08h00 - 08h30	200	15	14h00 - 14h30	408
4	08h30 - 09h00	276	16	14h30 - 15h00	390
5	09h00 - 09h30	371	17	15h00 - 15h30	366
6	09h30 - 10h00	448	18	15h30 - 16h00	342
7	10h00 - 10h30	521	19	16h00 - 16h30	320
8	10h30 - 11h00	600	20	16h30 - 17h00	306
9	11h00 - 11h30	600	21	17h00 - 17h30	195
10	11h30 - 12h00	600	22	17h30 - 18h00	135
11	12h00 - 12h30	492	23	18h00 - 18h30	91
12	12h30 - 13h00	458	24	18h30 - 19h00	-

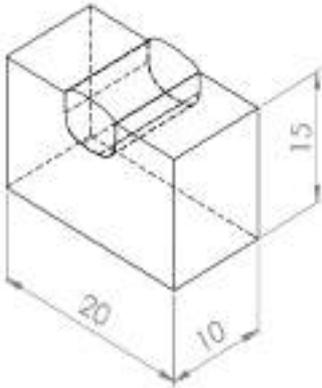
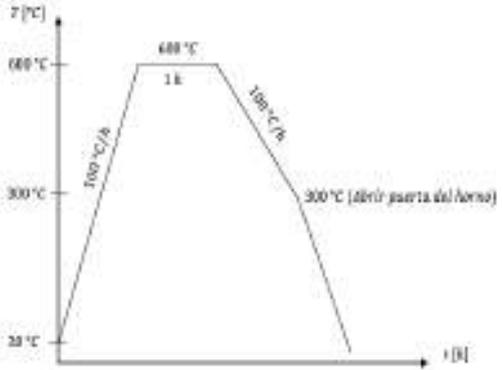


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 49-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE6

		<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
		<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT 16		
		<b>Lugar:</b>	CIRT	<b>Fecha:</b>	20/8/2019
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico		<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g	
<b>Material:</b>	Acero AISI 304L		<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT	
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm		<b>Espesor:</b>	10 mm	
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO					
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:					
Revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309L: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.					
		Temperatura inicial:	20°C		
		Tasa de calentamiento:	100°C/h máx.		
		Temperatura de tratamiento:	600°C		
		Tiempo de sostenimiento:	1 hora		
		Velocidad de enfriamiento:	100°C/h máx.		
		Temperatura de salida de la pieza:	295°C		
Esquema de la(s) pieza(s)			Curva de Tratamiento Térmico Teórica		
					
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de Equipos de Protección Personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.					

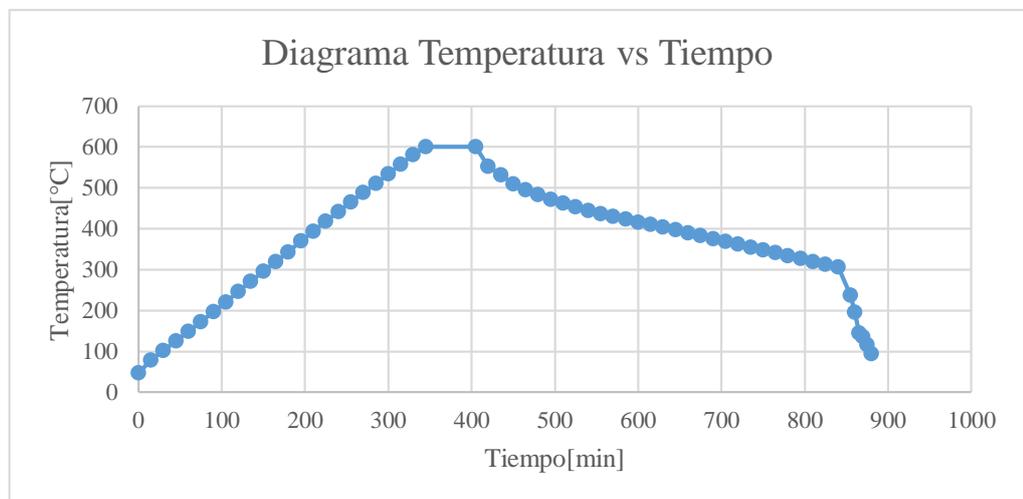
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TT 16		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Lugar:</b>	CIRT		<b>Fecha:</b>	20/7/2019

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	460
2	07h30 - 08h00	86	17	15h00 - 15h30	442
3	08h00 - 08h30	133	18	15h30 - 16h00	426
4	08h30 - 09h00	180	19	16h00 - 16h30	414
5	09h00 - 09h30	229	20	16h30 - 17h00	402
6	09h30 - 10h00	278	21	17h00 - 17h30	390
7	10h00 - 10h30	327	22	17h30 - 18h00	378
8	10h30 - 11h00	378	23	18h00 - 18h30	366
9	11h00 - 11h30	436	24	18h30 - 19h00	354
10	11h30 - 12h00	494	25	19h00 - 19h30	342
11	12h00 - 12h30	552	26	19h30 - 20h00	330
12	12h30 - 13h00	600	27	20h00 - 20h30	318
13	13h00 - 13h30	600	28	20h30 - 21h00	306
14	13h30 - 14h00	510	29	21h00 - 21h30	295
15	14h00 - 14h30	481	30	21h30 - 22h00	-

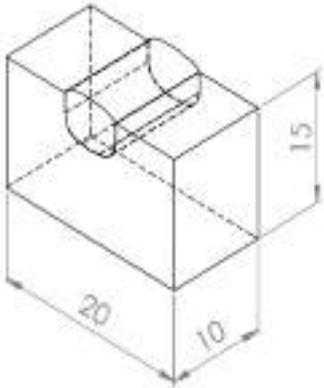
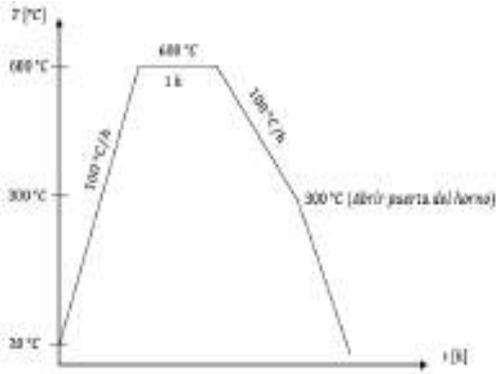


**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE8

Se procede a detallar el registro de temperatura vs tiempo para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 50-3:** Registro de tratamiento térmico del caso de estudio A-CE8

 <b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment			
<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 17		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Lugar:</b> CIRT		<b>Fecha:</b> 20/8/2019	
<b>Pieza:</b>	Probetas - Tratamiento Térmico	<b>Peso de la pieza:</b>	23,4 g
<b>Material:</b>	Acero AISI 304L	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TT
<b>Dimensiones:</b>	20 x 15 mm	<b>Espesor:</b>	10 mm
INSTRUCCIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO			
TIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO:			
Revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo: tiene como finalidad de aliviar tensiones, y disminuir la fragilidad el material.			
Temperatura inicial:		20°C	
Tasa de calentamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de tratamiento:		600°C	
Tiempo de sostenimiento:		1 hora	
Velocidad de enfriamiento:		100°C/h máx.	
Temperatura de salida de la pieza:		295°C	
Esquema de la(s) pieza(s)		Curva de Tratamiento Térmico Teórica	
			
<b>OBSERVACIONES:</b> El uso de equipos de protección personal (E.P.P.) es obligatorio debido a las altas temperaturas con las que se trabaja.			

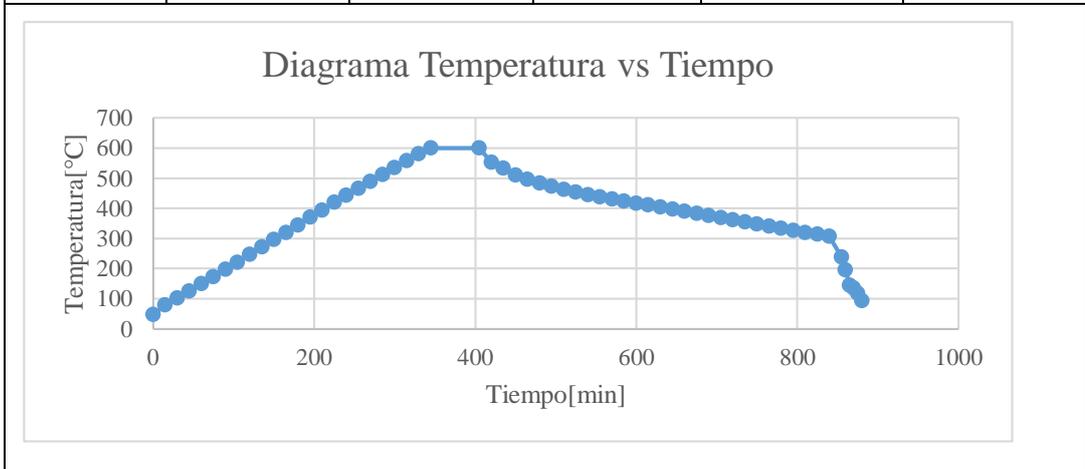
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>REGISTRO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b> Post Weld Heat Treatment		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-REG-TT 17	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Lugar:</b> CIRT	<b>Fecha:</b> 20/7/2019	

**RESULTADOS OPERATIVOS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO APLICADO**

No. Medida	Hora	Temperatura [°C]	No. Medida	Hora	Temperatura [°C]
1	07h30	20	16	14h30 - 15h00	460
2	07h30 - 08h00	86	17	15h00 - 15h30	442
3	08h00 - 08h30	133	18	15h30 - 16h00	426
4	08h30 - 09h00	180	19	16h00 - 16h30	414
5	09h00 - 09h30	229	20	16h30 - 17h00	402
6	09h30 - 10h00	278	21	17h00 - 17h30	390
7	10h00 - 10h30	327	22	17h30 - 18h00	378
8	10h30 - 11h00	378	23	18h00 - 18h30	366
9	11h00 - 11h30	436	24	18h30 - 19h00	354
10	11h30 - 12h00	494	25	19h00 - 19h30	342
11	12h00 - 12h30	552	26	19h30 - 20h00	330
12	12h30 - 13h00	600	27	20h00 - 20h30	318
13	13h00 - 13h30	600	28	20h30 - 21h00	306
14	13h30 - 14h00	510	29	21h00 - 21h30	295
15	14h00 - 14h30	481	30	21h30 - 22h00	-



**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 3.3 Metalografía

#### Caso de estudio M-CE1

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE1 a continuación:

**Tabla 51-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE1

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 1		<b>Hoja:</b> 1 de 3	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 25/9/2019	
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRAT. TÉRMICO</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Ninguno
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	-
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido Mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 30 - 60 segundos		
Norma Aplicable: ASTM E 3			Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
ASTM E407					
RESULTADOS					
			<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. La microestructura consiste en martensita templada, martensita noble (fase café más clara) y austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.</p>		
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Las fases presentes martensita templada y martensita noble, austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se la visualiza con dificultad. Reactivo: Vilella, 100X.</p>			<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Se visualizan islas de austenita retenida entre las agujas de martensita revenida. Reactivo: Vilella, 500X.</p>		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 1		<b>Hoja:</b>	1 de 3
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/9/2019

**MEDICIÓN – ISLAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]
1	10,51	10,21
2	10,95	18,28
3	10,37	13,75
4	8,64	13,24
5	8,54	11,45
<b>PROM.</b>	<b>9,80</b>	<b>13,39</b>

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Microscopía de campo oscuro (DF) utilizada para identificar la fase de austenita retenida. Dimensionamiento promedio de islas de austenita retenida (AR). Reactivo: Vilella, 500X.

Se calculó una longitud y superficie promedio de 9,8  $\mu\text{m}$  y 13,39  $\mu\text{m}^2$  respectivamente correspondientes a cada una de las islas de AR contenidas en las agujas de martensita, bajo condiciones de fábrica.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE1-P1**

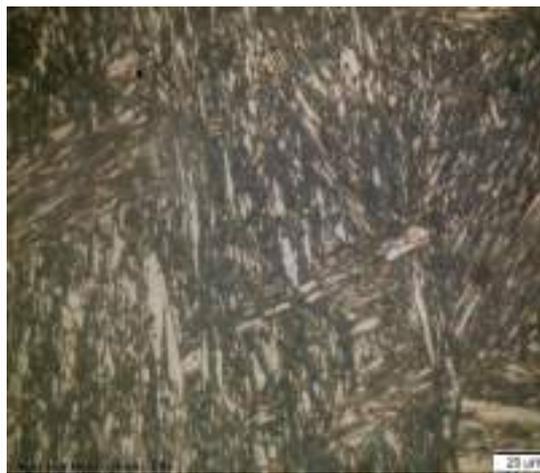


Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. La microestructura consiste en una matriz martensítica y austenita retenida intersticial. Reactivo: Vilella, 500X.

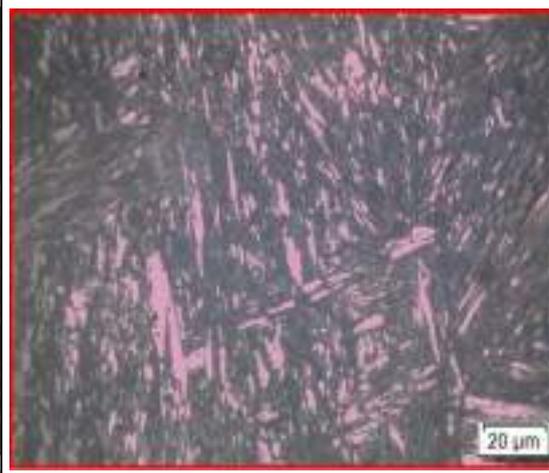


Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Identificación de la fase AR (Magenta) y su cuantificación correspondiente al 8,85% de fracción volumétrica. Reactivo: Vilella, 500X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 1		<b>Hoja:</b>	3 de 3
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/9/2019

**Muestra M-CE1-P2**



Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. La microestructura consiste en una matriz martensítica y austenita retenida. Reactivo: Vilella, 500X.



Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Cuantificación de la fase AR (Magenta) donde su fracción volumétrica correspondiente al 9,11%. Reactivo: Vilella, 500X.

**Muestra M-CE1-P3**



Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. La microestructura consiste en una matriz martensítica y austenita retenida en pequeñas cantidades. Reactivo: Vilella, 500X.



Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de fábrica. Identificación de la fase AR (Magenta) y su fracción volumétrica correspondiente al 8,76%. Reactivo: Vilella, 500X.

**OBSERVACIONES**

La microestructura está compuesta por martensita (Ms) con una morfología acicular, y austenita retenida ( $\gamma'$ ) contenida entre las agujas de martensita.

El reactivo vilella dota de una tonalidad oscura y de color café a la fase martensita, mientras que la micro fase de austenita retenida no es atacada, permaneciendo como la fase más brillante mostrada en las micrografías de campo claro; mientras que, en las micrografías de campo oscuro, la austenita retenida forma islas más oscura homogéneamente distribuidas en la matriz martensítica.

Mediante microscopía de campo claro se identificó diferentes tipos de martensita, la fase acicular café con un tono claro es conocida como martensita noble, menos propensa al ataque químico en comparación a la fase acicular oscura que es martensita templada. De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó la presencia de una fracción volumétrica de 8,85% de austenita retenida contenida en la muestra 1; 9,11% en la muestra 2 y 8,76% en la muestra 3. Las longitudes y superficies promedio son de 9,80  $\mu\text{m}$  y 13,39  $\mu\text{m}^2$  correspondientemente, bajo condiciones de fabricación.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE2

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE2 a continuación:

**Tabla 52-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE2

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>		CIRT-PRO-MET 2		<b>Hoja:</b> 1 de 3	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 26/9/2019	
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRAT. TÉRMICO</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Normalizado
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	1100 °C
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido Mecánico			
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1,5 horas			
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 1 - 2 minutos			
Norma Aplicable: ASTM E 3 ASTM E407		Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)			
RESULTADOS					
			<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100 °C. La microestructura consiste en una matriz martensítica con una morfología de listones (lath martensite): tanto martensita templada como fresca, existen rastros de austenita retenida en los límites entre la martensita templada y martensita fresca; no existe presencia de ferrita (<math>\delta</math>) ni precipitados de carburo de cromo (MxCy). Reactivo Vilella, 100X.</p>		
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Se logra identificar martensita templada y martensita fresca/noble; obteniendo una homogenización de las fases del material sin rastros de ferrita delta. Reactivo Vilella, 100X.</p>			<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Se aprecia una morfología de listones de martensita (lath martensite) martensita templada y fresca; además no se observa presencia de AR en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 2		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	26/9/2019

**MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]
1	21,51	----
2	25,37	----
3	22,81	----
4	23,32	----
5	23,53	----
PROM.	23,31	----

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Dimensionamiento longitudinal promedio de las películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.

Se calculó una longitud promedio de 23,31  $\mu\text{m}$  correspondientes a las películas de austenita retenida entre los listones de martensita templada y martensita fresca, después de un: normalizado 1 hora a 1100°C.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE2-P1**

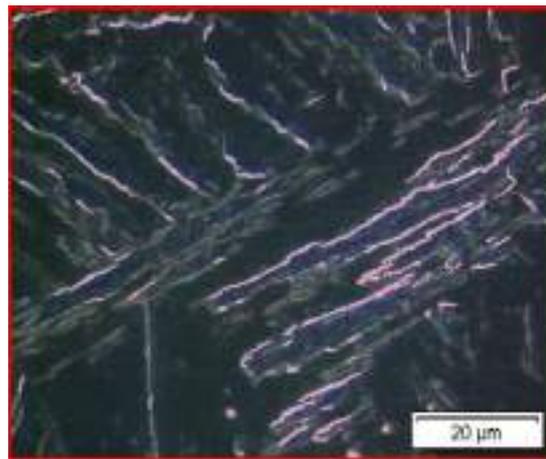
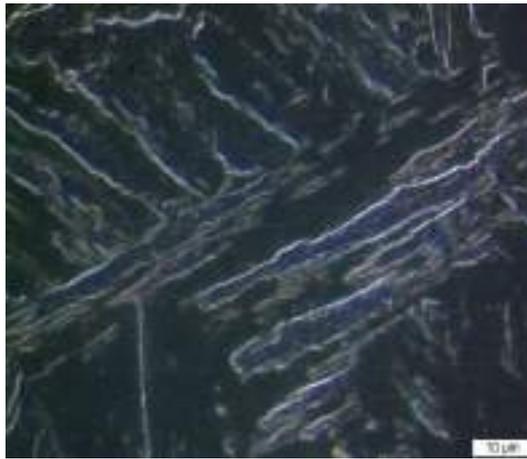
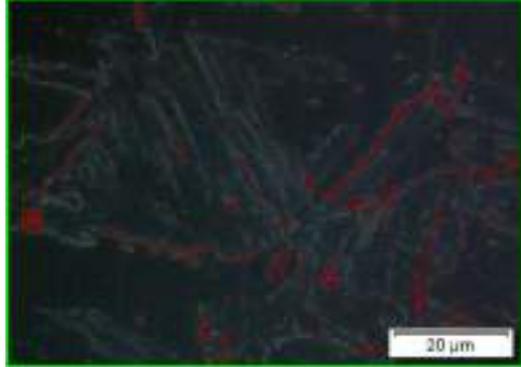


Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). La microestructura consiste en una matriz completamente martensítica con rastros de austenita retenida entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.

Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (Magenta), su fracción volumétrica correspondiente al 3,02%. Reactivo Vilella, 1000X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 2	<b>Hoja:</b>	3 de 3
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	26/9/2019
<b>Muestra M-CE2-P2</b>			
			
<p>Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Matriz martensítica con rastros de austenita retenida entre los listones de martensita, además se observa una pequeña cantidad de precipitados de carburos (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 2,03%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>Muestra M-CE2-P3</b>			
			
<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Se observan películas de austenita retenida entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 3,23%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>La microestructura está compuesta por martensita templada (Ms) y martensita fresca/noble (Msf) con una morfología de listones (lath martensite), y austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre los listones de martensita templada y martensita fresca. Mediante microscopía de campo claro se identificó el microconstituyente principal, martensita, mientras que para la identificación y posterior cuantificación de la fase conocida como austenita retenida se empleó microscopía de campo oscuro con 1000X de ampliación.</p> <p>Existe la presencia de precipitados de carburos (MxCy) en muy pequeñas cantidades en las muestras 2 y 3; además se puede observar que la microestructura fue homogenizada dejando una fase completamente martensítica. De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó la fracción volumétrica de 3,02% de austenita retenida en la muestra 1, 2,03% AR en la muestra 2 y 3,23% AR en la muestra 3. La longitud promedio de las películas de AR es de 23,31 <math>\mu\text{m}</math>, bajo condiciones de Normalizado 1 hora a 1100°C.</p>			

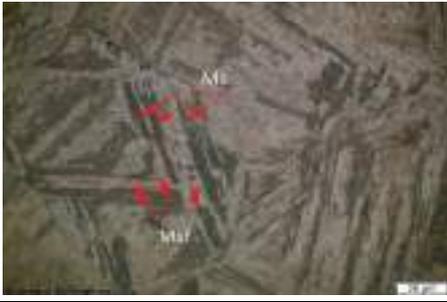
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE3

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE3 a continuación:

**Tabla 53-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE3

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>		CIRT-PRO-MET 3		<b>Hoja:</b> 1 de 3	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 27/9/2019	
Estado/fase:		Soldadura <input type="checkbox"/>	Fundición <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRAT. TÉRMICO	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Normalizado
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	1000 °C
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido Mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma:		ASTM E 3		Tiempo de ataque:	
Aplicable:		ASTM E407		Reactivo:	
				Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
			<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000 °C. La microestructura consiste en una matriz completamente martensítica con una morfología de listones (lath martensite): martensita templada y fresca, no se registra presencia de ferrita (<math>\delta</math>) tampoco precipitados de carburo (<math>M_xC_y</math>). Se observa una disminución en el tamaño de los listones de martensita, respecto al caso de estudio anterior. Reactivo Vilella, 100X.</p>		
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Se observa martensita templada y martensita fresca, no se logra visualizar austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.</p>			<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Morfología de listones de martensita (lath martensite) además de que el arreglo de listones de martensita es intercalado entre templada y fresca; aún no se registra la presencia de AR en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 3		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	27/9/2019

**MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]
1	21,55	----
2	19,80	----
3	25,30	----
4	18,92	----
5	17,09	----
PROM.	20,53	----

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Dimensionamiento longitudinal promedio de las películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.

Se calculó una longitud promedio de 20,53  $\mu\text{m}$  correspondientes a las películas de austenita retenida, después de un: normalizado de 1 hora a 1000°C.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE3-P1**

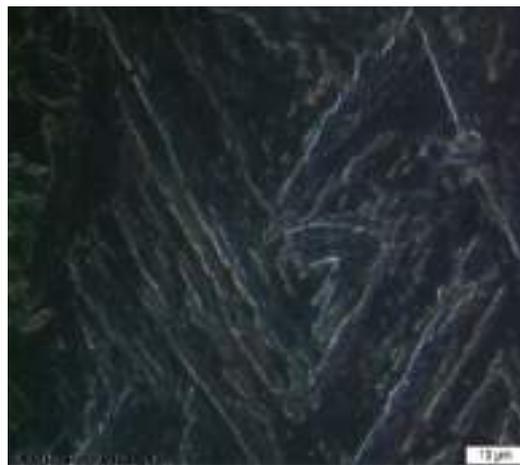


Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, normalizado 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Microestructura completamente martensítica con rastros de austenita retenida contenida entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.

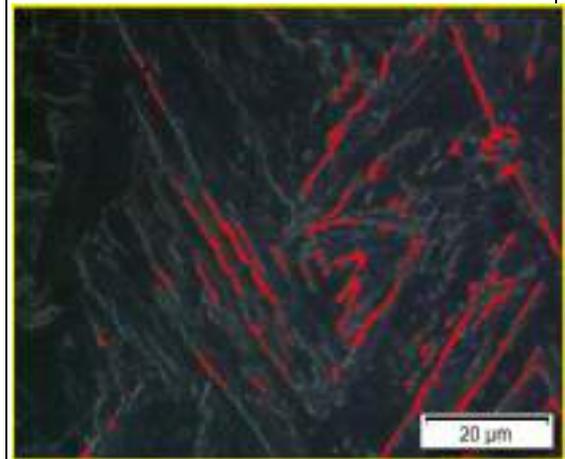
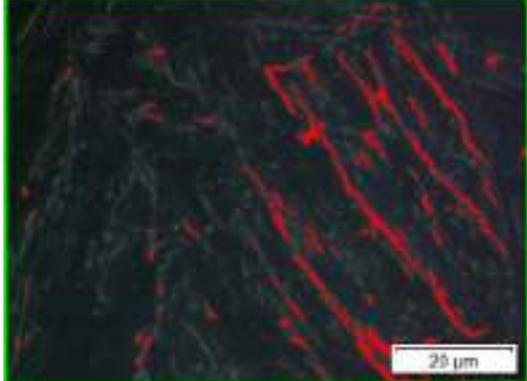
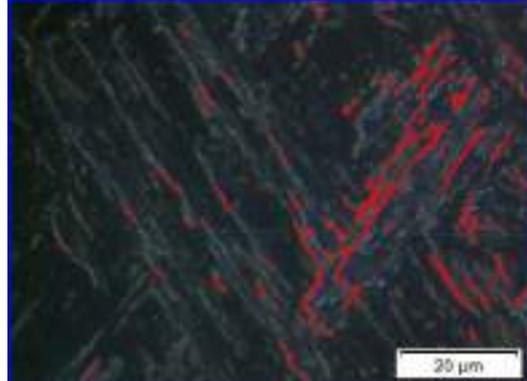


Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (rojo), su fracción volumétrica corresponde a 2,83%. Reactivo Vilella, 1000X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-PRO-MET 3	<b>Hoja:</b> 3 de 3	
<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b> 27/9/2019		
<b>Muestra M-CE3-P2</b>			
			
<p>Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Austenita retenida entre los listones de martensita, también una partícula precipitada de carburo (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 3,44%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>Muestra M-CE3-P3</b>			
			
<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Dos microconstituyentes: martensita y restos de austenita retenida. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, Normalizado 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 2,23%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>La microestructura está compuesta por martensita templada (Ms) y martensita fresca/noble (Msf) con una morfología de listones (lath martensite), y austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre los listones de martensita templada y martensita fresca.</p> <p>La fase martensita fue identificada mediante microscopía de campo claro esta a su vez conforma la totalidad de la microestructura del material; para la identificación de la austenita retenida se empleó microscopía de campo oscuro con 1000X de ampliación. La presencia de precipitados de carburos (MxCy) es menor que en el caso de estudio 2; además de que los listones de martensita presentan una longitud (20,53 <math>\mu\text{m}</math>) menor respecto al caso de estudio anterior. De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó la fracción volumétrica de 2,83% de austenita retenida en la muestra 1, 3,44% AR en la muestra 2 y 2,23% AR en la muestra 3.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## Caso de estudio M-CE4

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE4 a continuación:

**Tabla 54-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE4

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
		Reg. No.:	CIRT-PRO-MET 4		
		Procedimiento:	CIRT-PRO-MET	Fecha:	01/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRAT. TÉRMICO</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Recocido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	1100 °C
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido Mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1,5 horas		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 1 - 2 minutos		
Norma ASTM E 3			Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
Aplicable: ASTM E407					
RESULTADOS					
			<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C. Matriz completamente martensítica de listones (lath martensite): martensita templada (Ms) y fresca (Msf), se observa una mayor concentración de martensita revenida comparada a la fresca además los listones (Ms y Msf) son ahora más delgados y alargados respecto a los lasos de martensita del caso de estudio 3. No se registra presencia de ferrita (<math>\delta</math>) tampoco precipitados de carburos (MxCy). Reactivo Vilella, 100X.</p>		
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100°C. Identificación de fases presentes en la muestra; no se logra visualizar austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.</p>			<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1100°C. Identificación de listones de martensita (lath martensite) además de partículas de carburos precipitados; sin registro de austenita retenida (AR) en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 4		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	01/10/2019

**MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [µm]	Área [µm <sup>2</sup> ]
1	28,83	----
2	20,43	----
3	25,14	----
4	31,80	----
5	21,39	----
PROM.	25,52	----

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Dimensionamiento longitudinal promedio de las películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.

Se calculó una longitud promedio de 25,52 µm correspondientes a las películas de austenita retenida, después de un: recocido 1 hora a 1100°C.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE4-P1**



Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Se observa films de austenita retenida contenidos entre los lasos de martensítica, se observa una menor cantidad de AR. Reactivo Vilella, 1000X.

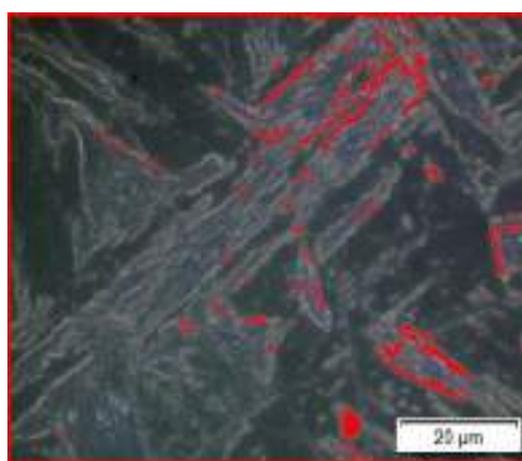
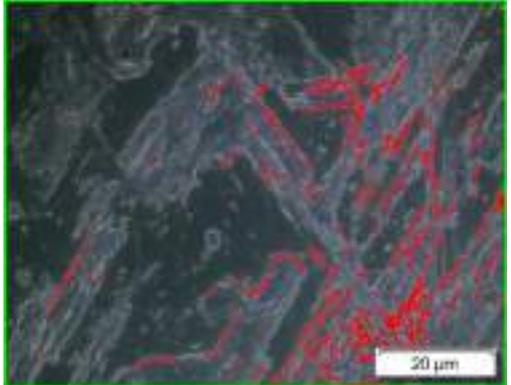
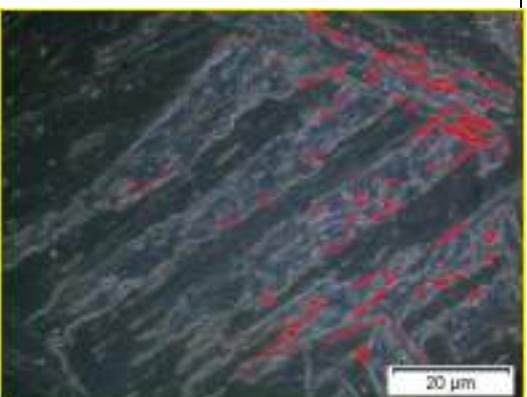


Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (rojo), su fracción volumétrica corresponde a 2,16%. Reactivo Vilella, 1000X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 4	<b>Hoja:</b>	3 de 3
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	01/10/2019
<b>Muestra M-CE4-P2</b>			
			
<p>Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Límites de fases martensíticas delineas por austenita retenida (AR), también pequeñas partículas de precipitados de carburo (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 3,73%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>Muestra M-CE4-P3</b>			
			
<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Se observan pequeñas cantidades de austenita retenida entre listones de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1100°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 1,84%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>La microestructura está compuesta por martensita templada (Ms) y martensita fresca/noble (Msf) con una morfología de listones (lath martensite), y austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre los listones de martensita templada y martensita fresca. Se registra un aumento en la fracción volumétrica de los listones de martensita revenida en comparación a los casos de estudio dos y tres.</p> <p>La presencia de precipitados de carburos (MxCy) es mayor que en el caso de estudio 3; la longitud promedio de los films es de (25,52 <math>\mu\text{m}</math>). De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó una fracción volumétrica de 2,16% de austenita retenida en la muestra 1, 2,73% AR en la muestra 2 y 2,84% AR en la muestra 3.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE5

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE5 a continuación:

**Tabla 55-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE5

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
		Reg. No.:	CIRT-PRO-MET 5		
Estado/fase:		Soldadura <input type="checkbox"/>	Fundición <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRAT. TÉRMICO	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Recocido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	1000 °C
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio:	De laboratorio		Preparación Superficial:	Pulido Mecánico	
Equipo:	Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación:	1,5 horas	
Modelo:	Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:	1 - 2 minutos	
Norma Aplicable:	ASTM E 3 ASTM E407		Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
			<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C. Matriz completamente martensítica de listones (lath martensite): podemos observar que los listones de martensita son los más delgados obtenidos, asemejándose a agujas la martensita revenida, además de que la fracción volumétrica de la martensita revenida es mayor en comparación a la martensita fresca. Precipitados de carburo (MxCy) se registra en pequeñas cantidades, no se observa presencia de ferrita (<math>\delta</math>). Reactivo Vilella, 100X.</p>		
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1000°C. Matriz martensítica homogenizada: revenida (Ms) y fresca (Msf); no se observan rastros de austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.</p>			<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1000°C. Listones de martensita: Ms y Msf (arreglo intercalado entre martensita revenida y martensita fresca, formando ángulos de aproximadamente 60°), no se visualiza precipitados de carbono ó de austenita retenida (AR) en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 5		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	03/10/2019

**MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]
1	21,45	----
2	21,70	----
3	24,45	----
4	29,00	----
5	23,28	----
PROM.	23,98	----

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Se observan películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita (Ms, Msf). Reactivo Vilella, 1000X.

Se calcula una longitud promedio de 23,98  $\mu\text{m}$  correspondientes a las películas de austenita retenida, después de un: recocido 1 hora a 1000°C.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE5-P1**

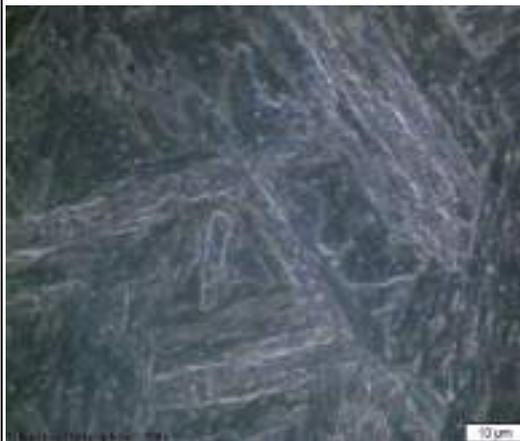


Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Se observa films de austenita retenida contenidos entre los lasos de martensítica, su fracción volumétrica es menor en comparación a los casos de estudio anteriores. Reactivo Vilella, 1000X.

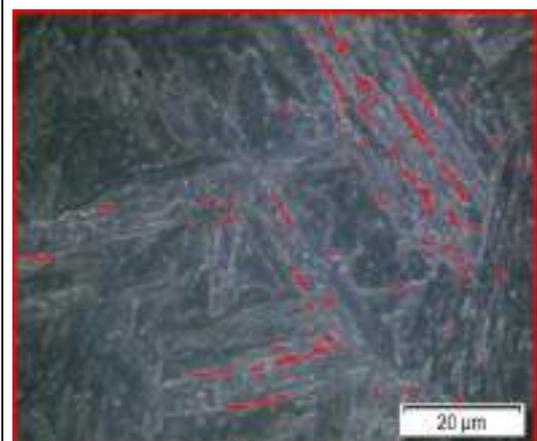
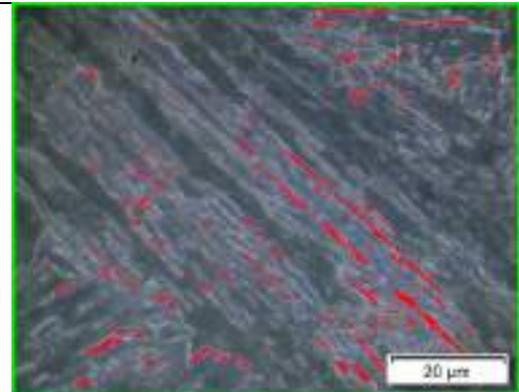
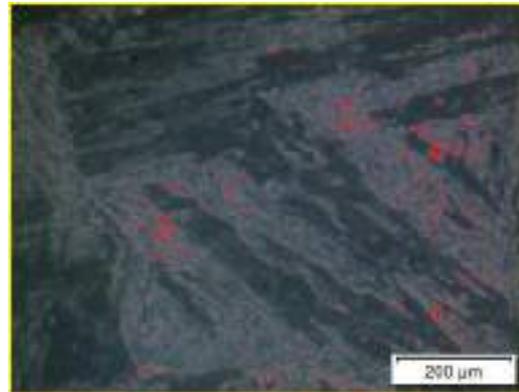


Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (rojo), su fracción volumétrica corresponde a 1,14%. Reactivo Vilella, 1000X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 5	<b>Hoja:</b>	3 de 3
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	03/10/2019
<b>Muestra M-CE5-P2</b>			
			
<p>Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Films de austenita retenida (AR) observadas entre Ms y Msf, también pequeñas partículas de precipitados de carburo (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 2,21%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>Muestra M-CE5-P3</b>			
			
<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF) existe dificultad para visualizar la austenita retenida (AR) la fracción volumétrica es la menor registrada de todos los casos de estudio. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 0,84%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>Microestructura completamente compuesta por martensita: revenida (Ms) y fresca (Msf), la morfología adoptada es de listones (lath martensite) sin embargo, los listones de martensita son los más delgados de los cinco casos de estudio evaluados anteriormente.</p> <p>Se registra un decremento en la fracción volumétrica de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre los listones de martensita revenida, siendo la más baja entre los primeros cinco casos de estudio.</p> <p>La presencia de precipitados de carburo (MxCy) también es la menor de los cinco casos de estudio; la longitud promedio de los films es de (23,98 <math>\mu\text{m}</math>). De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó una fracción volumétrica de 1,14% de austenita retenida en la muestra 1, 2,21% AR en la muestra 2 y 0,84% AR en la muestra 3.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE6

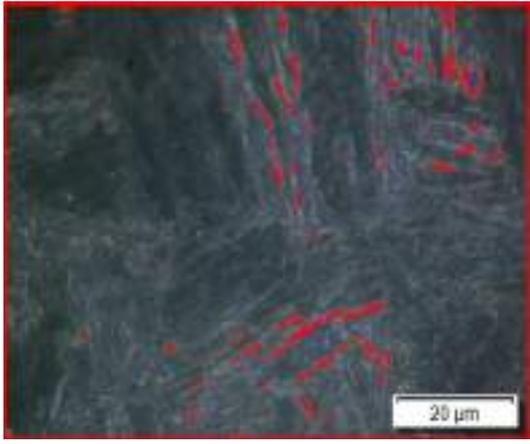
Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE6 a continuación:

**Tabla 56-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE6

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 6	<b>Hoja:</b>	1 de 3
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	04/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL			
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica
		<b>TRAT. TÉRMICO</b>	
		Recocido: 1000°C	
		Revenido: 600°C	
		Tiempo Sost.: 1 hora	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido Mecánico	
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1,5 horas	
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 1 - 2 minutos	
Norma ASTM E 3		Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
Aplicable: ASTM E407			
RESULTADOS			
		Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después revenido 1 hora a 600°C. Reactivo Vilella, 100X. Microestructura martensítica de listones (lath martensite): -Los listones de martensita revenida y martensita fresca son más gruesos al compararlos con listones formados por un solo ciclo de tratamiento térmico. -La fracción volumétrica de martensita revenida y martensita fresca es equitativa, siendo los 2 microconstituyentes los que predominan en el material. -No se observan precipitados de carburo (M <sub>x</sub> C <sub>y</sub> ) a 100x de ampliación. -No se observa presencia de ferrita (δ).	
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE			
			
Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Matriz martensítica (Ms) y (Msf), no hay registro de austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.		Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1000 °C, después Revenido 1 hora a 600°C. Listones de martensita: Ms y Msf, existe una gran cantidad de partículas de (M <sub>x</sub> C <sub>y</sub> ); no se observa austenita retenida (AR) en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.	

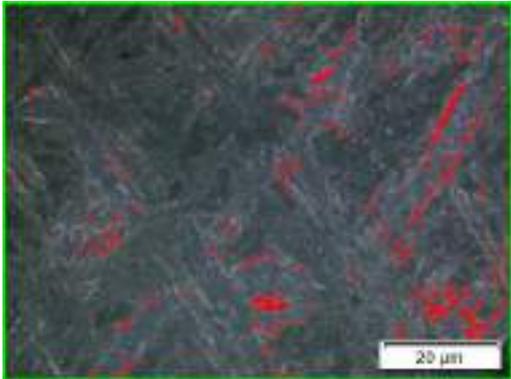
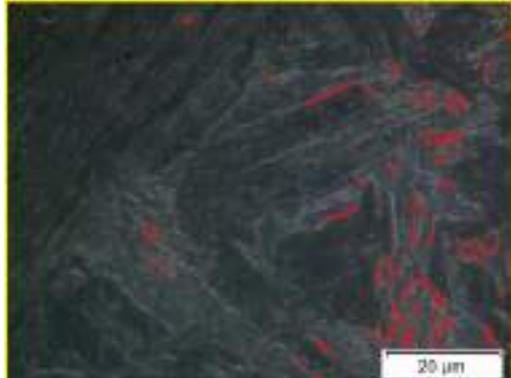
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>																								
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 6	<b>Hoja:</b>	2 de 3																					
<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha</b> :	04/10/2019																					
<b>MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA</b>																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muestras</th> <th>longitud [<math>\mu\text{m}</math>]</th> <th>Área [<math>\mu\text{m}^2</math>]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">22,34</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">28,61</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">19,80</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">17,44</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">16,07</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PROM.</td> <td style="text-align: center;">20,85</td> <td style="text-align: center;">----</td> </tr> </tbody> </table>		Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]	1	22,34	----	2	28,61	----	3	19,80	----	4	17,44	----	5	16,07	----	PROM.	20,85	----
		Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]																				
		1	22,34	----																				
		2	28,61	----																				
		3	19,80	----																				
		4	17,44	----																				
5	16,07	----																						
PROM.	20,85	----																						
<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita (Ms, Msf) en pequeñas cantidades. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Se calculó una longitud promedio de 20,85 <math>\mu\text{m}</math> correspondientes a las películas de austenita retenida, después de un: Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C.</p>																						
<b>CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562</b>																								
<b>Muestra M-CE6-P1</b>																								
																								
				<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Películas de austenita retenida en pequeñas cantidades, su fracción volumétrica es similar al caso de estudio anterior (M-CE5-P3). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (rojo), su fracción volumétrica corresponde a 1,41%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>																		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 6	<b>Hoja:</b>	3 de 3
<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	04/10/2019
<b>Muestra M-CE6-P2</b>			
			
<p>Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Films de austenita retenida (AR) observadas entre Ms y Msf, muy pequeñas cantidades de precipitados de carburo (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1000 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 2,28%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>Muestra M-CE6-P3</b>			
			
<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1000 °C, después revenido 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Films de austenita retenida (AR) en pequeñas cantidades, la fracción volumétrica es similar al caso de estudio anterior (M-CE5-P1). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, recocido 1 hora a 1000 °C, después revenido 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 1,22%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	
<b>OBSERVACIONES</b>			
<p>Microestructura completamente compuesta por martensita: revenida (Ms) y fresca (Msf), la morfología de listones, son más delgados que los casos de estudio con un solo ciclo de tratamiento térmico con excepción del caso de estudio número cinco. Se registra una fracción volumétrica de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) muy similar al caso de estudio número cinco, apenas incrementando en un 0,5% AR. La presencia de precipitados de carburos es mayor al compararse con casos de estudio de un solo ciclo de tratamiento térmico; la longitud promedio de los films es de (20,85 <math>\mu\text{m}</math>). De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó una fracción volumétrica de 1,41% de austenita retenida en la muestra 1, 2,28% AR en la muestra 2 y 1,2% AR en la muestra 3.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## Caso de estudio M-CE7

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE7 a continuación:

**Tabla 57-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio M-CE7

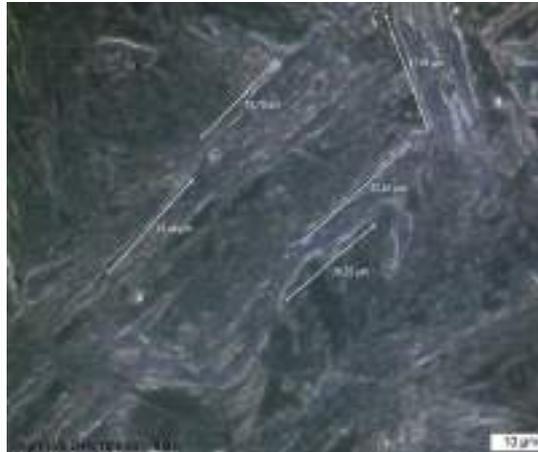
 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 7	<b>Hoja:</b>	1 de 3
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	07/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL			
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	No aplica
Grado/Tipo:	CA6NM	Electrodo B:	No aplica
TRAT. TÉRMICO		Tipo: Recocido: 1100°C	
		Revenido: 600°C	
		Tiempo Sost.: 1 hora	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido Mecánico	
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1,5 horas	
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 1 - 2 minutos	
Norma ASTM E 3		Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
Aplicable: ASTM E407			
RESULTADOS			
		<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Reactivo Vilella, 100X. Microestructura martensítica de listones (lath martensite):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Listones de martensita revenida y fresca son más alargados y delgados respecto al caso de estudio anterior (M-CE6).</li> <li>-La fracción volumétrica de martensita revenida y martensita fresca es equitativa.</li> <li>-No se observan precipitados de carburo (MxCy) a 100X de ampliación.</li> <li>-No se observa presencia de ferrita (<math>\delta</math>).</li> </ul>	
ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE			
			
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Matriz martensítica (Ms) y (Msf), no se observa austenita retenida. Reactivo Vilella, 100X.</p>		<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Se identifican listones de martensita: Ms y Msf, algunas partículas de (MxCy); no se observa austenita retenida (AR) en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>	

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 7		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	07/10/2019

**MEDICIONES – PELÍCULAS DE AUSTENITA RETENIDA**



Muestras	longitud [ $\mu\text{m}$ ]	Área [ $\mu\text{m}^2$ ]
1	17,81	----
2	23,01	----
3	16,73	----
4	19,49	----
5	18,22	----
PROM.	19,05	----

Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Películas de austenita retenida (AR) entre los listones de martensita (Ms, Msf) en menor cantidad que anteriores casos de estudio. Reactivo Vilella, 1000X.

Se calculó una longitud promedio de 19,05  $\mu\text{m}$  correspondientes a las películas de austenita retenida, después de un: recocido 1 hora a 1100 °C, después revenido 1 hora a 600°C.

**CUANTIFICACIÓN DE FASES DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E 562**

**Muestra M-CE7-P1**



Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Películas de austenita retenida en pequeñas cantidades, su fracción volumétrica es pequeña. Reactivo Vilella, 1000X.

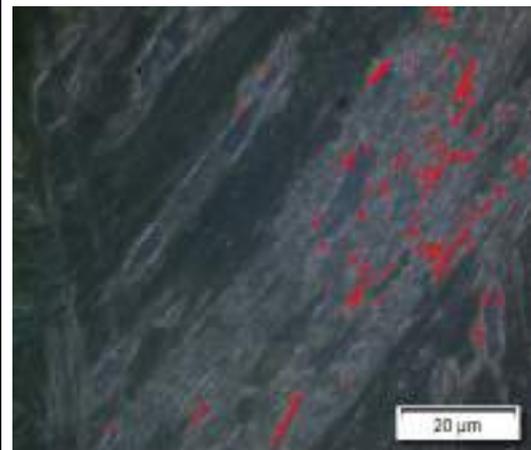


Fig. 6 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase AR (rojo), su fracción volumétrica corresponde a 1,24%. Reactivo Vilella, 1000X.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 7		<b>Hoja:</b>	2 de 3
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	07/10/2019

#### Muestra M-CE7-P2



Fig. 7 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Austenita retenida (AR) en muy pequeñas cantidades, no se observa la presencia de precipitados de carburo (MxCy). Reactivo Vilella, 1000X.

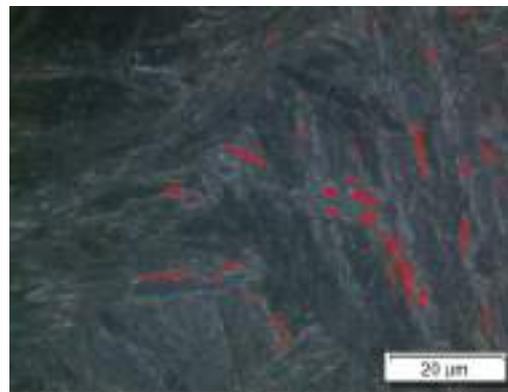


Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y cuantificación de su fracción volumétrica correspondiente al 0,78%. Reactivo Vilella, 1000X.

#### Muestra M-CE7-P3



Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Austenita retenida (AR) en pequeñas cantidades, pero mayor que la muestra anterior. Reactivo Vilella, 1000X.

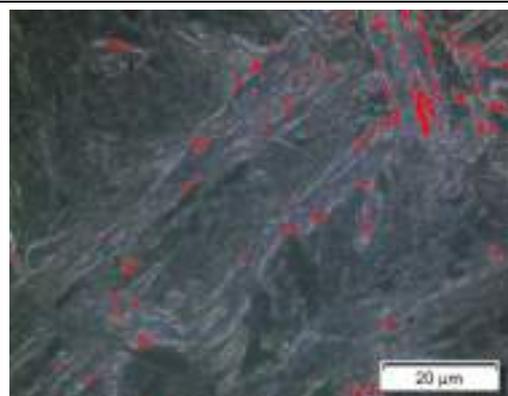


Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, Recocido de 1 hora a 1100 °C, después Revenido de 1 hora a 600°C. Microscopía de campo oscuro (DF). Identificación de la fase AR (Rojo) y su fracción volumétrica correspondiente al 1,38%. Reactivo Vilella, 1000X.

#### OBSERVACIONES

Microestructura completamente compuesta por martensita: revenida (Ms) y fresca (Msf), la morfología de listones (lath martensite), los listones de martensita son delgados asemejándose en cierta forma a la martensita acicular (needles). Se registra una fracción volumétrica de austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades, pero similar al caso de estudio número seis, sin embargo, menor en un 0,5% AR; la longitud promedio de los films es de (19,08  $\mu\text{m}$ ).

La presencia de precipitados de carburo (MxCy) es en pequeñas cantidades respecto a los casos de estudio anteriores.

De la cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E 562 se calculó una fracción volumétrica de 1,24% de austenita retenida en la muestra 1, 0,78% AR en la muestra 2 y 1,38% AR en la muestra 3.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE8

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE8 a continuación:

**Tabla 58-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE8

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 8		<b>Hoja:</b> 1 de 4	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 18/11/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Ninguno
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	-
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma:		ASTM E 3		1 hora	
Aplicable:		ASTM E 568		Tiempo de ataque:	
				1 - 2 min	
				Reactivo:	
				Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
Material base (MB/BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT/HAZ)		
					
Zona de fusión (ZF/FZ)					
					
<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo. Las micrografías corresponden a las zonas: BM (material base), ZAT (zona afectada térmicamente) y FZ (zona de fusión), 200X.</p>					

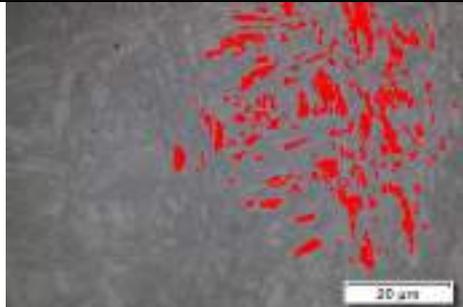
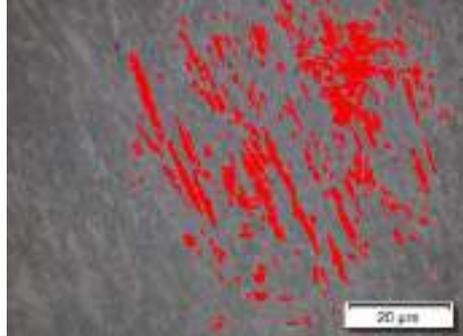
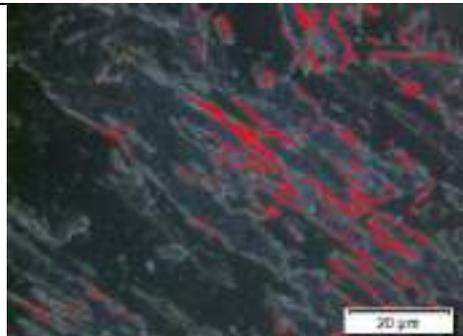
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 8		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	18/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se visualiza la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>				
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
					
<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>				
<b>Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo, FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf); no se logra visualizar la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida en la muestra. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre las agujas de martensita (Ms y Msf). Reactivo Vilella, 1000X.</p>				

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>		
		<b>Reg. No:</b> CIRT-PRO-MET 8	<b>Hoja:</b> 3 de 4	
<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 18/11/2019		
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>				
<b>Muestra M-CE8-P1 --Material base</b>				
				
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se visualiza austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 7,72% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		
<b>Muestra M-CE8-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>				
				
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 500X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 10,91% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Muestra M-CE8-P1 -- Zona de fusión</b>				
				
<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 3,42%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 8		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	18/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE8-P1, M-CE8-P2, M-CE8-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados					
<b>TABLA DE REISULTADOS – INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>					
Muestra	Zona de interés	% AR	Microestructura		
M-CE8-P1	MB/BM	7,72	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	10,91	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).		
	ZF/FZ	3,42	Matriz martensítica acicular gruesa, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.		
M-CE8-P2	MB/BM	7,78	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	13,22	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	5,95	Matriz martensítica de listones (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) en forma de films entre los listones de martensita.		
M-CE8-P3	MB/BM	9,67	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	10,94	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	6,40	Matriz martensítica de listones (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) en forma de films entre los listones de martensita.		
<b>OBSERVACIONES:</b> Se observaron precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE8, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE9

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE9 a continuación:

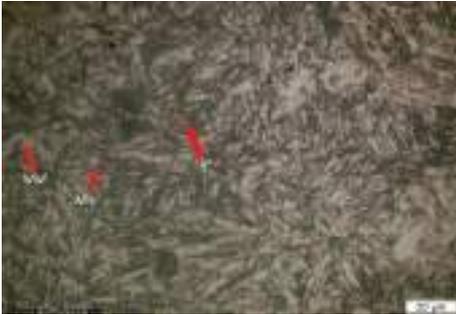
**Tabla 59-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE9.

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 9		<b>Hoja:</b> 1 de 4	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 19/11/2019	
Estado/fase:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>		Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>	
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	640 °C
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma:		ASTM E 3		1 hora	
Aplicable:		ASTM E 568		Tiempo de ataque:	
				1 - 2 min	
				Reactivo:	
				Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
Material base (BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT)		
					
Zona de fusión (FZ)					
					

Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo seguido de un revenido desde 640°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.

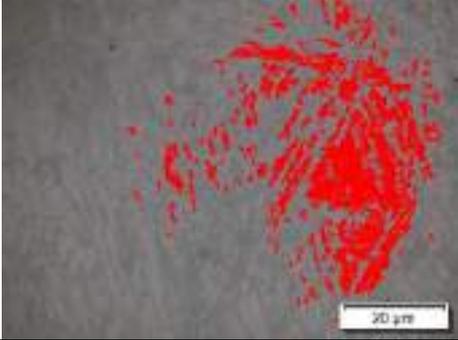
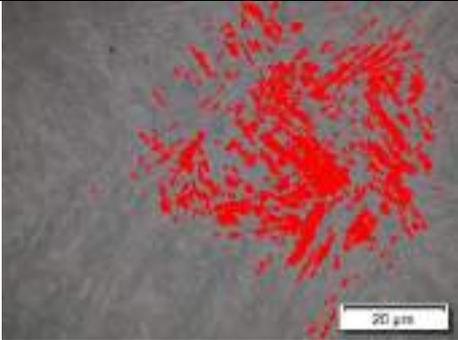
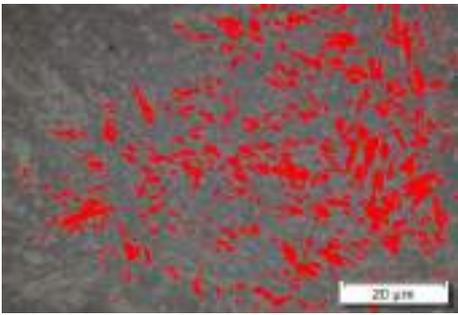
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 9		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	19/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
					
<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo, FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf); se visualiza la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida en la muestra. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo, FZ. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre las agujas de martensita (Ms y Msf). Reactivo Vilella, 500X.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 9		<b>Hoja:</b>	3 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	19/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<b>Muestra M-CE9-P1 --Material base</b>					
					
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se visualiza austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 12,39% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>			
<b>Muestra M-CE9-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>					
					
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 13,59% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Muestra M-CE9-P1 -- Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo claro. Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 14,41%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>			

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 9		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	19/11/2019

**Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568**

La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE9-P1, M-CE9-P2, M-CE9-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados

<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALOGRAFICA.</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>
M-CE9-P1	MB/BM	12,39	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	13,59	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).
	ZF/FZ	14,41	Matriz martensítica acicular fina, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.
M-CE9-P2	MB/BM	9,81	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	9,33	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	11,94	Matriz martensítica acircular fina (Ms); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.
M-CE9-P3	MB/BM	9,75	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	9,26	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	11,92	Matriz martensítica de acircular fina (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.

**OBSERVACIONES:**

Se observaron precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE9, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE10

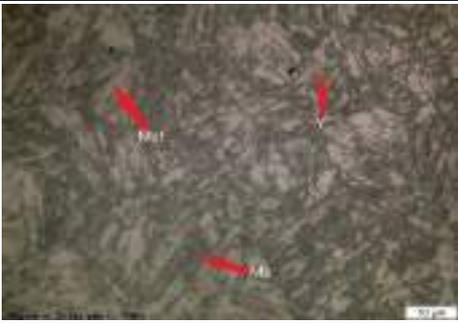
Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE10 a continuación:

**Tabla 60-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE10

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 10		<b>Hoja:</b> 1 de 4	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 20/11/2019	
Estado/fase:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>		Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>	
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	620 °C
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma:		ASTM E 3		1 hora	
Aplicable:		ASTM E 568		Tiempo de ataque:	
				1 - 2 min	
				Reactivo:	
				Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
Material base (BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT)		
					
Zona de fusión (FZ)					
					
<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo seguido de un revenido desde 620°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.</p>					

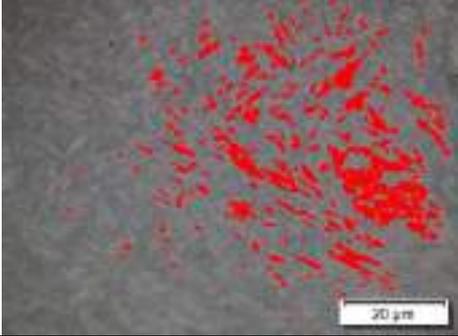
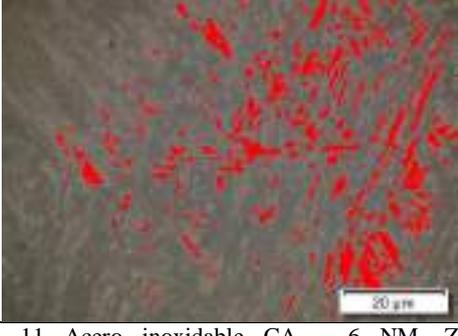
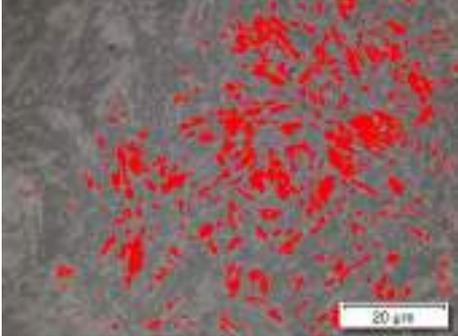
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 10		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	20/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se visualiza de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados en forma de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
					
<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo, FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf); se visualiza la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida en la muestra. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo, FZ. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre las agujas de martensita (Ms y Msf). Reactivo Vilella, 1000X.</p>			

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 10		<b>Hoja:</b>	3 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	20/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<b>Muestra M-CE10-P1 --Material base</b>					
					
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 9,39% de fracción volumétrica Reactivo Vilella, 1000X.</p>			
<b>Muestra M-CE10-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>					
					
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 8,86% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Muestra M-CE10-P1 -- Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo claro. Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 12,34%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>			

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 10		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	20/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<p>La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE10-P1, M-CE10-P2, M-CE10-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.</p>					
<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALOGRAFICA.</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>		
M-CE10-P1	MB/BM	9,39	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,86	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).		
	ZF/FZ	12,34	Matriz martensítica acicular fina, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.		
M-CE10-P2	MB/BM	8,13	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,43	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	12,46	Matriz martensítica acircular fina (Ms); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.		
M-CE10-P3	MB/BM	8,62	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,55	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	13,07	Matriz martensítica de acircular fina (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre la martensita revenida.		
<p><b>OBSERVACIONES:</b>            Se observan precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE10, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.</p>					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE11

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE11 a continuación:

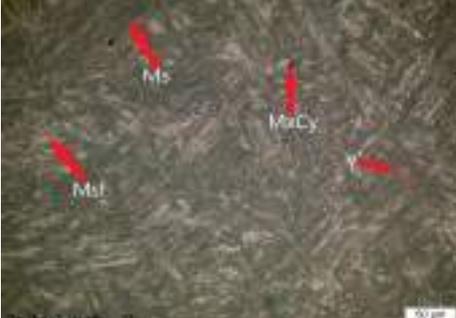
**Tabla 61-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE11

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>					
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 11		<b>Hoja:</b> 1 de 4			
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 21/11/2019			
Estado/fase:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>		Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL							
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO			
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido		
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	600 °C		
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora		
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO							
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:		Pulido mecánico	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación:		1 hora	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque:		1 - 2 min	
Norma:		ASTM E 3		Reactivo:		Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
Aplicable:		ASTM E 568					
RESULTADOS							
Material base (BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT)				
							
Zona de fusión (FZ)							
							

Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.

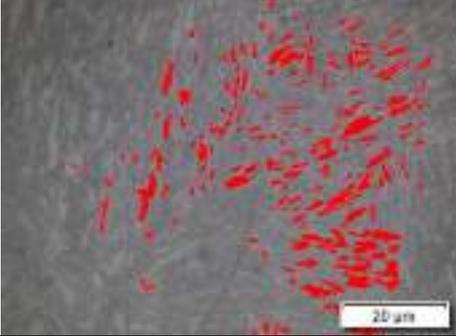
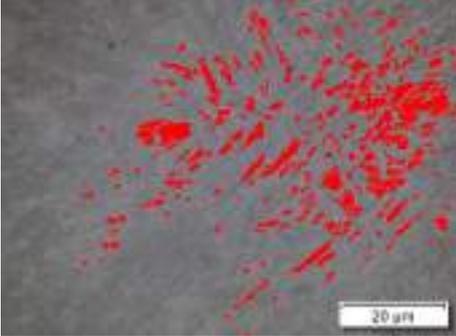
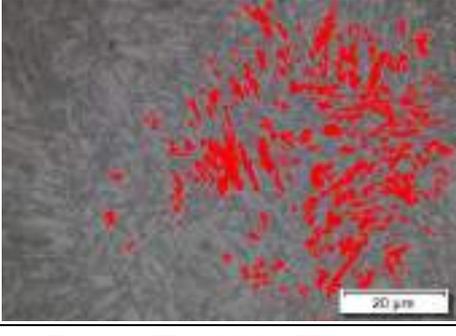
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 11	<b>Hoja:</b>	2 de 4
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	21/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>			
<b>Material base</b>			
		<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>
<b>Zona afectada térmicamente</b>			
		<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM. ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM. ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>
<b>Zona de fusión</b>			
		<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf); se visualiza la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>	<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo FZ. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre las agujas de martensita (Ms y Msf). Reactivo Vilella, 1000X.</p>

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 11		<b>Hoja:</b>	3 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	21/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<b>Muestra M-CE11-P1 --Material base</b>					
					
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 7,17% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>			
<b>Muestra M-CE11-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>					
					
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 8,28% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Muestra M-CE11-P1 -- Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo claro. Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 11,07%. Reactivo Vilella, 1000X.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 11		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	21/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<p>La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE11-P1, M-CE11-P2, M-CE11-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.</p>					
<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALGRÁFICA.</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>		
M-CE11-P1	MB/BM	7,17	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,28	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).		
	ZF/FZ	9,07	Matriz martensítica acicular fina, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.		
M-CE11-P2	MB/BM	8,15	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	10,01	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	7,04	Matriz martensítica acircular fina (Ms); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.		
M-CE11-P3	MB/BM	9,15	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,39	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	7,87	Matriz martensítica de acircular fina (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre la martensita revenida.		
<p><b>OBSERVACIONES:</b>  Se observan precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE11, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.</p>					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE12

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE12 a continuación:

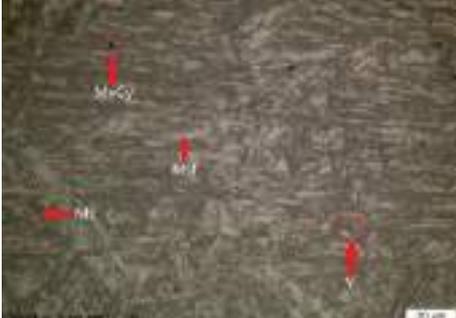
**Tabla 62-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE12

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 12		<b>Hoja:</b> 1 de 4	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 25/11/2019	
Estado/fase:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>		Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>	
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	580 °C
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma:		ASTM E 3		1 hora	
Aplicable:		ASTM E 568		Tiempo de ataque:	
				1 - 2 min	
				Reactivo:	
				Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)	
RESULTADOS					
Material base (BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT)		
					
Zona de fusión (FZ)					
					

Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo seguido de un revenido desde 580°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.

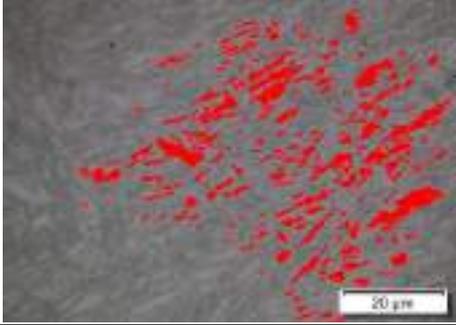
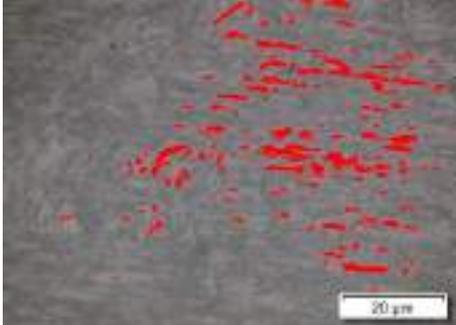
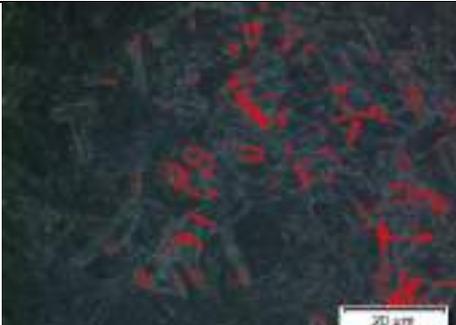
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 12		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
					
<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
					
<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>		<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>			
<b>Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo, FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf); se visualiza la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida en la muestra. Reactivo Vilella, 500X.</p>		<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo, FZ. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>). Microscopia de campo oscuro (DF). Reactivo Vilella, 1000X.</p>			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 12		<b>Hoja:</b>	3 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<b>Muestra M-CE12-P1 --Material base</b>					
		<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>	<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 9,41 de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		
<b>Muestra M-CE12-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>					
		<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 4,86% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Muestra M-CE12-P1 -- Zona de fusión</b>					
		<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, Microscopía de campo oscuro (DF). Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 2,64. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 12		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/11/2019

**Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568**

La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE12-P1, M-CE12-P2, M-CE12-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.

<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALOGRAFICA.</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>
M-CE12-P1	MB/BM	9,41	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	4,86	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).
	ZF/FZ	2,64	Matriz martensítica acicular fina, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.
M-CE12-P2	MB/BM	9,20	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	6,70	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	4,40	Matriz martensítica acircular fina (Ms); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.
M-CE12-P3	MB/BM	11,40	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	6,62	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	2,63	Matriz martensítica de acircular fina (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre la martensita revenida.

**OBSERVACIONES:**

Se observan precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE12, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE13

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE13 a continuación:

**Tabla 63-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE13

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
		Reg. No:	CIRT-PRO-MET 13		
Estado/fase:		Soldadura	<input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T.	<input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER410NiMo	Temperatura:	560 °C
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:	De laboratorio	Preparación Superficial:	Pulido mecánico		
Equipo:	Microscopio metalográfico	Tiempo de preparación:	1 hora		
Modelo:	Olympus GX51 / 5H42662	Tiempo de ataque:	1 - 2 min		
Norma:	ASTM E 3	Reactivo:	Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
Aplicable:	ASTM E 568				
RESULTADOS					
Material base (BM)			Zona afectada térmicamente (ZAT)		
					
Zona de fusión (FZ)					
					

Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E410NiMo seguido de un revenido desde 560°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.

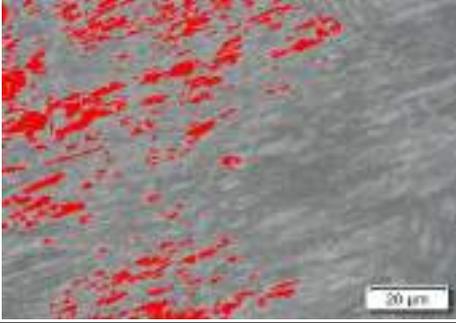
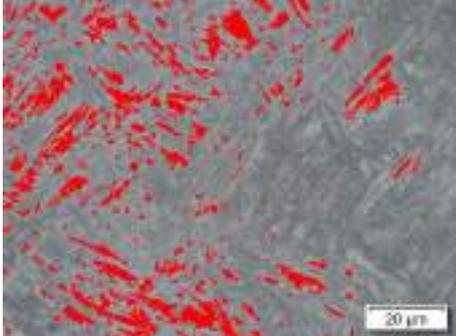
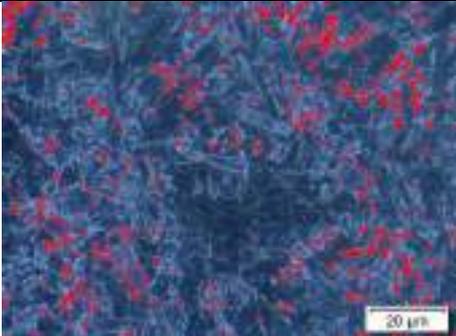
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 13		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	26/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
		<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
		<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona de fusión</b>					
		<p>Fig. 6 Electrodo ER410NiMo, FZ. Matriz martensítica acicular fina (Ms y Msf). Reactivo Vilella, 500X.</p>	<p>Fig. 7 Electrodo ER410NiMo, FZ. Películas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) contenida entre la martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 13		<b>Hoja:</b>	3 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	26/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<b>Muestra M-CE13-P1 --Material base</b>					
					
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>	<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 8,23% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>				
<b>Muestra M-CE13-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>					
					
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>	<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 9,90% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>				
<b>Muestra M-CE11-P1 -- Zona de fusión</b>					
					
<p>Fig. 12 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Matriz martensítica con rastros de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) en forma de películas. Reactivo Vilella. 1000X.</p>	<p>Fig. 13 Electrodo ER410NiMo, FZ. Microscopía de campo oscuro (DF). Cuantificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo), su fracción volumétrica correspondiente al 4,46%. Reactivo Vilella. 1000X.</p>				

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 13		<b>Hoja:</b>	4 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	26/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>					
<p>La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE13-P1, M-CE13-P2, M-CE13-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.</p>					
<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALOGRAFICA.</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>		
M-CE13-P1	MB/BM	8,23%	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	9,90%	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).		
	ZF/FZ	4,46%	Matriz martensítica acicular fina, fracción volumétrica equivalente entre Ms y Msf, además, austenita retenida en pequeñas cantidades en forma de películas entre las agujas de martensita revenida y fresca.		
M-CE13-P2	MB/BM	8,70%	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	9,65%	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	5,74%	Matriz martensítica acircular fina (Ms); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre los listones de martensita.		
M-CE13-P3	MB/BM	8,11%	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).		
	ZAT/HAZ	8,89%	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.		
	ZF/FZ	4,83%	Matriz martensítica de acircular fina (Ms y Mf); austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre la martensita revenida.		
<p><b>OBSERVACIONES:</b>            Se observan precipitados de carburos en todas las zonas del caso de estudio M-CE13, lo cual propicia la corrosión intergranular en el material.</p>					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE14

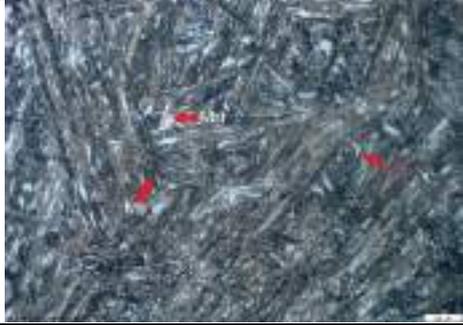
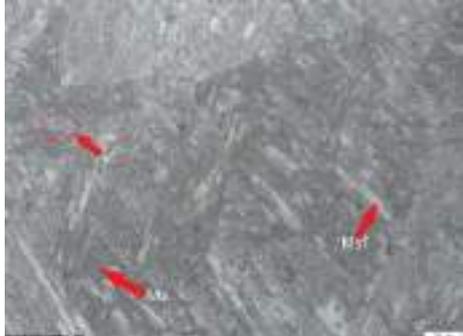
Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE14 a continuación:

**Tabla 64-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE14

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b> CIRT-PRO-MET 14		<b>Hoja:</b> 1 de 4			
<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 27/11/2019			
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	No aplica
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER309LMO	Temperatura:	-
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido mecánico			
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1 hora			
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 1 - 2 min			
Norma: ASTM E 3		Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)			
Aplicable: ASTM E 568					
RESULTADOS					
<b>Material base (BM)</b>			<b>Zona afectada térmicamente (ZAT)</b>		
Zona de fusión (FZ)					
<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E309LMO. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.</p>					

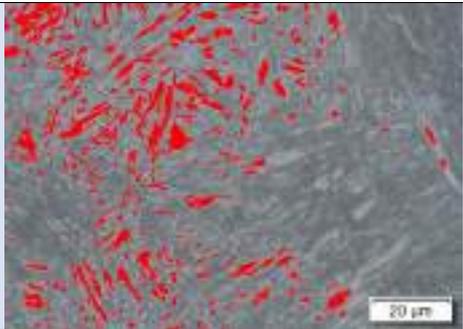
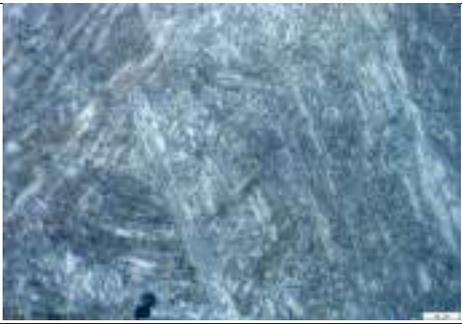
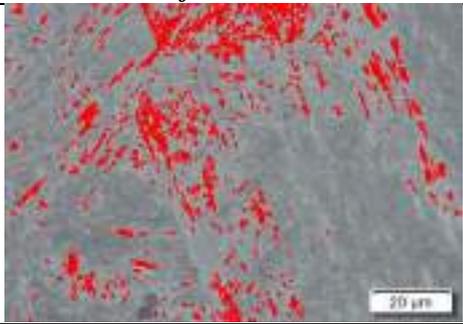
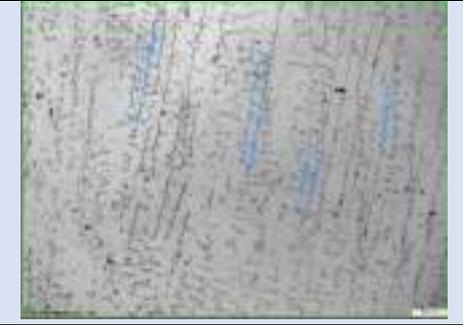
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 14		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	27/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
		<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
		<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona de fusión</b>					
		<p>Fig. 6 Electrodo ER309LMo, FZ. Matriz austenítica; se visualiza dendritas columnares y equiaxiales, 500X.</p>	<p>Fig. 7 Electrodo ER309LMo, FZ. Se logra visualizar ciertos precipitados en formas de carburos que pueden propiciar la corrosión intergranular, 200X.</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>									
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>									
	<i>Metallographic Test</i>									
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 14	<b>Hoja:</b>		3 de 4					
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	27/11/2019							
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>										
<b>Muestra M-CE14-P1 --Material base</b>										
										
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 8,30% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>								
<b>Muestra M-CE14-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>										
										
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 8,56% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 500X.</p>								
<b>Muestra M-CE14-P1 -- Zona de fusión</b>										
										
<p>Fig. 12 Electrodo ER309LMO, FZ. Microscopía de campo claro. Matriz austenítica con formación de dendritas columnares y equiaxiales con rastros de precipitados en forma de carburos. Reactivo Agua Regia, 500X.</p>		<p>Fig. 13 Electrodo ER309LMO, FZ. Distancia interdendrítica, 500X</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># de dendritas</th> <th>Distancia interdendrítica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>analizadas</td> <td>promedio</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">66</td> <td style="text-align: center;">5,87<math>\mu</math>m</td> </tr> </tbody> </table>			# de dendritas	Distancia interdendrítica	analizadas	promedio	66	5,87 $\mu$ m
# de dendritas	Distancia interdendrítica									
analizadas	promedio									
66	5,87 $\mu$ m									

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>				
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>				
	<i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 14	<b>Hoja:</b>	4 de 4	
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	27/11/2019		

**Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568**

*La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE14-P1, M-CE14-P2, M-CE14-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.*

<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALGRÁFICA.</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>
M-CE14-P1	MB/BM	8,30	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	8,56	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).
	ZF/FZ	-	Se puede visualizar una matriz austenítica, con la formación dendrítica tanto columnar como equiaxial, además de existir precipitados en forma de carburos.
M-CE14-P2	MB/BM	8,96	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	8,43	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	-	Se puede visualizar una matriz austenítica, con la formación dendrítica tanto columnar como equiaxial, además de existir precipitados en forma de carburos.
M-CE14-P3	MB/BM	8,17	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	8,62	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	-	Se puede visualizar una matriz austenítica, con la formación dendrítica tanto columnar como equiaxial, además de existir precipitados en forma de carburos.

**OBSERVACIONES:**

*Se logra observar claramente las distintas microestructuras de las zonas del caso de estudio M-CE14 debido al tipo de composición del material base acero ASTM A743 CA6-NM y del material de aporte ER309LMO.*

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE15

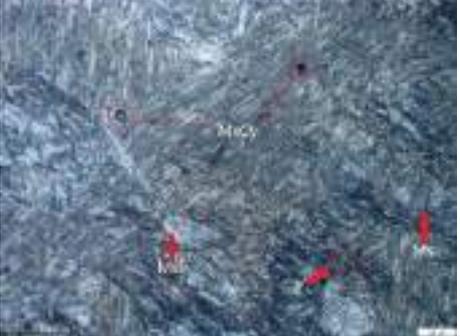
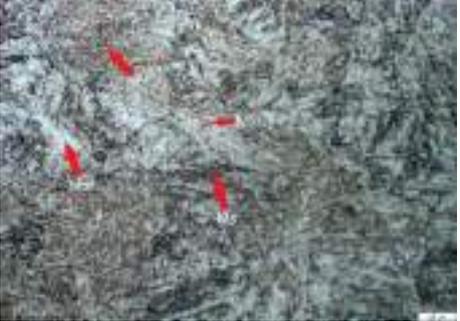
Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio M-CE15 a continuación:

**Tabla 65-3:** Reporte de inspección metalográfica caso de estudio M-CE15

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 15		<b>Hoja:</b>	1 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	28/11/2019
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/>					
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL</b>					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>	
Material:	Acero Inox.	Proceso:	GTAW	Tipo:	Revenido
Especificación:	ASTM A743	Electrodo A:	ER309LMo	Temperatura:	600 °C
Grado/Tipo:	CA6-NM	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
<b>PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 1 - 2 min		
Norma: ASTM E 3			Reactivo: Vilella (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
Aplicable: ASTM E 568					
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Material base (BM)</b>			<b>Zona afectada térmicamente (ZAT)</b>		
<b>Zona de fusión (FZ)</b>					
<p>Fig. 1 Acero inoxidable CA – 6 NM, condiciones de soldadura GTAW E309LMo seguido de un revenido desde 600°C. Las micrografías corresponden a las regiones: FZ, ZAT y BM , 200X.</p>					

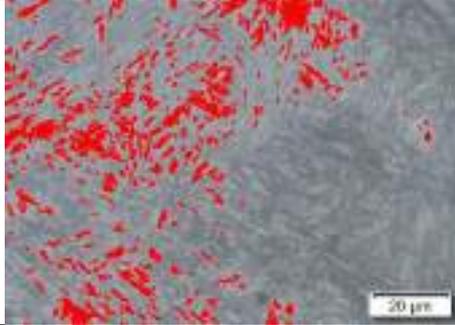
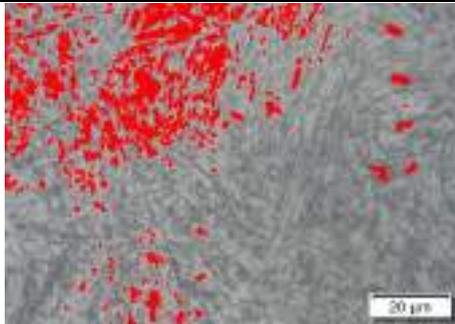
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 15		<b>Hoja:</b>	2 de 4
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	28/11/2019
<b>Análisis microestructural</b>					
<b>Material base</b>					
		<p>Fig. 2 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se reconoce la martensita revenida y fresca (Ms, Msf), la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) está finamente dispersa entre la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 3 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Se observa de manera más clara la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) dispersa en la matriz martensítica (Ms), además de precipitados de carburos. Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona afectada térmicamente</b>					
		<p>Fig. 4 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Se observa un incremento en la fracción volumétrica de martensita fresca (Msf) mientras que la austenita retenida (<math>\gamma'</math>) se encuentra dispersa en la matriz martensítica. Reactivo Vilella, 200X.</p>	<p>Fig. 5 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 500X.</p>		
<b>Zona de fusión</b>					
		<p>Fig. 6 Electrodo ER309LMo, FZ. Matriz austenítica; se visualiza dendritas equiaxiales, 500X.</p>	<p>Fig. 7 Electrodo ER309LMo, FZ. Se logra visualizar ciertos precipitados de carburos de forma muy dispersa a lo largo de la microestructura</p>		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>							
<b>Reg. No:</b> CIRT-PRO-MET 15		<b>Hoja:</b> 3 de 4					
<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 28/11/2019					
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>							
<b>Muestra M-CE15-P1 --Material base</b>							
							
<p>Fig. 8 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Visualización de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita revenida (Ms). Reactivo Vilella, 1000X.</p>		<p>Fig. 9 Acero inoxidable CA – 6 NM, BM. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 9,30% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>					
<b>Muestra M-CE15-P1 -- Zona térmicamente afectada</b>							
							
<p>Fig. 10 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Islas de austenita retenida (<math>\gamma'</math>) entre las agujas de martensita. Reactivo Vilella, 500X.</p>		<p>Fig. 11 Acero inoxidable CA – 6 NM, ZAT. Identificación de la fase <math>\gamma'</math> (Rojo) y su cuantificación correspondiente al 10,52% de fracción volumétrica. Reactivo Vilella, 1000X.</p>					
<b>Muestra M-CE15-P1 -- Zona de fusión</b>							
							
<p>Fig. 12 Electrodo E309LMo, ZF. Microscopía de campo claro. Matriz austenítica con formación de dendritas equiaxiales, no se logra visualizar los precipitados en forma de carburos. Reactivo Agua Regia, 500X</p>		<p>Fig. 13 FZ, Electrodo E309LM. Distancia interdendrítica, 500X.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th># de dendritas analizadas</th> <th>Distancia interdendrítica promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">66</td> <td style="text-align: center;">5,53<math>\mu</math>m</td> </tr> </tbody> </table>		# de dendritas analizadas	Distancia interdendrítica promedio	66	5,53 $\mu$ m
# de dendritas analizadas	Distancia interdendrítica promedio						
66	5,53 $\mu$ m						

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>		
	<i>Metallographic Test</i>		
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 15	<b>Hoja:</b>	4 de 4
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	28/11/2019
<b>Cuantificación de fases de acuerdo a la norma ASTM E568</b>			
<p>La identificación y cálculo de la fracción volumétrica se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en la página anterior, los resultados obtenidos de las muestras: M-CE15-P1, M-CE15-P2, M-CE15-P3 se resumen en la siguiente tabla de resultados.</p>			
<b>TABLA DE RESULTADOS – INSPECCIÓN METALGRÁFICA.</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Zona de interés</b>	<b>%AR</b>	<b>Microestructura</b>
M-CE15-P1	MB/BM	9,30	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	10,52	Matriz martensítica acicular fina (Ms), aparecimiento de martensita fresca (Msf) en pequeñas cantidades, se conserva una dispersión homogénea de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita (Ms y Msf).
	ZF/FZ	-	Matriz austenítica con una formación interdendrítica equiaxial, no se logra visualizar precipitados en forma de carburos.
M-CE15-P2	MB/BM	9,52	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con pequeñas cantidades de martensita fresca (Msf), la austenita retenida ( $\gamma'$ ) se encuentra en muy pequeñas cantidades dentro las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	10,86	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con austenita retenida ( $\gamma'$ ) en pequeñas cantidades entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	-	Matriz austenítica con una formación interdendrítica equiaxial, no se logra visualizar precipitados en forma de carburos.
M-CE15-P3	MB/BM	9,47	Matriz martensítica acicular fina (Ms) con una fina dispersión de austenita retenida ( $\gamma'$ ) entre las agujas de martensita revenida (Ms).
	ZAT/HAZ	10,93	Matriz martensítica acicular fina (Ms), martensita acicular fresca (Msf) en pequeñas cantidades; austenita retenida ( $\gamma'$ ) dispersa entre las agujas de martensita.
	ZF/FZ	-	Matriz austenítica con una formación interdendrítica equiaxial, no se logra visualizar precipitados en forma de carburos.
<p><b>OBSERVACIONES:</b> Se logra observar claramente las distintas microestructuras de las zonas del caso de estudio M-CE15 debido al tipo de composición del material base acero ASTM A743 CA6-NM y del material de aporte ER309LMo.</p>			

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE1

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio A-CE1 a continuación:

**Tabla 66-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio A-CE1

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 16	<b>Hoja:</b>	1 de 2			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	21/10/2019			
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Laminado <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>						
IDENTIFICACION DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
Material:	Acero	Proceso:	No aplica		Tipo:	Ninguno
Especificación:	AISI	Electrodo A:	No aplica		Temperatura:	-
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	No aplica		Tiempo Sost:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO						
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido mecánico				
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1 hora				
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 45- 60 segundos				
Norma ASTM E 3		Reactivo: AGUA REGIA (75% HCl, 25% HNO <sub>3</sub> )				
Aplicable: ASTM E 112						
RESULTADOS						
<b>MICROGRAFÍAS DE: ACERO INOXIDABLE AISI 304L .</b>						
<b>ESTADO: CONDICIONES DE FÁBRICA.</b>						
						
<p>Fig. 1 Acero inoxidable AISI 304L, condiciones de fábrica. Se visualiza una matriz netamente austenítica con líneas de maclaje. Reactivo: Agua Regia, 100X.</p>						

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 16		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	21/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: MATERIAL BASE**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, condiciones de fábrica. Se visualiza la fase austenítica y sus límites de grano. Reactivo Agua Regia, 100X.

Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, condiciones de fábrica. Se visualizan líneas de maclaje en la microestructura presente, 100X

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

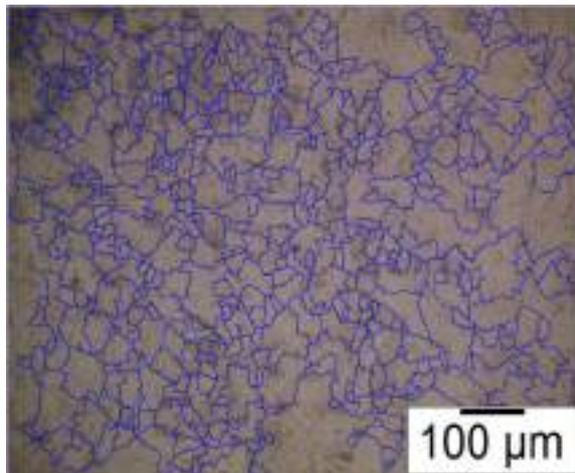


Fig.4 Acero inoxidable AISI 304L, condiciones de fábrica. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de 7,5. Reactivo: Agua Regia, 100X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a un acero inoxidable austenítico AISI 304L en condiciones de fabricación, su estructura es netamente austenítica sin presencia alguna de corrosión intergranular debido al bajo porcentaje de carbono presente en la composición del acero, el tamaño de grano promedio es de ASTM 7,5.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Caso de estudio A-CE2**

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio A-CE2 a continuación:

**Tabla 67-3:** Reporte de inspección metalográfico para el caso de estudio A-CE2

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 17		<b>Hoja:</b>	1 de 2
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	21/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL</b>					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Recocido
Especificación:	AISI	Electrodo A:	No aplica	Temperatura:	1010°C
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost.:	1 hora
<b>PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>					
Tipo de Estudio: De laboratorio Equipo: Microscopio metalográfico Modelo: Olympus GX51 / 5H42662 Norma: ASTM E 3 Aplicable: ASTM E 112			Preparación Superficial: Pulido mecánico Tiempo de preparación: 1 hora Tiempo de ataque: 45- 60 segundos Reactivo: Agua regia (75%HCl, 25%HNO3)		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>MICROGRAFÍAS DE: ACERO INOXIDABLE AISI 304L.</b> <b>ESTADO: RECOCIDO DESDE 1010°C.</b>					
					
Fig. 1 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un Recocido desde 1010°C. Reactivo: Agua Regia, 200X.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 17		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	21/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: RECOCIDO DESDE 1010°C**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un recocido desde 1010°C. Se visualiza la fase austenítica y en sus límites de grano existe ferrita, 100X.

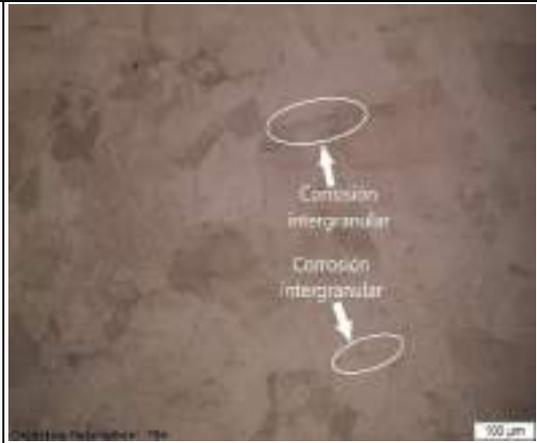


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un recocido desde 1010°C. Se visualiza corrosión intergranular, 100x

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

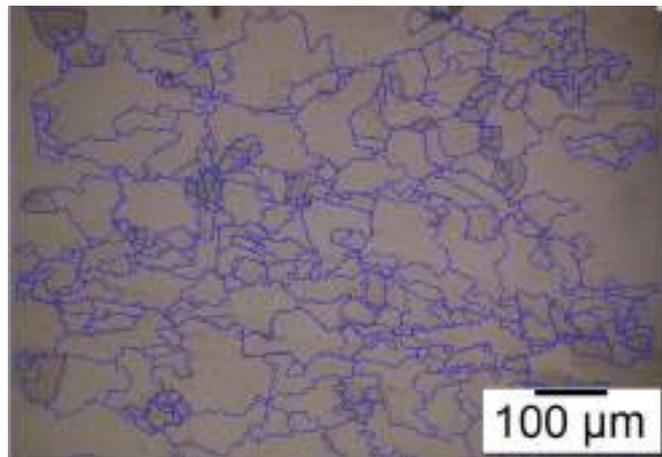


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un recocido desde 1010°C. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 6,5. Reactivo: Agua Regia, 100X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un recocido desde 1010°C, en este caso de estudio el acero se presenta en menor grado la corrosión intergranular, esto debido a la ausencia de carburos de cromo que han logrado precipitarse en la microestructura. El tamaño de grano promedio obtenido es de ASTM 6,5 teniendo un crecimiento de grano con respecto al material en condiciones de fabricación, teniendo como resultado una disminución en la dureza por medio del recocido desde 1010°C, además se logra apreciar maclas en la microestructura.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE3

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio A-CE3 a continuación:

**Tabla 68-3:** Reporte de inspección metalográfica para el caso de estudio A-CE3

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 18	<b>Hoja:</b>	1 de 2
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	22/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL			
MATERIAL BASE	MATERIAL DE APORTE	TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material: Acero	Proceso: No aplica	Tipo: Normalizado	
Especificación: AISI	Electrodo A: No aplica	Temperatura: 1010°C	
Grado/Tipo: 304L	Electrodo B: No aplica	Tiempo Sost.: 1 hora	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido mecánico	
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1 hora	
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 45- 60 segundos	
Norma ASTM E 3		Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)	
Aplicable ASTM E 112			
RESULTADOS			
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ACERO INOXIDABLE AISI 304L.			
<b>ESTADO:</b> NORMALIZADO DESDE 1010°C.			
			
La micrografía corresponde a un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un normalizado desde 1010°C, Reactivo: Agua Regia, 100x.			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b>		
	<i>Metallographic Test</i>		
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 18	<b>Hoja:</b>	2 de 2
<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	22/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: NORMALIZADO DESDE 1010°C**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un normalizado desde 1010°C. Se visualiza la fase austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 100X.

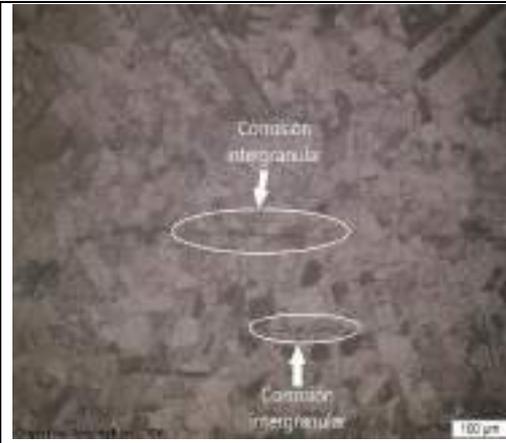


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un normalizado desde 1010°C. Se visualiza corrosión intergranular en la microestructura, 100X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

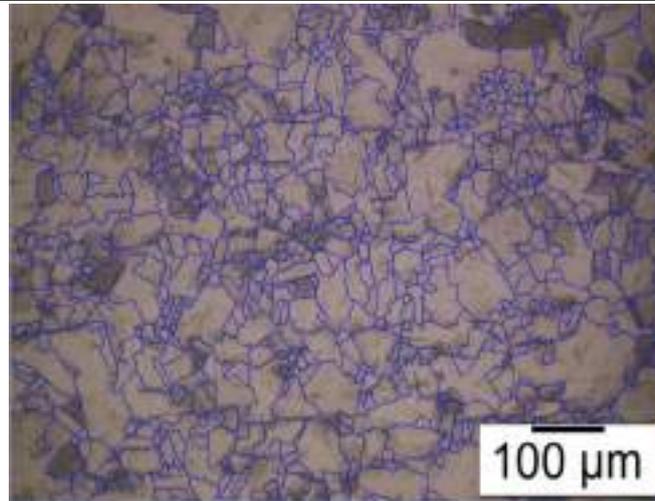


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, normalizado desde 1010°C. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 7. Reactivo: Agua Regia. Ampliación 100X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un normalizado desde 1010°C, en este caso de estudio se evidencia la presencia de corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo debido al enfriamiento medio brusco, además la fase austenítica es más propensa al ataque resultado del tratamiento térmico al cual se sometió al material. El tamaño de grano calculado es de ASTM 7, presentándose un crecimiento en el tamaño de grano respecto al material base, teniendo como resultado una menor dureza en el material por medio del normalizado desde 1010°C.

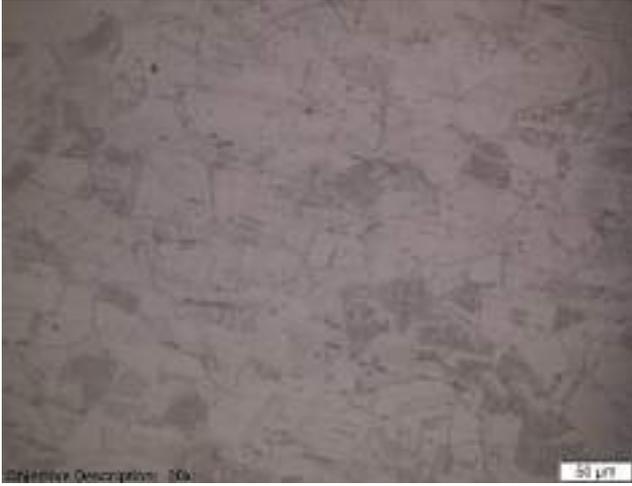
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE4

Se procede a detallar la metalografía realizada para el caso de estudio A-CE4 a continuación:

**Tabla 69-3:** Reporte de inspección metalográfica para el caso de estudio A-CE4

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 19		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 22/10/2019	
Estado/fase: Soldadura <input type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>	
Material:	Acero	Proceso:	No aplica	Tipo:	Normalizado: 1010°C
Especificación:	AISI	Electrodo A:	No aplica		Revenido: 600°C
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost:	1 hora/tratamiento
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma Aplicable:		ASTM E 3		45- 60 segundos	
:		ASTM E 112		Reactivo:	
				Agua Regia (75% HCl, 25% HNO <sub>3</sub> )	
RESULTADOS					
<b>MICROGRAFÍAS DE: ACERO INOXIDABLE AISI 304L.</b>					
<b>ESTADO: REVENIDO DESDE 600° C CON POST NORMALIZADO DESDE 1010°C.</b>					
					
La micrografía corresponde a un acero inoxidable AISI 304L, sometido a dos ciclos de tratamientos térmicos: normalizado desde 1010°C y un revenido desde 600°C, Reactivo: Agua Regia, 200X.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 19		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha</b> :	22/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST NORMALIZADO DESDE 1010°C**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido post normalizado desde 1010°C. Se visualiza la fase austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 200X.

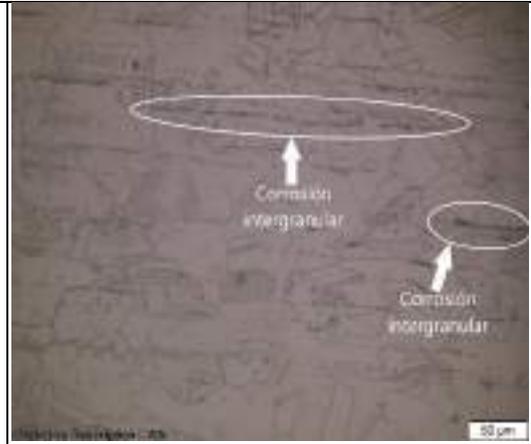


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido post normalizado desde 1010°C. Existe la presencia de corrosión intergranular, 200X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

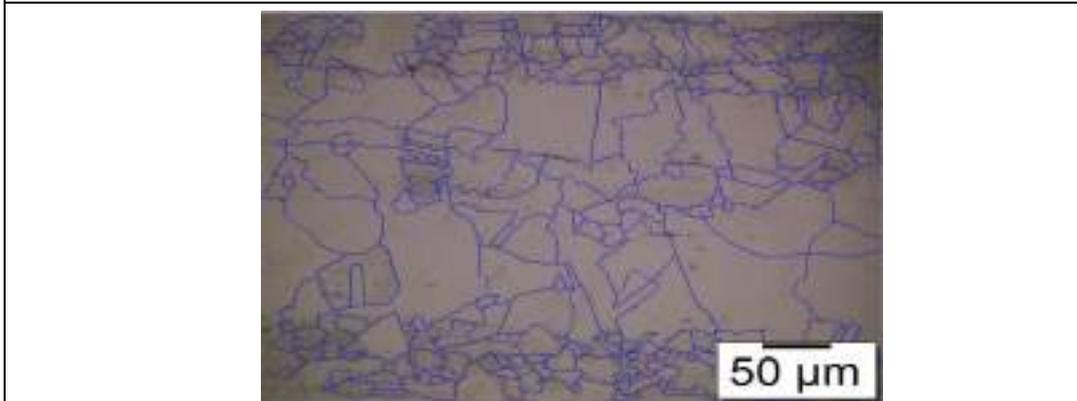


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, revenido desde 600°C post normalizado desde 1010°C. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 7. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un revenido desde 600°C post normalizado desde 1010°C, existe la presencia de corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo. El tamaño de grano obtenido es de ASTM 7, se visualiza un crecimiento de grano con respecto al material base, el cual propicia un decremento en la dureza del material con respecto al material en condiciones de fábrica, esto como consecuencia de los dos ciclos de tratamientos térmicos al cual fue sometido al acero, con esto se logra concluir que debido al bajo porcentaje de carbono en el material este acero solo puede ser endurecido mediante trabajo en frío.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE5

Se procede a detallar la metalografía realizado al material base “BM” para el caso de estudio A-CE5 a continuación:

**Tabla 70-3:** Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE5

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 20		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 20/11/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material: Acero		Proceso: TIG		Tipo: -	
Especificación: AISI		Electrodo: E309LM		Temperatura: -	
Grado/Tipo: 304L		A: o		Tiempo Sost: -	
		Electrodo B: -			
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 45- 60 segundos		
Norma: ASTM E 3			Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)		
Aplicable: ASTM E 112					
<b>RESULTADOS</b>					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> MATERIAL BASE, ACERO INOXIDABLE AISI 304L. <b>ESTADO:</b> SOLDADURA TIG E309LMo.					
La micrografía corresponde al material base de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo. Reactivo: Agua Regia, 100X.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 20		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	20/11/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: SOLDADURA TIG E309LMo**

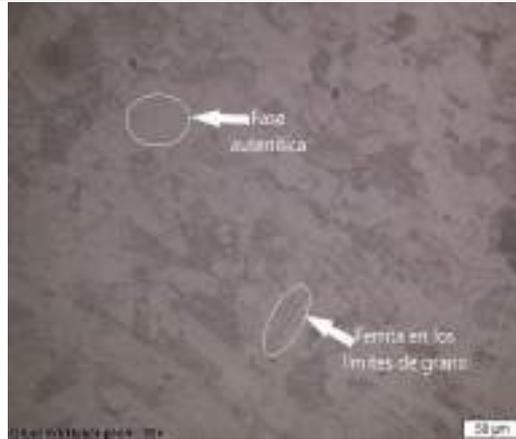


Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, BM. Su microestructura esta conformada por la fase austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 200X.

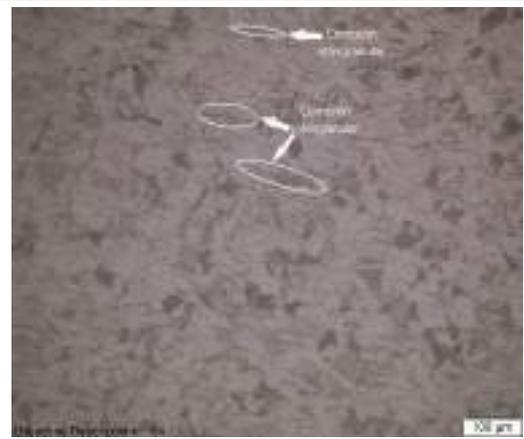


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, BM. Su microestructura se encuentra sensitizada como resultado de la presencia de corrosión intergranular, 100X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

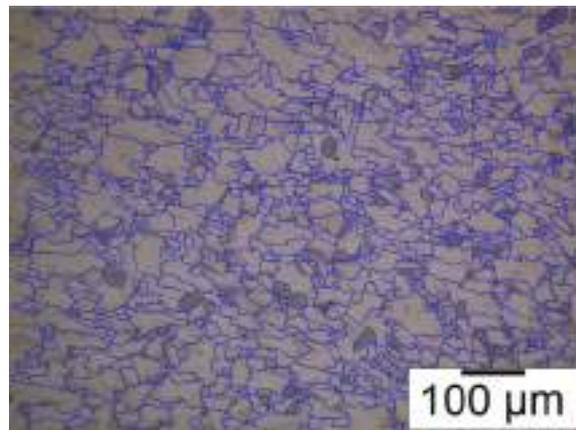


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, material base sometido a soldadura TIG E309LMo. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 9. Reactivo: Agua Regia, 100X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece al material base de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la superficie del material en la estructura austenítica, el resultado se da en que las zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de capa pasiva de óxido formado en la superficie del material.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE5

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona térmicamente afectada “ZAT” para el caso de estudio A-CE5 a continuación:

**Tabla 71-3:** Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE5

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 21	<b>Hoja:</b>	1 de 2
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	24/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL			
MATERIAL BASE	MATERIAL DE APORTE	TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material: Acero	Proceso: TIG	Tipo: No aplica	
Especificación: AISI	Electrodo A: E309LM	Temperatura:	-
Grado/Tipo: 304L	Electrodo B: -	Tiempo Sost.:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de Estudio: De laboratorio	Preparación Superficial: Pulido mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico	Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662	Tiempo de ataque: 45- 60 segundos		
Norma Aplicable: ASTM E3	Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)		
<b>RESULTADOS</b>			
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA, ACERO INOXIDABLE AISI 304L.			
<b>ESTADO:</b> SOLDADURA TIG E309LMo.			
			
La micrografía corresponde a la zona ZAT de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo, Reactivo: Agua Regia, 200X.			

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 21	<b>Hoja:</b>		2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>		24/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: SOLDADURA TIG E309LMo**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. Su microestructura esta constituida por las fases de: austenita y ferrita, 200X.

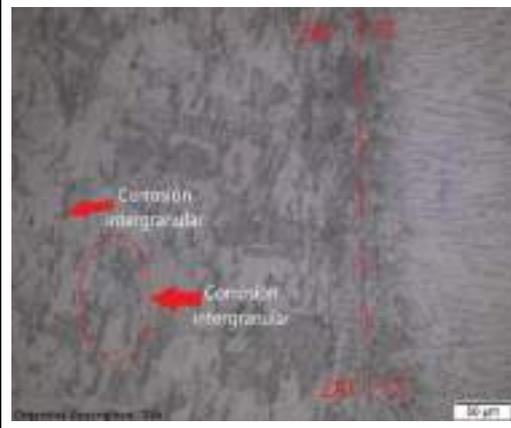


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. Su microestructura presenta un notable deterioro debido a la corrosión intergranular, 200X.

**MICROGRAFÍA ZAT ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E309L**

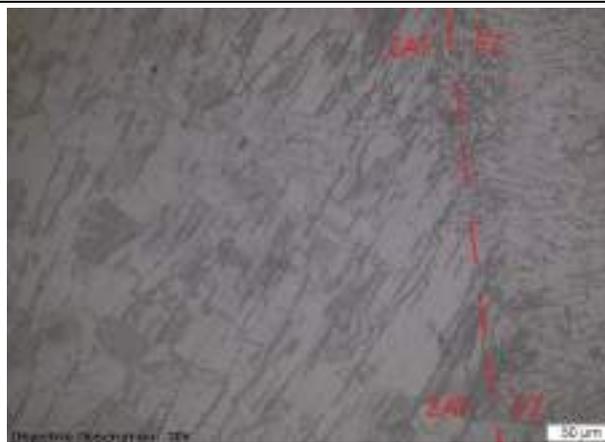


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT, soldadura TIG E309LMo. Matriz austenítica. Reactivo: Agua Regia. Ampliación 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona térmicamente afectada de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la microestructura austenítica, como consecuencia de esto las zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de la capa pasiva de óxido formado en la capa superficial del material. Debido a los gradientes bruscos de temperatura durante la soldadura y al enfriamiento fuera el material es propenso a la corrosión, se imposibilitó el cálculo del tamaño de grano en esta zona debido a la corrosión intergranular dividen muchos granos y puede ser confundida con un límite de grano.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Caso de estudio A-CE5**

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona de fusión “FZ” para el caso de estudio A-CE5 a continuación:

**Tabla 72-3:** Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE5

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 22		<b>Hoja:</b>	1 de 2
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	24/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>					
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL</b>					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>	<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>		
Material:	Acero	Proceso:	TIG		
Especificación:	AISI	Electrodo A:	309LMo		
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	-		
			Tipo: No aplica		
			Temperatura: -		
			Tiempo Sost.: -		
<b>PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>					
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido Mecánico			
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1 hora			
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 45- 60 segundos			
Norma Aplicable: ASTM E 3-11		Reactivo: Agua Regia (75% HCl, 25% HNO3)			
<b>RESULTADOS</b>					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA DE FUSIÓN, ACERO INOXIDABLE AISI 304L. <b>ESTADO:</b> SOLDADURA TIG E309LMo.					
					
La micrografía corresponde a la zona FZ de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido de 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, Reactivo: Agua Regia, 500X.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 22		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	24/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E309LMo**

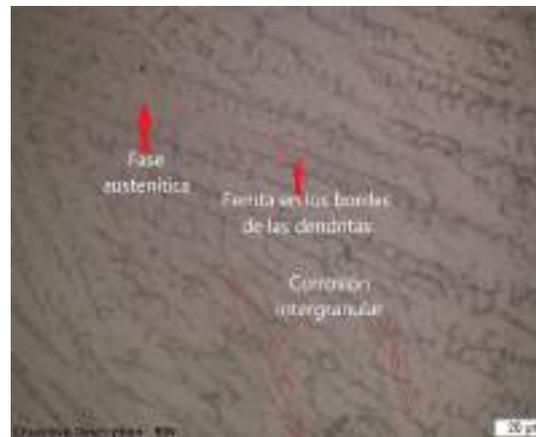


Fig. 2 Electrodo E309LMo, FZ. En la microestructura existe la presencia de corrosión intergranular. Las fases presentes son: austenita y ferrita, 500X.



Fig. 3 Electrodo E309LMo, FZ. En la microestructura se puede visualizar la formación de dendritas, presentándose tanto dendritas columnares como equiaxiales, 500X.

**MICROGRAFÍA FZ ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E309L**



Fig. 4 Electrodo E309LMo, FZ. Estructura dendrítica: columnar y equiaxial. Reactivo: Agua Regia, 500X.

# de dendritas analizadas	Distancia interdendrítica promedio
66	5,76 $\mu$ m

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona de fusión de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E309LMo, en su microestructura se presenta corrosión intergranular como resultado de la formación y propagación de carburos de cromo evitando que exista la formación de la capa pasiva de óxido de cromo las zonas adyacentes, la matriz de la zona es austenítica, en los bordes de las dendritas existe la presencia de ferrita, en esta zona debido al proceso de soldadura tiende a corroerse y degradarse quedando de esta forma el material sumamente degradado.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar la metalografía realizado al material base “BM” para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 73-3:** Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE6.

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 23		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 23/10/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material: Acero		Proceso: TIG		Tipo: Revenido	
Especificación: AISI		Electrodo E309LM		Temperatura: 600°C	
Grado/Tipo: 304L		A: o		Tiempo Sost.: 1 hora	
		Electrodo B: No aplica			
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 45- 60 segundos		
Norma ASTM E 3			Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)		
Aplicable ASTM E 112					
<b>RESULTADOS</b>					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> MATERIAL BASE, ACERO INOXIDABLE AISI 304L. <b>ESTADO:</b> REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E309LMo.					
					
La micrografía corresponde a la zona BM de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, Reactivo: Agua Regia, 200X.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 23		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	23/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E309LMo**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura esta conformada por las fases: austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 200X.



Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura se encuentra levemente deteriorada por la presencia de corrosión intergranular, 200X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

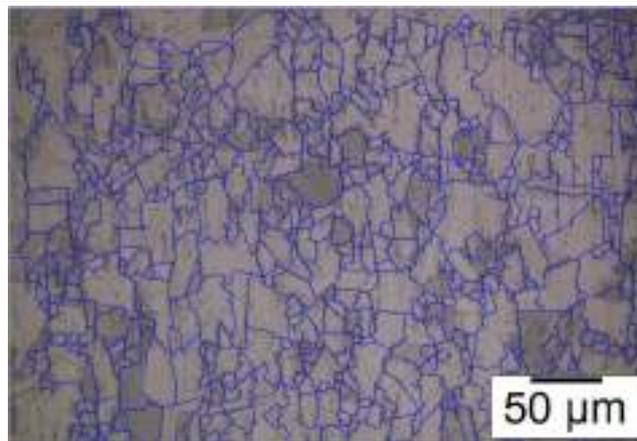


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, material base sometido a soldadura TIG E309LMo. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 9,5. Reactivo: Agua Regia Ampliación 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece al material base de un acero inoxidable austenítico AISI 304L con un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la matriz austenítica, como consecuencia de esto la zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de capa pasiva de óxido formado en la superficie del material, como resultado del revenido se han aliviado las tensiones producidas en el material producida por la soldadura, además de existir un refinamiento en el tamaño del grano siendo este ahora de ASTM 9,5.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona térmicamente afectada “ZAT” para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 74-3:** Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE6

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>		
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 24	<b>Hoja:</b> 1 de 2
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b> 23/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>		
IDENTIFICACION DEL MATERIAL		
<b>MATERIAL BASE</b>	<b>MATERIAL DE APORTE</b>	<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>
Material: Acero	Proceso: TIG	Tipo: Revenido
Especificación: AISI	Electrodo A: E309LM	Temperatura: 600°C
: Grado/Tipo: 304L	Electrodo B: No aplica	Tiempo Sost.: 1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO		
Tipo de Estudio: De laboratorio	Preparación Superficial: Pulido mecánico	
Equipo: Microscopio metalográfico	Tiempo de preparación: 1 hora	
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662	Tiempo de ataque: 45- 60 segundos	
Norma Aplicable: ASTM E3	Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)	
:		
RESULTADOS		
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA, ACERO INOXIDABLE AISI 304L.		
<b>ESTADO:</b> REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E309LMo.		
		
La micrografía corresponde a la zona ZAT de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, Reactivo: Agua Regia, 200X.		

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 24		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	23/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E309LMo**

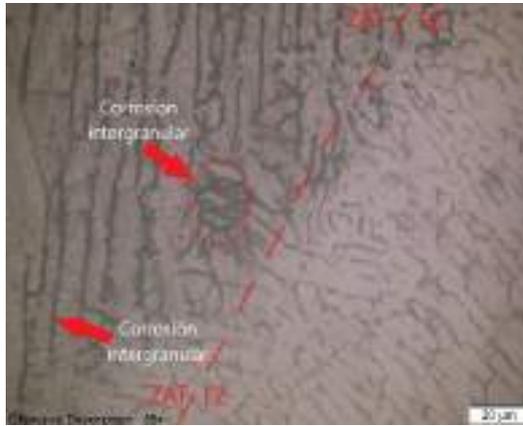


Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. En la microestructura existe la presencia de corrosión intergranular, dejando al material sensibilizado bajo condiciones ambientales, quedando gravemente deteriorado en esta zona, 200X.

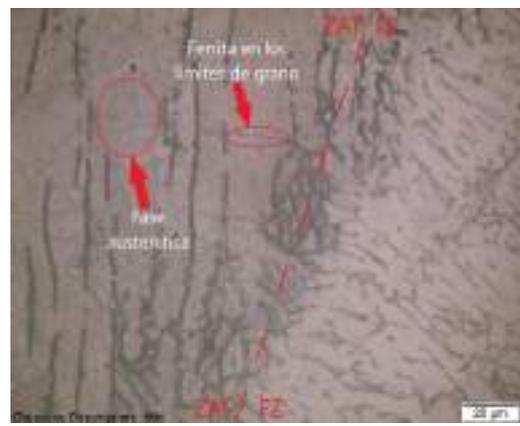


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. La microestructura posee una matriz austenítica, no es posible visualizar los límites de grano como resultado del deterioro de la zona por la corrosión intergranular, 200X.

**MICROGRAFÍA ZAT ACERO AISI 304L REVENIDO DESDE 600 °C POST SOLDADURA TIG E309L**



Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, zona térmicamente afectada, sometida a un revenido desde 600°C post soldadura TIG E309LMo. Estructura: matriz austenítica. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona térmicamente afectada de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la microestructura austenítica, el resultado se dan en que la zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de capa pasiva de óxido formado en la capa superficial del material. Debido a los gradientes bruscos de temperatura durante la soldadura y al enfriamiento fuera de equilibrio el material está sensibilizado bajo condiciones ambientales.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona de fusión “FZ” para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 75-3:** Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE6

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 25		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 24/10/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material: Acero		Proceso: TIG		Tipo: Revenido	
Especificación: AISI		Electrodo A: E309LM		Temperatura: 600°C	
Grado/Tipo: 304L		Electrodo B: No aplica		Tiempo Sost.: 1 hora	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido Mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 45- 60 segundos		
Norma Aplicable: ASTM E 3-11			Reactivo: Agua Regia (75% HCl, 25% HNO <sub>3</sub> )		
RESULTADOS					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA DE FUSIÓN, ACERO INOXIDABLE AISI 304L					
<b>ESTADO:</b> REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E309LMo					
					
La micrografía corresponde a la zona FZ de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, Reactivo: Agua Regia, 500X.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 25		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	24/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E309LMo**

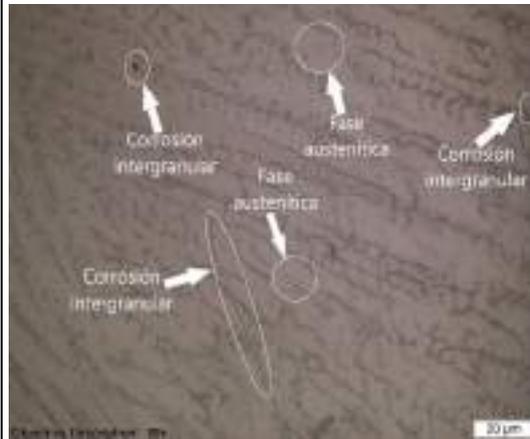


Fig. 2 Electrodo E309LMo, FZ. La microestructura presenta deterioro debido a las condiciones de soldadura existiendo la presencia de corrosión intergranular. Las fases presentes son austenita y ferrita en los límites de las dendritas, 500X.

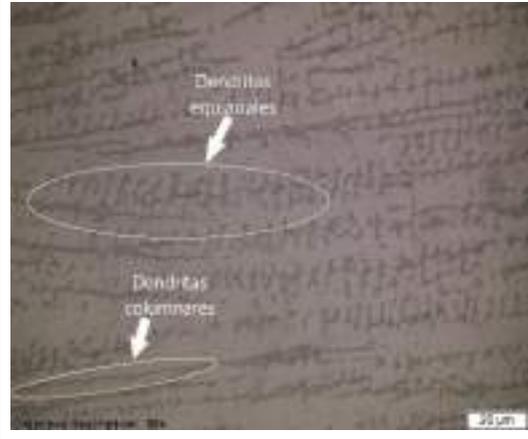


Fig. 3 Electrodo E309LMo, FZ. La microestructura forma dendritas, presentándose tanto dendritas de forma columnares como equiaxiales, 500X.

**MICROGRAFÍA FZ ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E309L**



Fig. 4 Electrodo E309LMo, FZ. Revenido desde 600°C post soldadura TIG E309LMo. Estructura dendrítica: columnar y equiaxial. Reactivo: Agua Regia, 500X.

# de dendritas analizadas	Distancia interdendrítica promedio
66	5,82µm

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona de fusión de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E309LMo, la microestructura está conformada por dendritas columnares y equiaxiales. La nucleación no fue la adecuada produciéndose la estructura dendrítica en dicha zona, además se evidencia corrosión intergranular en la microestructura, esto como resultado de la formación de carburos de cromo evitando así la formación de la capa pasiva de óxido en esta zona del material.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE7

Se procede a detallar la metalografía realizado al material base “BM” para el caso de estudio A-CE7 a continuación:

**Tabla 76-3:** Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE7

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 26	<b>Hoja:</b>	1 de 2
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	25/10/2019
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>			
IDENTIFICACION DEL MATERIAL			
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE	
Material:	Acero	Proceso:	TIG
Especificación:	AISI	Electrodo A:	E410NiMo
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	-
TRATAMIENTO TÉRMICO			
Tipo:		-	
Temperatura:		-	
Tiempo Sost.:		-	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Tipo de Estudio: De laboratorio		Preparación Superficial: Pulido mecánico	
Equipo: Microscopio metalográfico		Tiempo de preparación: 1 hora	
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de ataque: 45- 60 segundos	
Norma Aplicable: ASTM E 3		Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO <sub>3</sub> )	
: ASTM E 112			
RESULTADOS			
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> MATERIAL BASE, ACERO INOXIDABLE AISI 304L			
<b>ESTADO:</b> SOLDADURA TIG E410NiMo			
			
La micrografía corresponde a la zona BM de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un proceso de soldadura TIG E410NiMo. Reactivo: Agua Regia, 500X.			

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 26		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: SOLDADURA TIG E410NiMo**



Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura está conformada por la fase austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 200X.



Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura se encuentra sensibilizada debido a la presencia de corrosión intergranular, 200X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

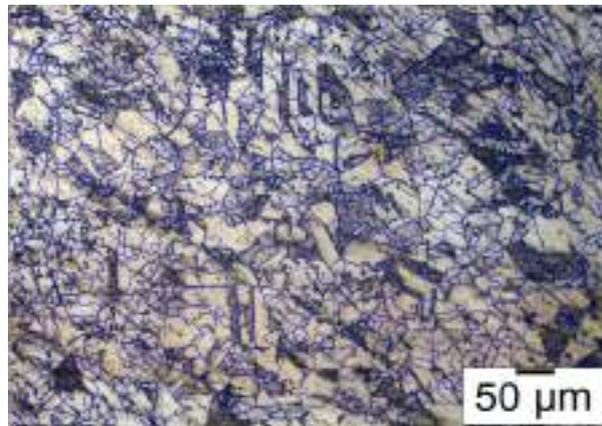


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, material base sometido a un revenido 600°C post soldadura TIG E410NiMo. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 8,5. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece al material base de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un proceso de soldadura TIG E410NiMo, se visualiza en los especímenes de estudio corrosión intergranular. La corrosión intergranular se da debido a la formación de carburos de cromo los cuales dejan a las zonas adyacentes con un porcentaje menor de cromo evitando la formación en la superficie del material de la capa pasiva de óxido. La matriz de esta zona es netamente austenítica con presencia de ferrita en los límites de grano. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes en esta zona es de ASTM 8,5.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Caso de estudio A-CE7**

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona térmicamente afectada “ZAT” para el caso de estudio A-CE7 a continuación:

**Tabla 77-3:** Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE7

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 27	<b>Hoja:</b>	1 de 2		
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	25/10/2019		
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero	Proceso:	TIG	Tipo:	No aplica
Especificación:	AISI	Electrodo A:	E410NiM o	Temperatura:	-
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	-	Tiempo Sost:	-
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 45- 60 segundos		
Norma ASTM E3			Reactivo: Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)		
Aplicable ASTM E 112					
RESULTADOS					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA, ACERO INOXIDABLE AISI 304L.					
<b>ESTADO:</b> SOLDADURA TIG E410NiMo					
					
La micrografía corresponde a la zona ZAT de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo, Reactivo: Agua Regia, Ampliación 200X.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>		
	<i>Metallographic Test</i>		
<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 27	<b>Hoja:</b>	2 de 2
<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	25/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: SOLDADURA TIG E410NiMo**

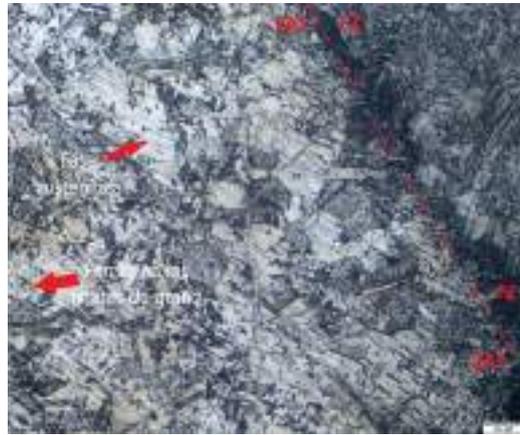


Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. La microestructura presenta una matriz netamente austenítica con presencia de derrita en los bordes de grano, 200X.

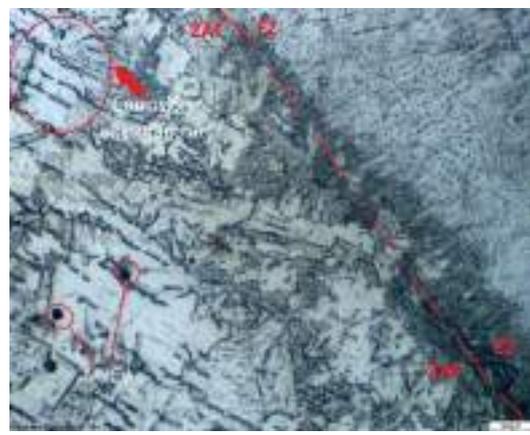


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. La microestructura presenta un cierto grado de deterioro por la presencia de corrosión intergranular, por la acumulación de precipitados en forma de carburos en la matriz austenítica, 500X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

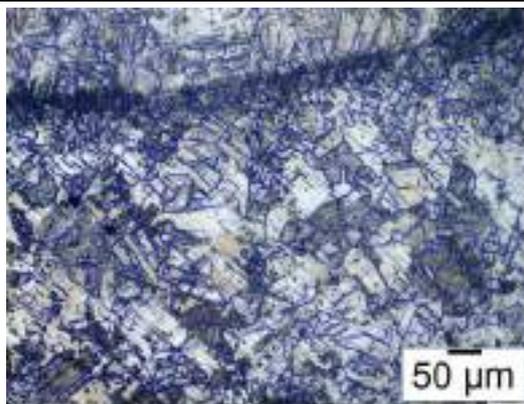


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, sometida a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM 8. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona térmicamente afectada de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la matriz austenítica, como consecuencia de esto las zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de la capa pasiva de óxido formado en la capa superficial del material.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE7

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona de fusión “FZ” para el caso de estudio A-CE7 a continuación:

**Tabla 78-3:** Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE7

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b>				
	<b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b>				
	<i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 28	<b>Hoja:</b>	1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b>	25/10/2019		
<b>Estado/fase:</b>	Soldadura <input type="checkbox"/>	Fundición <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input type="checkbox"/>	
<b>IDENTIFICACION DEL MATERIAL</b>					
<b>MATERIAL BASE</b>		<b>MATERIAL DE APORTE</b>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>	
<b>Material:</b>	Acero	<b>Proceso:</b>	TIG	<b>Tipo:</b>	No aplica
<b>Especificación:</b>	AISI	<b>Electrodo A:</b>	E410NiMo	<b>Temperatura:</b>	-
<b>Grado/Tipo:</b>	304L	<b>Electrodo B:</b>	-	<b>Tiempo Sost:</b>	-
<b>PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO</b>					
<b>Tipo de Estudio:</b>	De laboratorio	<b>Preparación Superficial:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Equipo:</b>	<b>Microscopio metalográfico</b>	<b>Tiempo de preparación:</b>	1 hora		
<b>Modelo:</b>	Olympus GX51 / 5H42662	<b>Tiempo de ataque:</b>	1-2 minutos		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 3-11	<b>Reactivo:</b>	Vilella (1g ácido pícrico + 5 ml HCl+10 MI ETANOL)		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>MICROGRAFÍAS DE: ZONA DE FUSIÓN, ACERO INOXIDABLE AISI 304L</b>					
<b>ESTADO: SOLDADURA TIG E410NiMo</b>					
					
<p><b>La micrografía corresponde a la zona FZ de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un proceso de soldadura TIG con electrodo E410NiMo, Reactivo: Vilella, 200X.</b></p>					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 28		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	24/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: SOLDADURA TIG E410NiMo**

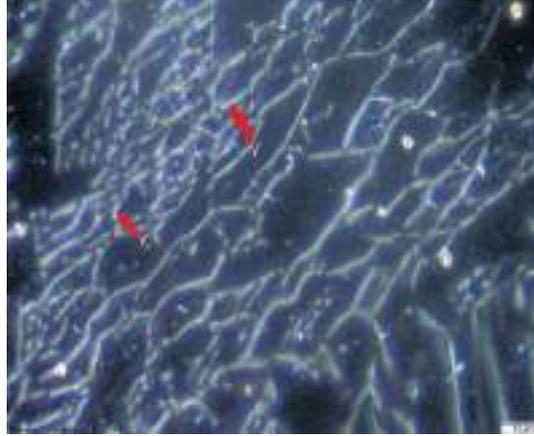


Fig. 2 Electrodo E410NiMo, FZ. Micrografía de campo oscuro (DF) se visualiza en la microestructura austenita retenida ubicadas en las líneas de playa mas brillantes.

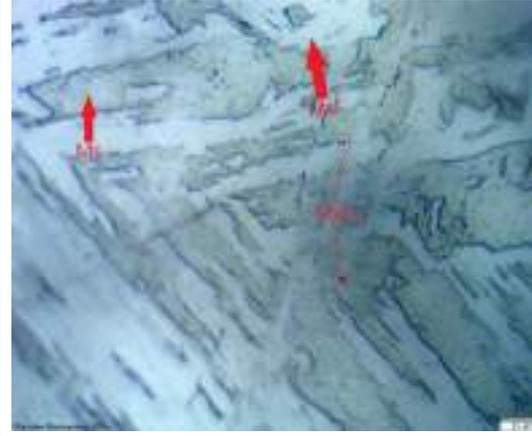


Fig. 3 Electrodo E410NiMo, FZ. La microestructura está conformada por martensita fresca y martensita templada, además se visualiza precipitados en forma de carburos.

**MICROGRAFÍA FZ ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E410NiMo**

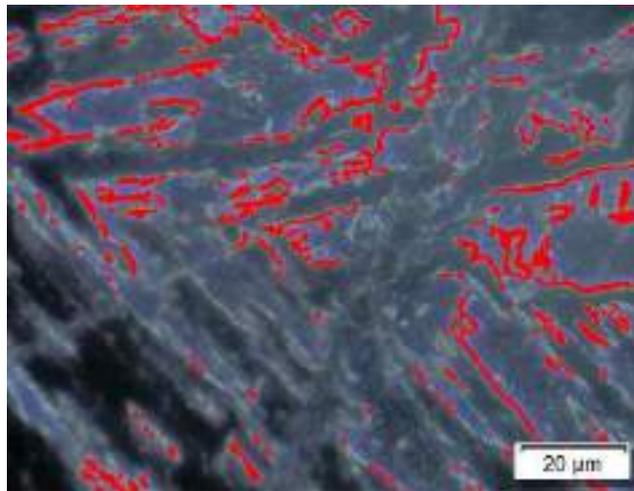


Fig. 4 Electrodo E410NiMo, FZ. Micrografía de campo oscuro (DF) se realizó la cuantificación de la fracción volumétrica de la austenita retenida teniendo como resultado un porcentaje de 6,06%.

**INTERPRETACIÓN**

Se realizó el análisis de la zona de fusión y el cálculo del porcentaje volumétrico de la austenita retenida en 3 especímenes teniendo como resultados los siguientes: A-CE7-P1 6,06%, A-CE7-P2 7,18%, A-CE-P3 6,12%. La microestructura presente en esta zona fue de martensita templada y martensita fresca, además se logró visualizar precipitados dispersos en esta zona el cual propiciará la corrosión intergranular.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE8

Se procede a detallar la metalografía realizado al material base “BM” para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 79-3:** Reporte de inspección metalográfica BM para el caso de estudio A-CE8

		LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD				
		REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRÁFICA				
		<i>Metallographic Test</i>				
		Reg. No:	CIRT-PRO-MET 29	Hoja:	1 de 2	
Procedimiento:	CIRT-PRO-MET	Fecha:	25/10/2019			
<b>Estado/fase:</b>	Soldadura <input type="checkbox"/>	Fundición <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input type="checkbox"/>		
IDENTIFICACION DEL MATERIAL						
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO		
<b>Material:</b>	Acero	<b>Proceso:</b>	TIG	<b>Tipo:</b>	Revenido	
<b>Especificación:</b>	AISI	<b>Electrodo A:</b>	E410Ni Mo	<b>Temperatura:</b>	600°C	
<b>Grado/Tipo:</b>	304L	<b>Electrodo B:</b>	No aplica	<b>Tiempo Sost:</b>	1 hora	
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO						
<b>Tipo de Estudio:</b>	De laboratorio		<b>Preparación Superficial:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Equipo:</b>	Microscopio metalográfico		<b>Tiempo de preparación:</b>	1 hora		
<b>Modelo:</b>	Olympus GX51 / 5H42662		<b>Tiempo de ataque:</b>	45- 60 segundos		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 3-11		<b>Reactivo:</b>	Agua regia (75%HCl, 25%HNO3)		
	ASTM E 112-12					
RESULTADOS						
<b>MICROGRAFÍAS DE: MATERIAL BASE, ACERO INOXIDABLE AISI 304L.</b>						
<b>ESTADO: REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E410NiMo.</b>						
						
<p><b>La micrografía corresponde al material base de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, Reactivo: Agua Regia, 200X.</b></p>						

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No:</b>	CIRT-PRO-MET 29		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento</b> :	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/10/2019

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E410NiMo**

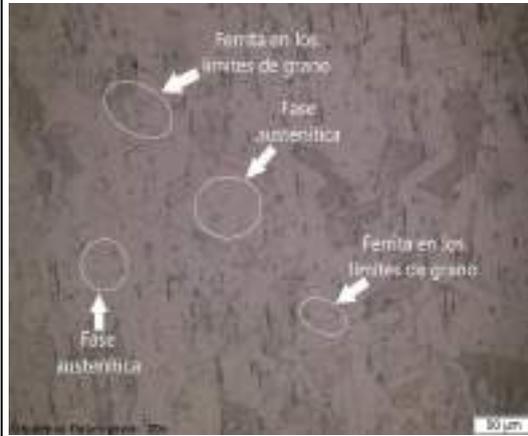


Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura esta compuesta por una matriz austenítica y en sus límites de grano existe la presencia de ferrita, 200X.

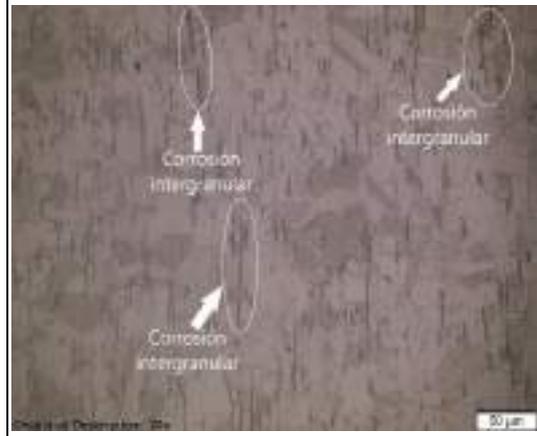


Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, BM. La microestructura presenta deterioro con la presencia de corrosión intergranular, 200X.

**CUANTIFICACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO**

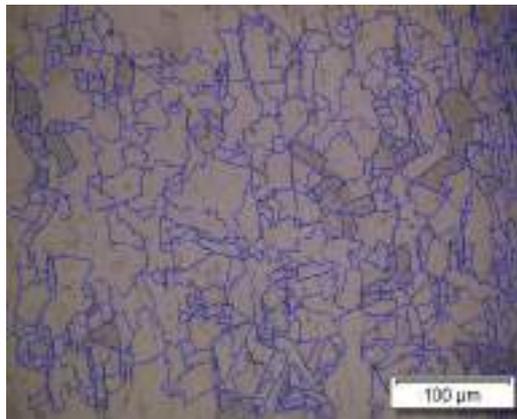


Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, material base sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG E410NiMo. El tamaño de grano promedio calculado en los 3 especímenes es de ASTM. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece al material base de un acero AISI 304L con un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, se presenta en la microestructura corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en los límites de grano de la austenita, como consecuencia de esto la zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando así la formación de capa pasiva de óxido formado en la capa superficial del material, como resultado del revenido se han aliviado las tensiones producidas en el material producida por la soldadura, además de existir un refinamiento en el tamaño del grano siendo este ahora de ASTM 9.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE8

Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona térmicamente afectada “ZAT” para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 80-3:** Reporte de inspección metalográfica ZAT para el caso de estudio A-CE8

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No:</b>		CIRT-PRO-MET 30		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 25/10/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero	Proceso:	TIG	Tipo:	Revenido
Especificación:	AISI	Electrodo A:	E410NiMo	Temperatura:	600°C
gGrado/Tipo:	304L	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio:		De laboratorio		Preparación Superficial:	
Equipo:		Microscopio metalográfico		Pulido Mecánico	
Modelo:		Olympus GX51 / 5H42662		Tiempo de preparación:	
Norma Aplicable:		ASTM E 3-11		Tiempo de ataque:	
		ASTM E 112-12		45- 60 segundos	
				Reactivo:	
				Agua regia (75% HCl, 25% HNO3)	
RESULTADOS					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA TÉRMICAMENTE AFECTADA, ACERO INOXIDABLE AISI 304L					
<b>ESTADO:</b> REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E410NiMo					
					
La micrografía corresponde a la zona térmicamente afectada de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, Reactivo: Agua Regia, Ampliación 200x					

Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALOGRAFICA</b> <i>Metallographic Test</i>		
	<b>Reg. No.:</b> CIRT-PRO-MET 30	<b>Hoja:</b> 2 de 2	
	<b>Procedimiento:</b> CIRT-PRO-MET	<b>Fecha:</b> 25/10/2019	

**ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E410NiMo**

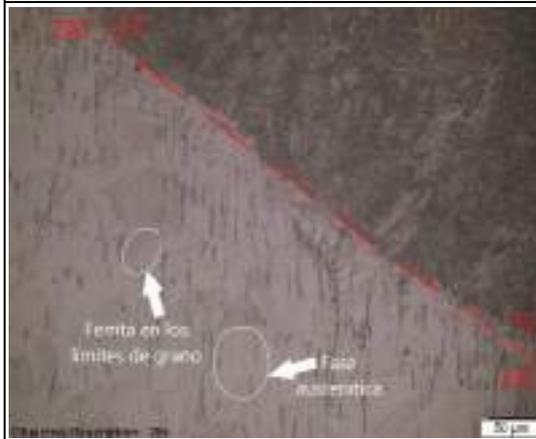


Fig. 2 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. La microestructura presenta una matriz austenítica con presencia de ferrita en límites de grano, 200X.



Fig. 3 Acero inoxidable AISI 304L, ZAT. La microestructura está deteriorada producto de la corrosión intergranular que se presenta en la matriz austenítica, 200X.

**MICROGRAFÍA ZAT ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E410NiMo**



Fig. 4 Acero inoxidable AISI 304L, zona térmicamente afectada sometida a un revenido desde 600°C post soldadura TIG E410NiMo con una matriz austenítica. Reactivo: Agua Regia, 200X.

**INTERPRETACIÓN**

La microestructura pertenece a la zona térmicamente afectada de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, se presenta en la microestructura susceptibilidad a la corrosión intergranular como consecuencia de la formación de carburos de cromo en la matriz austenítica, como consecuencia de esto las zonas adyacentes quedan con un porcentaje menor de cromo, evitando la formación de capa pasiva de óxido formado en la capa superficial del material, se imposibilitó la medición del tamaño de grano debido a la corrosión intergranular en los especímenes. Debido a los gradientes bruscos de temperatura durante la soldadura y al enfriamiento fuera de equilibrio el material es sumamente sensible a corroerse en esta zona.

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019  
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE8

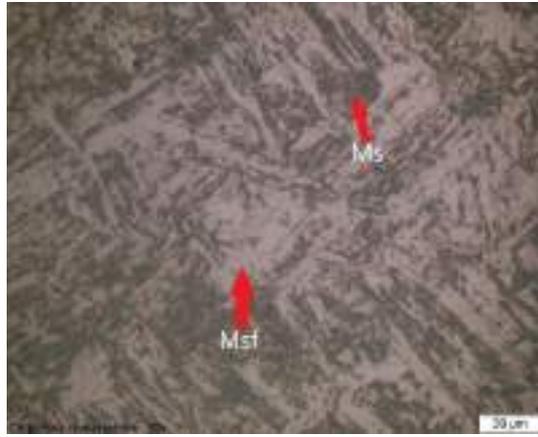
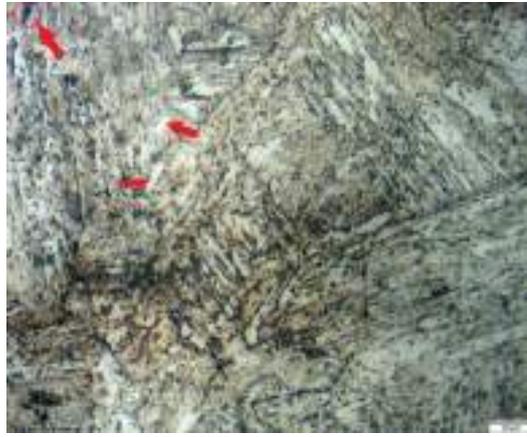
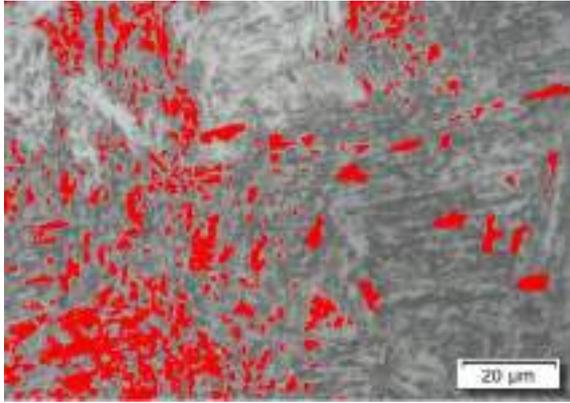
Se procede a detallar la metalografía realizado a la zona de fusión “FZ” para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 81-3:** Reporte de inspección metalográfica FZ para el caso de estudio A-CE8

		<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>			
<b>Reg. No.:</b>		CIRT-PRO-MET 31		<b>Hoja:</b> 1 de 2	
<b>Procedimiento:</b>		CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b> 25/10/2019	
Estado/fase: Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Fundición <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
IDENTIFICACION DEL MATERIAL					
MATERIAL BASE		MATERIAL DE APORTE		TRATAMIENTO TÉRMICO	
Material:	Acero	Proceso:	TIG	Tipo:	Revenido
Especificación:	AISI	Electrodo A:	E410NiMo	Temperatura:	600°C
Grado/Tipo:	304L	Electrodo B:	No aplica	Tiempo Sost:	1 hora
PROTOCOLO DEL ENSAYO METALGRÁFICO					
Tipo de Estudio: De laboratorio			Preparación Superficial: Pulido Mecánico		
Equipo: Microscopio metalográfico			Tiempo de preparación: 1 hora		
Modelo: Olympus GX51 / 5H42662			Tiempo de ataque: 30- 60 segundos		
Norma ASTM E 3-11			Reactivo: Villela (1 g ácido pícrico + 5 mL HCl + 100 mL etanol)		
Aplicable: ASTM E 112-12					
RESULTADOS					
<b>MICROGRAFÍAS DE:</b> ZONA DE FUSIÓN, ACERO INOXIDABLE AISI 304L.					
<b>ESTADO:</b> REVENIDO DESDE 600° C POST SOLDADURA TIG E410NiMo.					
					
La micrografía corresponde a la zona FZ de un acero inoxidable AISI 304L, sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, Reactivo: Villela, 500X.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

	<b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>REPORTE DE INSPECCIÓN METALGRÁFICA</b> <i>Metallographic Test</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-PRO-MET 31		<b>Hoja:</b>	2 de 2
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MET		<b>Fecha:</b>	25/10/2019
<b>ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA: REVENIDO DESDE 600°C POST SOLDADURA TIG E410NiMo</b>					
					
<p>Fig. 2 Electrodo E410NiMo, FZ. La microestructura está compuesta por martensita fresca y martensita templada, 500X.</p>		<p>Fig. 3 Electrodo E410NiMo, FZ. En la microestructura se logra visualizar austenita retenida dispersa en forma de islas siendo estas las zonas mas brillantes, 1000X.</p>			
<b>MICROGRAFÍA FZ ACERO AISI 304L SOLDADURA TIG E410NiMo</b>					
					
<p>Fig. 4 Electrodo E410NiMo, zona de fusión sometida a un revenido desde 600°C post soldadura TIG E410NiMo. Estructura: Martensita revenida, martensita fresca, austenita retenida. Reactivo: Villela, 1000X.</p>					
<b>INTERPRETACIÓN</b>					
<p>La microestructura pertenece a la zona de fusión de un acero inoxidable austenítico AISI 304L sometido a un revenido desde 600°C post soldadura TIG con electrodo E410NiMo, la microestructura presente en este caso de estudio es: martensita revenida, martensita blanda y austenita retenida. Se realizó la cuantificación del porcentaje volumétrico para esta zona de estudio en 3 especímenes teniendo los siguientes resultados: M-CE8-P1 5,94%, M-CE8-P2 4,90%, M-CE8-P3 6,2%. En la zona de fusión para los especímenes analizados también se visualizaron dispersos precipitados en forma de carburos los cuales propiciarían la corrosión intergranular en el material.</p>					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

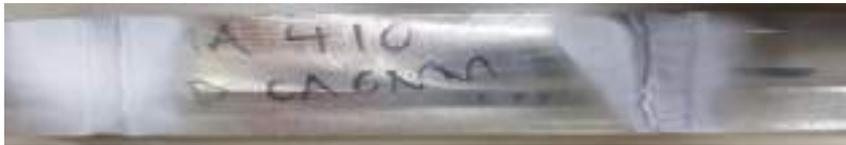
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 3.4 Ensayos No Destructivos

#### 3.4.1 Ensayo de Tintas Penetrantes

Se procede a detallar el reporte del ensayo de tintas penetrantes teniendo como material base el acero ASTM A743 y como material de aporte el electrodo E410NiMo.

**Tabla 82-3:** Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero ASTM A743 CA6-NM, material de aporte ER410NiMo

		<b>REPORTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> <b>TINTAS PENETRANTES</b> <i>Dye Penetrant Testing</i>			
		Reg. No.:	CIRT-REG-TP 1		
		Procedimiento :	CIRT-PRO-TP	Fecha:	16/10/2019
<b>Pieza:</b>	Placa soldada	<b>Material base:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM		
<b>Electrodo:</b>	E410NiMo	<b>Ciudad:</b>	Baños de Agua Santa		
MATERIALES EMPLEADOS					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lienzo</li> <li>• Limpiador SKC-S Aerosol</li> <li>• Pentetrante SKL-SP2 Aerosol</li> <li>• Revelador SKD-S2 Aerosol</li> </ul>					
DESCRIPCIÓN DE LA PLACA					
Material base: placa de acero ASTM A743 CA6-NM, canal de 6mm de ancho 4mm de espesor y 75 mm de longitud, con proceso de relleno mediante soldadura TIG con electrodo E410NiMo. El plano de referencia en anexos.					
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA					
					
TIPOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicaciones relevantes</li> <li>• Indicaciones no redondeadas</li> <li>• Indicaciones no alineadas</li> <li>• Indicaciones no lineales</li> </ul>					
RESULTADOS OBTENIDOS					
En la placa sometida a relleno por soldadura TIG, por medio del ensayo de tintas penetrantes permitió observar a través medio del principio de capilaridad que no existen discontinuidades/indicaciones que sean tomadas como parámetro de rechazo para el cordón de soldadura.					
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN					
De acuerdo a la norma y los criterios de aceptación de la norma CCH 70-4, no se lograron encontrar indicaciones/indicaciones que sean para relevantes para evaluar el cordón de manera mas minuciosa, por tanto “La pieza es aceptada”.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Se procede a detallar el reporte del ensayo de tintas penetrantes teniendo como material base el acero ASTM A743 y como material de aporte el electrodo E309LMo.

**Tabla 83-3:** Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero ASTM A743 CA6-NM, material de aporte E309LMo

		<b>REPORTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> <b>TINTAS PENETRANTES</b> <i>Dye Penetrant Testing</i>			
		Reg. No.:	CIRT-REG-TP 2		Hoja:
		Procedimiento:	CIRT-PRO-TP	Fecha:	16/10/2019
<b>Pieza:</b>	Placa soldada	<b>Material base:</b>	Acero ASTM A743 CA6-NM		
<b>Electrodo:</b>	E309LMo	<b>Ciudad:</b>	Baños de Agua Santa		
MATERIALES EMPLEADOS					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lienzo</li> <li>• Limpiador SKC-S Aerosol</li> <li>• Pentetrante SKL-SP2 Aerosol</li> <li>• Revelador SKD-S2 Aerosol</li> </ul>					
DESCRIPCIÓN DE LA PLACA					
Placa de acero ASTM A743 CA6-NM, canal de 6mm de ancho 4mm de longitud y 75mm de longitud, con proceso de relleno mediante soldadura TIG con electrodo E309LMo. El plano de referencia en anexos.					
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA					
					
TIPOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicaciones relevantes</li> <li>• Indicaciones no redondeadas</li> <li>• Indicaciones no alineadas</li> <li>• Indicaciones no lineales</li> </ul>					
RESULTADOS OBTENIDOS					
En la placa sometida a relleno por soldadura TIG, por medio del ensayo de tintas penetrantes permitió observar a través medio del principio de capilaridad que no existen discontinuidades/indicaciones que sean tomadas como parámetro de rechazo para el cordón de soldadura.					
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN					
De acuerdo a la norma y los criterios de aceptación de la norma CCH 70-4, no se lograron encontrar indicaciones/indicaciones que sean para relevantes para evaluar el cordón de manera mas minuciosa, por tanto “La pieza es aceptada”.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Se procede a detallar el reporte del ensayo de tintas penetrantes teniendo como material base el acero AISI 304L y como material de aporte el electrodo E410NiMo.

**Tabla 84-3:** Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero AISI 304L, material de aporte ER410NiMo

	<b>REPORTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>				
	<b>TINTAS PENETRANTES</b>				
	<i>Dye Penetrant Testing</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TP 3	<b>Hoja:</b>	1 de 1	
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TP	<b>Fecha:</b>	16/10/2019		
Pieza:	Placa soldada	<b>Material base:</b>	Acero AISI 304L		
Electrodo:	E410NiMo	<b>Ciudad:</b>	Baños de Agua Santa		
<b>MATERIALES EMPLEADOS</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lienzo</li> <li>• Limpiador SKC-S Aerosol</li> <li>• Pentetrante SKL-SP2 Aerosol</li> <li>• Revelador SKD-S2 Aerosol</li> </ul>					
<b>DESCRIPCIÓN DE LA PLACA</b>					
Placa de acero AISI 304L, canal de 6mm de ancho 4mm de profundidad y 75 mm de longitud, con proceso de relleno mediante soldadura TIG con electrodo E410NiMo. El plano de referencia se encuentra en anexos.					
<b>EVIDENCIA FOTOGRÁFICA</b>					
<b>TIPOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicaciones relevantes</li> <li>• Indicaciones no redondeadas</li> <li>• Indicaciones no alineadas</li> <li>• Indicaciones no lineales</li> </ul>					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
En la placa sometida a relleno por soldadura TIG, por medio del ensayo de tintas penetrantes permitió observar a través medio del principio de capilaridad que no existen discontinuidades/indicaciones que sean tomadas como parámetro de rechazo para el cordón de soldadura.					
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN</b>					
De acuerdo a la norma y los criterios de aceptación de la norma CCH 70-4, no se lograron encontrar indicaciones/indicaciones que sean para relevantes para evaluar el cordón de manera mas minuciosa, por tanto <b>“La pieza es aceptada”</b> .					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Se procede a detallar el reporte del ensayo de tintas penetrantes teniendo como material base el acero AISI 304L y como material de aporte el electrodo E309L.

**Tabla 85-3:** Reporte de ensayo de tintas penetrantes material base acero AISI 304L, material de aporte E309LMo

	<b>REPORTE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b> <b>TINTAS PENETRANTES</b> <i>Dye Penetrant Testing</i>				
	<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-TP 4	<b>Hoja:</b>		1 de 1
	<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-TP	<b>Fecha:</b>		16/10/2019
<b>Pieza:</b>	Placa soldada	<b>Material base:</b>	Acero AISI 304L		
<b>Electrodo:</b>	E309L	<b>Ciudad:</b>	Baños de Agua Santa		
<b>MATERIALES EMPLEADOS</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lienzo</li> <li>• Limpiador SKC-S Aerosol</li> <li>• Pentetrante SKL-SP2 Aerosol</li> <li>• Revelador SKD-S2 Aerosol</li> </ul>					
<b>DESCRIPCIÓN DE LA PLACA</b>					
Placa de acero AISI 304L, canal de 6mm de ancho, 4mm de profundidad y 75mm de longitud, con proceso de relleno mediante soldadura TIG con electrodo E309L. El plano de referencia se encuentra en anexos.					
<b>EVIDENCIA FOTOGRÁFICA</b>					
					
<b>TIPOS Y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicaciones relevantes</li> <li>• Indicaciones no redondeadas</li> <li>• Indicaciones no alineadas</li> <li>• Indicaciones no lineales</li> </ul>					
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
En la placa sometida a relleno por soldadura TIG, por medio del ensayo de tintas penetrantes permitió observar a través medio del principio de capilaridad que no existen discontinuidades/indicaciones que sean tomadas como parámetro de rechazo para el cordón de soldadura.					
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN</b>					
De acuerdo a la norma y los criterios de aceptación de la norma CCH 70-4, no se lograron encontrar indicaciones/indicaciones que sean para relevantes para evaluar el cordón de manera mas minuciosa, por tanto “La pieza es aceptada”.					

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

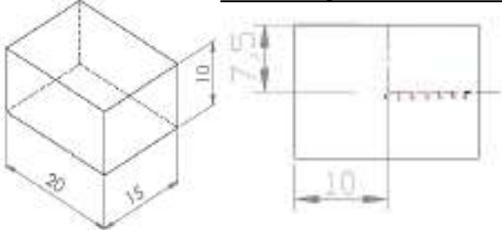
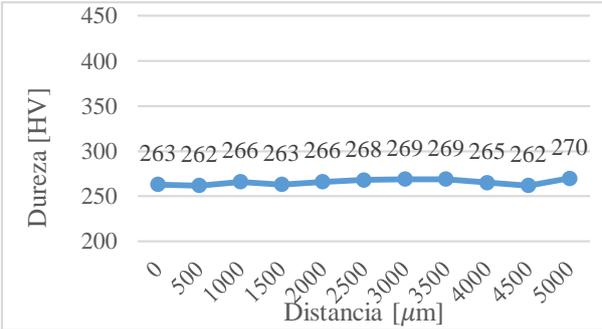
### 3.5 Ensayos Destructivos

#### 3.5.1 Microdurezas

##### Caso de estudio M-CE1

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE1 a continuación:

**Tabla 86-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE1

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b> <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 1	Hoja:	1 de 1	
		Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	21/6/2019	
		Estado: Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Sin T.T. <input checked="" type="checkbox"/>				
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:		No aplica		Marca:	STRUERS	
Temperatura:		-		Identador:	EMCO 5497	
Tiempo de Sost.:		-		Modelo:	DURASCAN-20	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:		Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf.	
Norma Aplicable:		ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf.	
Tipo de Identador:		Cono de diamante 120°1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 seg.	
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
						
No.	Distancia [µm]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada es homogénea con un promedio de 266 HV 10/10. El registro de dureza forma parte de la caracterización del material base. Además, basados en los registros la dureza del material es superior a la dureza mínima que se debe asegurar finalizada la etapa de recuperación de un álabe directriz.			
0	0	263				
1	500	262				
2	1000	266				
3	1500	263				
4	2000	266				
5	2500	268				
6	3000	269				
7	3500	269				
8	4000	265				
9	4500	262				
10	5000	270				

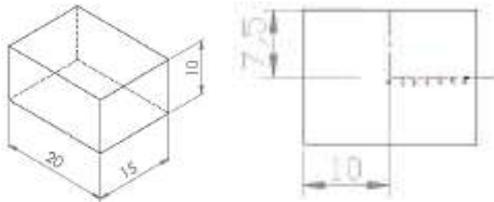
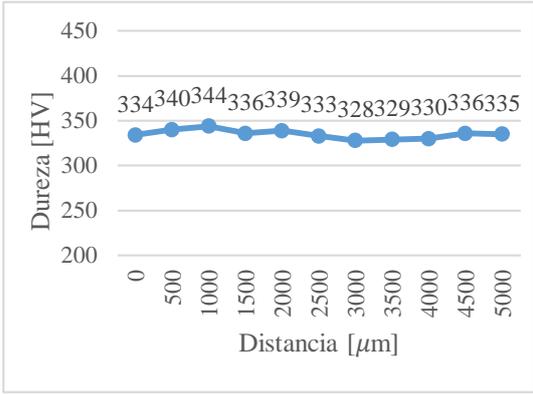
Fuente: Chuquimarcá K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarcá K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE2

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE2 a continuación:

**Tabla 87-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE2

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
		<i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 2	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento :	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	21/6/2019			
<b>Estado:</b>		Soldadura	<input type="checkbox"/> Antes de T.T.	<input type="checkbox"/> Después de T.T.	<input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T.	<input type="checkbox"/>
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	Normalizado		<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	1100°C		<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
						
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 335 HV 10/10. El registro de dureza pertenece al ciclo de tratamiento térmico de normalizado desde 1100°C, además basados a los registros se evidencia un aumento de la dureza aproximado de 69 HV 10/10 respecto del material base por medio de este tratamiento térmico.			
0	0	334				
1	500	340				
2	1000	344				
3	1500	336				
4	2000	339				
5	2500	333				
6	3000	328				
7	3500	329				
8	4000	330				
9	4500	336				
10	5000	335				

Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

### Caso de estudio M-CE3

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE3 a continuación:

**Tabla 88-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE3

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
		<i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 3	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	03/7/2019			
Estado: <b>Soldadura</b> <input type="checkbox"/> <b>Antes de T.T.</b> <input type="checkbox"/> <b>Después de T.T.</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sin T.T.</b> <input type="checkbox"/>						
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	Normalizado	Marca:	STRUERS			
Temperatura:	1000°C	Identador:	EMCO 5497			
		:				
Tiempo de Sost.:	1 hora	Modelo:	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers	Precarga:	1 Kgf			
Norma Aplicable:	ASTM E 384	Carga aplicada:	10 Kgf			
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'	Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 364 HV 10/10. El registro de dureza pertenece al ciclo de tratamiento térmico de normalizado desde 1000°C, además basados en los registros se evidencia que la dureza se ha incrementado en promedio 98 HV 10/10 con respecto al material base gracias al proceso de normalizado de 1100°C			
0	0	362				
1	500	374				
2	1000	360				
3	1500	357				
4	2000	358				
5	2500	363				
6	3000	366				
7	3500	367				
8	4000	352				
9	4500	369				
10	5000	372				

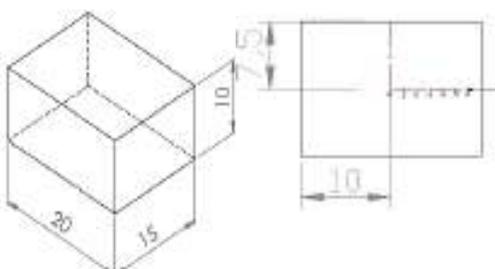
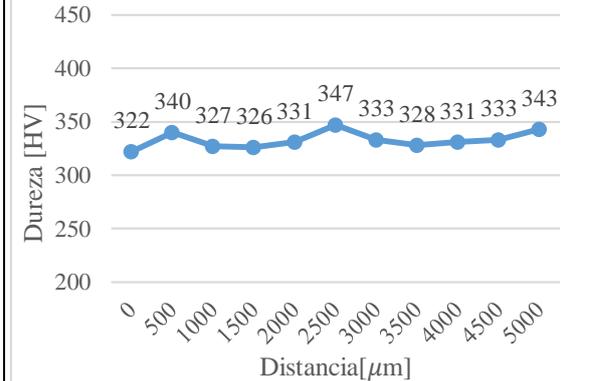
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE4

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE4 a continuación:

**Tabla 89-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE4

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
		<i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 4	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	05/7/2019			
Estado: Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>						
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	Recocido	Marca:	STRUERS			
Temperatura:	1100°C	Identador:	EMCO 5497			
Tiempo de Sost.:	1 hora	Modelo:	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers	Precarga:	1 Kgf			
Norma Aplicable:	ASTM E 384	Carga aplicada:	10 Kgf			
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'	Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
						
No.	Distancia [µm]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 333 HV 10/10. El registro de dureza pertenece al ciclo de tratamiento térmico de recocido desde 1100°C, además basados en los registros se evidencia un aumento en la dureza de aproximadamente 67 HV 10/10 respecto del material base por medio de este tratamiento térmico.			
0	0	322				
1	500	340				
2	1000	327				
3	1500	326				
4	2000	331				
5	2500	347				
6	3000	333				
7	3500	328				
8	4000	331				
9	4500	333				
10	5000	343				

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE5

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE5 a continuación:

**Tabla 90-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE5

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b> <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 5	Hoja:	1 de 1	
Estado:		Soldadura <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	Recocido		Marca:	STRUERS		
Temperatura:	1000°C		Identador:	EMCO 5497		
Tiempo de Sost.:	1 hora		Modelo:	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf		
Norma Aplicable:	ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf		
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120° 1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
No.	Distancia [µm]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 364 HV 10/10. El registro de dureza pertenece al ciclo de tratamiento térmico de recocido desde 1000°C, además basados en los registros se evidencia que la dureza ha incrementado en promedio 98 HV 10/10 con respecto al material bases gracias al proceso de recocido desde 1000°C.			
0	0	369				
1	500	370				
2	1000	367				
3	1500	360				
4	2000	366				
5	2500	363				
6	3000	362				
7	3500	360				
8	4000	365				
9	4500	356				
10	5000	363				

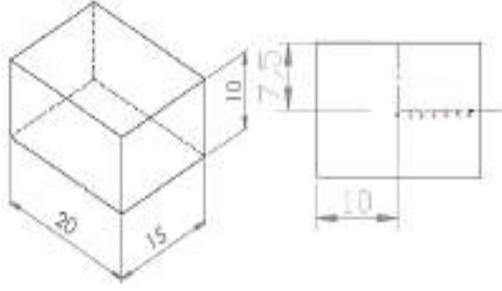
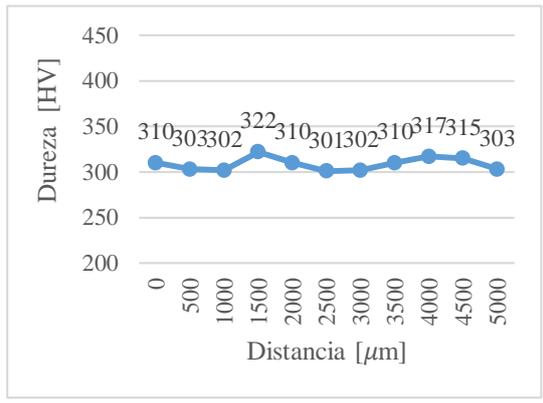
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE6

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE6 a continuación:

**Tabla 91-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE6

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 6	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	12/7/2019			
Estado: <b>Soldadura</b> <input type="checkbox"/> <b>Antes de T.T.</b> <input type="checkbox"/> <b>Después de T.T.</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sin T.T.</b> <input type="checkbox"/>						
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>			<b>EQUIPO</b>			
<b>Tipo:</b>	Recocido: 1000°C Revenido: 600°C	<b>Marca:</b>	STRUERS			
		<b>Identador:</b>	EMCO 5497			
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora/tratamiento	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20			
<b>PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA</b>						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf			
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf			
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s			
<b>RESULTADOS</b>						
<b>Dimensiones de la probeta</b>			<b>Gráfica de Microdureza vs Distancia</b>			
						
<b>No.</b>	<b>Distancia [µm]</b>	<b>Dureza [HV]</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 309 HV 10/10. El registro de dureza pertenece a dos ciclos de tratamientos térmicos, recocido desde 1000°C y revenido desde 600°C, se puede, además basados en los registros se puede evidenciar que la dureza se ha incrementado en 43 HV10/10 con respecto al material base esto gracias haber sometido al material a 2 tratamientos térmicos.			
0	0	310				
1	500	303				
2	1000	302				
3	1500	322				
4	2000	310				
5	2500	301				
6	3000	302				
7	3500	310				
8	4000	317				
9	4500	315				
10	5000	303				

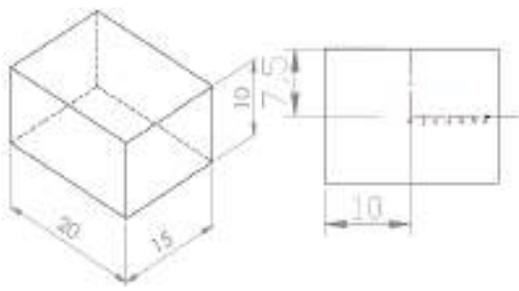
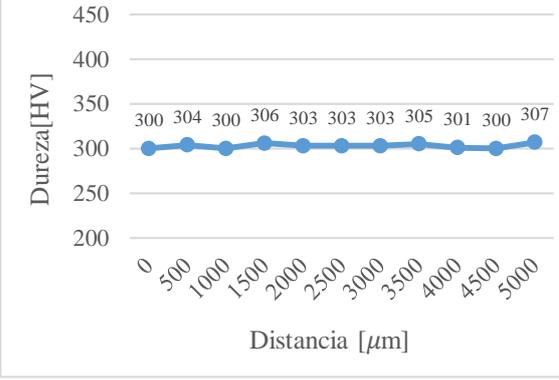
**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE7

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE7 a continuación:

**Tabla 92-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE7

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 7	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	17/7/2019			
<b>Estado:</b>	<b>Soldadura</b> <input type="checkbox"/> <b>Antes de T.T.</b> <input type="checkbox"/> <b>Después de T.T.</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Sin T.T.</b> <input type="checkbox"/>					
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>			<b>EQUIPO</b>			
<b>Tipo:</b>	Recocido: 1100°C Revenido: 600°C		<b>Marca:</b>	STRUERS		
			<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora/tratamiento		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
<b>PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA</b>						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
<b>RESULTADOS</b>						
<b>Dimensiones de la probeta</b>			<b>Gráfica de Microdureza vs Distancia</b>			
						
<b>No.</b>	<b>Distancia [µm]</b>	<b>Dureza [HV]</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 303 HV 10/10. El registro de dureza pertenece a dos ciclos de tratamientos térmicos, recocido desde 1100°C más revenido desde 600°C, además basados en los registros se evidencia que la dureza se ha incrementado en promedio 37 HV 10/10, con respecto al material base esto gracias haber sometido al material a dos tratamiento térmicos.			
0	0	300				
1	500	304				
2	1000	300				
3	1500	306				
4	2000	303				
5	2500	303				
6	3000	303				
7	3500	305				
8	4000	301				
9	4500	300				
10	5000	307				

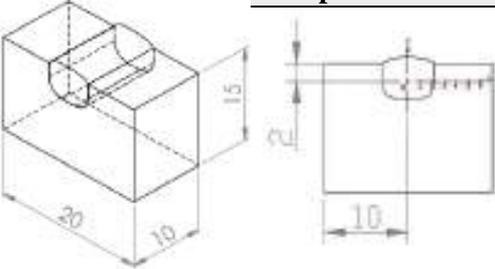
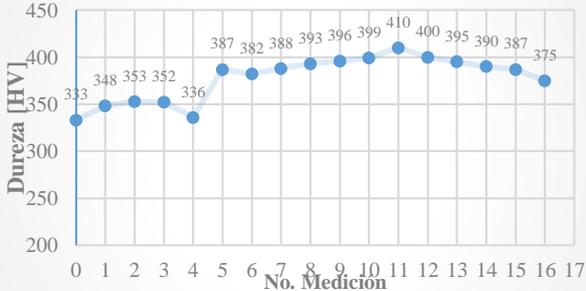
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE8

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE8 a continuación:

**Tabla 93-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE8

		REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 8	Hoja:	1 de 1	
Estado:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	No aplica		Marca:	STRUERS		
Temperatura:	-		Identador:	EMCO 5497		
Tiempo de Sost.:	-		Modelo:	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf		
Norma Aplicable:	ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf		
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	333	9	4500	396	
1	500	348	10	5000	399	
2	1000	353	11	5500	410	
3	1500	352	12	6000	400	
4	2000	336	13	6500	395	
5	2500	377	14	7000	390	
6	3000	382	15	7500	387	
7	3500	388	16	8000	375	
8	4000	393				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permiten estimar la longitud de la zona ZAT, existe un cambio significativo de dureza a partir de la medición No.6 a la No.11 teniendo como resultado una longitud aproximada de la zona ZAT de 2,5 mm. La FZ tiene como medidas de dureza a partir del No.0 a la No.5, mientras que las medidas de dureza de la zona HAZ son del No.6 al No. 11, y finalmente se tiene que las medidas de dureza del BM son del No. 12 al No.16.						

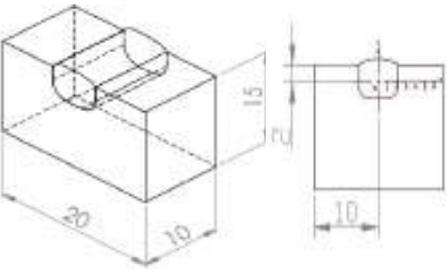
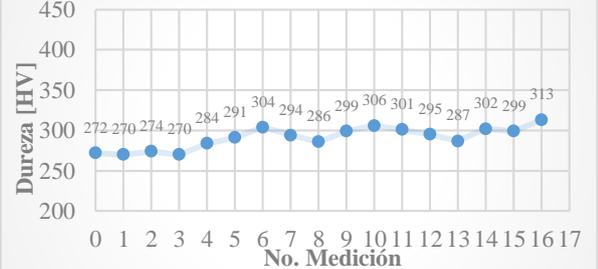
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE9

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE9 a continuación:

**Tabla 94-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE9

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b> <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 9	Hoja:	1 de 1	
		Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	23/8/2019	
		Estado: <b>Soldadura</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Antes de T.T.</b> <input type="checkbox"/> <b>Después de T.T.</b> <input type="checkbox"/> <b>Sin T.T.</b> <input type="checkbox"/>				
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	Revenido	Marca:	STRUERS			
Temperatura:	640°C	Identador:	EMCO 5497			
Tiempo de Sost.:	1 hora	Modelo:	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers	Precarga:	1 Kgf			
Norma Aplicable:	ASTM E 384	Carga aplicada:	10 Kgf			
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'	Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	272	9	4500	299	
1	500	270	10	5000	306	
2	1000	274	11	5500	301	
3	1500	270	12	6000	295	
4	2000	284	13	6500	287	
5	2500	291	14	7000	302	
6	3000	304	15	7500	299	
7	3500	294	16	8000	313	
8	4000	286				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Se registra valores de dureza muy similares, esto como resultado del tratamiento térmico post soldadura el cual homogenizó la dureza en el material lo largo de las zonas: FZ, ZAT Y BM , con una dureza media aproximada de 291 HV 10/10, teniendo un aumento de dureza aproximado de 25HV 10/10 en la zona del material en condiciones de fábrica						

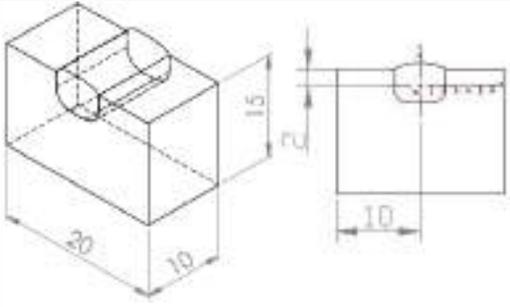
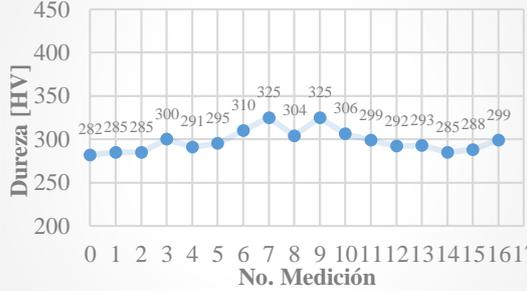
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio M-CE10

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE10 a continuación:

**Tabla 95-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE10

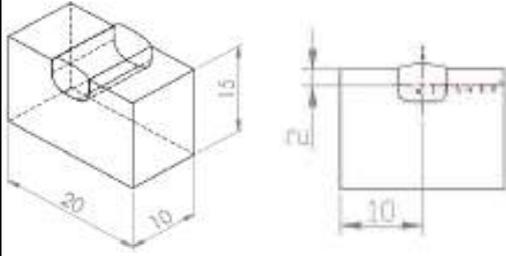
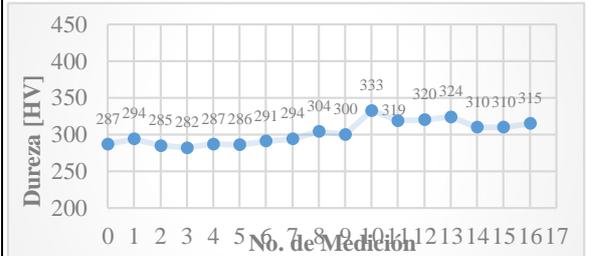
		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b> <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 10	Hoja:	1 de 1	
		Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	28/8/2019	
Estado:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	Revenido		Marca:	STRUERS		
Temperatura:	620°C		Identador:	EMCO 5497		
Tiempo de Sost.:	1 hora		Modelo:	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf		
Norma Aplicable:	ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf		
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	
0	0	282	9	4500	325	
1	500	285	10	5000	306	
2	1000	285	11	5500	299	
3	1500	300	12	6000	292	
4	2000	291	13	6500	293	
5	2500	295	14	7000	285	
6	3000	310	15	7500	288	
7	3500	325	16	8000	299	
8	4000	304				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron estimar la longitud de la zona ZAT, existe un cambio significativo de dureza a partir de la medición No.6 a la No.11 teniendo como resultado una longitud aproximada de la ZAT de 2,5 mm, además se obtuvo una homogenización de la dureza con la del material base de forma parcial.						

Realizado por: Autores  
Fuente: Propia

## Caso de estudio M-CE11

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE11 a continuación:

**Tabla 96-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE11

REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS					
ENSAYO DE MICRODUREZA					
Microhardness Test					
	Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 11	Hoja:	1 de 1	
	Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	21/8/2019	
<b>Estado:</b> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>					
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
Tipo:	Revenido		Marca:	STRUERS	
Temperatura:	600°C		Identador:	EMCO 5497	
Tiempo de Sost.:	1 hora		Modelo:	DURASCAN-20	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA					
Método:	Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf	
Norma Aplicable:	ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf	
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s	
RESULTADOS					
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza		
					
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]
0	0	287	9	4500	300
1	500	294	10	5000	333
2	1000	285	11	5500	319
3	1500	282	12	6000	320
4	2000	287	13	6500	324
5	2500	286	14	7000	310
6	3000	291	15	7500	310
7	3500	294	16	8000	315
8	4000	304			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron estimar la longitud de la zona ZAT, existe un cambio significativo de dureza a partir de la medición No.6 a la No.11 teniendo como resultado una longitud aproximada del ZAT de 2,5 mm. La zona de granos refinados obtenida posterior al proceso de soldadura que forma parte de la ZAT es afectada térmicamente por el proceso de revenido desde 600 °C, homogenizando la dureza.					

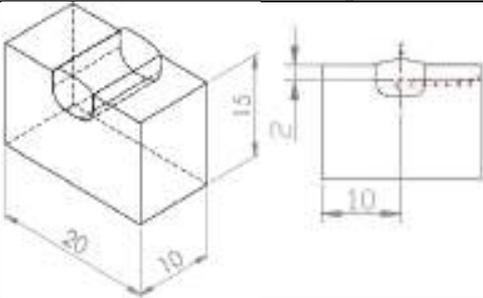
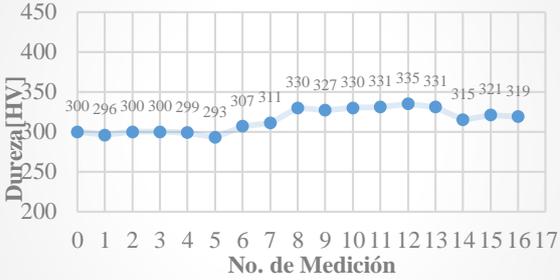
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE12

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE12 a continuación:

**Tabla 97-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE12

		<b>REPORTES ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
		<i>Microhardness Testing</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 12	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	30/8/2019			
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>					
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	STRUERS			
<b>Temperatura:</b>	580°C	<b>Identador:</b>	EMCO 5497			
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf			
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf			
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	300	9	4500	327	
1	500	296	10	5000	330	
2	1000	300	11	5500	331	
3	1500	300	12	6000	335	
4	2000	299	13	6500	331	
5	2500	293	14	7000	315	
6	3000	307	15	7500	321	
7	3500	311	16	8000	319	
8	4000	330				
<p><b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron estimar la longitud de la zona ZAT, existe un cambio significativo de dureza a partir de la medición No.7 a la No.12 dando una longitud aproximada del ZAT de 2,5 mm. La zona de granos refinados obtenida posterior al tratamiento térmico del proceso de soldadura que forma parte del ZAT es afectada térmicamente por el proceso de revenido desde 580 °C induciendo el crecimiento de grano.</p>						

Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

### Caso de estudio M-CE13

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE13 a continuación:

**Tabla 98-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE13

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 13	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	04/9/2019			
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/>		Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>		Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	Revenido		<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	560°C		<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120° 1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	
0	0	312	9	4500	328	
1	500	307	10	5000	335	
2	1000	304	11	5500	321	
3	1500	301	12	6000	315	
4	2000	305	13	6500	319	
5	2500	315	14	7000	307	
6	3000	330	15	7500	294	
7	3500	346	16	8000	304	
8	4000	336				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron estimar la longitud del ZAT, existe un cambio significativo de dureza a partir de la medición No.6 a la No.10 dando como resultado una longitud aproximada del ZAT de 2 mm. La zona de granos refinados obtenida después del proceso de soldadura que forma parte de la zona ZAT es afectada térmicamente por el proceso de revenido desde 560 °C, consecuentemente homogenizando las durezas.						

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## Caso de estudio M-CE14

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE14 a continuación:

**Tabla 99-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE14

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>							
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>							
		<i>Microhardness Test</i>							
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 14	Hoja:	1 de 1				
Procedimiento	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	05/9/2019						
Estado:		Soldadura	<input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T.	<input type="checkbox"/>	Después de T.T.	<input type="checkbox"/>	Sin T.T.	<input type="checkbox"/>
TRATAMIENTO TÉRMICO				EQUIPO					
Tipo:		No aplica		Marca:		STRUERS			
Temperatura:		-		Identador:		EMCO 5497			
Tiempo de Sost.:		-		Modelo:		DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA									
Método:		Dureza Vickers		Precarga:		1 Kgf			
Norma Aplicable:		ASTM E 384		Carga aplicada:		10 Kgf			
Tipo de Identador:		Cono de diamante 120° 1'		Tiempo de Aplicación:		10 a 15 s			
RESULTADOS									
Dimensiones de la probeta				Gráfica de Microdureza					
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]				
0	0	189	9	4500	408				
1	500	191	10	5000	372				
2	1000	192	11	5500	335				
3	1500	191	12	6000	286				
4	2000	179	13	6500	260				
5	2500	171	14	7000	262				
6	3000	186	15	7500	262				
7	3500	390	16	8000	263				
8	4000	410							
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron observar que se trata de una soldadura disímil en la cual en la zona FZ tenemos un material de aporte austenítico teniendo de esta forma una cama suave la cual tiene un promedio de dureza de 186 HV, la longitud de la zona ZAT es de aproximadamente 2 mm teniendo un promedio aproximado de 383 HV, finalmente el material base posee una dureza promedio de 267 HV.									

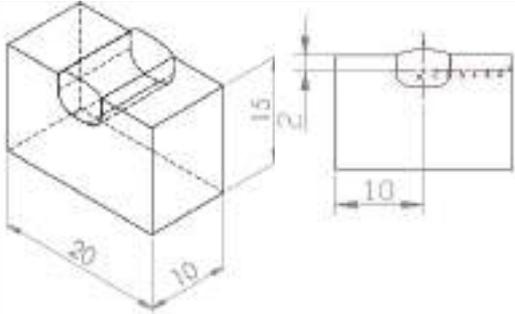
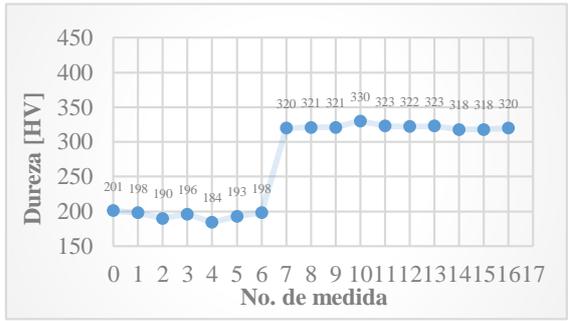
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE15

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio M-CE15 a continuación:

**Tabla 100-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio M-CE15

		<b>REPORTES ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b> <b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
		Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 15	Hoja:	1 de 1	
Estado:		Soldadura <input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
Tipo:	No aplica		Marca:	STRUERS		
Temperatura:	-		Identador:	EMCO 5497		
Identador:	-		Modelo:	DURASCAN-20		
Tiempo de Sost.:	-					
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
Método:	Dureza Vickers		Precarga:	1 Kgf		
Norma Aplicable:	ASTM E 384		Carga aplicada:	10 Kgf		
Tipo de Identador:	Cono de diamante 120°1'		Tiempo de Aplicación:	10 a 15 s		
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	201	9	4500	321	
1	500	198	10	5000	330	
2	1000	190	11	5500	323	
32	1500	196	12	6000	322	
4	2000	184	13	6500	323	
5	2500	193	14	7000	318	
6	3000	198	15	7500	318	
7	3500	320	16	8000	320	
8	4000	321				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS: Los registros de dureza permitieron observar que se trata de una soldadura disímil en la cual en la zona FZ tenemos un material de aporte austenítico teniendo un promedio de dureza de 194 HV, la longitud de la zona ZAT es de aproximadamente 2 mm teniendo un promedio aproximado de 323 HV, finalmente el material base posee una dureza promedio de 320 HV, teniendo homogenización en la dureza en la ZAT y en le BM.						

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE1

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE1 a continuación:

**Tabla 101-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE1

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>			
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>			
		<i>Microhardness Test</i>			
Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 16	Hoja:	1 de 1		
Procedimiento	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	05/9/2019		
<b>Estado:</b> Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Sin T.T. <input checked="" type="checkbox"/>					
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	No aplica	<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	-	<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	-	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA					
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
RESULTADOS					
Dimensiones de la probeta		Gráfica de Microdureza vs Distancia			
No.	Distancia [µm]	Dureza [HV]			
1	0	198			
2	25	196			
3	50	187			
4	75	186			
5	100	194			
6	125	197			
7	150	185			
8	175	188			
9	200	187			
10	225	180			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada es muy homogénea con un promedio de 190 HV 10/10. El registro de dureza forma parte de la caracterización del material base, gracias a los resultados se verifica que este acero posee un dureza relativamente baja y por tanto una excelente ductilidad además de un alto porcentaje de alargamiento.					

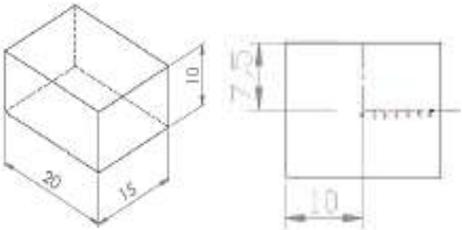
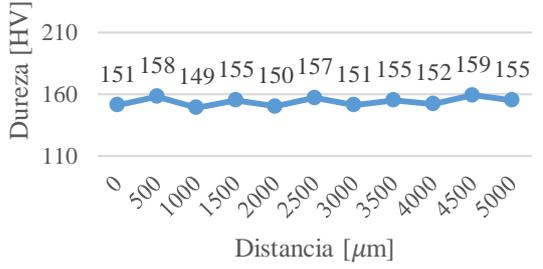
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE2

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE2 a continuación:

**Tabla 102-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE2

 <b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>					
<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>					
<i>Microhardness Test</i>					
Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 17	Hoja:	1 de 1		
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	05/9/2019		
<b>Estado:</b> Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>					
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	Recocido	<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	1010°C	<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA					
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
RESULTADOS					
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia		
					
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 154HV 10/10. El registro de dureza pertenece al tratamiento térmico de Recocido desde 1010°C, se puede además basados en los registros evidenciar una disminución de 36 HV 10/10 respecto al material base proveniente de fábrica esto debido al bajo porcentaje de carbono presente en la composición del acero AISI 304L, consiguiendo con esto un aumento susceptible en la ductilidad del material.		
0	0	151			
1	500	158			
2	1000	149			
3	1500	155			
4	2000	150			
5	2500	157			
6	3000	151			
7	3500	155			
8	4000	153			
9	4500	159			
10	5000	155			

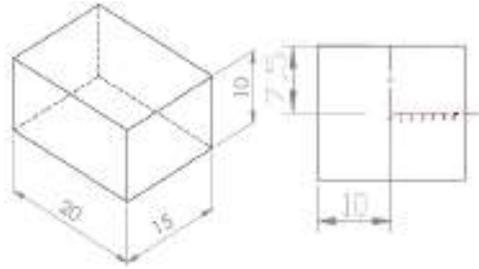
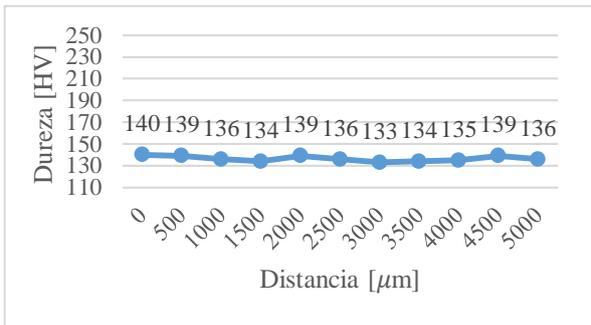
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE3

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE3 a continuación:

**Tabla 103-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE3

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 18	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	05/9/2019			
<b>Estado:</b> Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>						
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	Normalizado	<b>Marca:</b>	STRUERS			
<b>Temperatura:</b>	1010°C	<b>Identador:</b>	EMCO 5497			
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf			
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf			
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia			
						
No.	Distancia [µm]	Dureza HV	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 136 HV 10/10. El registro de dureza pertenece al tratamiento térmico de Normalizado desde 1010°C, se puede además basados en los registros evidenciar el decremento de 54 HV 10/10 con respecto al material base como consecuencia de haber sometido al material con bajo porcentaje de carbono a un tratamiento térmico evidenciándose que el acero AISI 304L no es susceptible a tratarse térmicamente.			
0	0	140				
1	500	139				
2	1000	136				
3	1500	134				
4	2000	139				
5	2500	136				
6	3000	133				
7	3500	134				
8	4000	135				
9	4500	139				
10	5000	136				

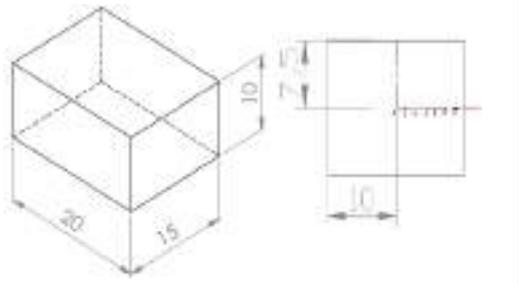
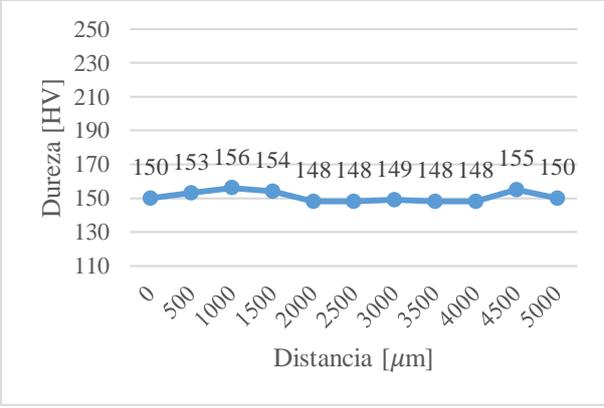
Fuente: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

### Caso de estudio A-CE4

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE4 a continuación:

**Tabla 104-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE4

 <b>REPORTES ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>					
<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>					
<i>Microhardness Test</i>					
Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 19	Hoja:	1 de 1		
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	05/9/2019		
<b>Estado:</b>	Soldadura <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	Normalizado: 1010°C Revenido: 600°C	<b>Marca:</b>	STRUERS		
		<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA					
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
RESULTADOS					
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza vs Distancia		
					
No.	Distancia [µm]	Dureza HV			
0	0	150			
1	500	153			
2	1000	156			
3	1500	154			
4	2000	148			
5	2500	148			
6	3000	149			
7	3500	148			
8	4000	148			
9	4500	155			
10	5000	150			
			<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> La dureza registrada tiene un promedio de 151 HV 10/10. El registro pertenece a dos ciclos de tratamientos térmicos a un revenido desde 600°C post normalizado desde 1010°C, además basado en los registros se logra evidenciar que la dureza ha disminuido aproximadamente 39 HV 10/10 respecto del material base, mediante el revenido se logró disminuir la fragilidad y aliviar tensiones en el material.		

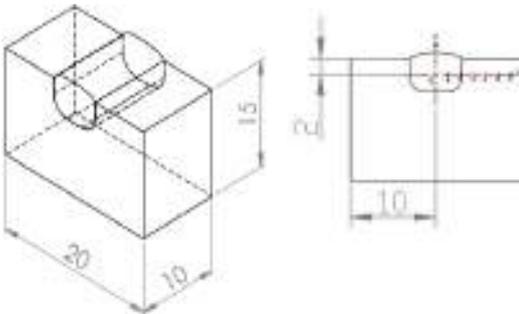
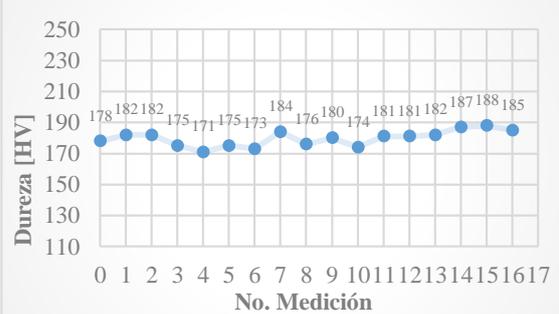
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE5

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE5 a continuación:

**Tabla 105-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE5.

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
Reg. No.:	CIRT-REG-MICDUR 20	Hoja:	1 de 1			
Procedimiento:	CIRT-PRO-MICDUR	Fecha:	06/9/2019			
<b>Estado:</b> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>						
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	No aplica		<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	-		<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	-		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
<b>PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA</b>						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
<b>RESULTADOS</b>						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	No.	Distancia [ $\mu\text{m}$ ]	Dureza [HV]	
0	0	178	9	4500	180	
1	500	182	10	5000	174	
2	1000	182	11	5500	181	
3	1500	175	12	6000	181	
4	2000	171	13	6500	182	
5	2500	175	14	7000	187	
6	3000	173	15	7500	188	
7	3500	176	16	8000	185	
8	4000	184				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron visualizar una dureza relativamente homogénea en las mediciones, esto debido a la composición del material depositado en el cordón de soldadura y al material base, ambos siendo aceros austeníticos. Se observa que la dureza es muy cercana a las del acero AISI 304L en condiciones de fábrica.						

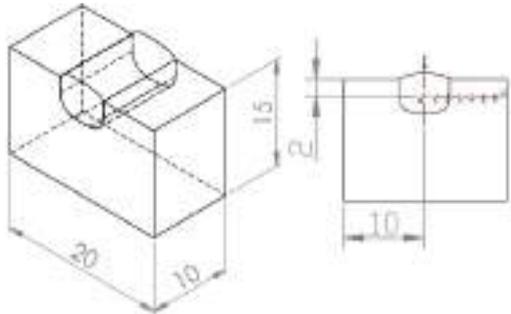
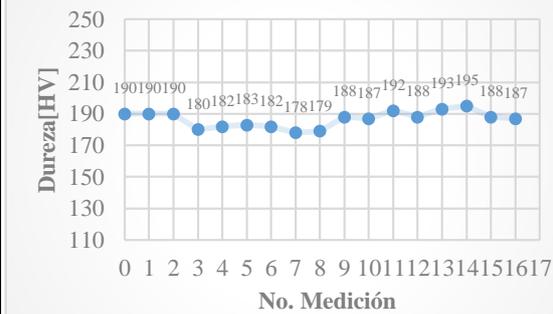
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 106-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE6

		<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>				
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 21	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	06/9/2019			
<b>Estado:</b> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>						
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO			
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	STRUERS			
<b>Temperatura:</b>	600°C	<b>Identador:</b>	EMCO 5497			
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20			
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers	<b>Precarga:</b>	1 Kgf			
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384	<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf			
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'	<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s			
RESULTADOS						
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	190	9	4500	188	
1	500	190	10	5000	187	
2	1000	190	11	5500	192	
3	1500	180	12	6000	188	
4	2000	182	13	6500	193	
5	2500	183	14	7000	195	
6	3000	182	15	7500	188	
7	3500	178	16	8000	187	
8	4000	179				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permitieron visualizar una dureza relativamente homogénea en las mediciones y cercana al acero AISI 304L en condiciones de fábrica, esto debido a la composición del material depositado en el cordón de soldadura y al material base siendo ambos aceros austeníticos, el revenido aplicado no ha alterado significativamente la dureza en el material						

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Caso de estudio A-CE7

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE7 a continuación:

**Tabla 107-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE7

		<b>REPORTES ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>																																									
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b> <i>Microhardness Test</i>																																									
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 22	<b>Hoja:</b>	1 de 1																																								
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	06/9/2019																																								
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>																																										
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO																																								
<b>Tipo:</b>	No aplica		<b>Marca:</b>	STRUERS																																							
<b>Temperatura:</b>	-		<b>Identador:</b>	EMCO 5497																																							
<b>Tiempo de Sost.:</b>	-		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20																																							
PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA																																											
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf																																							
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf																																							
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s																																							
RESULTADOS																																											
Dimensiones de la probeta			Gráfica de Microdureza																																								
			<table border="1"> <caption>Data for Gráfica de Microdureza</caption> <thead> <tr> <th>No. Medición</th> <th>Dureza [HV]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>322</td></tr> <tr><td>1</td><td>318</td></tr> <tr><td>2</td><td>323</td></tr> <tr><td>3</td><td>322</td></tr> <tr><td>4</td><td>310</td></tr> <tr><td>5</td><td>305</td></tr> <tr><td>6</td><td>308</td></tr> <tr><td>7</td><td>186</td></tr> <tr><td>8</td><td>189</td></tr> <tr><td>9</td><td>184</td></tr> <tr><td>10</td><td>181</td></tr> <tr><td>11</td><td>187</td></tr> <tr><td>12</td><td>188</td></tr> <tr><td>13</td><td>184</td></tr> <tr><td>14</td><td>192</td></tr> <tr><td>15</td><td>192</td></tr> <tr><td>16</td><td>187</td></tr> <tr><td>17</td><td>187</td></tr> </tbody> </table>			No. Medición	Dureza [HV]	0	322	1	318	2	323	3	322	4	310	5	305	6	308	7	186	8	189	9	184	10	181	11	187	12	188	13	184	14	192	15	192	16	187	17	187
No. Medición	Dureza [HV]																																										
0	322																																										
1	318																																										
2	323																																										
3	322																																										
4	310																																										
5	305																																										
6	308																																										
7	186																																										
8	189																																										
9	184																																										
10	181																																										
11	187																																										
12	188																																										
13	184																																										
14	192																																										
15	192																																										
16	187																																										
17	187																																										
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]																																						
0	0	322	9	4500	184																																						
1	500	318	10	5000	181																																						
2	1000	323	11	5500	187																																						
3	1500	322	12	6000	188																																						
4	2000	310	13	6500	184																																						
5	2500	305	14	7000	192																																						
6	3000	308	15	7500	192																																						
7	3500	186	16	8000	187																																						
8	4000	189																																									
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> al ser una soldadura disímil se puede visualizar claramente las zonas del material de aporte E410NiMo del ZAT, además debido a la susceptibilidad del acero AISI 304L a ser soldado la dureza en ZAT no es diferente al del material base, por lo que se deduce que la ZAT tiene una longitud aproximada de 2mm.																																											

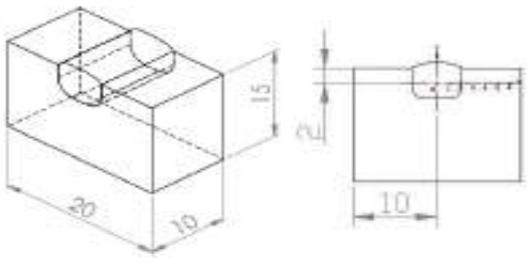
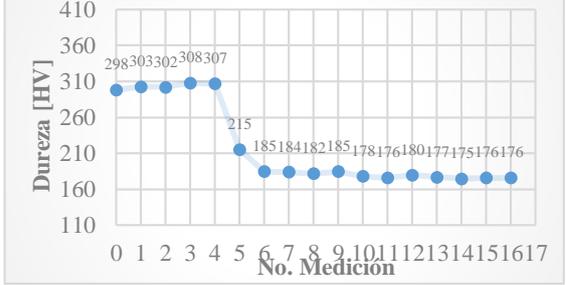
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE8

Se procede a detallar la cuantificación de microdureza realizada para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 108-3:** Reporte de ensayo de microdureza para el caso de estudio A-CE8

		<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
		<b>ENSAYO DE MICRODUREZA</b>				
<i>Microhardness Test</i>						
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-MICDUR 23	<b>Hoja:</b>	1 de 1			
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-MICDUR	<b>Fecha:</b>	06/9/2019			
<b>Estado:</b> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>						
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO</b>			<b>EQUIPO</b>			
<b>Tipo:</b>	Revenido		<b>Marca:</b>	STRUERS		
<b>Temperatura:</b>	600°C		<b>Identador:</b>	EMCO 5497		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora		<b>Modelo:</b>	DURASCAN-20		
<b>PROTOCOLO DE ENSAYO DE MICRODUREZA</b>						
<b>Método:</b>	Dureza Vickers		<b>Precarga:</b>	1 Kgf		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 384		<b>Carga aplicada:</b>	10 Kgf		
<b>Tipo de Identador:</b>	Cono de diamante 120°1'		<b>Tiempo de Aplicación:</b>	10 a 15 s		
<b>RESULTADOS</b>						
<b>Dimensiones de la probeta</b>			<b>Gráfica de Microdureza</b>			
						
No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	No.	Distancia [μm]	Dureza [HV]	
0	0	298	9	4500	185	
1	500	303	10	5000	178	
2	1000	302	11	5500	176	
3	1500	308	12	6000	180	
4	2000	307	13	6500	177	
5	2500	215	14	7000	175	
6	3000	185	15	7500	176	
7	3500	184	16	8000	176	
8	4000	182				
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> Los registros de dureza permiten visualizar un alto gradiente de dureza entre el material depositado en el cordón de soldadura y el material base, esto en base al tipo de material de aporte, teniendo esta una composición martensítica, mientras el material base es un acero inoxidable austenítico. El material fue sometido a un revenido post soldadura con la finalidad de aliviar las tensiones generadas.						

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

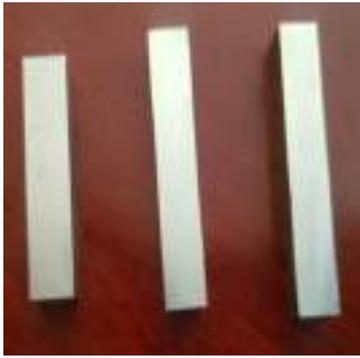
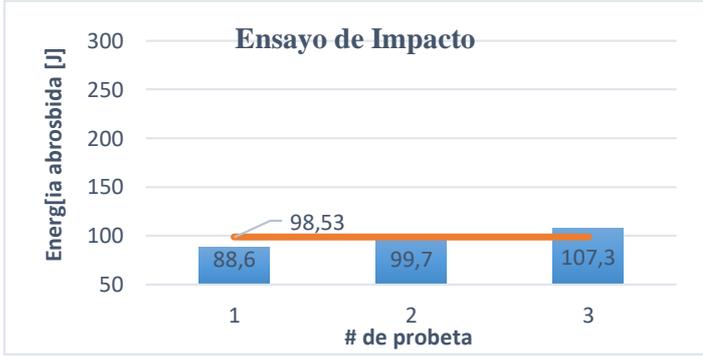
**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### 3.6 Ensayos de Impacto

#### Caso de estudio M-CE1

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE1 a continuación:

**Tabla 109-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE1

 <b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b> 				
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
<i>Traction Testing</i>				
Reg. No.:	CIRT-REG-IMP 1	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento:	CIRT-PRO-IMP	Fecha:	10/12/2019	
<b>Estado:</b>	Soldadura <input type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Después de T.T. <input type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	No aplica	<b>Marca:</b>	PIC	
<b>Temperatura:</b>	-	<b>Modelo:</b>	PIC 450/C	
<b>Tiempo de Sost.:</b>	-	<b>Capacidad:</b>	450J	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO				
<b>Método:</b>	Impacto	<b>Tipo de ensayo:</b>	Cuantitativo	
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23	<b>Energía usada:</b>	450J	
RESULTADOS				
Gráfico de probeta		Energía absorbida		
				
Resultados				
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]
1	23	56,7	88,6	108,7
2			99,7	123,7
3			107,3	133,62
<b>Promedio</b>	<b>23</b>	<b>56,7</b>	<b>98,53</b>	<b>122,0</b>
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>9,404</b>	<b>12,54</b>
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>9,544</b>	<b>10,28</b>
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> los resultados obtenidos de la resistencia al impacto del acero ASTM A743 CA6-NM no mantienen una gran variación, además de concordar con el material teniendo un promedio de resistencia al impacto de 122 J/cm <sup>2</sup> .				

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE11

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE11 a continuación:

**Tabla 110-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE11

<b>REPORTES ENsayos DESTRUCTIVOS</b>					
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
<i>Traction Testing</i>					
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-IMP 2	<b>Hoja:</b>	1 de 1		
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-IMP	<b>Fecha:</b>	10/12/2019		
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>				
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	PIC		
<b>Temperatura:</b>	600°C	<b>Modelo:</b>	PIC 450/C		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Capacidad:</b>	450J		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO					
<b>Método:</b>	Impacto	<b>Tipo de ensayo:</b>	Cuantitativo		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23	<b>Energía usada:</b>	450J		
RESULTADOS					
Gráfico de probeta		Energía absorbida			
Resultados					
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]	
1	23,4	55,5	127,9	153,5	
2			132,4	155,8	
3			135,3	164,5	
<b>Promedio</b>	<b>23,4</b>	<b>55,5</b>	<b>131,87</b>	<b>157,9</b>	
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>3,723</b>	<b>5,787</b>	
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>2,828</b>	<b>3,663</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> en este caso de estudio la resistencia al impacto del material ha aumentado aproximadamente 35J/cm <sup>2</sup> respecto al material base, esto en cuestión debido al material de aporte E410NiMo.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio M-CE15

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE15 a continuación:

**Tabla 111-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio M-CE15

<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>														
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>														
<i>Traction Testing</i>														
Reg. No.:	CIRT-REG-IMP 3	Hoja:	1 de 1											
Procedimiento:	CIRT-PRO-IMP	Fecha:	10/12/2019											
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>										
TRATAMIENTO TÉRMICO		EQUIPO												
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	PIC											
<b>Temperatura:</b>	600°C	<b>Modelo:</b>	PIC 450/C											
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Capacidad:</b>	450J											
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO														
<b>Método:</b>	Impacto	<b>Tipo de ensayo:</b>	Cuantitativo											
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23	<b>Energía usada:</b>	450J											
RESULTADOS														
Gráfico de probeta		Energía absorbida												
		<p style="text-align: center;"><b>Ensayo de Impacto</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Impact Test Chart</caption> <thead> <tr> <th># de probeta</th> <th>Energía absorbida [J]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>129,6</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>156,3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>117,8</td> </tr> <tr> <td><b>Promedio</b></td> <td><b>134,57</b></td> </tr> </tbody> </table>			# de probeta	Energía absorbida [J]	1	129,6	2	156,3	3	117,8	<b>Promedio</b>	<b>134,57</b>
# de probeta	Energía absorbida [J]													
1	129,6													
2	156,3													
3	117,8													
<b>Promedio</b>	<b>134,57</b>													
Resultados														
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]										
1	24	54,4	129,6	150,2										
2			156,3	187,0										
3			117,8	141,3										
<b>Promedio</b>	<b>24</b>	<b>54,4</b>	<b>134,57</b>	<b>159,5</b>										
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>19,67</b>	<b>5,787</b>										
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>14,62</b>	<b>3,663</b>										
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> en este caso de estudio la resistencia al impacto del material no dista significativamente respecto del caso de estudio M-CE11, viéndose de esta forma una alternativa para la reparación de rodetes el electrodo ER309LMo.														

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE1

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE1 a continuación:

**Tabla 112-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE1

<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>					
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
<i>Traction Testing</i>					
Reg. No.:	CIRT-REG-IMP 1	Hoja:	1 de 1		
Procedimiento:	CIRT-PRO-IMP	Fecha:	10/12/2019		
<b>Estado:</b> Soldadura <input type="checkbox"/> Antes de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Después de T.T. <input type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>					
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	No aplica		<b>Marca:</b>	PIC	
<b>Temperatura:</b>	-		<b>Modelo:</b>	PIC 450/C	
<b>Tiempo de Sost.:</b>	-		<b>Capacidad:</b>	450J	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO					
<b>Método:</b>	Impacto		<b>Tipo de mordazas:</b>	-	
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23		<b>Velocidad de esfuerzo:</b>		
RESULTADOS					
Gráfico de probeta			Energía absorbida		
Resultados					
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]	
1	23,9	53,9	257,4	321,9	
2			252,6	310,0	
3			292,7	358,7	
<b>Promedio</b>	<b>23,9</b>	<b>53,9</b>	<b>267,57</b>	<b>330,2</b>	
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>21,89</b>	<b>25,38</b>	
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>8,184</b>	<b>7,687</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> el material en cuestión se trata de un acero AISI 304L en condiciones de fábrica, debido a su matriz auténtica el material es sumamente dúctil viéndose esa característica en su alta tenacidad teniendo como promedio una resistencia al impacto de 267,5 J/cm <sup>2</sup> .					

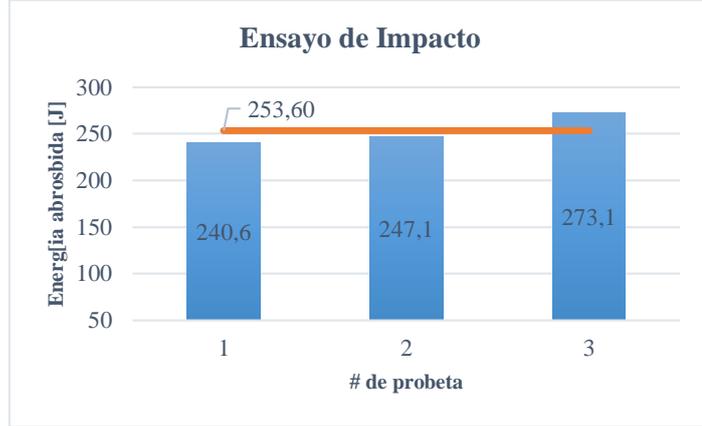
Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE8

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE8 a continuación:

**Tabla 113-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE8

 <b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b> 				
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
<i>Traction Testing</i>				
Reg. No.:	CIRT-REG-IMP 3	Hoja:	1 de 1	
Procedimiento:	CIRT-PRO-IMP	Fecha:	10/12/2019	
<b>Estado:</b> Soldadura <input checked="" type="checkbox"/> Antes de T.T. <input type="checkbox"/> Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/> Sin T.T. <input type="checkbox"/>				
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO	
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	Panasonic	
<b>Temperatura:</b>	600°C	<b>Modelo:</b>	PIC 450/C	
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Capacidad:</b>	450J	
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO				
<b>Método:</b>	Impacto	<b>Tipo de ensayo:</b>	Cuantitativo	
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23	<b>Energía usada:</b>	450J	
RESULTADOS				
Gráfico de probeta		Energía absorbida		
		 <p style="text-align: center;"><b>Ensayo de Impacto</b></p>		
Resultados				
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]
1	24	54,4	240,6	302,6
2			247,1	303,5
3			273,1	340,8
<b>Promedio</b>	<b>24</b>	<b>54,4</b>	<b>253,6</b>	<b>315,6</b>
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>17,19</b>	<b>21,76</b>
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>6,781</b>	<b>6,894</b>
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> en este caso de estudio la resistencia al impacto del material ha disminuido aproximadamente 14 J/cm <sup>2</sup> , esto como consecuencia del material de aporte ER410NiMo.				

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Caso de estudio A-CE6

Se procede a detallar los datos registrados por medio del ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE6 a continuación:

**Tabla 114-3:** Reporte de ensayo de impacto para el caso de estudio A-CE6

<b>REPORTE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>					
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
<i>Traction Testing</i>					
<b>Reg. No.:</b>	CIRT-REG-IMP 3	<b>Hoja:</b>	1 de 1	<b>Fecha:</b>	
<b>Procedimiento:</b>	CIRT-PRO-IMP	<b>Fecha:</b>	10/12/2019		
<b>Estado:</b>	Soldadura <input checked="" type="checkbox"/>	Antes de T.T. <input type="checkbox"/>	Después de T.T. <input checked="" type="checkbox"/>	Sin T.T. <input type="checkbox"/>	
TRATAMIENTO TÉRMICO			EQUIPO		
<b>Tipo:</b>	Revenido	<b>Marca:</b>	PIC		
<b>Temperatura:</b>	600°C	<b>Modelo:</b>	PIC 450/C		
<b>Tiempo de Sost.:</b>	1 hora	<b>Capacidad:</b>	450J		
PROTOCOLO DE ENSAYO DE IMPACTO					
<b>Método:</b>	Impacto	<b>Tipo de ensayo:</b>	Cuantitativo		
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E 23	<b>Energía usada:</b>	450J		
RESULTADOS					
Gráfico de probeta			Energía absorbida		
Resultados					
#Probeta	Temperatura ambiente[°C]	Humedad relativa ambiental [%]	Energía [J]	Resistencia al impacto[J/cm <sup>2</sup> ]	
1	24	54,4	139,2	176,0	
2			154,3	191,4	
3			167,3	210,0	
<b>Promedio</b>	<b>24</b>	<b>54,4</b>	<b>153,6</b>	<b>192,5</b>	
<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>			<b>14,06</b>	<b>17,05</b>	
<b>Coefficiente de variación CV</b>			<b>9,156</b>	<b>8,857</b>	
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:</b> la resistencia al impacto del material ha disminuido aproximadamente significativamente a casi la mitad del material en condiciones de fábrica, esto como consecuencia del material de aporte ER309LMo, concluyendo de esta forma que el material no es susceptible a reparación.					

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## RESULTADOS

### Metalografía

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por medio de los registros CIRT-REG-MET.

### Acero ASTM A743 CA6-NM

**Tabla 115-3:** Resultados de ensayos metalográficos en el acero ASTM A743 CA6-NM

Caso de estudio		Fases presentes	% $\gamma'$	Carbuos	$S_{n-1}$
Material base		Martensita acircular, austenita retenida.	8,91	Ausencia	0,0330
Normalizado a 1100°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida.	2,76	Presencia	0,4107
Normalizado a 1000°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida.	2,83	Presencia	0,3660
Recocido a 1100°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida.	2,58	Presencia	0,1332
Recocido a 1000°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida	1,4	Presencia	0,5186
Recocido a 1000°C seguido de un revenido a 600°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida	1,63	Presencia	0,3279
Recocido a 1100°C seguido de un revenido a 600°C		Martensita templada , martensita fresca, austenita retenida	1,13	Presencia	0,0985
Soldadura TIG E410NiMo	BM	Martensita templada, austenita retenida.	8,37	Presencia	1,229
	ZAT	Martensita fresca, austenita retenida	11,69	Presencia	1,756
	FZ	Martensita revenida, martensita fresca, austenita revenida	5,26	Presencia	2,580
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido a 640°C	BM	Martensita templada, austenita retenida.	10,65	Presencia	2,271
	ZAT	Martensita fresca, austenita retenida	10,73	Presencia	6,150
	FZ	Martensita revenida, martensita fresca, austenita revenida	12,76	Presencia	2,050

Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido a 620°C	BM	Martensita templada, austenita retenida.	8,71	Presencia	0,4034
	ZAT	Martensita fresca, austenita retenida	8,61	Presencia	0,0492
	FZ	Martensita revenida, martensita fresca, austenita revenida	12,62	Presencia	0,1532
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido a 600°C	BM	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	8,16	Presencia	0,9801
	ZAT	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	8,89	Presencia	0,9382
	FZ	Martensita templada, martensita fresca, austenita revenida	7,99	Presencia	1,041
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido a 580°C	BM	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	10,00	Presencia	1,474
	ZAT	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	6,06	Presencia	1,081
	FZ	Martensita templada, martensita fresca, austenita revenida	3,22	Presencia	1,038
Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido a 560°C	BM	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	8,35	Presencia	0,0972
	ZAT	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	9,48	Presencia	0,2767
	FZ	Martensita templada, martensita fresca, austenita revenida	5,01	Presencia	0,4339
Soldadura TIG E309LMo	BM	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	8,48	Presencia	0,1794
	ZAT	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	8,54	Presencia	0,00943
	FZ	Martensita templada, martensita fresca, austenita revenida	-	Presencia	-
Soldadura TIG E309LMo seguido de un revenido a 600°C	BM	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	9,43	Presencia	0,0133
	ZAT	Martensita templada, martensita fresca, austenita retenida	10,77	Presencia	0,0481
	FZ	Martensita templada, martensita fresca, austenita revenida	-	Presencia	-

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Acero AISI 304L

Tabla 116-3: Resultados de ensayos metalográficos en el acero AISI 304L

Caso de estudio		Fases presentes	Tamaño de grano	Dendritas	Corrosión Intergranular
Material base		Austenita	ASTM 7,5	-	Ausencia
Recocido a 1010°C		Austenita y ferrita	ASTM 6,5	-	Presencia
Normalizado a 1010°C		Austenita y ferrita	ASTM 7	-	Presencia
Normalizado a 1010°C seguido de un revenido a 600°C		Austenita y ferrita	ASTM 7	-	Presencia
Soldadura TIG con electrodo E309LMo	FZ	Austenita y ferrita	-	Columnar y equiaxial	Presencia
	ZAT	Austenita y ferrita	-	-	Presencia
	MB	Austenita y ferrita	ASTM 9	-	Presencia
Soldadura TIG con electrodo E309LMo seguido de un revenido a 600°C	FZ	Austenita	-	Columnar y equiaxial	Presencia
	ZAT	Austenita y ferrita	-	Columnar y equiaxial	Presencia
	MB	Austenita y ferrita	ASTM 9,5	-	Presencia
Soldadura TIG con electrodo E410	FZ	Austenita y ferrita	-	-	Presencia
	ZAT	Austenita y ferrita	ASTM 8	-	Presencia
	MB	Austenita y ferrita	ASTM 8,5	-	Ausencia
Soldadura TIG con electrodo E410 seguido de un revenido a 600°C	FZ	Martensita revenida	-	-	Ausencia
	ZAT	Austenita y ferrita	-	Columnar y equiaxial	Presencia
	MB	Austenita y ferrita	ASTM 9	-	Presencia

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Ensayo de microdureza

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por medio de los registros CIRT-REG-MICDUR.

### Acero ASTM A743 CA6-NM

**Tabla 117-3:** Resultados de microdureza en el acero ASTM A743 CA6-NM.

Codificación	Caso de estudio	Dureza [HV]	
M-CE1	Material base	266	
M-CE2	Normalizado desde 1100°C	335	
M-CE3	Normalizado desde 1000°C	364	
M-CE4	Recocido desde 1100°C	333	
M-CE5	Recocido desde 1000°C	364	
M-CE6	Recocido desde 1000°C seguido de un revenido desde 600°C	309	
M-CE7	Recocido desde 1100°C seguido de un revenido desde 600°C	303	
M-CE8	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo	FZ	350
		ZAT	395
		BM	390
M-CE9	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo Seguido de un revenido desde 640°C	FZ	277
		ZAT	298
		BM	299
M-CE10	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 620°C	FZ	290
		ZAT	312
		BM	291
M-CE11	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C	FZ	287
		ZAT	307
		BM	315,8
M-CE12	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 580°C	FZ	298
		ZAT	322,6
		BM	324,2
M-CE13	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 560°C	FZ	307,3
		ZAT	335
		BM	310

M-CE14	Soldadura TIG con electrodo E309LMo	FZ	185,6
		ZAT	383
		BM	266,6
M-CE15	Soldadura TIG con electrodo E309LMo seguido de un revenido desde 600°C	FZ	194,30
		ZAT	323
		BM	320,2

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Acero AISI 304L

**Tabla 118-3:** Resultados de microdureza en el acero AISI 304L.

Codificación	Caso de estudio	Dureza [HV]	
A-CE1	Material base		190
A-CE2	Recocido desde 1010°C		154
A-CE3	Normalizado desde 1010°C		136
A-CE4	Normalizado desde 1010°C seguido de un revenido desde 600°C		151
A-CE5	Soldadura TIG con electrodo E309LMo	FZ	177
		ZAT	177
		BM	184
A-CE6	Soldadura TIG con electrodo E309LMo seguido de un revenido desde 600°C	FZ	186
		ZAT	184
		BM	190
A-CE7	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo	FZ	315
		ZAT	185
		BM	189
A-CE8	Soldadura TIG con electrodo E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C	FZ	289
		ZAT	183
		BM	177

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## Ensayo de impacto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por medio de los registros CIRT-REG-IMP.

### Acero ASTM A743 CA6-NM

Tabla 119-3: Resultados de ensayo de impacto en el acero ASTM A743 CA6-NM

Codificación	Caso de estudio	Energía absorbida [J]	Resistencia al impacto [ $J/cm^2$ ]
M-CE1	Material base	98,53	122,0
M-CE11	Soldadura TIG E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C	131,8	157,9
M-CE15	Soldadura TIG E309LMo seguido de un revenido desde 600°C	134,5	159,5

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### Acero AISI 304L

Tabla 120-3: Resultados de ensayo de impacto en el acero ASTM A743 CA6-NM

Codificación	Caso de estudio	Energía absorbida [J]	Resistencia al impacto [ $J/cm^2$ ]
A-CE1	Material base	267,5	330,21
A-CE6	Soldadura TIG E309LMo seguido de un revenido desde 600°C	253,6	315,69
A-CE8	Soldadura TIG E410NiMo seguido de un revenido desde 600°C	15,6	192,52

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

## **INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **ACERO ASTM A743 CA6NM**

#### **DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS.**

Debido a que las transformaciones de Ms y AR son transformaciones atómicas las fracciones volumétricas que se formará de cada una de estas fases se encuentran solamente en función de la temperatura (Rojas, 2009, p. 15).

Se realizaron tratamientos térmicos entre el rango de Temperaturas Intercríticas Ms (600 °C) (Bilmes, Solari, & Llorente, 2001, p. 286) temperatura de austenización (1000 – 1100 °C) (ASTM, 2002, p. 2).

El tiempo de sostenimiento del tratamiento térmico depende del espesor del material al que se quiere garantiza la transformación microestructural, por lo que el tiempo de permanencia del tratamiento aplicado a rodets hidráulicos se encuentra alrededor de las 3 horas.

Según la norma ASTM A743 un enfriamiento a partir de los 300 °C el acero no experimentará ningún cambio microestructural, por lo que como parte del diseño se decidió aumentar la tasa de enfriamiento a partir de este punto (ASTM, 2002, p. 3).

La atmosfera en la que se desarrollaron los tratamientos térmicos es aire por lo que fenómenos como oxidación y descarburación no deben ser descartados durante la interpretación de resultados.

#### **INTERPRETACIÓN ESTEREOSCOPIA – SOLDADURA.**

La inspección del cordón de soldadura se realizó mediante el estereoscopio zeiss Discovery V12, en la fotografía se pudo visualizar que la soldadura de relleno aplicada en todos los casos de estudio se encuentra libre de defectos como: falta de fusión, penetración incompleta o agrietamiento.



**Figura 1-3.** Estereoscopia del cordón de soldadura

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

### INTERPRETACIÓN ENSAYOS METALGRÁFICOS:

Se observó que la transformación de la fase AR se encuentra estrechamente relacionada con la transformación de la fase martensítica, se presenta en la siguiente tabla las fases presentes en el acero ASTM A743 CA6-NM:

**Tabla 121-3:** Fases presentes en la investigación del acero ASTM A743 CA6-NM

T.T. DESDE TEMPERATURAS INTERCRITICAS	TRATAMIENTOS TÉRMICOS POST SOLDADURA
Martensita revenida Ms (40-45%)	Martensita revenida (70-80%)
Martensita fresca/noble Msf (40-45%)	Martensita fresca/noble Msf (15-20%)
Austenita retenida (1-10%)	Austenita retenida (3-13%)

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

En los casos de estudio donde presentó la morfología de martensita acicular, la fase de austenita retenida adoptó formas de piscinas finamente dispersas dentro de la matriz martensítica con dimensiones desde las 3,5 hasta las 8,5  $\mu\text{m}$ , sin embargo, cuando la morfología de la martensita se presente en forma de listón, sta vendrá siempre acompañada de AR en forma de películas (films), además de que su fracción volumétrica se verá disminuida hasta encontrarse dentro de los  $3-7\% f_{AR}$ .

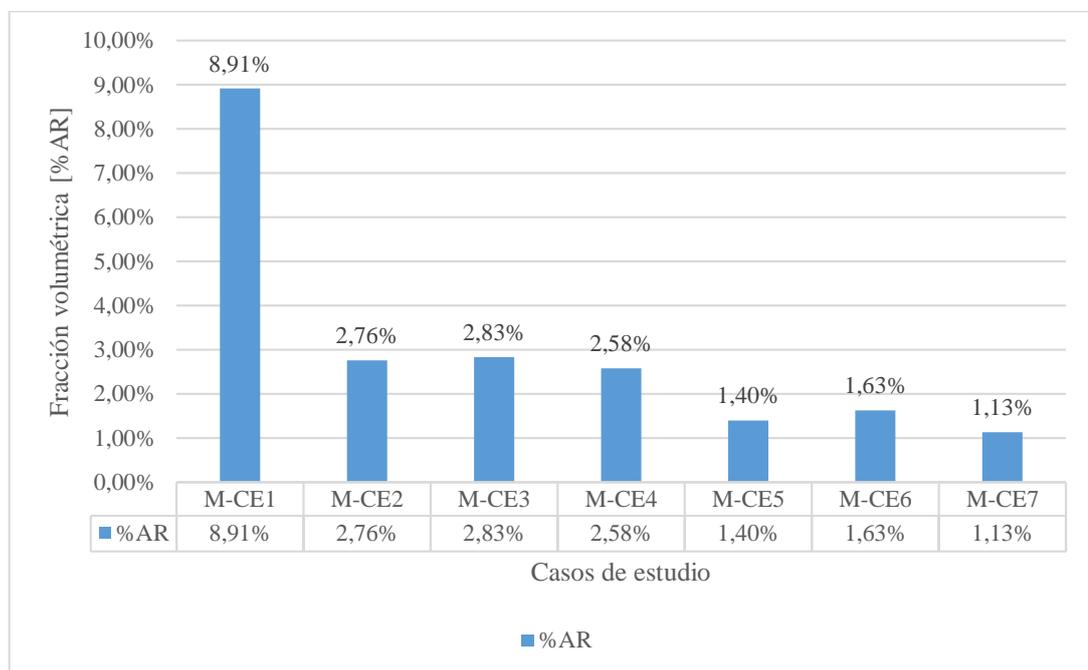
Se observa que la variación en la fracción volumétrica de la micro fase de austenita retenida se da a partir de los  $560\text{ }^{\circ}\text{C}$  (caso de estudio M-CE13) en adelante; del análisis XRD realizado por Rafael de Paula Silva, asegura que la formación de austenita retenida empieza desde las

temperaturas superiores a los 550 °C (austenita retenida que no se vuelve a transformar en martensita durante el enfriamiento)(De Paula Silva et al., 2017, p. 2).

Como parte de la caracterización de la fase AR sabemos que las medidas aproximadas de las piscinas que esta presenta, sus dimensiones longitudinales son aproximadamente de 8 – 10  $\mu\text{m}$  y una superficie aproximada de 23- 25  $\mu\text{m}^2$ .

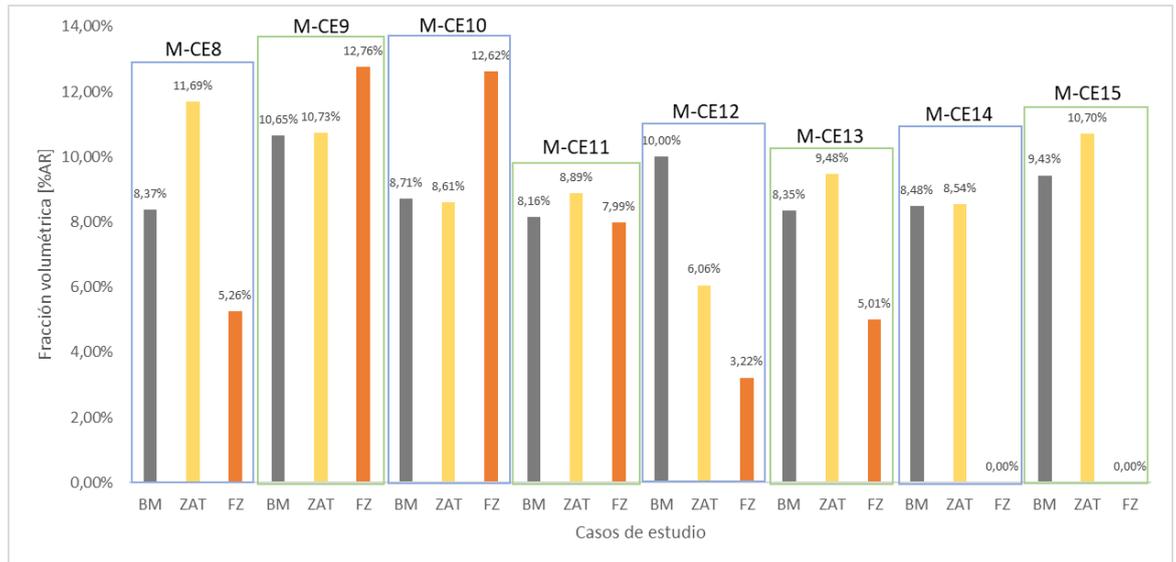
Se logró observar que la fracción volumétrica de la fase AR varía en función del número de etapas de tratamientos térmicos que haya recibido el material, siempre y cuando se haya superado la temperatura de 550 °C.

De las zonas inspeccionadas mediante ensayos metalográficos sobre las muestras, se observa que la zona afectada térmicamente (ZAT) es la que presenta una mayor fracción volumétrica en comparación con el material base y la zona de fusión.



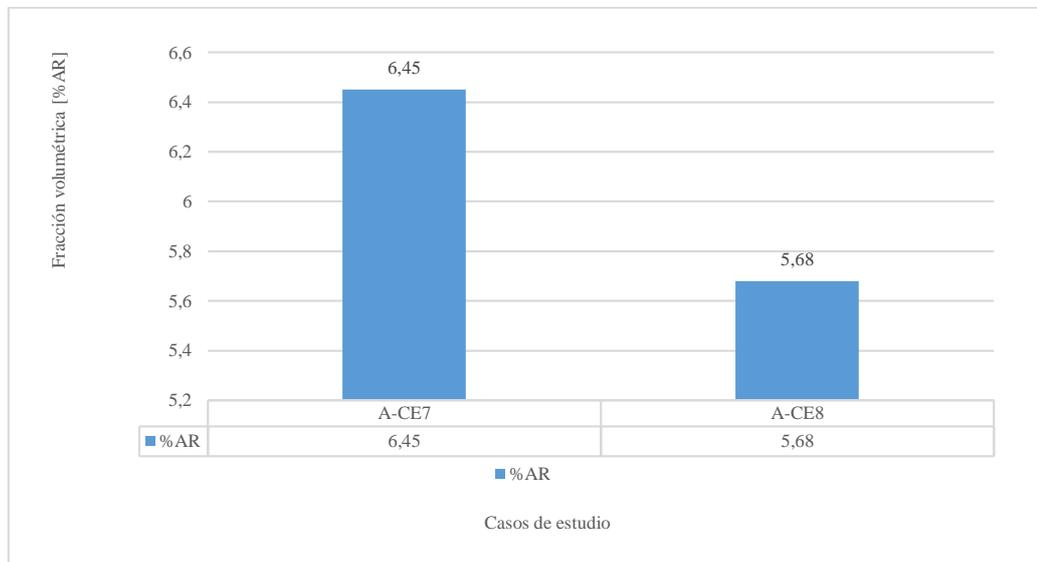
**Gráfico 4-3.** %AR en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a T.T.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019



**Gráfico 5-3.** %AR en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a soldadura

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019



**Gráfico 6-3.** %AR en la zona de fusión del acero AISI 304L sometidos a soldadura

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Se observa que la martensita depositada en el cordón de soldadura en su mayoría se presenta como martensita fresca (msf) además de que el tamaño de grano es más pequeño en comparación al tamaño de grano del material base (dando paso a la interpretación de que la dureza es mayor en la zona ZAT en comparación a la FZ); esta dureza también se ve relacionada con la morfología de la martensita, siendo la morfología de listón la visualizada en el material de aporte, mientras que en el material base tenemos martensita acicular fina.

Ahora es de gran importancia la relación que existe entre la austenita retenida y la martensita, se deduce que el cambio de morfología de la austenita retenida se encuentra en función de la morfología que toma la martensita, de forma resumida se puede afirmar lo siguiente:

**Tabla 122-3:** Morfología microestructural presente en el acero ASTM A743 CA6-NM

<b>MORFOLOGÍA MICROESTRUCTURAL – CASOS DE ESTUDIO: ACERO ASTM A743 CA6-NM</b>			
<b>MATRIZ</b>		<b>MICROFASE</b>	
Martensita acicular (agujas) / needles martensite.	Agujas de martensita - finas (thin)	Austenita retenida en forma de piscinas (pools of retained austenite).	Se encuentran finamente dispersas dentro de las agujas de martensita.
	Agujas de martensita - gruesas (coarse)		
Martensita de listón/ lath martensite.	Listones de martensita - finos (thin)	Austenita retenida en forma de películas/ laminas (films of retained austenite)	Se encuentran entre los listones de martensita fresca y martensita revenida
	Listones de martensita - gruesos (coarse)		

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Mediante los tratamientos térmicos, principalmente de revenido además de homogenizar el tamaño de grano, y aliviar tensiones, se obtiene que la morfología de la martensita que fue depositada es transformada desde listones (lath martensite) en agujas (needles martensite), siendo el tratamiento térmico más efectivo para una transformación completa de la martensita el del caso de estudio M-CE10 (revenido a 620 °C) (Callister, 2005, p. 339).

#### **TABLA COMPARATIVA DEL COMPORTAMIENTO DE LA AUSTENITA RETENIDA**

Al comparar la cantidad de energía absorbida durante el ensayo de impacto Charpy entre casos de estudio con diferentes fracciones volumétricas de austenita retenida se logró obtener las interpretaciones presentadas a continuación:

**Tabla 123-3:** Morfología presente en el acero ASTM A743 CA6-NM.

<b>COMPORTAMIENTO DE LA AUSTENITA RETENIDA – ENSAYO DE IMPACTO</b>	
AR – dispersión fina en forma de piscinas	AR – películas finas
<p>La energía de impacto capaz de absorber el material es mayor entre más fracción volumétrica de AR se encuentre presente en la muestra.</p> <p>La fina dispersión de AR dentro de la matriz martensítica actúa como pequeños colchones de absorción de energía de abrasión o impacto, manteniendo la dureza característica de la martensita, pero garantizando que no sea en demasía frágil.</p> <p>Debido al tipo de distribución (piscinas dispersas) de la AR en la matriz martensítica, los esfuerzos de impacto son distribuidos de forma homogénea en todo el material.</p>	<p>Presenta una menor capacidad de resistir energía de impacto en relación a la morfología de dispersión.</p> <p>En este caso la energía de impacto también es concentrada en la micro fase de AR, pero debido a la forma que adoptó (films/películas) y su ubicación entre listones de martensita revenida y martensita fresca el inicio de la fractura se da en estos films, además de que la posterior propagación de dislocaciones y fractura es más proclive a darse a través de las películas de AR.</p>

**Fuente:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Realizado por:** Chuquimarca K.; Garces H. 2019

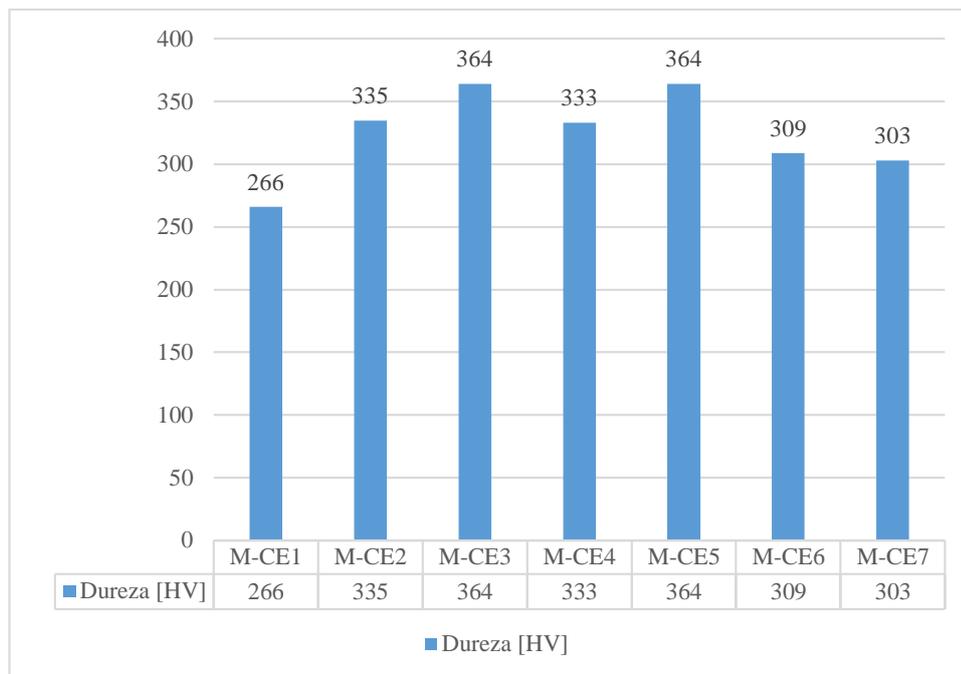
## INTERPRETACIÓN MICRODUREZAS

En esta investigación se realizó la evaluación de dureza del material como una estructura mixta es decir una composición de martensita revenida, fresca y austenita retenida, con un enfoque más detallado hacia la morfología y fracción volumétrica de la fase de austenita retenida.

Después de un proceso de recuperación por soldadura de relleno GTAW/TIG como los descritos por las guías de procedimiento de soldadura (Anexo C); se observa un cambio significativo en la dureza del material siendo el área con mayores valores de dureza la zona afectada térmicamente (ZAT), seguida de la zona de fusión (FZ) y el material base (BM) dando lugar a la posterior aplicación de tratamientos térmicos post soldadura, con el objetivo disminuir el gradiente de durezas.

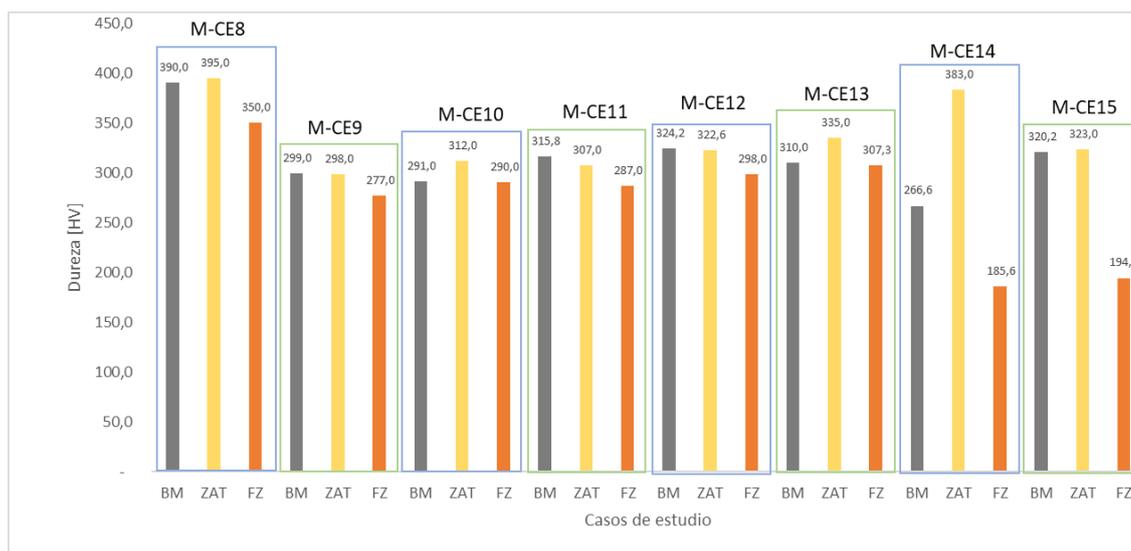
La fracción volumétrica de austenita retenida es muy pequeña como para influenciar de forma drástica en la dureza del material por lo que los valores de dureza general del material serán mayormente afectados por la fase predominante: matriz martensítica (casos de estudio M-CE1 al M-CE15) y matriz austenítica (A-CE1 al A-CE8).

Martensita fresca/noble (Msf) es más dura que la martensita revenida (Ms) en unos 20 – 50 HV1.



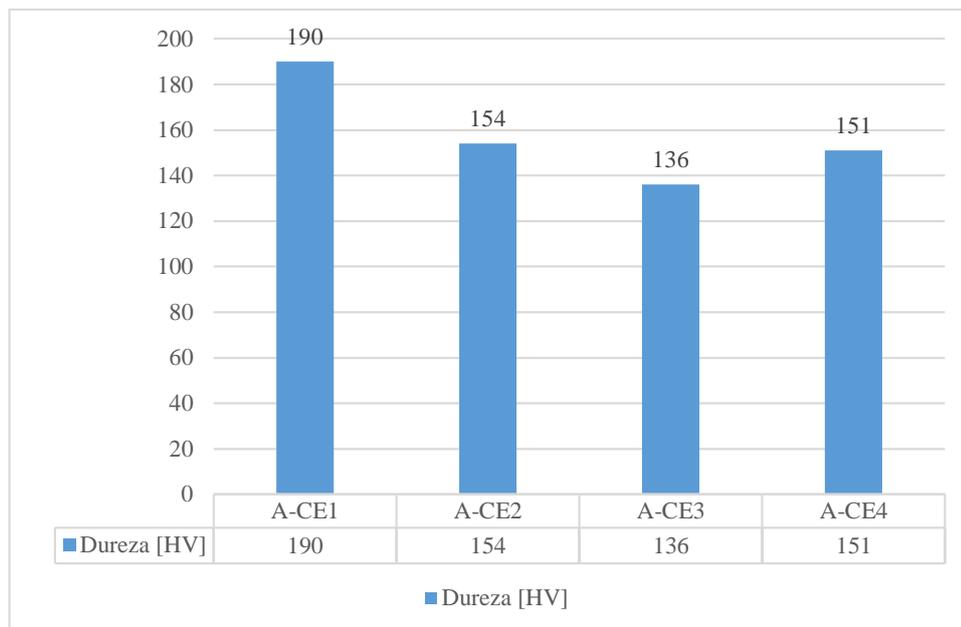
**Gráfico 7-3.** Dureza en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a T.T.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019



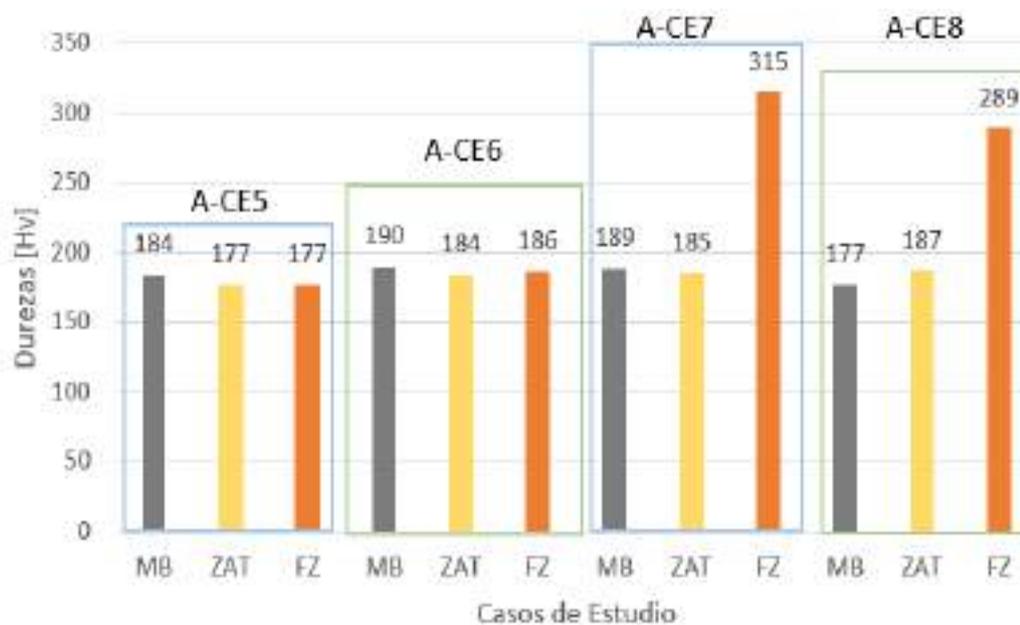
**Gráfico 8-3.** Dureza en el acero ASTM A743 CA6-NM sometidos a soldadura.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019



**Gráfico 9-3.** Dureza en el acero AISI 304L sometido a T.T.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019



**Gráfico 10-3.** Dureza en el acero AISI 304L sometidos a soldadura.

Realizado por: Chuquimarca K.; Garcés H. 2019

## INTERPRETACIÓN ENSAYOS CHARPY

De los resultados obtenidos después del ensayo Charpy se pudo relacionar la tenacidad del material con la microestructura compuesta de los especímenes, haciendo hincapié en las fracciones volumétricas de austenita retenida:

En el caso de estudio M-CE1 en el que el material se encuentra en condiciones de fábrica, se presenta una fracción de 8,91 %fAR con una tenacidad promedio de 99 J, por otra parte, en los casos de estudio M-CE11 Y M-CE15 los cuales son procesos utilizados para reparaciones de elementos hidráulicos se registran valores de 8 a 8,9 %fAR y 9,3 a 10,7%fAR con incrementos de tenacidad en 33,84% y 36,58% respectivamente, se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 124-3:** Resultados de los ensayos del acero ASTM A743 CA6-NM usados para reparación de partes hidráulicas.

Caso de estudio	Energía absorbida [J]	Zona	Dureza [HV]	%AR
M-CE1	98,53	-	266	8,91
M-CE11	131,87	BM	315,8	8,16
		ZAT	307	8,89
		FZ	287	7,99
M-CE15	134,57	BM	320,2	9,30
		ZAT	323	10,7
		FZ	194,3	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

**Tabla 125-3:** Resultados de los ensayos del acero AISI 304L usados para reparación de partes hidráulicas

Caso de estudio	Energía absorbida [J]	Zona	Dureza [HV]	Tamaño de grano
A-CE1	330,2	-	190	7,5
A-CE6	315,6	BM	189	9,5
		ZAT	185	-
		FZ	315	-

A-CE8	192,5	BM	177	9
		ZAT	183	-
		FZ	289	-

Fuente: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Realizado por: Chuquimarca K.; Garces H. 2019

Además de lo expuesto anteriormente se puede corroborar que con una microestructura con mayor cantidad de austenita se obtiene un mayor grado de tenacidad esto analizando los resultados obtenidos en los ensayos de impacto en los casos de estudio del acero inoxidable AISI 304L: A-CE1 (condiciones de fabricación), A-CE6 y A-CE8 (procesos de recuperación).

En las muestras donde se registraron incrementos en la fracción volumétrica de AR, su tenacidad también se vio mejorada, lo que sugiere que estas “islas” de AR dispersas en la matriz martensítica del material actúan como “colchones” de absorción de energía, dotando al material en general de una mayor capacidad de resistir energías de impacto.

“Las partículas de austenita retenida sufren una transformación martensítica durante la propagación de grietas en el ensayo Charpy. Esta transformación, inducida mecánicamente en la zona plástica, debería absorber energía adicional, aumentando así la tenacidad de manera efectiva” (Bilmes et al., 2001, p. 296).

Una de las propiedades mecánicas con mayor relevancia en el acero ASTM A743 CA6NM es la dureza por lo que si se presentaran durezas muy bajas este es susceptible a fisuración; en el proceso de calificación de soldadura para el acero ASTM A743 CA6-NM se debe presentar un valor mínimo de 27J según Rafael de Paula Silva y una dureza de 285 HB como máximo según la ASTM A743.

Los casos de estudio que presentan mejores resultados según lo expuesto por los autores nombrados anteriormente son: M-CE9 (Soldadura ER410NiMo + revenido desde 640°C) y M-CE10 (Soldadura ER410NiMo + revenido desde 620°C).

### **ACERO AISI 304L**

- En los casos de estudio A-CE5, A-CE6, A-CE7 y A-CE8 se observa un severo grado de deterioro debido a la precipitación de carburos y corrosión intergranular siendo destacable el caso A-CE6 que presenta un mayor grado de degradación. Se visualizó una relación directa entre el aumento de la cantidad de carburos y las altas temperaturas a las que se fundió el

material además de los tratamientos térmicos post soldadura; lo que quiere decir que el Cr contenido en material precipitó formando carburos, y debido a la disminución del porcentaje de cromo en zonas de importancia como la ZAT se disminuye su resistencia a la corrosión de forma local, dando paso a la corrosión intergranular, este fenómeno es conocido como sensitización y según José Luddey Marulanda la sensitización puede ser visualizada en forma de bandas con dirección paralela al cordón de soldadura.

- Entre los casos de estudio A-CE5 (aporte 309LMo) y A-CE6 (aporte 309LMo + revenido desde 600°C) donde fue aplicado un tratamientos térmicos post soldadura registramos que no existe mayor variación de la dureza del material variando entre 1 – 7 HV 1, sin embargo, se observa problemas de sensitización de la zona afectada térmicamente, volviendo al material más susceptible a corrosión intergranular; con el objetivo de evitar este problema, se sugiere no realizar ningún tratamiento post soldadura en elementos hidráulicos cuya matriz tanto del material base como del material sea austenítica sean austeníticas.
- Por otra parte, en el caso de tener un elemento con una matriz austenítica (AISI 304L) y su aporte sea martensítico (ER410NiMo) es decir una soldadura disímil, el gradiente de durezas entre la zona de fusión y el material base es demasiado grande, 125 HV1 aproximadamente, posterior al tratamiento de revenido 110 HV1, por lo que no se sugiere practicar este tipo de soldadura, debido a la mayor fragilidad del material de aporte en comparación al material base. Con lo mencionado anteriormente se pretende obtener un mayor campo de visión respecto a la incidencia de las fases en las propiedades mecánicas de un material soldado para futuros diseño de procedimientos de soldadura WPS.
- En la zona de fusión de los casos de estudio en los que se usaron electrodo ER309LMo se presentaron la formación de dendritas, esto debido a la nucleación de la matriz austenítica la cual no conformó granos o límites de grano producto de la velocidad de enfriamiento al cual se dio al material.
- A pesar de someter a un tratamiento térmico desde 600 °C al acero AISI 304L su zona de fusión mantuvo la presencia tanto de dendritas columnares y equiaxiales.

## CONCLUSIONES

- Las temperaturas del tratamiento térmico son un factor importante teniendo por objetivo la transformación de la martensita fresca en forma de listones depositada después de un proceso de soldadura en martensita revenida en forma de agujas y por consiguiente la AR en forma de films en AR en forma de piscinas finamente dispersas.
- La fracción volumétrica de AR obtenida posterior al proceso de recuperación de elementos hidráulicos es de un  $8 \pm 10 \% f_{RA}$ , siendo la misma que la del material en condiciones de fábrica.
- A pesar de que los aceros ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L presenten algunas fases en su microestructura la dureza que estos aceros presenten estarán ligados directamente a la matriz que estos contengan en su microestructura.
- El metal de aporte utilizado para la recuperación de elementos hidráulicos como rodetes, álabes, cumple el papel más importante para el posterior diseño de T.T. donde el principal objetivo es el de garantizar un estado del material lo más cercano posible a las condiciones de fábrica (homogéneo).
- En los casos de estudio en los cuales se procedió a realizar soldadura presentan una mayor resistencia a la corrosión/ataque químico en la zona de fusión respecto a las demás zonas, una explicación a este fenómeno es que el cordón depositado contiene mayores porcentajes de Cr, Ni, Mo en comparación al material base, elementos cuyo objetivo principal en los aceros inoxidable es el de mejorar su resistencia a la corrosión y que el material mantenga sus propiedades mecánicas a altas temperaturas.
- El caso de estudio con mejores resultados, en cuanto a microestructura, dureza, fracción volumétrica y morfología de austenita retenida similares al material en condiciones de fabricación son el M-CE11 y el M-CE12 por lo que como continuación de este estudio se propone la aplicación de la WPS presentada en esta investigación.
- El caso de estudio con resultados más desfavorables, es decir una microestructura heterogénea, fracción volumétrica diferente y un alto gradiente entre las durezas del material base y zona de fusión es el caso de estudio M-CE8, por lo que no se recomienda utilizar este caso de estudio para la reparación de elementos hidráulicos.
- El acero AISI 304L a pesar de su condición de ser inoxidable presenta corrosión intergranular al ser sometido a tratamientos térmicos y a procesos de soldadura TIG, presentándose el fenómeno de sensitización.
- Los aceros ASTM A743 CA6-NM y AISI 304L a pesar de su grado de pureza presentan la precipitación de carburos en la microestructura formando principalmente carburos de cromo,

níquel, y manganeso propiciando de esta forma dificultad en la formación de la capa pasiva de óxido en la superficie del material teniendo como resultado la corrosión intergranular en la microestructura del material.

- El acero AISI 304L debido a su composición y al bajo porcentaje de carbono que presentan no son susceptibles a los tratamientos térmicos, además que al ser sometidos a procesos de soldadura TIG no necesariamente deben ser sometidos a tratamientos térmicos post soldadura.
- La soldadura disímil en soldadura de relleno teniendo como material base al acero ASTM A743 CA6-NM y como material de aporte el electrodo ER309LMo es una excelente alternativa para procesos de reparación de álabes y otros elementos hidráulicos puesto que se mejora significativamente la tenacidad y a su vez la energía de absorción del material a los impactos antes de llegar al punto de fractura del material, a su vez manteniendo la calidad del material de ser inoxidable.

## RECOMENDACIONES

Existen varios parámetros dentro de metalografía y propiedades mecánicas que debido a los objetivos de la investigación no fueron llevados a cabo, sin embargo, se consideran como parte complementaria de gran importancia a realizar:

- La caracterización de carburos precipitados durante los procesos de tratamiento térmico post soldadura (PWHT) en los aceros inoxidable martensítico y austeníticos, además se sugiere realizar un análisis de corrosión del material en este estado, para evidenciar la relación que existe entre los carburos precipitados y la resistencia a la corrosión.
- Caracterizar los mecanismos de falla de la austenita retenida mediante microscopía (SEM) después de haberse realizado ensayos de impacto Charpy con el objetivo de determinar el comportamiento de esta micro fase durante la fractura del material.
- Debido a que durante la puesta en operación de elementos hidráulicos como turbinas, estos se encuentran expuestos a temperaturas inferiores a la temperatura ambiente, principalmente durante períodos de invierno, se propone en un futuro realizar la investigación de las transformaciones martensítica y austenítica en los aceros ASTM A743 CA6NM y AISI 304L al ser aplicados tratamientos térmicos criogénicos, con el fin de determinar tanto el cambio microestructural del acero así como el gradiente de variación en sus propiedades mecánicas respecto a las condiciones de fabricación.

## BIBLIOGRAFÍA

**Aguilar, J.** *Estructuras Cristalinas Metálicas*, pp. 25–28.

*Ensayos destructivos en la soldadura, Temas Para La Educación*, 2011, pp. 1–11.

*Introducción a los Ensayos No Destructivos (END)*, 2017 9. Recuperado de: [http://www.dimf.upct.es/personal/jb\\_a/presentacion\\_end.pdf](http://www.dimf.upct.es/personal/jb_a/presentacion_end.pdf)

**ASTM A743.** *Standard Specification for Castings, Iron-Chromium, Iron-Chromium-Nickel, Corrosion Resistant, for General Application.*

**ASTM E562.** *Standard Test Method for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count. Practice.*

**ASTM E3-11.** Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens 1.

**ASTM E112-13.** Standard test methods for determining average grain size.

**ASTM E3.** Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.

**Auz, J.** 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 titulación) (Maestría) Universidad Técnica de Ambato, Ambato- Ecuador. 2011. pp 20-60.

**Avner, S.** *Introducción a la Metalurgia Física*, 2ª ed., pp. 120-140.

**Balseca, Y., & Telenchana, A.** PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN E INSPECCIÓN DEL RODETE FRANCIS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN FRANCISCO MEDIANTE SUSTITUCIÓN DE MATERIAL DE LOS ÁLABES POR INSERTOS METÁLICOS PREFABRICADOS (Trabajo de titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2019. pp.100-110.

**BELZUNCE, F.** *ACEROS Y FUNDICIONES: ESTRUCTURAS, TRANSFORMACIONES, TRATAMIENTOS TERMICOS y APLICACIONES*, 2001, pp.27.

**Bilmes, P. D., Solari, M., & Llorente, C. L.** "Characteristics and effects of austenite resulting from tempering of 13Cr-NiMo martensitic steel weld metals". *Materials Characterization*. pp.20-25.

**Callister, W.** *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* 5ª ed, 2005

**Cañizares, C., & Quinchuela, J.** Tecnologías Para La Recuperación Por Soldadura De Álabes De Turbinas Hidráulicas Construidas De Acero Inoxidable Martensítico ASTM A743 CA-6NM (Uns J91540) (Trabajo de titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2017. pp. 22-26.

**Capote, V.** *Metalografía, Temas Para La Educación* [blog]. [Consulta: 12 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf>, 2011

- Castro, F., Escorcía, B., & Ramírez, E.** *Aceros Inoxidables y sus Aplicaciones*. Barranquilla-Colombia, 2012, pp. 10-12.
- Course Hero.** *La estructura cristalina* [blog]. [Consulta: 6 julio 2019]. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/p4t42r20/La-estructura-cristalina-cambia-de-FCC-austenita-a-BCT-martensita-La/>, n.d.
- De Paula Silva, R., Faria, M. I. S. T., De Almeida, L. F. C. B., Nunes, C. A., Vieira, D., & Borges, W.** "Microstructure and mechanical properties of ASTM A743 CA6NM steel welded by FCAW process". *Materials Research*. pp. 10-16.
- DIPAC.** Ejes AISI 304 (Inoxidable) [blog]. [Consulta: 9 noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>, 2016
- Esparza, A.** *Trazabilidad y Unificación de las escalas de Dureza en México*. Centro Nacional de Metrología, México, 1998, pp. 2-3.
- Fulcer, J.** *Todo lo que usted siempre quiso saber sobre TIG*. [blog]. [Consulta: 4 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.thefabricator.com/article/welding/todo-lo-que-usted-siempre-quiso-saber-sobre-gtaw>, 2008
- Gámez, L.** *Análisis de la soldabilidad de aceros inoxidables austeníticos unidos mediante el proceso GMAW aplicados a la fabricación de tanques de lixiviación*, 2017. pp. 15-19.
- GoodFellow.** Acero Inoxidable - AISI 304 [blog]. [Consulta: 30 diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>.
- Güemes, A., & Martín, N.** "Ciencia de materiales para ingenieros" Ciencia de materiales [en línea], 2012, pp. 2-4. [Consulta: 6 mayo agosto 2019]. Disponible en: [http://www.casadellibro.com/ebook-ciencia-de-materiales\\_ebook/9788470634741/2026088](http://www.casadellibro.com/ebook-ciencia-de-materiales_ebook/9788470634741/2026088), 2012
- Horwitz, H.** *SOLDADURA APLICACIONES Y PRÁCTICA*, Instituto Técnico de la Estructura en Acero, 2014, pp.6-7.
- INTECWELD.** *Curso de Soldadura en Proceso GTAW-ARGON* [blog]. [Consulta: 7 julio 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/320107683/Manual-de-Soldadura-GTAW-pdf>, 2013
- Leon, D.** *Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidables y al carbono*, 2016, pp. 51-54.
- Mendez, C. M., Gervasi, C. A., Llorente, I. C., Ceré, D. S. M., & Giudice, C. A.** (2013). Corrosión de aceros inoxidables martensíticos 13CrNiMo de bajo contenido de carbono de uso en las industrias de gas y petróleo [En línea] (Trabajo de titulación). (Doctorado), Universidad Nacional de la Plata, Argentina. 2013, pp. 21-24, [Consulta: 9 junio de 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/5ead/509cd0a4de041877235495531be54d15353a.pdf>
- Ortega, Y.** Prueba de impacto: Ensayo Charpy (Vol. 52), 2006
- Ospina, R., Aguirre, H., & Parra, H.** *SOLDABILIDAD EN ACEROS INOXIDABLES Y*

*ACEROS DISIMILES*, 2007, pp. 10-12.

**Pástor, M.** Introducción a la metalurgia de la soldadura [en línea]. ESPOCH. [Consulta: 20 septiembre 2009]. Disponible en: <http://www.aceroplatea.es/docs/documento138.pdf>, 2004

**Pero-Sanz Elorz, J.** *Ciencia e ingeniería de materiales : metalurgia física : estructura y propiedades*, 2000, pp. 17-19.

**Phillips, D.** *WELDING ENGINEERING AN INTRODUCTION*, 2016, pp. 3-4.

**Pinzon, M., Trejos, E. C., & Medina, P. D.** *Introducción a los tratamientos termicos para aceros*, 2009, pp. 33-37.

**Rojas, J.** Identificación y cuantificación de fases en acero inoxidable ASTM A 743 Grado CA6NM mediante técnica de difracción de rayos X, *Science and Materials*. (Vol. 1), pp. 41-42.

**Sagñay, B., & Pilamunga, L.** ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL DE MECANIZADO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE TURBINAS FRANCIS Y PELTON DE GENERACIÓN ELÉCTRICA PARA LA EMPRESA CELEC E.P (Trabajo de titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2012. pp. 22-29.

**Sealing, C.** *Clasificación Aceros Inoxidables* [blog]. [Consulta: 17 julio 2019]. Disponible en: <http://calvosealing.com/>, 2012

**Smith, W.** *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 1998, pp. 97-99

**STRUERS.** *Ensayos de dureza Vickers* [blog]. [Consulta: 29 julio 2019]. Disponible en: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing/Vickers#application>, 2019