



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

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE  
CALENTAMIENTO EN EL TAMAÑO DE GRANO Y LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1018 EN  
CONDICIONES DE NORMALIZADO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA MECÁNICA**

**AUTORAS:**

**KARINA ELIZABETH GONZÁLEZ MACAS**

**EVELYN PAOLA VILLARROEL PÉREZ**

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE  
CALENTAMIENTO EN EL TAMAÑO DE GRANO Y LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1018 EN  
CONDICIONES DE NORMALIZADO”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA MECÁNICA**

**AUTORAS: KARINA ELIZABETH GONZÁLEZ MACAS**

**EVELYN PAOLA VILLARROEL PÉREZ**

**DIRECTOR: Ing. CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR**

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Karina Elizabeth González Macas; y Evelyn Paola Villarroel Pérez

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.

Nosotras, Karina Elizabeth González Macas y Evelyn Paola Villarroel Pérez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autoras asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de diciembre de 2022



Karina Elizabeth González Macas

C.I: 030249102-2



Evelyn Paola Villarroel Pérez

C.I: 180439290-8

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO EN EL TAMAÑO DE GRANO Y LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO AISI 1018 EN CONDICIONES DE NORMALIZADO”**, realizado por la señorita: **KARINA ELIZABETH GONZALEZ MACAS** y la señorita **EVELYN PAOLA VILLARROEL PÉREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Msc. Edwin Fernando Viteri Nuñez <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-01
Ing. MSc. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-12-01
Ing. MSc. Nestor Alcivar Ulloa Auqui <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-01

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres Antonio y Beatriz que son lo más valioso que la vida me ha dado y el motor que me impulsa a seguir siempre adelante. El haberme inculcado desde niña la disciplina de estudiar y luchar por lo que uno realmente desea, el creer en mí y principalmente el infinito amor y el apoyo incondicional que ellos me han brindado en todo momento, han permitido que logre uno de los sueños que he anhelado desde muy pequeña, convertirme en una ingeniera.

¡Esto es por ustedes y para ustedes!

Karina

A mis padres Patricio y Rocío quienes con su amor y sacrificio han estado presentes en cada momento, especialmente en este proceso, motivándome y ayudándome a cumplir este anhelo tan deseado, y a mi hermano Juan que con su cariño y protección ha sido un apoyo fundamental en esta etapa sabiéndome aconsejar para tomar las mejores decisiones.

Evelyn

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Antonio y Beatriz por todo el esfuerzo que han hecho para apoyarme siempre.

A una persona muy importante, Augusto Castro, que ha estado durante todo este largo periodo académico, apoyándome, motivándome a ser siempre mejor y, sobre todo, recordándome mis objetivos. Gracias por hacer de este proceso una experiencia más fácil.

A mis queridos hermanos David, Janeth y Fernanda que han estado siempre acompañándome.

A mis docentes de la facultad de mecánica y especialmente a mi director del trabajo Ing. Carlos Serrano y miembro Ing. Néstor Ulloa que con su paciencia y profesionalismo han sabido direccionar este proyecto.

Karina

A Dios por darme la fortaleza en aquellos momentos de dificultad e inseguridad.

A mis padres Patricio y Rocío por su incondicional amor, sacrificio y apoyo que siempre me dan, sin importar las circunstancias, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A mi hermano Juan por cuidarme y estar presente en cada momento, motivándome y guiándome a cada paso.

A mis amigos, especialmente a Pedro por haber sido mi familia, mi apoyo, y mi ayuda.

A mis docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al máster Carlos Serrano, director de mi proyecto de titulación y al máster Néstor Ulloa, asesor de mi proyecto de titulación.

Evelyn

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Delimitación.....	4
1.2.1. <i>Delimitación espacial</i> .....	4
1.2.2. <i>Delimitación sectorial</i> .....	4
1.3. Formulación del problema.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Acero 1018.....	6
2.1.1. <i>Composición química del acero AISI 1018</i> .....	6
2.2. Diagrama hierro-carbono.....	7
2.3. Puntos críticos de los aceros.....	11
2.4. Tratamientos térmicos.....	12
2.4.1. <i>Recocido</i> .....	12
2.4.2. <i>Recocido de regeneración</i> .....	13
2.4.3. <i>Normalizado</i> .....	14
2.5. Propiedades mecánicas.....	14
2.5.1. <i>Resistencia a la tracción</i> .....	15
2.5.2. <i>Tenacidad</i> .....	15

2.5.3.	<i>Dureza</i> .....	16
2.6.	<b>Ensayos</b> .....	17
2.6.1.	<i>Espectrometría de emisión por chispa</i> .....	17
2.6.2.	<i>Ensayo de metalografía</i> .....	18
2.6.2.1.	<i>Preparación de muestras metalográficas</i> .....	18
2.6.3.	<i>Ensayo de tracción</i> .....	19
2.6.4.	<i>Ensayo de tenacidad</i> .....	20
2.6.5.	<i>Ensayo de dureza Brinell</i> .....	21
2.7.	<b>Equipos</b> .....	22
2.7.1.	<i>Microscopio óptico</i> .....	22
2.7.2.	<i>Horno para tratamientos térmicos</i> .....	23
2.7.3.	<i>Durómetro</i> .....	23
2.7.4.	<i>Máquina universal para ensayo de tracción</i> .....	24
2.7.5.	<i>Máquina para ensayo Charpy</i> .....	24
2.8.	<b>Normas</b> .....	25
2.8.1.	<i>Norma ASTM E3 "Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas"</i> .....	25
2.8.2.	<i>Norma ASTM E112 "Métodos de prueba estándar para la determinación del tamaño de grano"</i> .....	26
2.8.3.	<i>Norma ASTM E8M "Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos"</i> .....	26
2.8.4.	<i>Norma ASTM E23-12C "Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos"</i> .....	26
2.8.5.	<i>Norma ASTM E10 "Método de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos"</i> .....	27

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	28
3.1.	<b>Material utilizado</b> .....	28
3.1.1.	<i>Composición química del material utilizado</i> .....	29
3.2.	<b>Espectrometría</b> .....	29
3.2.2.	<i>Espectrómetro de chispa</i> .....	29
3.2.3.	<b>Procedimiento</b> .....	29
3.2.3.1.	<i>Obtención de las probetas</i> .....	30
3.2.3.2.	<i>Limpieza de las probetas</i> .....	31

3.2.3.3.	<i>Uso del espectrómetro de chispa</i> .....	31
3.2.3.4.	<i>Lectura de datos</i> .....	32
<b>3.3.</b>	<b>Cálculo de la temperatura crítica superior para acero AISI 1018</b> .....	32
<b>3.4.</b>	<b>Determinación de las temperaturas de calentamiento</b> .....	32
<b>3.5.</b>	<b>Cálculo del tiempo de austenización (tiempo de permanencia a la temperatura de calentamiento)</b> .....	33
<b>3.6.</b>	<b>Marcado de probetas</b> .....	33
<b>3.7.</b>	<b>Tratamientos térmicos</b> .....	34
3.7.1.	<i>Obtención de probetas</i> .....	35
3.7.2.	<i>Etapas del tratamiento térmico</i> .....	35
3.7.3.	<i>Horno para tratamientos térmicos</i> .....	36
3.7.4.	<i>Descripción de las etapas del tratamiento térmico</i> .....	36
3.7.4.1.	<i>Calentamiento</i> .....	37
3.7.4.2.	<i>Tiempo de austenización (permanencia de temperatura fijada)</i> .....	40
3.7.4.3.	<i>Enfriamiento</i> .....	40
<b>3.8.</b>	<b>Análisis Metalográfico</b> .....	40
3.8.2.	<i>Obtención de probetas</i> .....	41
3.8.3.	<i>Procedimiento para la preparación de muestras metalográficas</i> .....	41
3.8.3.1.	<i>Corte transversal</i> .....	42
3.8.3.2.	<i>Montaje y dimensiones de la probeta</i> .....	43
3.8.3.3.	<i>Desbaste y pulido</i> .....	43
3.8.3.4.	<i>Ataque químico</i> .....	47
3.8.4.	<i>Obtención de las micrografías</i> .....	48
3.8.5.	<i>Tamaño de grano</i> .....	50
3.8.5.1.	<i>Cálculo del tamaño de grano</i> .....	50
<b>3.9.</b>	<b>Ensayo de Tracción</b> .....	52
3.9.1.	<i>Procedimiento del ensayo de Tracción</i> .....	52
3.9.2.	<i>Obtención de probetas</i> .....	53
3.9.3.	<i>Máquina Universal</i> .....	54
<b>3.10.</b>	<b>Ensayo de Tenacidad</b> .....	55
3.10.1.	<i>Procedimiento</i> .....	55
3.10.2.	<i>Obtención de probetas</i> .....	56
3.10.3.	<i>Máquina de ensayos Charpy</i> .....	57
<b>3.11.</b>	<b>Ensayo de Dureza Brinell</b> .....	58
3.11.1.	<i>Procedimiento</i> .....	58
3.11.2.	<i>Obtención de probetas</i> .....	59

3.11.3.	<i>Descripción del proceso</i> .....	59
3.12.	<b>Cálculo de escala de micrografías</b> .....	61
3.13.	<b>Cálculo del error muestral de los resultados de los ensayos</b> .....	62

## CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....	63
4.1.	<b>Resultados de Espectrometría</b> .....	63
4.2.	<b>Resultado de temperatura crítica superior</b> .....	63
4.3.	<b>Resultado del tiempo de austenización o permanencia a la temperatura de calentamiento</b> .....	63
4.4.	<b>Resultados del análisis metalográfico</b> .....	64
4.4.1.	<i>Muestra sin tratamiento térmico</i> .....	64
4.4.2.	<i>Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 900 °C</i> .....	64
4.4.3.	<i>Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1000 °C</i> .....	65
4.4.4.	<i>Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1100 °C</i> .....	66
4.4.5.	<i>Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1200 °C</i> .....	66
4.5.	<b>Tamaño de grano</b> .....	68
4.6.	<b>Resultados del Ensayo de Tracción</b> .....	71
4.7.	<b>Resultados del Ensayo de Impacto Charpy</b> .....	76
4.8.	<b>Resultados del Ensayo de Dureza Brinell</b> .....	79
4.9.	<b>Variación de las propiedades mecánicas con respecto al tamaño de grano</b> .....	80
4.10.	<b>Resultados del cálculo del error muestral</b> .....	82
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	84
	<b>RECOMEDACIONES</b> .....	85
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Propiedades físicas del acero AISI 1018.....	6
<b>Tabla 2-2:</b>	Composición química del acero AISI 1018.....	7
<b>Tabla 3-2:</b>	Tipos de penetradores y los tipos de huellas producidas asociados a cuatro ensayos de dureza comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rock-well. ....	17
<b>Tabla 1-3:</b>	Características del espectrómetro de chispa.....	29
<b>Tabla 2-3:</b>	Características del horno para tratamientos térmicos .....	36
<b>Tabla 3-3:</b>	Características del banco portalijs .....	44
<b>Tabla 4-3:</b>	Características de la pulidora .....	46
<b>Tabla 5-3:</b>	Características del microscopio óptico.....	49
<b>Tabla 6-3:</b>	Características de la máquina universal .....	54
<b>Tabla 7-3:</b>	Características del péndulo charpy.....	57
<b>Tabla 8-3:</b>	Características del durómetro.....	59
<b>Tabla 9-3:</b>	Características del microscopio óptico de medición .....	60
<b>Tabla 1-4:</b>	Composición Química del Acero AISI 1018.....	63
<b>Tabla 2-4:</b>	Resultados del cálculo del tamaño de grano.....	69
<b>Tabla 3-4:</b>	Resultados del cálculo del tamaño de grano.....	70
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1200 °C. ....	71
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1100 °C. ....	72
<b>Tabla 6-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1000 °C. ....	72
<b>Tabla 7-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 900 °C. ....	72
<b>Tabla 8-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas sin tratamiento térmico. 73	
<b>Tabla 9-4:</b>	Resultados promedios de los ensayos de tracción .....	73
<b>Tabla 10-4:</b>	Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1200 °C.....	76
<b>Tabla 11-4:</b>	Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1100 °C.....	76
<b>Tabla 12-4:</b>	Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1000 °C.....	77
<b>Tabla 13-4:</b>	Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 900 °C.....	77
<b>Tabla 14-4:</b>	Resultados de los ensayos de tracción de las probetas sin tratamiento térmico. 77	
<b>Tabla 15-4:</b>	Resultados promedios de los ensayos de impacto .....	78
<b>Tabla 16-4:</b>	Resultados promedios de los ensayos de dureza Brinell .....	79
<b>Tabla 17-4:</b>	Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción.....	82

<b>Tabla 18-4:</b>	Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción.....	82
<b>Tabla 19-4:</b>	Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción.....	83

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Diagrama hierro-carbono .....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Estructura Widmanstätten .....	10
<b>Ilustración 3-2:</b>	Ferrita Acicular .....	10
<b>Ilustración 4-2:</b>	Posición de los puntos críticos .....	11
<b>Ilustración 5-2:</b>	Recocido de regeneración .....	14
<b>Ilustración 6-2:</b>	Curva típica de tracción hasta la fractura, punto F. La .....	15
<b>Ilustración 7-2:</b>	Esquema de un aparato estándar para la prueba de impacto .....	16
<b>Ilustración 8-2:</b>	Espectrómetro de emisión de chispa .....	18
<b>Ilustración 9-2:</b>	Sierra cinta horizontal .....	18
<b>Ilustración 10-2:</b>	Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. ....	20
<b>Ilustración 11-2:</b>	Dibujo esquemático de un aparato de ensayos de impacto (Charpy) .....	20
<b>Ilustración 12-2:</b>	Esquema del ensayo .....	21
<b>Ilustración 13-2:</b>	Partes principales de microscopio .....	22
<b>Ilustración 14-2:</b>	Durómetro mecánico .....	23
<b>Ilustración 15-2:</b>	Máquina universal de ensayos .....	24
<b>Ilustración 16-2:</b>	Péndulo de Charpy a) antes del impacto y b) después del impacto. ....	25
<b>Ilustración 1-3:</b>	Grupo de doce probetas .....	28
<b>Ilustración 2-3:</b>	Diagrama de flujo para espectrometría .....	30
<b>Ilustración 3-3:</b>	Dimensiones de las probetas para metalografía .....	31
<b>Ilustración 4-3:</b>	Región del diagrama se indica el tramo de temperaturas de tratamiento térmico del acero al carbono. ....	33
<b>Ilustración 5-3:</b>	Muestras marcadas luego de los tratamientos térmicos .....	34
<b>Ilustración 6-3:</b>	Muestras marcadas luego de los ensayos .....	34
<b>Ilustración 7-3:</b>	Esquema de la secuencia del tratamiento térmico empleado .....	35
<b>Ilustración 8-3:</b>	Diagrama de flujo para espectrometría .....	37
<b>Ilustración 9-3:</b>	Grupo de probetas en el horno .....	37
<b>Ilustración 10-3:</b>	Control de temperatura a 900°C .....	38
<b>Ilustración 11-3:</b>	Control de temperatura a 1000°C .....	38
<b>Ilustración 12-3:</b>	Control de temperatura a 1100°C .....	39
<b>Ilustración 13-3:</b>	Control de temperatura a 1200°C .....	39
<b>Ilustración 14-3:</b>	Dimensiones de las probetas para metalografía .....	41
<b>Ilustración 15-3:</b>	Muestras de acero AISI 1018 cortadas .....	42
<b>Ilustración 16-3:</b>	Papeles o lijas para esmerilado. Fotomicrografía después de varias etapas de esmerilado .....	44

<b>Ilustración 17-3:</b>	Desbaste fino de las muestras .....	45
<b>Ilustración 18-3:</b>	Pulido de las muestras.....	46
<b>Ilustración 19-3:</b>	Ataque químico de las muestras.....	48
<b>Ilustración 20-3:</b>	Microscopio óptico usado .....	48
<b>Ilustración 21-3:</b>	Visualización de micrografías en el ordenador .....	49
<b>Ilustración 22-3:</b>	Conteo de granos en un área de una pulgada cuadrada en una micrografía de 100X. ....	51
<b>Ilustración 23-3:</b>	Diagrama de flujo para tracción.....	53
<b>Ilustración 24-3:</b>	Dimensiones de las probetas para tracción.....	54
<b>Ilustración 25-3:</b>	Diagrama de flujo para tenacidad .....	56
<b>Ilustración 26-3:</b>	Dimensiones de las probetas de tenacidad .....	57
<b>Ilustración 27-3:</b>	Diagrama de flujo para dureza Brinell .....	58
<b>Ilustración 28-3:</b>	Dimensiones de las probetas para dureza.....	59
<b>Ilustración 29-3:</b>	Uso del durómetro del laboratorio de Materiales -ESPOCH.....	60
<b>Ilustración 30-3:</b>	Medición de diámetros de las indentaciones .....	61
<b>Ilustración 1-4:</b>	Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras sin tratamiento térmico. Atacadas con Nital al 5%. A 100X. ....	64
<b>Ilustración 2-4:</b>	Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 900° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.....	65
<b>Ilustración 3-4:</b>	Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1000° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.....	65
<b>Ilustración 4-4:</b>	Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1100° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.....	66
<b>Ilustración 5-4:</b>	Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1200° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.....	67
<b>Ilustración 6-4:</b>	Estructura Widmanstatten en un Acero con 0.2 %C, enfriado desde una elevada temperatura de austenización. 100X. ....	67
<b>Ilustración 7-4:</b>	Gráfica del tamaño de grano vs temperatura de calentamiento. ....	69
<b>Ilustración 8-4:</b>	Gráfica del tamaño de grano vs temperatura de calentamiento. ....	70
<b>Ilustración 9-4:</b>	Gráfica de la resistencia máxima vs temperatura de calentamiento. ....	74
<b>Ilustración 10-4:</b>	Gráfica de la resistencia de rotura vs temperatura de calentamiento. ....	74
<b>Ilustración 11-4:</b>	Gráfica del límite de fluencia vs temperatura de calentamiento. ....	75
<b>Ilustración 12-4:</b>	Gráfica del % de elongación vs temperatura de calentamiento. ....	75
<b>Ilustración 13-4:</b>	Gráfica de la energía absorbida vs temperatura de calentamiento.....	78
<b>Ilustración 14-4:</b>	Gráfica de la resistencia al impacto vs temperatura de calentamiento.....	79
<b>Ilustración 15-4:</b>	Gráfica de la dureza Brinell vs temperatura de calentamiento. ....	80

<b>Ilustración 16-4:</b> Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la dureza .....	80
<b>Ilustración 17-4:</b> Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la resistencia máxima a tracción .....	81
<b>Ilustración 18-4:</b> Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la energía absorbida .....	81

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** INFORME DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA
- ANEXO B:** REPORTE DEL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA REALIZADO EN EL LABORATORIO DE MATERIALES PERTENECIENTE A LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH
- ANEXO C:** PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN
- ANEXO D:** PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TENACIDAD
- ANEXO E:** PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE DUREZA

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo evaluar el efecto de la temperatura de calentamiento en el tamaño de grano, resistencia a la tracción, dureza y tenacidad del acero AISI 1018, en condiciones de normalizado. Se obtuvieron sesenta probetas que se dividieron en cinco grupos de doce probetas, de las cuales cuatro fueron para tracción, cuatro para impacto y las cuatro últimas para metalografía y dureza. Los ejemplares fueron sometidos a un tratamiento térmico de recocido de regeneración con un tiempo de permanencia de dos horas y luego se las enfriaron al aire, las probetas destinadas para metalografía y dureza Brinell se prepararon en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. Se analizó las microestructuras y luego se calculó el tamaño de grano y se midió la dureza. Además, se realizaron ensayos de tracción y de tenacidad, estos se desarrollaron en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la provincia de Tungurahua. Todos los procedimientos se realizaron bajo la normativa ASTM. En los resultados obtenidos se evidenció el crecimiento de grano al aumentar la temperatura de calentamiento, con esto, disminuyó la resistencia y dureza, pero aumentó la tenacidad. Además, se observó que, a temperaturas muy elevadas, cercanas al punto de fusión, la estructura y propiedades mecánicas de las muestras se deterioraron por la presencia de ferrita widmanstatten. Adicionalmente, se determinó el error muestral de los valores de las variables cuantitativas de los ensayos realizados, donde se obtuvieron errores menores al 10%, por lo cual se concluye que se cumplió con los requerimientos establecidos en las normas utilizadas. Se recomienda que en futuras investigaciones se varíe la temperatura de calentamiento para conocer su nivel de impacto en la variabilidad de las propiedades mecánicas del acero 1018.

**Palabras clave:** <ACERO AISI 1018> <TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO> <TAMAÑO DE GRANO> <PROPIEDADES MECÁNICAS> <RECOCIDO DE REGENERACIÓN> <TEMPERATURA CRÍTICA SUPERIOR> <FERRITA WIDMANSTATTEN>.

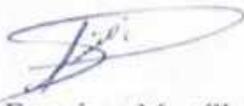
0100-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

The objective of this technical project was to evaluate the effect of the heating temperature on the grain size, tensile strength, hardness, and toughness of AISI 1018 steel, under normalized conditions. Sixty specimens were obtained, which were divided into five groups of twelve specimens, of which four were for traction, four for impact, and the last four for metallography and hardness. The specimens were subjected to a heat treatment of regeneration annealing with a residence time of two hours and then they were cooled in the air, the specimens intended for metallography and Brinell hardness were prepared in the Materials laboratory of the Faculty of Mechanics of the ESPOCH. The microstructures were analyzed and then the grain size was calculated and the hardness was measured. In addition, tensile and tenacity tests were carried out at the Carrocero Metal-Mechanical Productive Development Center in the province of Tungurahua. All procedures were performed under ASTM standards. In the results obtained, grain growth was evidenced by increasing the heating temperature, with this, the resistance and hardness decreased, but the toughness increased. In addition, it was observed that, at very high temperatures, close to the melting point, the structure and mechanical properties of the samples deteriorated due to the presence of widmanstatten ferrite. Additionally, the sampling error of the values of the quantitative variables of the tests carried out was determined, where errors of less than 10% were obtained, for which it is concluded that the requirements established in the standards used were met. It is recommended that in future research the heating temperature be varied to know its level of impact on the variability of the mechanical properties of 1018 steel.

**Keywords:** <AISI 1018 STEEL> <HEATING TEMPERATURE> <GRAIN SIZE>  
<MECHANICAL PROPERTIES> <REGENERATION ANNEALING> <UPPER CRITICAL TEMPERATURE> <WIDMANSTATTEN FERRITE>.



Lic. Luis Francisco Mantilla Cabrera Mgs.  
CI:0603747809

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación evalúa el efecto de la temperatura de calentamiento en el tamaño de grano y las propiedades mecánicas del acero AISI 1018 en condiciones de normalizado, debido a que es un material ampliamente utilizado en la fabricación de componentes automotrices, secciones y láminas estructurales que se utilizan en puentes, tuberías y edificios, principalmente. La importancia de este estudio se basa en la participación del acero AISI 1018 en el mercado por su relación costo/beneficio, siendo además un material de fácil soldadura y endurecimiento, apto para piezas que requieran conformado en frío, forjado, doblado o estampado. Para llevar a cabo esta investigación se obtiene las muestras de acero y se divide en cuatro grupos de probetas que se calientan en el horno a una determinada temperatura (900°C, 1000°C, 1100°C y 1200°C), estas probetas deben tener una permanencia en el horno de dos horas. A continuación, se procede con el enfriamiento de cada grupo en condiciones de normalizado o al aire, para posterior a ello realizar el análisis metalográfico y determinar las diferentes estructuras para el cálculo del tamaño de grano y la evaluación de las propiedades mecánicas mediante los ensayos de dureza Brinell, tracción y tenacidad para cada grupo de probetas. Finalmente se analiza los resultados de los ensayos en función del tamaño de grano y la temperatura de calentamiento correspondiente.

En el capítulo I – *Diagnóstico del problema*, se presentan los antecedentes que junto a la delimitación temporal, espacial y sectorial conducen a la formulación del problema y la pregunta de investigación, para finalmente plantear los objetivos.

En el capítulo II – *Revisión de la literatura o fundamentos teóricos*, se presentan los fundamentos teóricos, donde se hace una breve revisión de los principales tratamientos térmicos utilizados, las diferentes estructuras y fases presentes en los aceros, así como sus propiedades mecánicas y ensayos.

En el capítulo III – *Marco metodológico*, se desarrolla la metodología utilizada en el presente proyecto técnico, donde se muestra los pasos a seguir para la preparación de las probetas y a continuación sus ensayos y análisis.

En el capítulo IV – *Resultados*, se presenta los resultados alcanzados en este proyecto técnico, que incluyen los ensayos de dureza, tracción, tenacidad y el tamaño de grano de las microestructuras, además presenta gráficas y datos para una mejor interpretación.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presentan los antecedentes que junto a la delimitación temporal, espacial y sectorial conducen a la formulación del problema y la pregunta de investigación, para finalmente plantear los objetivos.

#### 1.1. Antecedentes

Los metales como el acero están sometidos a diversas condiciones, procesos de fabricación y medios de unión que alteran sus propiedades, la humanidad se ha dedicado a su estudio desde la antigüedad para predecir y dominar sus efectos. (Vaca, 2020).

Un estudio realizado en Turquía muestra el efecto de la fusión superficial por láser y el tratamiento térmico posterior en la microestructura del acero AISI 1018. El tratamiento posterior al calor de las muestras tratadas con láser se llevó a cabo a 900 °C durante 10 min, seguido de enfriamiento universal con agua y aceite. A medida que disminuyó la tasa de enfriamiento, la dureza de las capas fundidas disminuyó significativamente, aunque el tamaño de grano de la región fundida aún era muy pequeño en comparación con el material no afectado. (Akkurt, Akgün y Yakupoğlu, 1996).

En la India se realizó una investigación donde el acero inoxidable austenítico (AISI 316) y el acero bajo en carbono (AISI 1018) han sido soldados sin metal de aporte por soldadura láser. Luego, se investigó el efecto del tratamiento térmico posterior a la soldadura sobre la microestructura, la resistencia a la tracción, la dureza, la composición de fase en la zona de soldadura. Se realizó un tratamiento térmico en la muestra a 960 °C. Se emplearon ensayos de resistencia a la tracción, límite elástico y dureza para ilustrar las propiedades mecánicas de las muestras. Los resultados indicaron que las uniones soldadas tenían buenas propiedades mecánicas después del tratamiento térmico, de modo que se obtiene la mejor resistencia a la tracción y a la fluencia a 960 °C. Debido al tamaño de grano reducido, las muestras de tratamiento térmico muestran propiedades mecánicas más altas a 960 °C en comparación con las muestras soldadas. (Prabakaran y Kannan, 2021).

En Indonesia se quería conocer los problemas más graves que afectan a la integridad de las estructuras de los edificios, por lo que se llevó a cabo un estudio experimental sobre las propiedades mecánicas del acero estirado en frío AISI 1018 a temperaturas elevadas utilizando el método de estado estacionario. El módulo elástico del acero AISI 1018 experimentó una reducción razonablemente rápida a temperaturas de 100 a 200 °C. A temperaturas más altas de hasta 500 °C, el acero exhibió una reducción lenta en su módulo de elasticidad, mientras que se

observó una fuerte reducción a temperaturas de 550 a 750°C. Por el contrario, se observó una reducción lenta de la resistencia mecánica a temperaturas de 100 a 200 °C. A los 300 °C, la resistencia mecánica aumentó gradualmente hasta alcanzar un pico a 500 °C. Este fenómeno se atribuyó a un efecto de envejecimiento por deformación dinámica que proporcionó beneficios en términos de mayor resistencia mecánica y ductilidad, que fueron relativamente superiores a la resistencia mecánica a temperatura ambiente. (Badaruddin et al., 2020).

Se realizó un estudio en Iraq, donde las muestras de acero bajo en carbono AISI 1018 se calentaron hasta la zona de ausenita y luego enfriado en diferentes medios con diferentes velocidades de enfriamiento. Las pruebas mecánicas mostraron un aumento en dureza, límite elástico, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y relación de elasticidad/tracción como la velocidad de enfriamiento aumenta. La ductilidad tuvo una proporcionalidad inversa a la velocidad de enfriamiento. Las relaciones entre las propiedades mecánicas y el tamaño de los granos son opuestas a las relaciones entre las propiedades mecánicas con las velocidades de enfriamiento. La dureza, límite elástico, tracción la resistencia, el módulo de elasticidad y la relación rendimiento/tracción aumentan a medida que disminuye el tamaño de los granos, mientras que la ductilidad disminuye. (Thamir, Yasser y Alyasiri, 2018).

En nuestra región, Colombia específicamente, se desarrolló una investigación para determinar la influencia del tratamiento térmico de temple desde temperaturas interperíticas en las propiedades mecánicas de tensión, impacto, dureza y resistencia a la corrosión en cámara salina del acero AISI SAE 1018. Obteniéndose que el esfuerzo promedio en MPa obtenido en las probetas tratadas térmicamente es mayor que el esfuerzo promedio del material en estado de entrega. Además, la energía promedio absorbida por las probetas tratadas térmicamente a 760 °C y 775 °C es superior a la energía promedio absorbida por el material en estado de entrega. La dureza promedio en HB de las probetas tratadas térmicamente fue superior a la dureza promedio del material en estado de entrega. (Muñoz, Cuellar y Lopez, 2014).

En nuestro país el acero es ampliamente utilizado, se lo requiere en el campo de la construcción de máquinas, elementos mecánicos y para la reparación de estos. El acero AISI 1018 específicamente, es un material altamente adquirido debido a su versatilidad y bajo costo, al ser un material con alta demanda se ve necesario mejorar sus propiedades, especialmente mecánicas, con el fin de mejorar sus actuales usos pero sobre todo ampliar el campo de aplicación del mismo, para poder llegar a esto se ha considerado una de las variables más importantes como es la temperatura de calentamiento, ya que el material al ser sometido a tratamientos térmicos puede cambiar su microestructura y por ende sus propiedades mecánicas.

Una aplicación de este estudio en el campo de la metalurgia es la soldadura de aceros de bajo

carbono, puesto que en este proceso para unir piezas metálicas se utilizan elevadas temperaturas de calentamiento, sobrecalentando a los materiales y obteniendo por consiguiente en la ZAC una estructura frágil, dura y resistente, pero con baja tenacidad y ductilidad. Para variar estas propiedades es necesario tener un especial cuidado en el uso de temperaturas de calentamiento al aplicar un tratamiento de recocido de regeneración, dado que a temperaturas de calentamiento cercanas a la temperatura crítica Ac3 se consigue un afinamiento de grano y con ello una mejor tenacidad y ductilidad.

## **1.2. Delimitación**

### ***1.2.1. Delimitación espacial***

El presente proyecto de Integración Curricular se lo va a desarrollar en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo, y en el cantón Ambato en la provincia de Tungurahua, Ecuador.

### ***1.2.2. Delimitación sectorial***

El actual trabajo se acoge al presente Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en concordancia con el Eje 2 planteado el cual indica, Economía al servicio de la sociedad, inmerso en el objetivo 5 que menciona lo siguiente: Impulsar la productividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria.

## **1.3. Formulación del problema**

El acero al carbono suave AISI 1018 tiene aplicaciones útiles en varias prácticas de ingeniería como puentes, vigas, engranajes, piezas de máquinas, etc. Sin embargo, estos materiales experimentan daños mecánicos cuando se usan en condiciones críticas de carga extrema. Debido a esto, es muy importante analizar cómo influyen las propiedades mecánicas y en qué porcentaje en función de la variación de la temperatura de calentamiento, pues uno de los problemas fundamentales es la necesidad de que el material sea de buena resistencia y a la vez con un elevado grado de maleabilidad, tenacidad y ductilidad. Son muchas las aplicaciones de este estudio, como por ejemplo en el caso de las propiedades mecánicas resultantes de un acero luego de un recocido de homogeneización a alta temperatura o un tratamiento de forja, presenta una estructura gruesa con bajas propiedades mecánicas particularmente la resiliencia, con la variación de la temperatura de calentamiento de un tratamiento térmico posterior se consigue un cambio en las propiedades. Otra aplicación muy importante es en el caso de las soldaduras, ya que el material queda bastante frágil debido a las altas temperaturas que es sometido, en este caso es conveniente realizar un tratamiento térmico cuidando las temperaturas de calentamiento para mejorar las propiedades en la ZAC y que esta cumpla con los requerimientos necesarios de tenacidad.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar el efecto de la temperatura de calentamiento en el tamaño de grano, resistencia a la tracción, dureza y tenacidad del acero AISI 1018, en condiciones de normalizado.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Obtener las probetas necesarias de acero AISI 1018 para realizar los ensayos metalográficos, de tracción, impacto y dureza, de acuerdo con lo que establece las normas que rigen a cada ensayo.
- Obtener la microestructura de las probetas de acero AISI 1018 y calcular el tamaño de grano promedio de las probetas con diferentes temperaturas de calentamiento.
- Realizar ensayos de Tracción, Impacto y Dureza Brinell aplicando las respectivas normas para evaluar las propiedades mecánicas del acero AISI 1018.
- Procesar, analizar y comparar con la literatura los resultados obtenidos experimentalmente mediante técnicas estadísticas.
- Evaluar y correlacionar el tamaño de grano con la resistencia a la tracción, dureza y energía de impacto

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En el presente apartado se define y explican cada uno de los conceptos necesarios para el desarrollo del presente trabajo, tales como: acero AISI 1018, diagrama hierro-carbono y sus fases, puntos críticos del acero, tratamiento térmico, recocido, recocido de regeneración, normalizado, propiedades mecánicas, ensayos, equipos y por último normas.

#### 2.1. Acero 1018

Entre los aceros de bajo carbono, el 1018 es el más versátil por sus características y mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo, por su buena soldabilidad, buena maquinabilidad, es decir este acero AISI 1018 bajo en carbono brinda un buen equilibrio entre tenacidad, resistencia y ductilidad. Cuando se requiere una superficie muy dura, pero un centro tenaz, este cumple perfectamente (Martinez, Rivera y Martinez, 2017).

El AISI (American Iron and Steel Institute) y el SAE (Society of Automotive Engineers) tienen sistemas para clasificar los aceros utilizando un número de cuatro o cinco dígitos. Los dos primeros números se refieren a los principales elementos de aleación presentes y los últimos dos o tres se refieren al porcentaje de carbono. Un acero AISI 1018 es al bajo carbono, con 0.18% C (Askeland y Phulé, 2004).

##### 2.1.1. Propiedades físicas del acero AISI 1018

Entre las propiedades del acero se encuentran las mecánicas estas propiedades describen el comportamiento de un material ante las fuerzas aplicadas sobre él, entre las principales tenemos: esfuerzo de cedencia, resistencia a la tracción, elongación, reducción de área y dureza (Mendez, 2021).

**Tabla 1-2:** Propiedades físicas del acero AISI 1018

Propiedad	Valor
Esfuerzo de cedencia (kg/mm <sup>2</sup> )	min 31
Resistencia a la tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	51 – 71
Elongación	20 %
Reducción de área	57 %
Dureza (HRC)	6

Fuente: (Mendez, 2021)

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

##### 2.1.2. Composición química del acero AISI 1018

Hay muchas categorías diferentes de acero, y los aceros al carbono son una de esas categorías que contienen de 0,12 a 2% de carbono. El acero gana dureza y resistencia con el tratamiento térmico cuando aumenta el contenido porcentual de carbono; sin embargo, su ductilidad se reduce.

El acero al carbono AISI 1018 es un grado de mecanizado libre que es el grado más comúnmente disponible en todo el mundo. Aunque sus propiedades mecánicas no son muy singulares, todavía se puede formar, mecanizar, soldar y fabricar fácilmente. (AZO, 2013).

**Tabla 2-2:** Composición química del acero AISI 1018

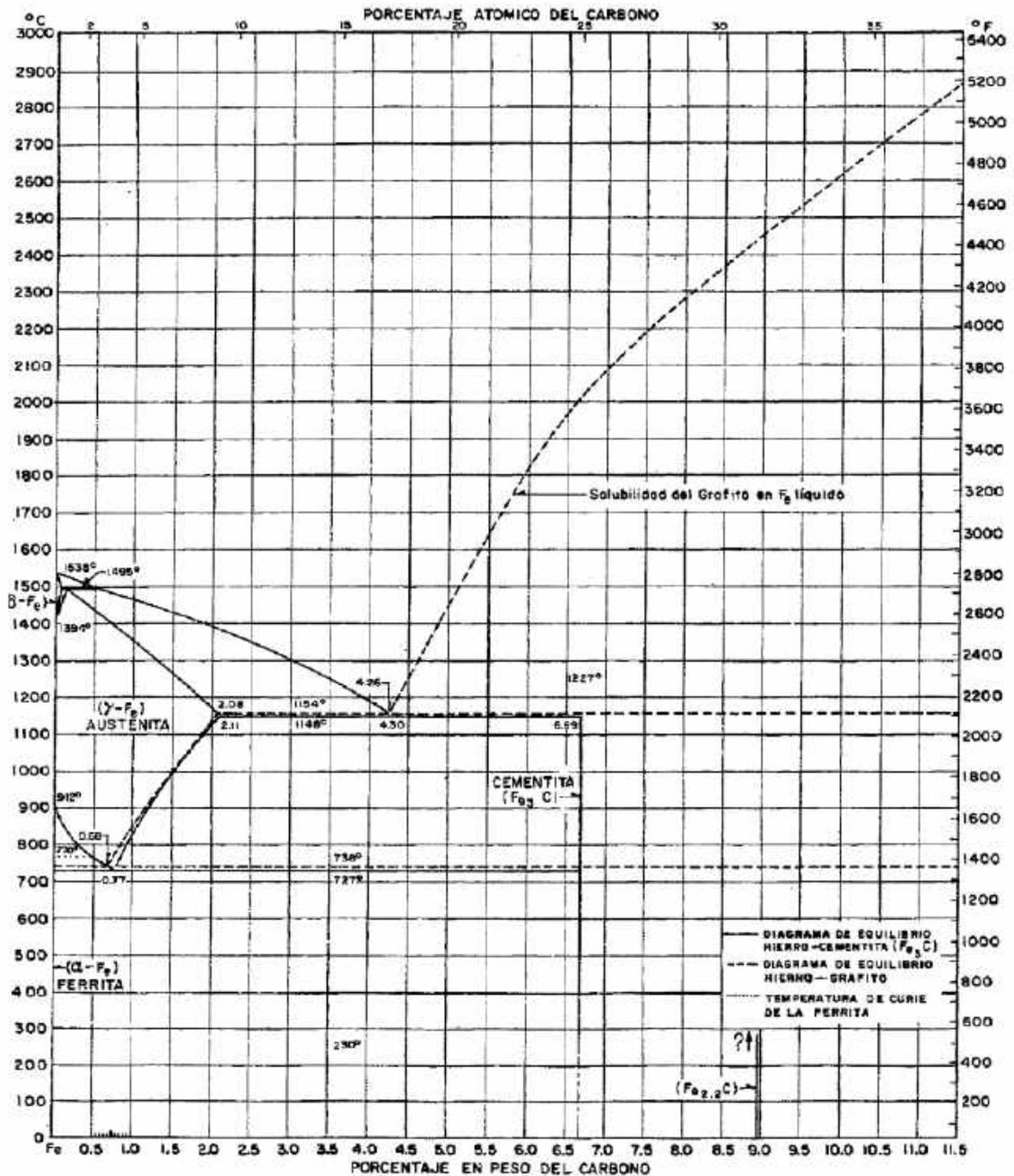
ELEMENTO	CONTENIDO (%)
Manganeso, Mn	0.6-0.9
Carbono, C	0.15-0.2
Sulfuro, S	0.05 (max)
Fósforo, P	0.04 (max)
Hierro, Fe	Balance

Fuente: (AZO, 2013).

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

## 2.2. Diagrama hierro-carbono

El sistema de aleaciones binario más importante es el hierro-carbono. Los aceros y las fundiciones, esto es, los materiales estructurales primarios en todas las culturas tecnológicamente avanzadas son esencialmente aleaciones hierro-carbono (Callister, 2012).



**Ilustración 1-2:** Diagrama hierro-carbono

Fuente: (Díaz y Reyes, 2012).

El eje en el que se llega hasta 6,70% en peso de C, es la concentración que coincide con la del compuesto intermedio carburo de hierro-o cementita ( $Fe_3C$ ), representado por una línea vertical en el diagrama de fases. Así, el sistema hierro-carbono se puede dividir en dos partes: una parte rica en hierro, en la que se llega hasta 6,70% en peso de C y otra parte de composición comprendida entre 6,70 y 100% C (grafito puro). Prácticamente todos los aceros y fundiciones tienen porcentajes de carbono inferiores a 6,70% C; por lo tanto, sólo se considera la parte rica en hierro del sistema hierro-carburo de hierro (Callister, 2012).

El intervalo de acero se subdivide aún más con base al contenido de carbono eutectoide (0.8% de C). Los aceros que contienen menos del 0.8% de C se llaman aceros hipoeutectoides, en tanto que los que contienen de 0.8 a 2.0% de C se llaman aceros hipereutectoides. El intervalo de hierro fundido también puede subdividirse por el contenido de carbono eutéctico (4.3% de C). Los hierros fundidos que contienen menos del 4.3% de C se conocen como hierros fundidos hipoeutécticos, en tanto que los que contienen más del 4.3% de C se llaman hierros fundidos hipereutécticos (Barrientos, 2009).

### **2.2.1. Fases sólidas en el diagrama de fases**

Se presenta cuatro fases sólidas en el diagrama Fe-C, las mismas que se describen a continuación:

- Ferrita ( $\alpha$ ). Esta fase es una solución sólida intersticial de carbono en una estructura cristalina BCC. El carbono es sólo ligeramente soluble en ferrita  $\alpha$  y alcanza una solubilidad de sólidos máxima de 0.02 por ciento a 723°C. La solubilidad del carbono en ferrita  $\alpha$  disminuye a 0.005 por ciento a 0°C (Smith y Hashemi, 2014).
- Austenita ( $\gamma$ ). Es la solución sólida intersticial del carbono en hierro  $\gamma$ . La austenita tiene una estructura cristalina FCC y una solubilidad sólida mucho más alta para el carbono que la ferrita  $\alpha$ . La solubilidad sólida del carbono en la austenita alcanza un máximo de 2.08 por ciento a 1 148°C y disminuye a 0.8 por ciento a 723°C (Smith y Hashemi, 2014).
- Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). El compuesto intermetálico  $\text{Fe}_3\text{C}$  se llama cementita. La cementita tiene límites de solubilidad insignificantes y una composición de 6.67% C y 93.3% Fe. La cementita es un compuesto duro y frágil (Smith y Hashemi, 2014).
- Ferrita ( $\delta$ ). La solución sólida intersticial de carbono en hierro  $\delta$  se llama ferrita  $\delta$ . Tiene una estructura cristalina (BCC). La solubilidad sólida máxima del carbono en la ferrita  $\delta$  es de 0.09 por ciento a 1 465°C (Smith y Hashemi, 2014).

### **2.2.2. Estructura Widmanstätten**

Esta estructura resulta de los aceros bajos en carbono con menos del 0,3% de carbono que tienen una estructura austenítica de grano grueso y se han enfriado en una tasa elevada pero menos que su velocidad de enfriamiento crítica (Todorov y Khristov, 2004).

Este nombre se debe al científico austríaco Alois von Widmanstätten quien observó por primera vez este tipo de estructuras en meteoritos. Los listones de ferrita widmanstätten pueden nuclear en los bordes de grano de la austenita, en la ferrita reticular formada a temperaturas superiores o en el interior del grano austenítico. Este tipo de ferrita no es deseable porque sus propiedades

mecánicas son peores que las correspondientes a otras morfologías de la ferrita. Por esta razón, se tiende a evitar las estructuras widmanstätten, impidiendo su formación, o eliminándolas por tratamiento (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

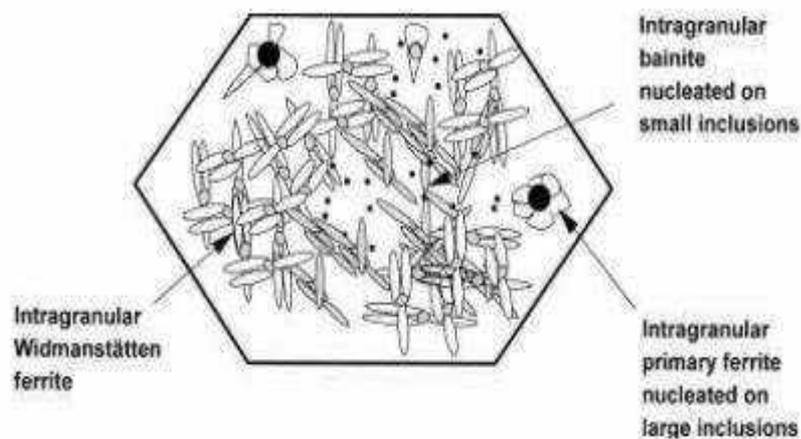


**Ilustración 2-2:** Estructura Widmanstätten

**Fuente:** (Pero-Sanz, 2000)

### 2.2.3. *Ferrita Acicular*

La ferrita acicular se registra como una morfología de ferrita intragranular en la que hay múltiples espacios entre los granos. La ferrita acicular nuclea sobre inclusiones dentro de los granos de austenita durante la transformación  $\gamma \rightarrow \alpha$ . Siempre que hay una alta densidad de inclusiones, una fina estructura intercalada (generalmente  $<5\mu\text{m}$ ) puede ser producida (Montejano, 2016).



**Ilustración 3-2:** Ferrita Acicular

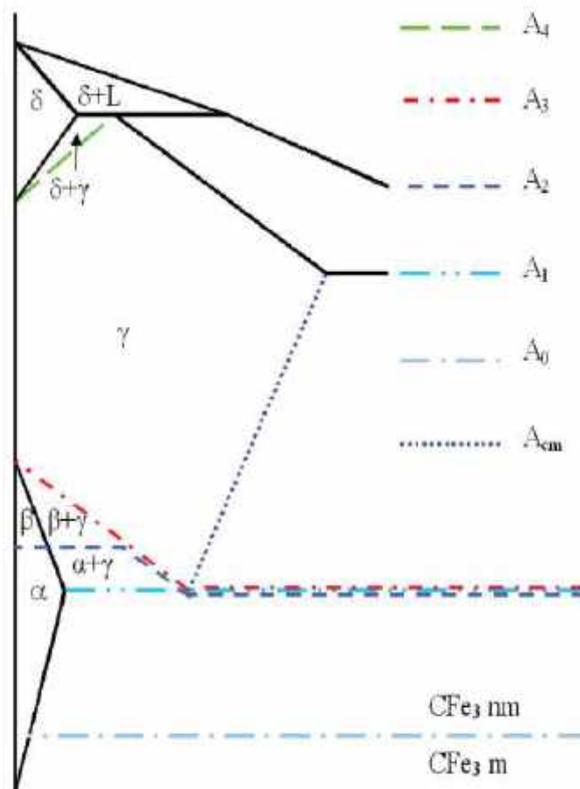
**Fuente:** (Thewlis, 2004).

### 2.3. Puntos críticos de los aceros

Son las temperaturas en las que inician o terminan las transformaciones de fase que presentan los aceros en estado sólido (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

Estas temperaturas o puntos críticos se identifican con la letra “A” que es la inicial de la palabra francesa “arrêt” que significa parada.

Tenemos así la temperatura  $A_0$  que es el primer cambio de fase desde la temperatura ambiente donde se produce la transformación magnética de la cementita, la siguiente reacción que se produce al seguir calentando el acero es la eutectoide, que se designa con  $A_1$ . A estas dos temperaturas cualquier acero presenta transformaciones, mientras que a temperaturas superiores a  $A_1$  las transformaciones dependen de la composición química del acero, es decir, si tenemos un acero con un contenido de carbono menor a 0,35% y se calienta por encima de  $A_1$ , la primera transformación que presenta es el cambio de magnetismo de la ferrita,  $A_2$ . Ahora, si se eleva la temperatura sobre con  $A_2$ , la austenita crece hasta alcanzar la temperatura con  $A_3$  y obtener una estructura monofásica. A temperaturas más elevadas aparece el punto crítico  $A_4$  que está asociado a la formación de ferrita  $\delta$  ( $\gamma \rightarrow \gamma + \delta$ ) (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).



**Ilustración 4-2:** Posición de los puntos críticos de los aceros.

Fuente: (Blázquez, Lorenzo y López, 2017)

## **2.4. Tratamientos térmicos**

El tratamiento térmico es un conjunto de calentamientos y enfriamientos controlados a que puede ser sometida una aleación sólida a fin de modificar su estructura micrográfica (y en consecuencia sus propiedades) sin que por ello cambie la composición química de la aleación.

Los aceros admiten un conjunto de tratamientos para optimizar su respuesta a sollicitaciones muy diversas: mecánicas, térmicas, corrosivas, abrasivas, magnéticas, eléctricas, dilatométricas, etc. Existen por ello una gran variedad de tratamientos, que pueden afectar al conjunto de la pieza o sólo a su superficie exterior, para responder a dichas sollicitaciones, hablándose de tratamientos en masa o tratamientos superficiales y, a su vez, los tratamientos pueden ser de tipo térmico, mecánico, químico, termo mecánico, termoquímico, etc. (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

En el caso de los tratamientos térmicos, los más habituales, el ciclo temperatura-tiempo empieza siempre por el calentamiento a una cierta temperatura. Este calentamiento debe efectuarse siempre de forma que la velocidad de calentamiento no produzca diferencias de temperaturas superiores a 20°C entre puntos distanciados una pulgada (2,54 cm). Técnicamente se utilizan tiempos totales de calentamiento entre media y una hora por pulgada de espesor de la pieza, en particular si se superan los puntos críticos  $A_{C1}$  y  $A_{C3}$  del acero (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

El objeto de esta precaución es evitar tensiones internas debidas a diferencias dilatométricas entre puntos de temperaturas distintas, o las más graves asociadas a cambios estructurales en el acero.

El mantenimiento a la temperatura prefijada debe conseguir no sólo la homogeneidad térmica de la pieza sino, en lo posible, también la homogeneidad química entre granos de la misma fase que, evidentemente, es menor al aumentar la velocidad de calentamiento (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

Otro factor importante en el calentamiento es evitar oxidaciones y/o descarburaciones superficiales en las piezas, producidas por ciertas atmósferas. Cada vez tienen más uso los hornos con atmósferas protegidas, o incluso los de vacío para aplicaciones específicas.

Debe considerarse que muchas deformaciones o roturas que se detectan tras el enfriamiento no son achacables a éste, sino a un calentamiento incorrecto que puede generar micro grietas en el calentamiento y que alcanzan el nivel macroscópico en el enfriamiento (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

### **2.4.1. Recocido**

Una aleación se dice que está en estado recocido cuando se encuentra en equilibrio físico, químico, mecánico y estructural (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

Es muy difícil en la práctica asegurar dichos equilibrios, pues las velocidades de enfriamiento y calentamiento utilizadas industrialmente distan mucho de las velocidades termodinámicas, y ello implica tiempos de difusión limitados, estados tensionales y como consecuencia heterogeneidades en el material (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

Los tratamientos de recocido tratan de devolver, al menos parcialmente, el estado de equilibrio a la aleación y pueden clasificarse en función de sus objetivos en:

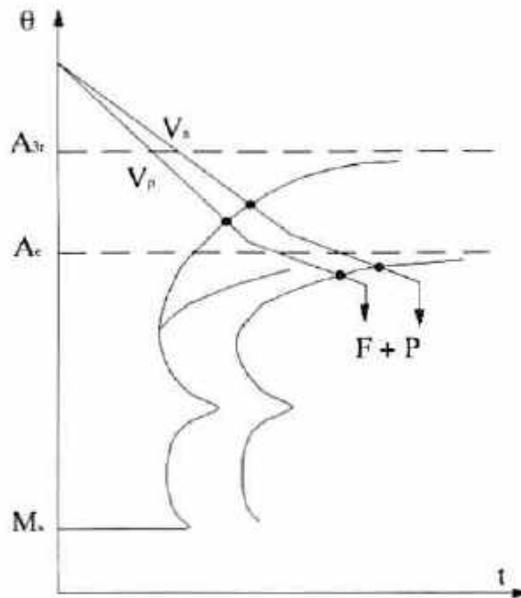
- Recocido de homogeneización
- Recocido de regeneración
- Recocido de recristalización
- Recocido de ablandamiento
- Recocidos de atenuación y relajación
- Recocido de deshidrogenación

Otros tratamientos que, aunque no conducen a estados de equilibrio tienen ciclos térmicos similares a los recocidos son los siguientes:

- Hipertemple
- Normalizado

#### **2.4.2. *Recocido de regeneración***

Permite afinar el grano austenítico grueso resultante. El tratamiento consiste en un calentamiento por encima de  $A_{c3}$  para los aceros hipoeutectoides, o de  $A_{cm}$  para los hipereutectoides, seguido de un enfriamiento al aire. En el enfriamiento la austenita se transforma en ferrita y perlita en los aceros hipoeutectoides y en cementita reticular y perlita, o exclusivamente sorbita, dependiendo del espesor, en los aceros al carbono hipereutectoides. No es conveniente en estos recocidos que el enfriamiento sea demasiado lento en la zona de temperaturas próximas pero inferiores a  $A_{r1}$  para evitar obtener perlitas gruesas (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).



**Ilustración 5-2:** Recocido de regeneración

Fuente: (Pero-Sanz, 2000)

El recocido de regeneración no se emplea en aceros hipereutectoides porque comporta riesgos de sobrecalentamiento (Pero-Sanz, 2000).

### 2.4.3. Normalizado

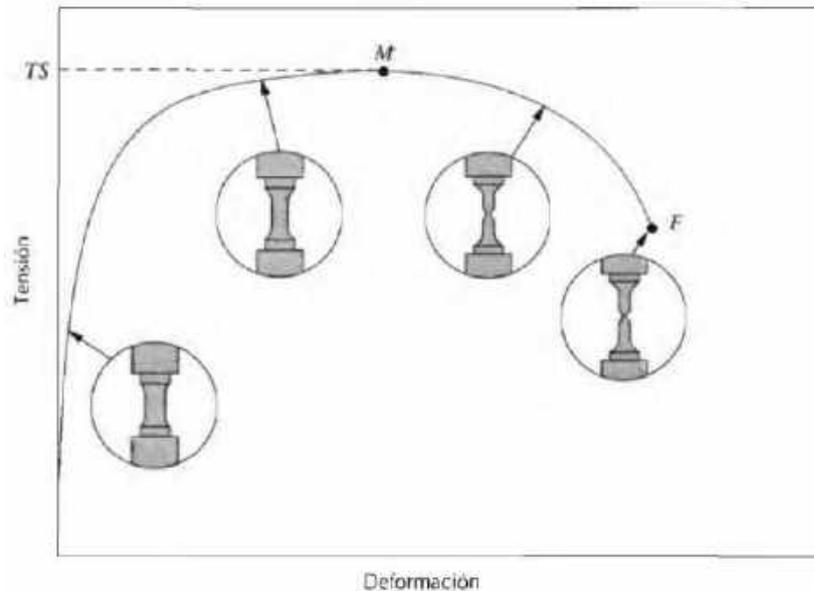
A veces este tratamiento recibe el nombre de recocido de normalización. El tratamiento consiste en el calentamiento del acero a temperatura 50°-75°C más alta que la del punto crítico superior del acero, mantenimiento corto a dicha temperatura y posterior enfriamiento al aire. El normalizado permite afinar el grano de los productos forjados o laminados, así como el de los aceros moldeados, y puede sustituir al temple y al revenido en los aceros de menos de 0,3%C no aleados. Los aceros de bajo contenido en carbono se normalizan tras el recocido de homogeneización lo que permite afinar su estructura y restarle plasticidad cara al mecanizado. Los aceros de 0,20-0,30%C presentan tras el normalizado una estructura de menor resistencia que en estado de temple y revenido alto, pero que evita las deformaciones y tensiones al ser el enfriamiento más lento (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

## 2.5. Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material, o sea, su deformación. Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez (Callister, 2012).

### 2.5.1. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción TS (MPa o psi) es la tensión en el máximo del diagrama tensión-deformación nominales (Ilustración 6-2).



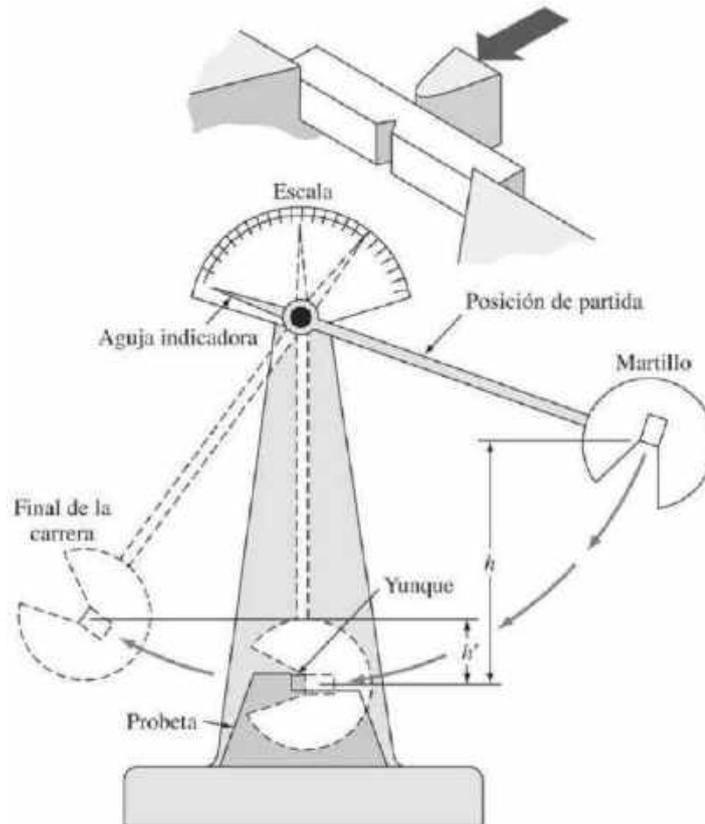
**Ilustración 6-2:** Curva típica de tracción hasta la fractura, punto F. La resistencia a la tracción TS está indicada en el punto M.

Fuente: (Callister, 2012)

Esto corresponde a la máxima tensión que puede ser soportada por una estructura a tracción; si esta tensión es aplicada y mantenida, se producirá la rotura. Hasta llegar a este punto, toda la deformación es uniforme en la región estrecha de la probeta. Sin embargo, cuando se alcanza la tensión máxima, se empieza a formar una disminución localizada en el área de la sección transversal en algún punto de la probeta, lo cual se denomina estricción o cuello, y toda la deformación subsiguiente está confinada en la estricción, tal como se indica esquemáticamente en la Figura anterior. La fractura ocurre en la estricción. La tensión de fractura o bien de rotura corresponde a la tensión en la fractura (Callister, 2012).

### 2.5.2. Tenacidad

La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que un material puede absorber antes de fracturarse. Esta propiedad es de importancia en la ingeniería cuando se considera la capacidad que tiene un material para soportar un impacto sin que se produzca la fractura. Uno de los métodos más simples de medida de la tenacidad es la prueba de impacto. En la ilustración 7-2 se muestra el diagrama esquemático de una máquina sencilla para la prueba de impacto.



**Ilustración 7-2:** Esquema de un aparato estándar para la prueba de impacto.

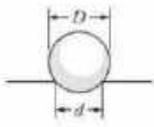
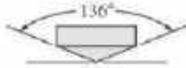
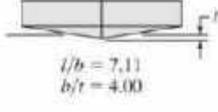
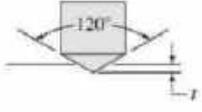
Fuente: (Smith y Hashemi, 2014)

Una de las formas de utilizar este aparato consiste en colocar una probeta Charpy con muesca en V a lo largo junto a los brazos paralelos de la máquina (tal como se muestra en la parte superior de la ilustración 7-2). A continuación, se suelta el péndulo pesado desde una altura determinada, el cual golpea a la probeta en su trayectoria descendente fracturándola. Conocida la masa del péndulo y la diferencia entre las alturas inicial y final se determina la energía.

### 2.5.3. Dureza

La dureza es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente, es decir plástica. La dureza de un metal se mide forzando la indentación de un penetrador en la superficie del metal. El penetrador, que normalmente es una bola, pirámide o cono, está fabricado con un material mucho más duro que el material a ensayar. El material empleado en estos penetradores suele ser acero templado, carburo de tungsteno o diamante. En la mayoría de los ensayos de dureza normalizados se aplica lentamente una carga conocida, que presiona el penetrador contra la superficie del metal a ensayar y perpendicularmente a ésta. Después de producir la indentación, se retira el penetrador. Se calcula o se lee en un dial un número empírico de dureza basado en el área del corte transversal de la huella producida o en su profundidad (Smith y Hashemi, 2014).

**Tabla 3-2:** Tipos de penetradores y los tipos de huellas producidas asociados a cuatro ensayos de dureza comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rock-well.

Ensayo	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista en planta		
Brinell	Esfera de 10 mm fabricada de acero o carburo de volframo			$P$	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			$P$	$VHN = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			$P$	$KHN = \frac{14.2P}{l^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg $R_A =$ 150 kg $R_C =$ 100 kg $R_D =$	100-500f
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16 pulgadas			100 kg $R_B =$ 60 kg $R_F =$ 150 kg $R_G =$	
E	Esfera de acero de 1/8 pulgadas			100 kg $R_E =$	

Fuente: (Smith y Hashemi, 2014)

## 2.6. Ensayos

### 2.6.1. Espectrometría de emisión por chispa

Es un método estándar para el análisis directo de muestras metálicas, de gran utilidad en fabricación y control de la producción en la industria del metal. Se basa en la obtención de chispas entre dos electrodos, lo que produce un plasma de vapor en el cátodo, de una temperatura mayor de 10 000 °K. Esta técnica permite la determinación rápida y simultánea de muchos elementos químicos en aleaciones, incluyendo elementos ligeros como C, S, B y P. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2018).

Para este procedimiento se utiliza un espectrómetro de emisión por chispa como se observa en la ilustración 8-2.



**Ilustración 8-2:** Espectrómetro de emisión de chispa.

**Fuente:** (Analítica y Redes, 2022)

### 2.6.2. *Ensayo de metalografía*

La metalografía estudia microscópicamente las características microestructurales de un metal o de una aleación. Por medio de estos estudios es posible determinar el tamaño de grano, y el tamaño, forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. El éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra (Niño, 2001).

#### 2.6.2.1. *Preparación de muestras metalográficas*

- Corte

Existen distintos métodos para cortar las muestras, pero se debe tener extremo cuidado de no afectar la microestructura del metal durante el proceso.

Corte por cizalla: en este tipo de corte solo puede realizarse manualmente o se utilizan sierras accionadas mecánicamente.



**Ilustración 9-2:** Sierra cinta horizontal

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022

- Lijado

Para este proceso se utiliza un banco de lijado, este banco está provisto de una serie de lijas o papel de esmeril con diferentes tamaños de grano, los más utilizados son 240, 320, 400, 600, 1000, 2000. El uso de estas debe respetar un orden descendiente con respecto al tamaño del grano, ya que la profundidad de las rayas y la profundidad del material deformado en frío debajo de las rayas disminuyen a medida que decrece el tamaño de las partículas abrasivas. Por lo tanto, es importante que en cada paso de desbaste se elimine el metal deformado producto del desbaste previo (Niño, 2001).

- Pulido

Este proceso sirve para pulir y desbastar la superficie de la probeta se utiliza una pulidora con discos cubiertos de paño y abrasivo.

El abrasivo utilizado en este proceso es el óxido de aluminio o también conocido como alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

- Ataque químico

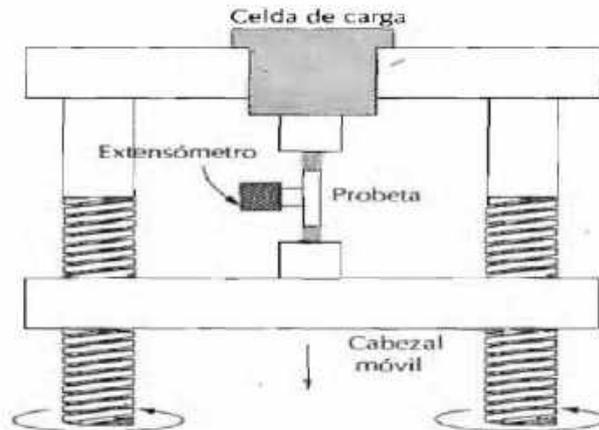
El ataque químico es la etapa final de todo el proceso de preparación metalográfica y se utiliza para revelar las características microestructurales de un material que no son evidentes, en la condición de pulido. El propósito del ataque químico es hacer visibles las características microestructurales del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una reacción química (Niño, 2001).

### **2.6.3. Ensayo de tracción**

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más comunes es el realizado a tracción. El ensayo de tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño. Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uní axialmente a lo largo del eje de la probeta. Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan probetas de sección rectangular. Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud. La probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos. Esta se diseña para alargar la probeta a una velocidad constante, y para medir continua y simultáneamente la carga instantánea aplicada y el alargamiento resultante. El ensayo dura varios minutos y es destructivo, o sea, la probeta del ensayo es deformada de forma permanente y a menudo rota. El resultado del ensayo

de tracción se registra en una banda de papel como carga en función del alargamiento (Callister, 2012).

La ilustración 10-2 representa un esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción. La probeta es alargada por el cabezal móvil; la celda de carga y el extensómetro miden, respectivamente, la carga aplicada y el alargamiento (Callister, 2012).

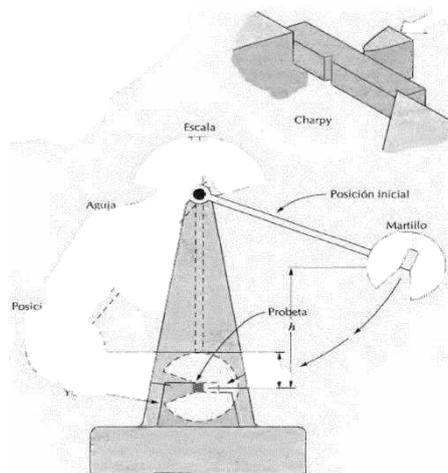


**Ilustración 10-2:** Esquema del aparato utilizado para realizar ensayos de tracción.

Fuente:(Callister, 2012)

#### 2.6.4. *Ensayo de tenacidad*

El ensayo de Charpy fue diseñado y todavía utilizado para medir la energía de impacto, algunas veces también llamada tenacidad a la entalla. La técnica de Charpy con entalla en forma de V usa una probeta que tiene forma de barra de sección cuadrada, en la cual se mecaniza una entalla en forma de V (Ilustración 11-2).



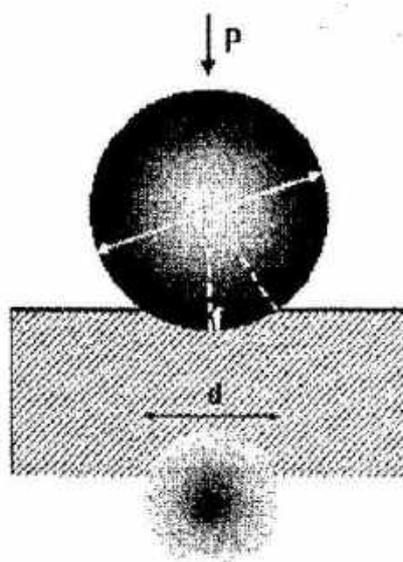
**Ilustración 11-2:** Esquemático de un aparato de ensayos de impacto (Charpy)

Fuente: (Callister, 2012)

La carga es aplicada en forma de un golpe con un martillo en forma de péndulo que se deja caer desde una posición fija preestablecida a una altura  $h$ . La probeta se coloca en la base tal como se muestra. Al dejar caer el péndulo, el borde de una cuchilla montada en el péndulo golpea y fractura la probeta a lo largo de la entalla, la cual actúa como un punto de concentración de tensiones para esta alta velocidad de impacto. El péndulo continúa su oscilación, llegando hasta una altura máxima  $h'$  la cual es menor que  $h$ . La pérdida de energía, calculada a partir de la diferencia entre  $h$  y  $h'$ , es una medida de la energía absorbida en el impacto. La tenacidad de fractura en deformaciones planas y los resultados de los ensayos de impacto determinan las propiedades de fractura de los materiales (Callister, 2012).

#### 2.6.5. *Ensayo de dureza Brinell*

En el Congreso de la "Asociación Internacional para el ensayo de Materiales", realizado en Paris en 1900, el profesor sueco J. A. Brinell propuso su método para determinar la dureza de los metales. Este consiste en aplicar y comprimir progresivamente sobre una superficie plana y lisa del material a ensayar, una bola de acero muy duro, manteniendo la presión durante un cierto tiempo para que se produzca una impresión o hueco en forma de casquete esférico. Después se mide el diámetro de la huella con un pequeño microscopio de mano y se determina la dureza Brinell dividiendo la carga que ha actuado sobre la bola por la superficie de la huella. Esta superficie se calcula en función del diámetro de la huella producida. Para mayor comodidad existen tablas que señalan la dureza que corresponde a cada uno de los diferentes diámetros de las huellas desde 2 mm hasta 6 mm. (Santos et al., 2001).



**Ilustración 12-2:** Esquema del ensayo de dureza Brinell

**Fuente:** (Santos et al., 2001)

En el ensayo de dureza Brinell el penetrador es una bola de acero extraduro de diámetro D, que se apoya sobre la probeta a estudiar; ejerciendo sobre la misma una fuerza P durante un tiempo t dado, aparece una huella de diámetro d sobre el metal. La dureza Brinell viene definida por:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{ec. (1-2)}$$

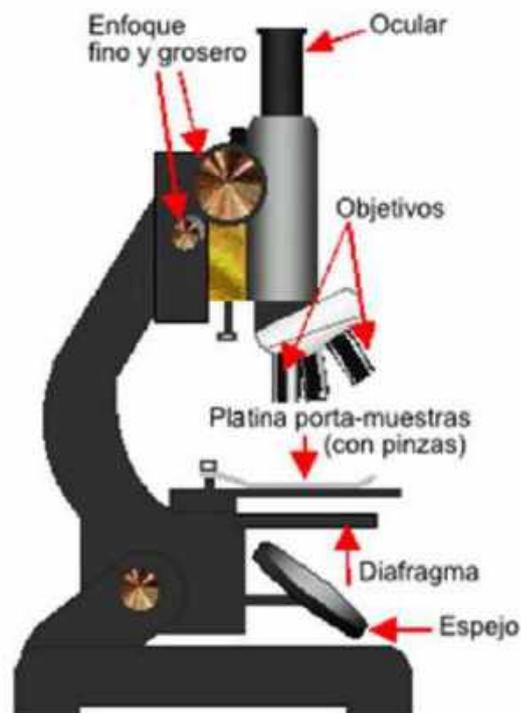
La selección de las cargas, P, y diámetros, D, es una función del espesor de la pieza a ensayar, pues los resultados de dureza quedan falseados cuando pequeños espesores son ensayados con grandes cargas (Santos et al., 2001).

## 2.7. Equipos

### 2.7.1. Microscopio óptico

El microscopio óptico permite observar al metal en estudio, así como elementos electrónicos a una resolución de imagen donde es posible observar los cristales metálicos y sus traumas adquiridos en los procesos de fundición tratamiento mecánico (Trejo, 2017).

Un microscopio óptico ofrece una ampliación máxima de 1000x, y permite al ojo resolver objetos separados 0.0002 mm. (Barrientos, 2009).



**Ilustración 13-2:** Partes principales de microscopio óptico

Fuente: (Trejo, 2017)

### **2.7.2. Horno para tratamientos térmicos**

Es un tipo de horno especial que permite, dentro de su cámara, elevar la temperatura y regularla para controlar el comportamiento físico-químico de una pieza metálica. A demás de temperatura existen varios tipos de hornos que permiten aplicar otro tipo de tratamiento a las piezas metálicas. (Hernández, 2020).

Estos hornos son dispositivos o equipos utilizados para calentar o fundir piezas a diferentes temperaturas, colocándolos en su interior por encima de la temperatura ambiente; las cuales producirán reacciones químicas dependiendo la obtención del producto deseado. También se puede tratar térmicamente un material para impartir determinadas propiedades, ablandar los materiales para una operación de conformado posterior, y recubrir las piezas con otros materiales. Este calentamiento se puede realizar de forma directa sobre las piezas a tratar o de forma indirecta por transmisión de calor desde otros elementos por mecanismos de transferencia de calor como conducción, convección y radiación. (Hernández, 2020).

### **2.7.3. Durómetro**

El durómetro es un instrumento especializado para la medición de la dureza de materiales tales como: metales, cauchos, plásticos, elastómeros, e incluso alimentos y medicamentos entre otros y se caracteriza por tener una punta esférica de wolframio o una punta de diamante, esta se escoge dependiendo del material al cual se le medirá la dureza, cuenta con un cuerpo en cuyo interior se encuentra las masas encargadas de aplicar el peso muerto a la muestra. (Salinas, 2021).

En los durómetros convencionales el operario se encarga de seleccionar la carga y de medir la huella generada por medio de un instrumento ópticos manual o microscopio de alta resolución. (Salinas, 2021).



**Ilustración 14-2:** Durómetro mecánico

**Fuente:** (Salinas, 2021)

#### **2.7.4. Máquina universal para ensayo de tracción**

En ingeniería una máquina universal es aquella que se emplea para el estudio de las propiedades en los materiales. Es posible realizar pruebas donde los elementos son sometidos a tracción, compresión o flexión; los mismos que son sujetados en mordazas antes de aplicar la carga. (Alarcon, 2018).

Determina cómo un elemento actúa sobre la acción de fuerzas o cargas suministradas. En ingeniería con el objeto de definir algunas propiedades y asignar características de trabajo a diversos materiales, ejecutar controles de calidad en las fases de fabricación, establecer las causas de falla en trabajo y permiten definir si los materiales pueden ser sustituidos por otros a través de un estudio. (Aigaje, 2019).

Una máquina universal posibilita ejecutar tres tipos de ensayos: el ensayo de tensión, compresión y flexión, además se puede efectuar otro tipo de ensayos al adecuar diversos accesorios. La máquina universal consta de un par de cabezales móviles, un cilindro hidráulico que permite la aplicación de fuerza, una celda de carga utilizada para la medición de fuerza administrada, un panel de control y un extensómetro que mide la deformación del material a testear. (Aigaje, 2019).



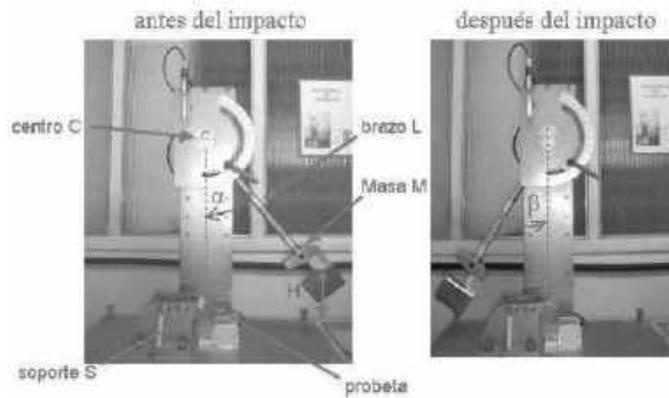
**Ilustración 15-2:** Máquina universal de ensayos

**Fuente:** (Aigaje, 2019)

#### **2.7.5. Máquina para ensayo Charpy**

El péndulo Charpy es un dispositivo ideado por Georges Charpy, se utiliza en ensayos para determinar la tenacidad de un material. (Buenaño, 2012).

A través de este se puede conocer el comportamiento que tienen los materiales al impacto, y consiste en golpear mediante una masa una probeta que se sitúa en el soporte S (ver ilustración 16-2). (Ortega, 2016).



**Ilustración 16-2:** Péndulo de Charpy a) antes del impacto y b) después del impacto.

Fuente: (Ortega, 2016)

La masa  $M$ , la cual se encuentra acoplada al extremo del péndulo de longitud  $L$ , se deja caer desde una altura  $H$ , mediante la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto. La energía absorbida  $E_a$  por la probeta, para producir su fractura, se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto. Una vez conocido el ángulo inicial de aplicación de la carga ( $\alpha$ ) y el ángulo final ( $\beta$ ) al que se eleva el péndulo después de la rotura completa de la probeta, se puede calcular la energía  $E_a$  mediante la expresión:

$$E_a = MgL [\cos(\beta) - \cos(\alpha)] \quad \text{ec. (1 - 2)}$$

donde  $g$  representa la aceleración de la gravedad. (Ortega, 2016).

## 2.8. Normas

Para el desarrollo del presenta trabajo se utilizará la norma ASTM A370-21.

El estándar ASTM A370 propone métodos de testeo para determinar las propiedades mecánicas del acero, el acero inoxidable y otros productos de aleación relacionados. El objetivo de este protocolo es evaluar la conformidad de estos materiales a las especificaciones propuestas por la jurisdicción del Comité A01 de ASTM (Strike James 2004).

### 2.8.1. Norma ASTM E3 "Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas"

La norma ASTM E3 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, describe la secuencia de preparación típica para materiales metálicos. En la preparación metalográfica la secuencia es rigurosa en el aspecto de que la muestra debe alcanzar una preparación superficial adecuada para su observación, sin embargo, existen variaciones en la misma dependiendo de lo

que se desea observar. Si la muestra no se prepara adecuadamente, la interpretación puede ser errónea y llevar a decisiones erróneas con consecuencias graves (ASTM E3, 1995, p. 23).

#### **2.8.2. Norma ASTM E112 "Métodos de prueba estándar para la determinación del tamaño de grano"**

Estos métodos de ensayo cubren los procedimientos de estimación y reglas para expresar el tamaño de grano de todos los metales que consisten en su totalidad, o principalmente, de una sola fase. Los métodos de ensayo también se pueden utilizar para cualquier estructura que tienen una apariencia similar a las de las estructuras metálicas se muestra en las tablas de comparación (ASTM E112, 1998, p. 12).

#### **2.8.3. Norma ASTM E8M "Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos"**

Esta norma describe el ensayo de tracción uniaxial en metales a temperatura ambiente y la determinación de los valores característicos como límite elástico, límite de fluencia, deformación del límite de fluencia, resistencia a la tracción, deformación a rotura y estricción. Con los valores característicos, se pueden hacer declaraciones sobre la resistencia y tenacidad del material. La norma proporciona información importante para la preparación de la probeta, cuyo objetivo es garantizar que la extracción de la probeta del producto y la posterior producción de la probeta no tengan ningún efecto en el material que pueda afectar los resultados del ensayo de tracción (ASTM E-8-01, 1996, p. 22).

#### **2.8.4. Norma ASTM E23-12C "Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos."**

Esta normativa define el procedimiento de ensayo, requerimientos mínimos del péndulo de impacto, instrucciones acerca del tipo de probeta (geometría y preparación), así como los resultados que se desean obtener del ensayo de impacto. Este ensayo tiene por objeto estudiar el comportamiento de un metal frente a la aplicación de una carga puntual que provoca una tensión multiaxial relacionada con la entalla y variable en función de la temperatura del material. Se ha demostrado que en muchos casos se pueden asociar los resultados del ensayo de impacto con el comportamiento del material, especialmente con la transición dúctil-frágil (ASTM E 23-12C, 1997, p. 9).

#### **2.8.5. Norma ASTM E10 "Método de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos"**

Este método de ensayo cubre la determinación de dureza Brinell de materiales metálicos por el principio dureza de indentación Brinell. Esta norma proporciona los requisitos para una máquina de ensayo de Brinell y los procedimientos para realizar ensayos de dureza Brinell. La prueba de dureza Brinell es una prueba de dureza a la penetración que puede proporcionar información útil sobre los materiales metálicos. Esta información puede correlacionar a la tensión de fuerza, resistencia al desgaste, la ductilidad, u otras características físicas de los materiales metálicos, y puede ser útil en el control de calidad y la selección de materiales. Pruebas de dureza Brinell se consideran satisfactorios para las pruebas de aceptación de envíos comerciales, y se han utilizado ampliamente en la industria para este propósito (ASTM E10, 1998, p. 21).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el material utilizado y los procedimientos que se sigue para conseguir el objetivo del trabajo. Los procedimientos descritos son: espectrometría, cálculo de la temperatura crítica superior para acero AISI 1018, determinación de las temperaturas de calentamiento, cálculo del tiempo de austenización (tiempo de permanencia a la temperatura de calentamiento), marcado de muestras, tratamientos térmicos, análisis metalográfico, tracción, tenacidad, dureza, cálculo de la escala de micrografías, cálculo del error muestral,

#### 3.1. Material utilizado

Para este estudio se seleccionó un acero comercial AISI 1018 laminado en frío, dado que, se puede encontrar fácilmente en la ciudad de Riobamba – Ecuador, además de ser relativamente barato. Su bajo porcentaje de carbono hace que este acero en comparación a otros aceros de mayor porcentaje posea una menor resistencia a la tracción, pero con mejor ductilidad y tenacidad, siendo muy fácil llevar a una temperatura de austenización. Por las propiedades antes mencionadas hace que este acero sea muy utilizado para la construcción de componentes de maquinaria que requieran de uniformidad en la dureza del material.

De acuerdo con la norma de tenacidad, tracción y según recomendaciones de investigadores, el número mínimo de muestras a utilizar en un ensayo es tres, por lo tanto, en este trabajo se ha considerado cuatro muestras de acero AISI 1018 o cuatro corridas por cada temperatura de calentamiento y sin tratamiento térmico. Por lo tanto, se tendrá sesenta probetas de acero AISI 1018, las mismas que serán divididas en cinco grupos de doce probetas como se observa en la ilustración 1-3, de las cuales cuatro probetas son para tracción, cuatro para impacto y las cuatro últimas para metalografía y dureza.



**Ilustración 1-3:** Grupo de doce probetas

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.1.1. *Composición química del material utilizado*

Los datos de la composición química del acero AISI 1018 empleado en este trabajo, se obtiene mediante un análisis de espectrometría, el cual se detalla en el apartado siguiente.

## 3.2. **Espectrometría**

### 3.2.2. *Espectrómetro de chispa*

Para llevar a cabo el análisis de espectrometría, el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH cuenta con un espectrómetro de chispa cuyas características se detallan en la tabla 1-3. Esta máquina se utilizó en el desarrollo de este proceso.

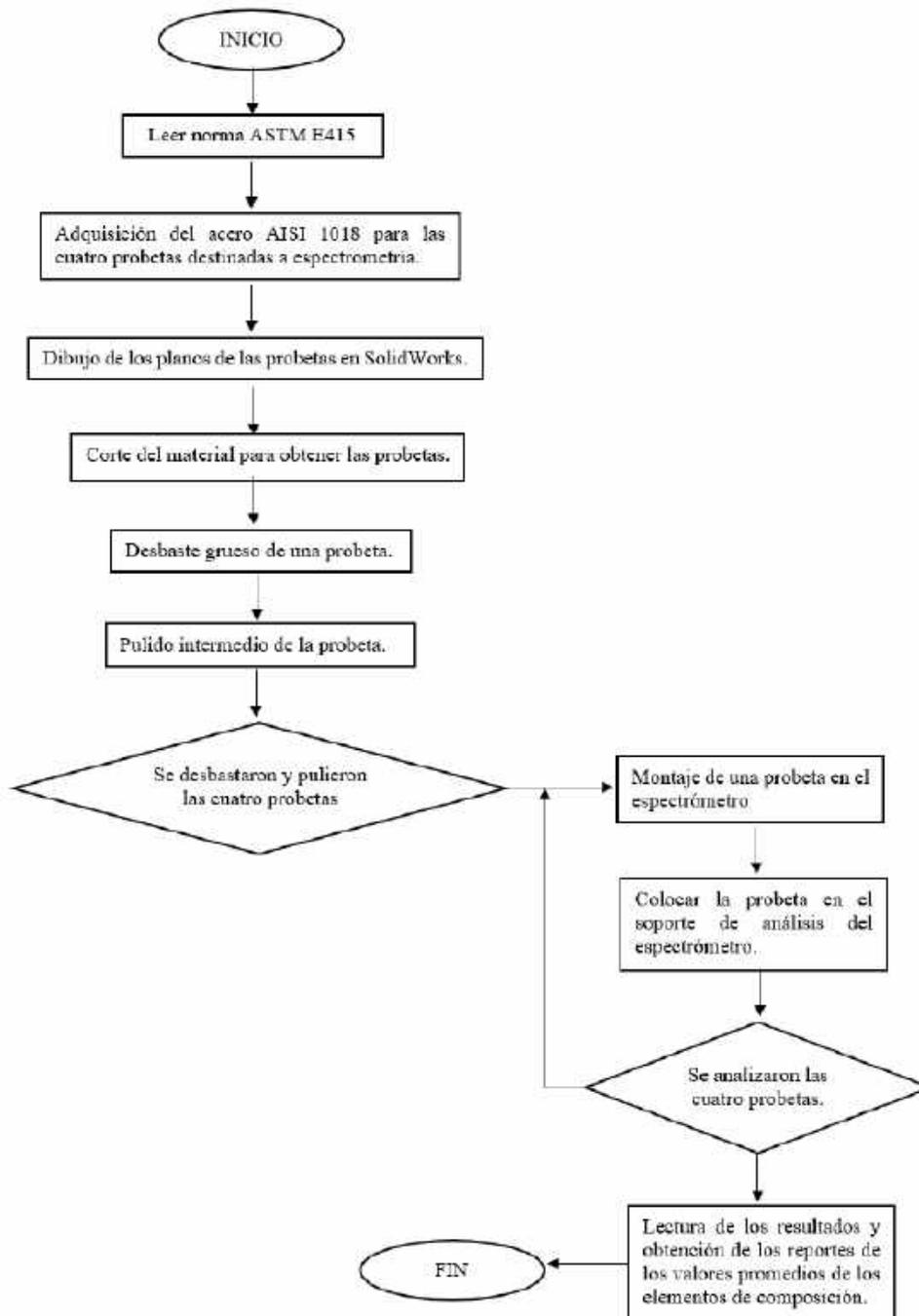
**Tabla 1-3:** Características del espectrómetro de chispa

ESPECTRÓMETRO DE CHISPA		
	CARACTERÍSTICAS	
	Marca	BRUKER
	Número	Q103384-2015
	Fuente de Alimentación	110 V
	Potencia	200 W
	Frecuencia	50 – 60 Hz
	Dimensiones	600x1280x630mm
	Peso	115 kg

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.2.3. *Procedimiento*

En el siguiente diagrama de flujo se describe cada una de las etapas que se sigue para la realización del análisis de espectrometría. La norma que rige este procedimiento es la ASTM E415 “Método de prueba estándar para el análisis de acero al carbono y de baja aleación mediante espectrometría de emisión atómica por chispa”.



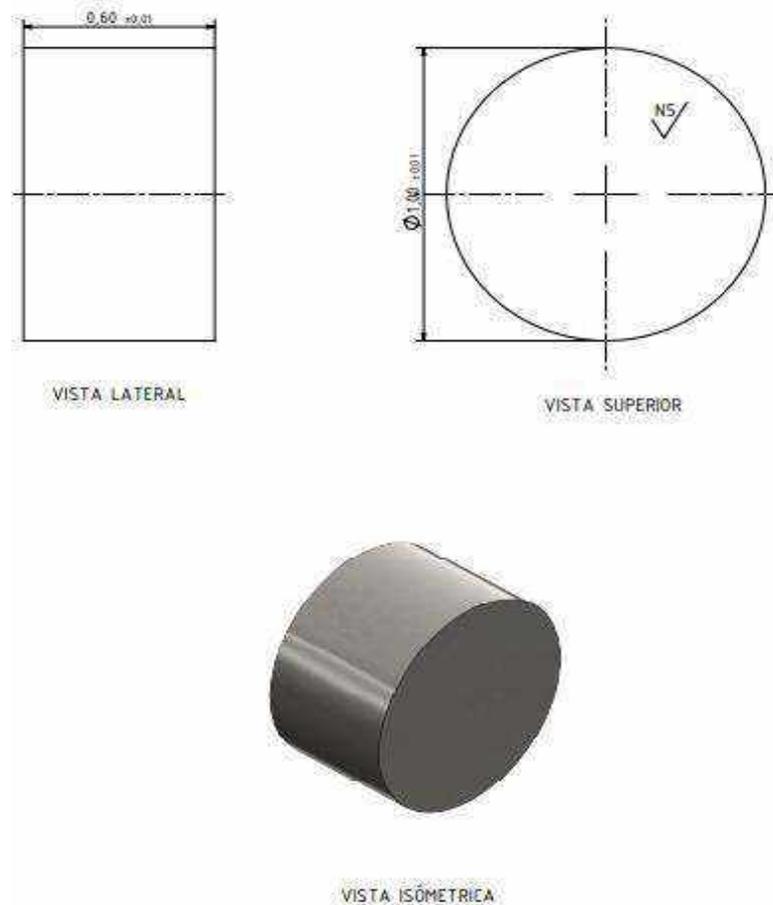
**Ilustración 2-3:** Diagrama de flujo para espectrometría

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.2.3.1. Obtención de las probetas

La norma ASTM E415 menciona que una muestra cortada de una sección de muestra grande debe tener el tamaño y el grosor suficientes para la preparación y para ajustarse correctamente al soporte del espectrómetro. Una muestra de 10 mm a 38 mm de espesor es normalmente la más práctica. Los cuatro ejemplares destinados para este proceso cumplen con el requerimiento, dado

que la espectrometría se realizó con las probetas designadas para micrografía y dureza Brinell que presentan las medidas que se muestran en la ilustración 3-3.



**Ilustración 3-2:** Dimensiones de las probetas para metalografía

**Fuente:** ASTM E3, 1995

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.2.3.2. Limpieza de las probetas

Las muestras deben estar libres de huecos y hoyos en la región de contacto. Por tal razón, se realiza un desbaste grueso y posterior a ello, se realiza un pulido intermedio, una vez lista la probeta se procede a realizar el montaje para el ensayo de espectrometría.

### 3.2.3.3. Uso del espectrómetro de chispa

Una vez colocada la muestra en el soporte de análisis, el espectrómetro comienza su proceso dentro una atmosfera de gas inerte como es el argón grado AP “5.0”, luego, un arco de chispa incide sobre la muestra la cual se funde donde se produjo la chispa dando lugar a la excitación de los electrones de los átomos lo que hace que cada átomo genere una longitud de onda. Con la radiación generada esta se traslada a un condensador y entra a la cámara de análisis en donde se separa por una rejilla de difracción que descompone el haz de luz en forma de prisma, cada

longitud de onda posee un color, la longitud de onda es reflejada en la cámara de vacío hasta los tubos fotomultiplicadores. En este punto los fotomultiplicadores tienen una distribución tal que cada uno coincide con un elemento químico y estos son los encargados en recibir las longitudes de onda. Estos fotomultiplicadores emiten una corriente eléctrica dependiendo de la intensidad de la radiación, estos impulsos son llevados al ordenador donde se transforman en valor de porcentajes de los elementos químicos.

#### 3.2.3.4. *Lectura de datos*

En menos de treinta segundos se obtiene la composición elemental completa del metal, cuyos valores se podrán visualizar en el software Elemental Suite. Se obtiene el reporte de espectrometría luego de analizar las cuatro muestras destinadas para este proceso.

### 3.3. **Cálculo de la temperatura crítica superior para acero AISI 1018**

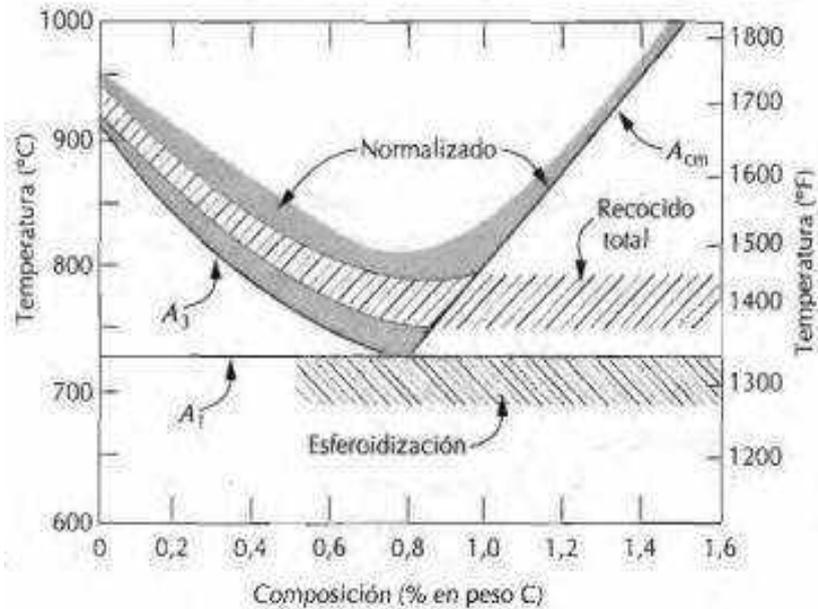
En la primera etapa del tratamiento térmico utilizado se debe colocar las probetas en el horno e ir calentando lentamente hasta una temperatura de austenización o de calentamiento. Esta temperatura debe estar por encima de la temperatura crítica superior Ac<sub>3</sub> del diagrama hierro-carbono para llegar a un estado de austenización total. Para calcular Ac<sub>3</sub> se utiliza la ecuación (2-3) (Bohórquez, 2012):

$$\begin{aligned} Ac_3 \text{ (}^\circ\text{C)} = & 912 - 203\sqrt{[\%C]} + 15.2[\%Ni] + 44.7[\%Si] + 104[\%V] + 31.5[\%Mo] \\ & + 13.1[\%W] - 30[\%Mn] - 11[\%Cr] - 20[\%Cu] + 700[\%P] \\ & + 400[\%Al] + 120[\%As] + 400[\%Ti] \quad \text{ec. (2 - 3)} \end{aligned}$$

### 3.4. **Determinación de las temperaturas de calentamiento**

El tratamiento térmico de recocido de regeneración consiste en un calentamiento de las probetas por encima de Ac<sub>3</sub> para los aceros hipoeutectoides, seguido de un enfriamiento al aire (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

La primera temperatura para considerar es la utilizada para un recocido de normalización, en el cual, la pieza se calienta aproximadamente a 50°C por encima del punto crítico superior para aceros hipoeutectoides, ver la ilustración 4-3, Por consiguiente, esta temperatura de calentamiento será de 900°C, dado que la temperatura Ac<sub>3</sub> para el material utilizado es 828,01°C.



**Ilustración 4-3:** Región del diagrama se indica el tramo de temperaturas de tratamiento térmico del acero al carbono

**Fuente:** (Callister, 2012, p.339)

Además, es importante considerar que la temperatura de calentamiento debe ser menor a la temperatura de fusión del acero AISI 1018 (1480°C-1526°C). Por lo tanto, las temperaturas de calentamiento consideradas para realizar los tratamientos térmicos son: 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C. Dado que, se encuentran en los rangos de 828,01°C y 1480°C.

### 3.5. Cálculo del tiempo de austenización (tiempo de permanencia a la temperatura de calentamiento)

Para calcular el tiempo de austenización se utiliza la siguiente fórmula con la cual se logra una transformación homogénea de la austenita (Muñoz, Cuellar y Lopez, 2014).:

$$t = 20 + \frac{D}{2} \quad ec. (3 - 3)$$

t es el tiempo de permanencia dado en minutos

D es el diámetro en milímetros

### 3.6. Marcado de probetas

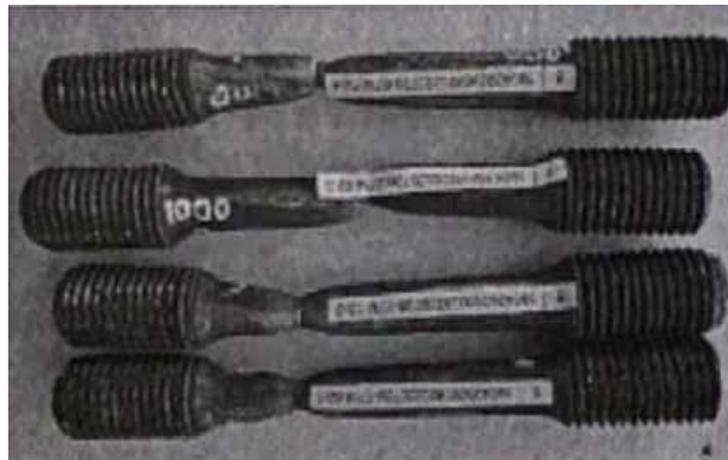
Todas las probetas de acero AISI 1018 se marcaron o señalaron antes y después de realizar el tratamiento térmico, para esto se marcó las sesenta probetas con marcador blanco señalando el número de probeta y la temperatura a la que se va a someter.



**Ilustración 5-3:** Muestras marcadas luego de los tratamientos térmicos

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Por otro lado, las probetas destinadas para tracción y para tenacidad fueron señaladas nuevamente en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la provincia de Tungurahua mediante una etiqueta donde señala la probeta y el tipo de ensayo que se realiza. Como se observa en la ilustración siguiente.



**Ilustración 6-3:** Muestras marcadas luego de los ensayos

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.7. Tratamientos térmicos

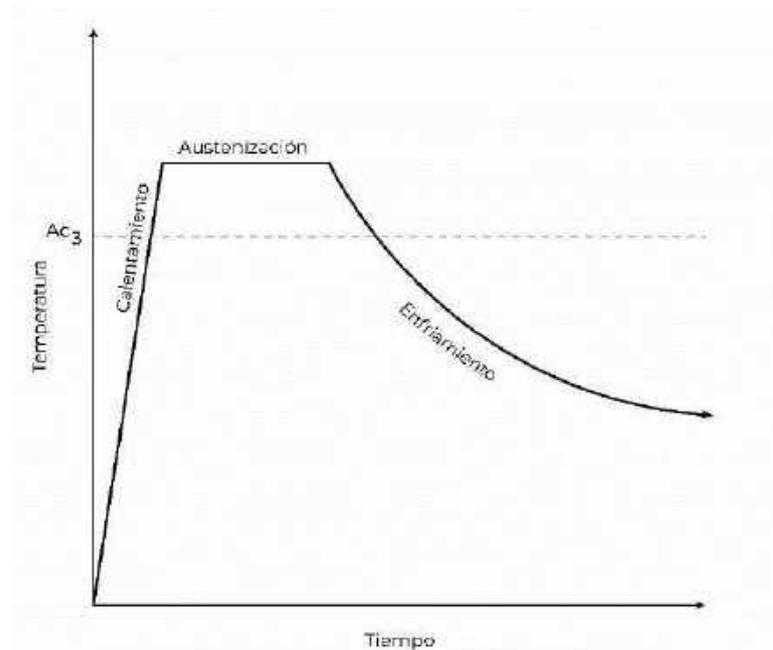
Los aceros se pueden tratar térmicamente para producir una amplia gama de microestructuras y propiedades. En general, el tratamiento térmico utiliza la transformación de fase durante el calentamiento y el enfriamiento para cambiar la microestructura a un estado sólido. En el tratamiento térmico, el procesamiento normalmente es térmico y modifica solo la estructura del acero.

### 3.7.2. *Obtención de probetas*

Conforme se explica en el apartado 3.1 se obtiene sesenta probetas divididas en cinco grupos de doce probetas como se observa en la ilustración 1-3. Las dimensiones de dichas probetas se sujetan a la norma que rige cada ensayo. Para tracción la norma ASTM E8M, para tenacidad la norma ASTM E23-12C, para dureza Brinell la norma ASTM E10, cuyas probetas son las mismas que para metalografía cumpliendo así, la norma ASTM E112. Los planos de las probetas se observan en los apartados 3.9.3, 3.10.3, 3.11.3 o en los anexos C, D, E, respectivamente.

### 3.7.3. *Etapas del tratamiento térmico*

De los cinco grupos de probetas, cuatro grupos serán sometidos a un tratamiento térmico de recocido de regeneración a diferentes temperaturas de calentamiento. Este tratamiento térmico consta de un ciclo de calentamiento de las probetas en el horno, el cual se detalla en el apartado 3.7.4., seguido de un ciclo de austenización o ciclo de permanencia a la temperatura de calentamiento y, por último, un ciclo de enfriamiento en aire estático o ligeramente agitado (Normalizado), obteniendo así diferentes microestructuras y con ello variación de las propiedades, ver ilustración 7-3.



**Ilustración 7-3:** Esquema de la secuencia del tratamiento térmico empleado

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.7.4. Horno para tratamientos térmicos

El horno utilizado para realizar los tratamientos térmicos es el que se encuentra en el laboratorio de Fundición de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, el cual posee las siguientes características.

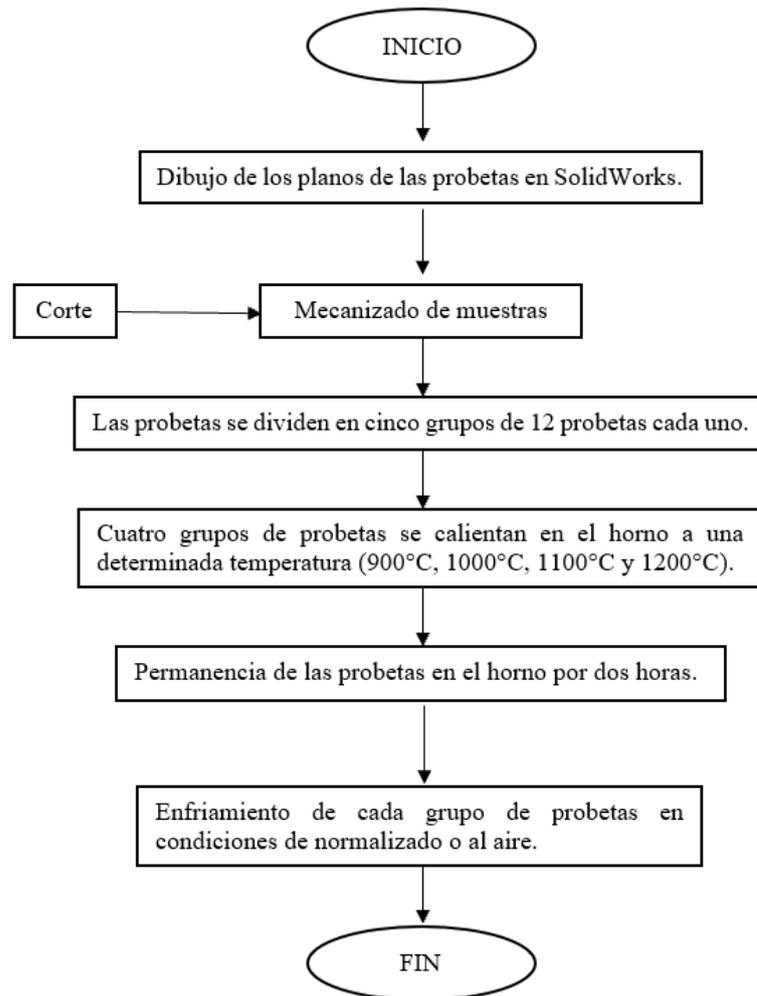
**Tabla 2-3:** Características del horno para tratamientos térmicos

HORNO		
	CARACTERÍSTICAS	
	Marca	-----
	Número	-----
	Fuente de Alimentación	220 V
	Potencia	-----
	Frecuencia	50 – 60 Hz
	Dimensiones	80x100x90cm
	Peso aprox.	100 kg

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.7.5. Descripción de las etapas del tratamiento térmico

En el siguiente diagrama de flujo se describe cada una de las etapas que se sigue para la realización del tratamiento térmico.



**Ilustración 8-3:** Diagrama de flujo para espectrometría

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.7.5.1. Calentamiento

Se calienta cada grupo de doce probetas en el horno a una temperatura de calentamiento correspondiente, como se observa en la ilustración 9-3.



**Ilustración 9-3:** Grupo de probetas en el horno

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Para controlar la temperatura del horno se utiliza un pirómetro como se muestra en las siguientes ilustraciones.

Para temperatura de calentamiento de 900°C



**Ilustración 10-3:** Control de temperatura a 900°C

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Para temperatura de calentamiento de 1000°C



**Ilustración 11-3:** Control de temperatura a 1000°C

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Para temperatura de calentamiento de 1100°C



**Ilustración 12-3:** Control de temperatura a 1100°C

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Para temperatura de calentamiento de 1200°C



**Ilustración 13-3:** Control de temperatura a 1200°C

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.7.5.2. *Tiempo de austenización (permanencia de temperatura fijada)*

Cada grupo de doce probetas se mantiene en el horno por un tiempo de aproximadamente dos horas a la temperatura de calentamiento para garantizar la homogeneidad del calor y el cambio de fase.

### 3.7.5.3. *Enfriamiento*

Una vez que un grupo de probetas haya permanecido aproximadamente dos horas a la temperatura de calentamiento fijada se saca del horno y se enfría al aire.

## **3.8. Análisis Metalográfico**

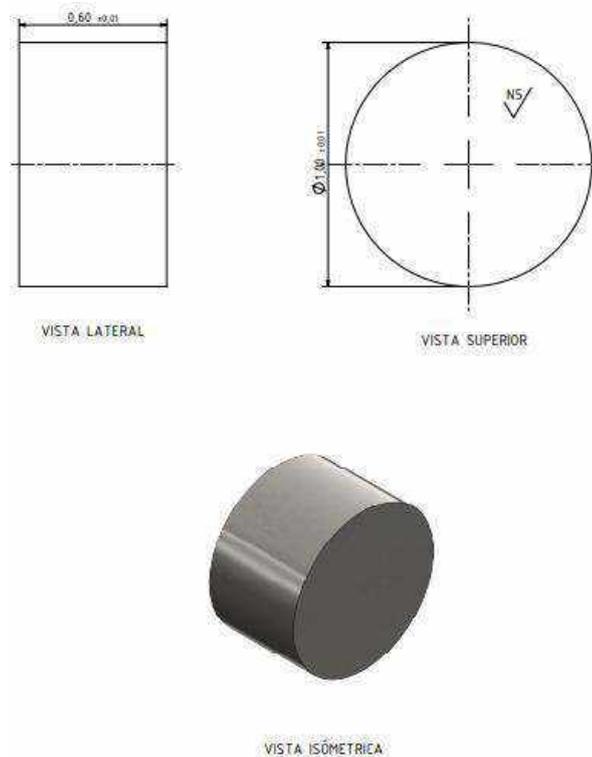
La identificación de fases o constituyentes en metales y aleaciones es un problema metalográfico común. Los investigadores a menudo pueden predecir qué fases es probable que estén presentes en una aleación determinada a partir del conocimiento de la composición química de la muestra, el historial de procesamiento, la información publicada previamente sobre sus características o por referencia a los diagramas de fase. Guiado por dicha información, el investigador examina la microestructura para identificar las fases presentes. Sin embargo, incluso cuando uno posee tal información, la tarea dista mucho de ser trivial, incluso para sistemas de aleación bien documentados. Sólo después de que se hayan identificado las fases se debe intentar una cuantificación de la cantidad y las características morfológicas de las fases.

Se pueden utilizar muchas técnicas para obtener una descripción cualitativa de la microestructura de los materiales. Algunos métodos requieren costosos dispositivos de metalografía electrónica o de rayos X, pero la microscopía óptica sigue siendo la piedra angular del procedimiento analítico. (F y Vander, 1986).

La preparación de muestras metalográficas se simplificaría enormemente si se dispusiera de un método universal aplicable a todos los materiales. Si bien varios trabajadores han descrito procedimientos de pulido "universales", estos métodos no son verdaderamente universales, aunque pueden tener una amplia aplicabilidad. Por lo tanto, se puede esbozar una técnica básica y luego modificarla según sea necesario para materiales y problemas específicos. En general, la preparación de la muestra consta de seis pasos: corte, montaje (opcional), desbaste, pulido y ataque. (F y Vander, 2007).

### 3.8.2. *Obtención de probetas*

De acuerdo con la norma que rige el ensayo metalográfico, norma ASTM E3 "Guía estándar para la preparación de muestras metalográficas", como se menciona en el apartado 2.8.1, se establece las siguientes medidas para las veinte probetas destinadas a metalografía.



**Ilustración 14-3:** Dimensiones de las probetas para metalografía

**Fuente:** ASTM E3, 1995

**Realizado por:** González, K., Villarreal, E., 2022.

### 3.8.3. *Procedimiento para la preparación de muestras metalográficas*

Los pasos de preparación para la microscopía óptica, a menudo vistos como un proceso tedioso y frustrante, son de gran importancia, ya que la verdadera microestructura puede oscurecerse parcial o totalmente debido a una técnica o ejecución deficientes. Las muestras preparadas incorrectamente pueden dar lugar a interpretaciones erróneas, lo que puede tener consecuencias desastrosas y costosas. Si bien no es necesario que todas las muestras estén perfectamente preparadas para la calidad de publicación, cualquier deficiencia menor, como rasguños de pulido muy finos, no debe alterar la estructura hasta el punto de dificultar la interpretación correcta. Se pueden encontrar muchos problemas, algunos de los cuales son simplemente molestos, mientras que otros, si no se reconocen, son bastante dañinos. En situaciones en las que uno simplemente está interesado en observar la estructura sin registrarla en una película, la preparación de la

muestra se puede simplificar sin alterar los resultados si se tiene una comprensión profunda de las áreas problemáticas potenciales. (F y Vander, 2007).

### 3.8.3.1. Corte transversal

Debido a que la preparación de la muestra requiere mucho tiempo e implica algunos gastos, se debe prestar la atención y el pensamiento adecuados a la selección de muestras con respecto al número, ubicación y orientación dentro de la pieza de prueba o componente. Los materiales comerciales no son homogéneos; por lo tanto, una sola muestra elegida al azar de un gran volumen de metal puede no ser representativa del rango de condiciones presentes. La selección de muestras puede diseñarse para producir una muestra con condiciones promedio o "típicas", o las muestras pueden elegirse deliberadamente para revelar las peores condiciones. Cada método de selección tiene sus méritos.

Las muestras de tamaño razonablemente pequeño se pueden manejar con equipos que se encuentran en un laboratorio metalográfico típico, como una cizalla, una sierra de cinta, una sierra de corte abrasivo y sierras de diamante de alta o baja velocidad.

Las láminas de acero con bajo contenido de carbono y otros materiales delgados y razonablemente blandos se pueden cortar a medida mediante cizallamiento. Si bien se genera poco calor, el cizallamiento produce una deformación sustancial y no se recomienda para aquellos materiales que son sensibles a la formación de gemelos mecánicos. La zona afectada por el cizallamiento debe eliminarse mediante esmerilado. El cizallamiento es una técnica de seccionamiento rápida, sencilla y eficaz (F y Vander, 2007).



**Ilustración 15-3:** Muestras de acero AISI 1018 cortadas

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.8.3.2. *Montaje y dimensiones de la probeta*

El tamaño y la forma del montaje a veces están influenciados por el tamaño y la forma de la pieza que se va a montar. En general, la mayoría de los montajes son redondos con diámetros de 1, 1¼ o 1½ pulg. La altura del montaje suele ser de 1/2 a 3/4 pulg. Estos tamaños estándar se adaptan a las máquinas pulidoras y pulidoras automáticas y, por lo general, caben dentro de las cámaras de muestra de el microscopio electrónico de barrido (SEM) o microsonda (F y Vander, 2007).

Las muestras más grandes se pueden cortar y montar o manipular sin montar. A medida que aumenta el área de la muestra a pulir, se vuelve más difícil mantener la superficie plana y obtener un pulido de alta calidad en toda la superficie, especialmente si se utiliza el pulido manual. El grosor de la montura es importante si las muestras se pulen a mano, ya que las monturas de más de 4 pulgadas de alto son difíciles de mantener planas (F y Vander, 2007).

Para el caso de este trabajo las muestras destinadas para metalografía se usan sin necesidad de un montaje debido a las dimensiones especificadas en el apartado 3.8.2.

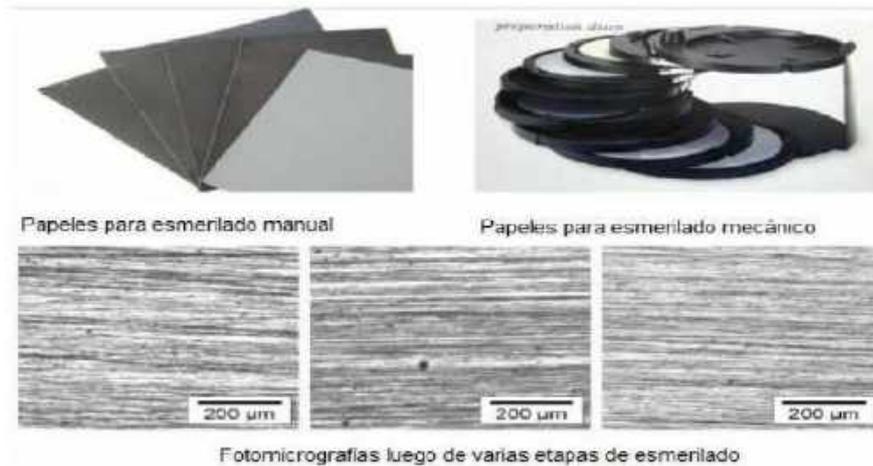
### 3.8.3.3. *Desbaste y pulido*

La finalidad del desbaste no es otra que la de preparar la superficie para el pulido, eliminando las capas distorsionadas, y obtener una superficie plana, ya que el microscopio tiene sólo una pequeña profundidad focal. Si la probeta es de material blando, se puede aplanar utilizando una lima fina, la cual debe manejarse mediante movimiento de vaivén presionando ligeramente. (Delgado Poma, 2016).

**Desbaste grueso:** Este desbaste se efectúa ya sea con papel para esmerilado manual o mecánico, como se observa en la ilustración 16-3, el cual debe de ser del No 180 o más grueso y se emplea para completar lo siguiente (Delgado Poma, 2016):

- Para aplanar irregularidades dañadas por el corte
- Para remover cascarillas y otras condiciones superficiales, antes del montaje
- Para remover gran cantidad de la probeta sin necesidad de cortarla, hasta alcanzar el plano deseado para el pulido.

La superficie que haya de observarse se debe de hacer primero plana mediante un desbaste grueso. La distorsión del metal superficial no se puede evitar enteramente, pero se puede aminorar mucho mediante técnicas adecuadas de desbaste y pulido; la presión de contacto en las operaciones citadas debe mantenerse baja, y en todo caso, el metal distorsionado se elimina mediante varios ciclos de pulido y ataque. (Delgado Poma, 2016).



**Ilustración 16-3:** Papeles o lijas para esmerilado. Fotomicrografía después de varias etapas de esmerilado

Fuente: (Delgado Poma, 2016).

**Desbaste intermedio y fino:** El papel de esmeril se coloca sobre una placa o sobre cualquier superficie bien plana y limpia, en este caso se utiliza un banco portaliijas perteneciente al laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH que posee un sistema de agua que circula por tuberías pequeñas y que sale por orificios con la finalidad de refrigerar y barrer la superficie de la muestra que se pasa sobre el papel de lija mojada. En la siguiente tabla se especifican las características del banco portaliijas.

**Tabla 3-1:** Características del banco portaliijas

BANCO PORTALIJAS		
	CARACTERÍSTICAS	
	Tipo de máquina	Manual
	Dimensiones	500x600x100mm
	Peso aprox.	10 kg

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Se usan papeles de grano a partir de 320. La probeta se mueve longitudinalmente de un lado a otro del papel, comprimiéndola con una presión suave; la dirección del movimiento se mantiene constante, para que todas las rayas producidas sean paralelas. El final de la operación sobre un papel está determinado por la desaparición de las rayas producidas por el desbaste grosero o el papel anterior, y para poder reconocerlo fácilmente se opera en forma que las nuevas rayas sean perpendiculares a las anteriores; así es más fácil ver cuándo estas nuevas rayas sustituyen

totalmente a las anteriores más gruesas. Es decir, en los métodos manuales, la probeta se va girando 90° entre lija y lija para poder determinar si el rayado de la lija anterior se ha removido por completo. La probeta también debe de deslizarse hacia atrás y hacia adelante para prevenir la ralladura, como se observa en la ilustración 17-3. Al final del desbaste la probeta debe de estar plana y el rayado en una sola dirección.

Este desbaste debe de realizarse con una lija cada vez más fina que proporcione una buena planicidad a la probeta y que remueva las rayaduras de operaciones anteriores tales como las del corte. Una secuencia lógica de las lijas a utilizar es la siguiente: 240,320, 400, 600, 800,1000,1200 y 1500. Dependiendo del pulido de la superficie de la probeta pueden omitirse algunos números de lija. Cuando la observación visual demuestra que sólo existen las rayas producidas por el último papel empleado y se han eliminado totalmente las anteriores, la probeta está en condiciones de ser pulida. (Delgado Poma, 2016).



**Ilustración 17-3:** Desbaste fino de las muestras

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

- **Pulido**

La muestra se pule para producir una superficie plana, razonablemente libre de rayones y con alta reflectividad (superficie tipo espejo). No es necesaria una superficie totalmente libre de rayones para el examen de rutina; sin embargo, cualquier rasguño presente debe ser muy fino y estar bien disperso para que se pueda observar la verdadera estructura. Si se van a tomar fotomicrografías, se deben eliminar los rayones. El pulido se debe realizar en un ambiente libre de polvo separado de las áreas de corte y desbaste de la muestra, ya que no se pueden tolerar los contaminantes transportados por el aire. La limpieza entre las etapas de pulido es más crítica que entre las etapas de desbaste porque el arrastre es un problema mayor. El arrastre también puede ser causado por abrasivo en las manos del operador; por lo tanto, tanto la muestra como las manos del operador

deben lavarse entre cada paso. Si se utilizan dispositivos automáticos, también se debe lavar el accesorio. (F y Vander, 2007).

El laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH cuenta con una pulidora que se utiliza en esta etapa, las características se detallan en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Características de la pulidora

PULIDORA		
	CARACTERÍSTICAS	
	Marca	Huayin
	Número	MoPao 160
	Fuente de Alimentación	220 V
	Potencia	370 W
	Frecuencia	50 – 60 Hz
	Diámetro de disco de pulido	203mm
	Velocidad de rotación	150 y 300 rpm
	Dimensiones	740x400x310mm
	Peso aprox.	30 kg

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

El pulido tiene por finalidad dar lugar a una superficie pulida uniformemente y libre de rayas. Para la mayoría de las probetas metalográficas, la alúmina levigada da un resultado magnífico y se reconoce por todos como el abrasivo de empleo más universal en el pulido. Durante el pulido se aplica a la probeta una presión moderada y se la mueve continuamente del centro a la periferia del disco cubierto con el paño para pulido (pañó de mesa de billar), el cual esta empapado con el abrasivo empleado (Alumina -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), como se observa en la ilustración 18-3.



**Ilustración 18-3:** Pulido de las muestras

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Eventualmente, y en particular al final de la operación, se gira la probeta en sentido contrario al de la rotación del disco. Esta operación modifica continuamente la dirección del pulido y evita la formación de colas de cometa. Tales formaciones son inevitables cuando se pule en una sola dirección, porque se arrancan más o menos las inclusiones, se abrasiona el metal adyacente y aparecen picaduras y huecos dejados por dichas inclusiones (Delgado Poma, 2016).

Para evitar la distorsión del metal, se debe suspender el pulido en cuanto las rayas ya no son observables a 100 aumentos, no apareciendo tampoco colas de cometa. Si persisten las rayas finas, se puede continuar el pulido (Delgado Poma, 2016).

La probeta pulida puede atacarse inmediatamente después o se puede guardar para usarla más tarde y examinarla sin ataque. En cualquier caso, la superficie de la probeta debe protegerse de la oxidación y otros efectos perjudiciales atmosféricos (Delgado Poma, 2016).

#### 3.8.3.4. *Ataque químico*

Esta etapa se realiza en base de la norma ASTM E407 “Método estándar para el micrograbado de metales y aleaciones”. Este método cubre las soluciones y los procedimientos químicos que se utilizan en el grabado de metales y aleaciones para su examen microscópico (ASTM INTERNATIONAL, 2016). El ataque químico permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación. El ataque puede hacerse sumergiendo la muestra, con la cara pulida hacia arriba, en un reactivo adecuado, ver ilustración 19-3. Un reactivo común utilizado para atacar hierros y aceros al carbono en general es el nital, que consiste en 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (en 100  $cm^3$  de alcohol etílico 95% agregar 5  $cm^3$  de  $NO_3H$  concentrado). Por lo común es adecuado de 3 a 5 segundos para que el ataque químico sea adecuado. El nital oscurece la perlita y pone de manifiesto los bordes de la ferrita. Ferrita y cementita blancos y perlita más oscura (laminas claras y oscuras semejante a una impresión digital). Inmediatamente después se lava la muestra con elevada agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca mediante un golpe de aire. (Delgado Poma, 2016).



**Ilustración 19-3:** Ataque químico de las muestras

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### **3.8.4. Obtención de las micrografías**

Una vez concluido con los pasos antes descritos se coloca la muestra sobre la placa del microscopio óptico, de tal manera que la superficie de la probeta sea perpendicular al ojo óptico. Variando el lente objetivo se puede observar con ampliaciones distintas, y elegir la adecuada.

El microscopio usado se encuentra en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH (Ilustración 20-3). Las características se detallan en la tabla 5-3.



**Ilustración 20-3:** Microscopio óptico usado

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 5-3:** Características del microscopio óptico

MICROSCOPIO ÓPTICO	
CARACTERÍSTICAS	
Marca	Nikon
Número	Eclipse E200
Fuente de Alimentación	110 V
Potencia	3 W
Aumentos	40x a 1500x para observación
Oculares	CFI E 10X (C.O. 20mm) CFI E 15X (C.O. 12mm)
Objetivos	CFI E Plan Acromático 4X A. N. 0.10 (C.O. 20mm) CFI E Plan Acromático 10X A. N. 0.10 (C.O. 20mm) CFI E Plan Acromático 40X A. N. 0.10 (C.O. 20mm) CFI E Plan Acromático 100X A. N. 0.10 (C.O. 20mm)
Platina	Rectangular con superficie de 216x150mm montada en el cuerpo principal. Viaje de platina de 78 x 54 mm (X-Y) usa un control coaxial con posición baja
Peso aprox.	7,3 kg

**Fuente:** (Técnica en Laboratorios, 2021).

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Además, con este microscopio existe la posibilidad de visualizar las muestras en un ordenador o computadora, mediante un cable de datos y el software MShot que debe estar instalado previamente en el computador a utilizar. Con esta posibilidad se obtiene imágenes más claras de la muestra a analizar. Ver ilustración 21-3.



**Ilustración 21-3:** Visualización de micrografías en el ordenador

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.8.5. *Tamaño de grano*

El tamaño de grano de un acero aumenta con la temperatura de calentamiento y el tiempo de mantenimiento a dicha temperatura. En particular, los aceros hipo e hipereutectoides el constituyente proeutectoide limita el crecimiento del grano austenítico entre las temperaturas críticas inferior y superior (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

El crecimiento del grano se produce por un fenómeno de digestión, mediante el cual los granos más gruesos absorben a los limítrofes más pequeños. El tamaño alcanzado es función de la temperatura, mientras que el tiempo tiene una influencia más acusada en la proporción obtenida de granos gruesos que en su tamaño. Tras el enfriamiento, e independientemente de la naturaleza de éste, el acero que ha sufrido un recocido de homogeneización a alta temperatura, o un tratamiento de forja, etc., presenta una estructura gruesa que confiere bajas propiedades mecánicas, particularmente la resiliencia (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

Si el grano austenítico era muy grueso es recomendable efectuar varios recocidos de regeneración sucesivos, empleando temperaturas de austenización decrecientes; de esta manera se facilita la obtención de un grano austenítico fino a pesar de partir de una estructura inicial muy gruesa (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

#### 3.8.5.1. *Cálculo del tamaño de grano*

De acuerdo con la norma ASTM E-112 “STANDARD TEST METHODS FOR DETERMINING AVERAGE GRAIN SIZE” el número de tamaño de grano ASTM, G, originalmente fue definido como:

$$N_{AE} = 2^{G-1} \quad ec. (4 - 3)$$

Donde  $N_{AE}$  es el número de granos por pulgada cuadrada a un aumento de 100X ((ASTM\_E112, 1996).

Despejamos G

$$G = \frac{\ln(N_{AE})}{\ln(2)} + 1 \quad ec. (5 - 3)$$

Por lo tanto, para obtener el tamaño de grano ASTM, G, en una micrografía a 100X se coloca un cuadrado de una pulgada cuadrada, ver ilustración 22-3. Luego se cuenta los granos contenidos dentro del cuadrado y los interceptados, los primeros tendrán un valor de uno y los segundos un valor de 0.5. Una vez que se obtiene  $N_{AE}$ , se reemplaza en la *ec. (5 - 3)* y se obtiene el número de tamaño de grano ASTM, G.



**Ilustración 22-3:** Conteo de granos en un área de una pulgada cuadrada en una micrografía de 100X.

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Para probetas que tienen dos o más fases, la norma ASTM E-112 “STANDARD TEST METHODS FOR DETERMINING AVERAGE GRAIN SIZE” describe otra manera de calcular el tamaño de grano. La norma explica que es posible determinar la longitud media de intersección lineal de la fase matriz  $\alpha$  en una microestructura de dos fases,  $\ell_\alpha$ , por medición de longitudes de intersección individuales utilizando líneas rectas de prueba aplicadas aleatoriamente a la estructura. No medir las intersecciones parciales en los extremos de las líneas de prueba. Las intersecciones individuales son promediadas y este valor es utilizado para determinar  $G$  de la ecuación (6 – 3) (ASTM\_E112, 1996).

$$G = (-6.643856 \log_{10} \ell_\alpha) - 3.288 \quad \text{ec. (6 - 3)}$$

La unidad de  $\ell_\alpha$ , es el mm y viene dado por la siguiente ecuación:

$$\ell_\alpha = \frac{L}{(N_\alpha)(M)} \quad \text{ec. (7 - 3)}$$

Donde,

$L$  es la longitud de una línea de prueba

$N_\alpha$  es el número de granos  $\alpha$  interceptados por la línea de prueba en una microestructura de dos fases

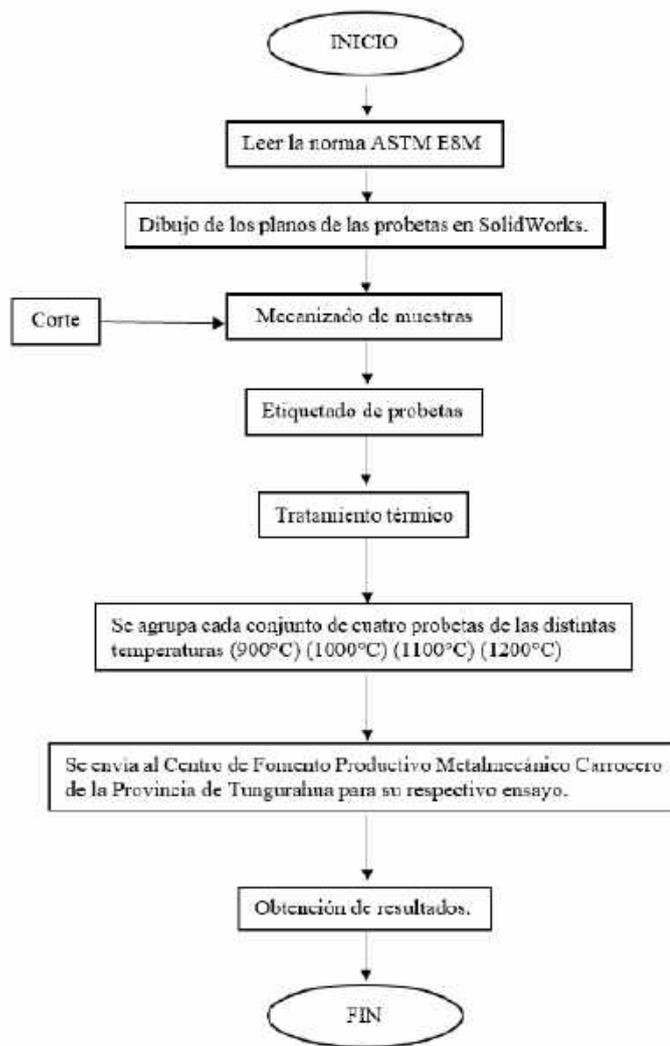
$M$  es el aumento

### **3.9. Ensayo de Tracción**

Los ensayos de tracción se llevan a cabo en el Centro De Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Ambato en base a la norma ASTM E8M "Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos" en concordancia con el apartado 2.8.3. Para conocer más detalles del ensayo ir al anexo A

#### **3.9.2. Procedimiento del ensayo de Tracción**

En el siguiente diagrama de flujo se describe cada una de las etapas que se sigue para la realización del análisis de espectrometría. La norma que rige este procedimiento es la ASTM E8M "Método estándar para ensayo de tracción en materiales metálicos"

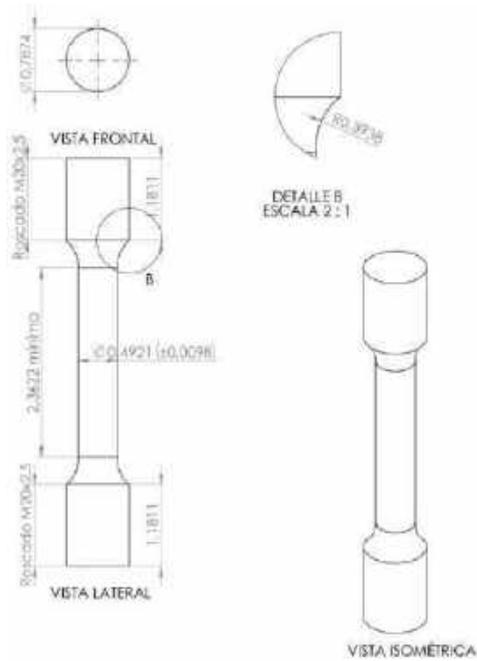


**Ilustración 23-3:** Diagrama de flujo para tracción

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.9.3. *Obtención de probetas*

Las veinte probetas destinadas a tracción se extraen de ejes de acero AISI 1018, cuyas dimensiones están de acuerdo con lo que establece la norma antes mencionada. Con lo cual, las dimensiones de las muestras son las siguientes:



**Ilustración 24-3:** Dimensiones de las probetas para tracción

**Fuente:** ASTM E8M, 2013

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.9.4. Máquina Universal

Estos ensayos se realizarán en la máquina universal presente en el laboratorio del Centro De Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de Ambato, la cual posee las siguientes características que se detallan en la tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Características de la máquina universal

MAQUINA UNIVERSAL		
	CARACTERÍSTICAS	
	Marca	Metrotest
	Modelo	STH-1500 S/C
	Serie	8802M001
	Fuente de Alimentación	220 V
	Capacidad	1500 kN
	Frecuencia	50 – 60 Hz

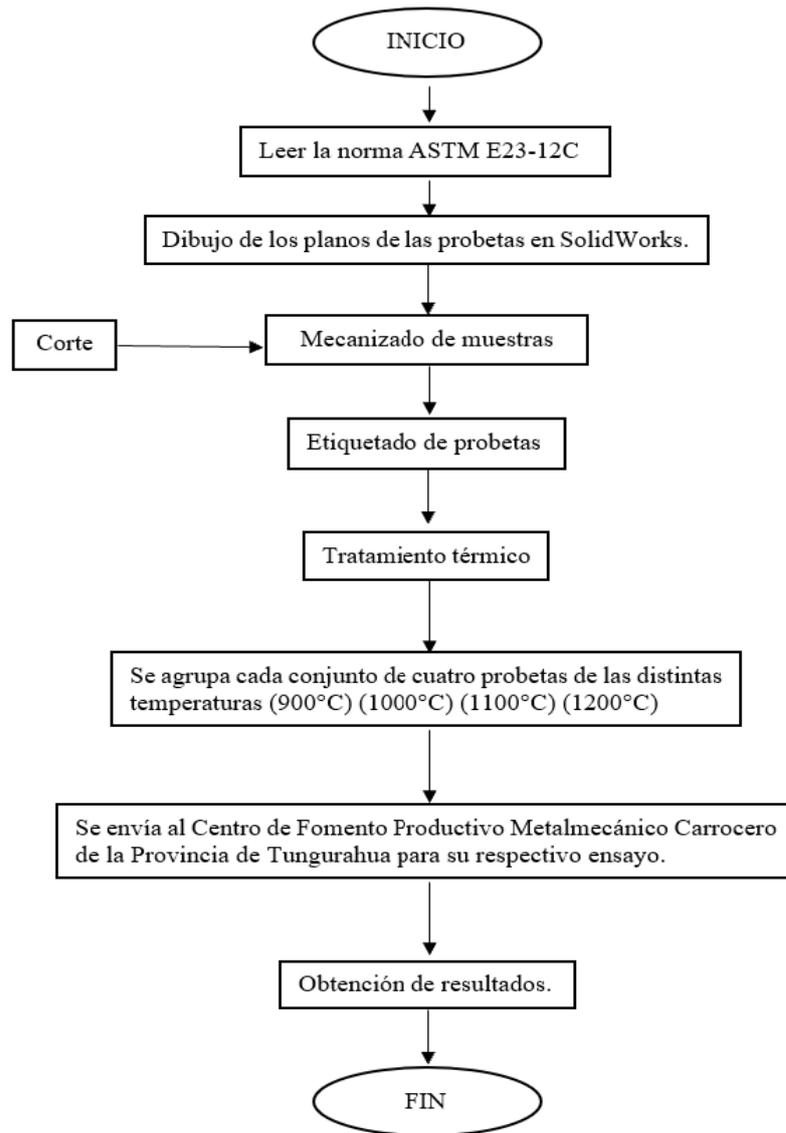
**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### **3.10. Ensayo de Tenacidad**

Dado que no está operativa la máquina de ensayos de impacto o péndulo Charpy del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, los ensayos de tenacidad se realizan en los laboratorios del Centro De Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Ambato, de acuerdo con lo que especifica la norma ASTM E23-12C "Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos" o en concordancia con el apartado 2.8.4. Para conocer más detalles del ensayo revisar el anexo A

#### **3.10.2. Procedimiento**

En el siguiente diagrama de flujo se describe cada una de las etapas que se sigue para la realización del análisis de espectrometría. La norma que rige este procedimiento es la ASTM E23-12C "Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos."

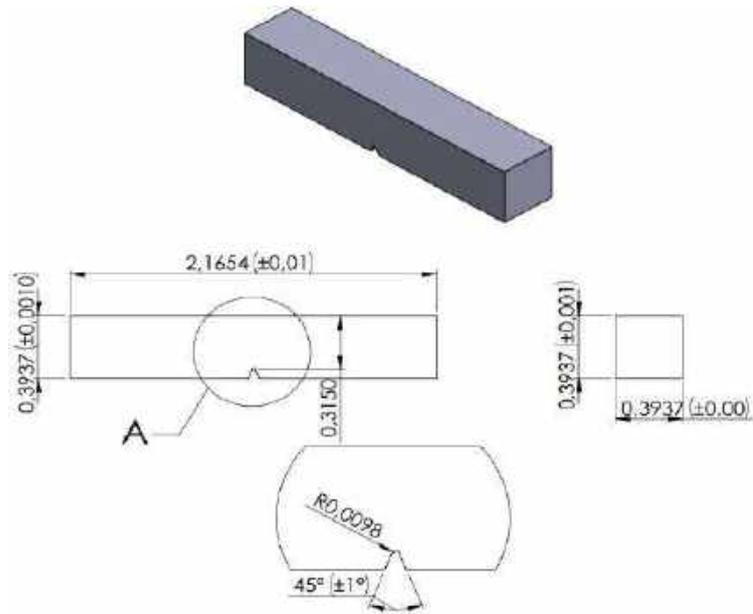


**Ilustración 25-3:** Diagrama de flujo para tenacidad

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022

### 3.10.3. Obtención de probetas

Las veinte probetas destinadas a tenacidad se extraen de ejes de acero AISI 1018, cuyas dimensiones están de acuerdo con lo que establece la norma antes mencionada. Con lo cual, las dimensiones de las muestras son las siguientes:



**Ilustración 26-3:** Dimensiones de las probetas de tenacidad

**Fuente:** ASTM E23-12C, 2013

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.10.4. Máquina de ensayos Charpy

La máquina de ensayos Charpy utilizado en este trabajo para realizar los ensayos de tenacidad se ubica en el laboratorio del Centro De Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de Ambato, cuyas características se detallan a continuación.

**Tabla 7-3:** Características del péndulo charpy

MÁQUINA DE ENSAYOS CHARPY		
	CARACTERÍSTICAS	
	Modelo	PIC 450/C
	Serie	M152552AR14
	Tipo de calibración	Automática
	Impacto máximo de energía	450 J
	Peso	720 kg
	Potencia	AC 110 ó 220V
	Frecuencia	50-60Hz
	Peso	115 kg

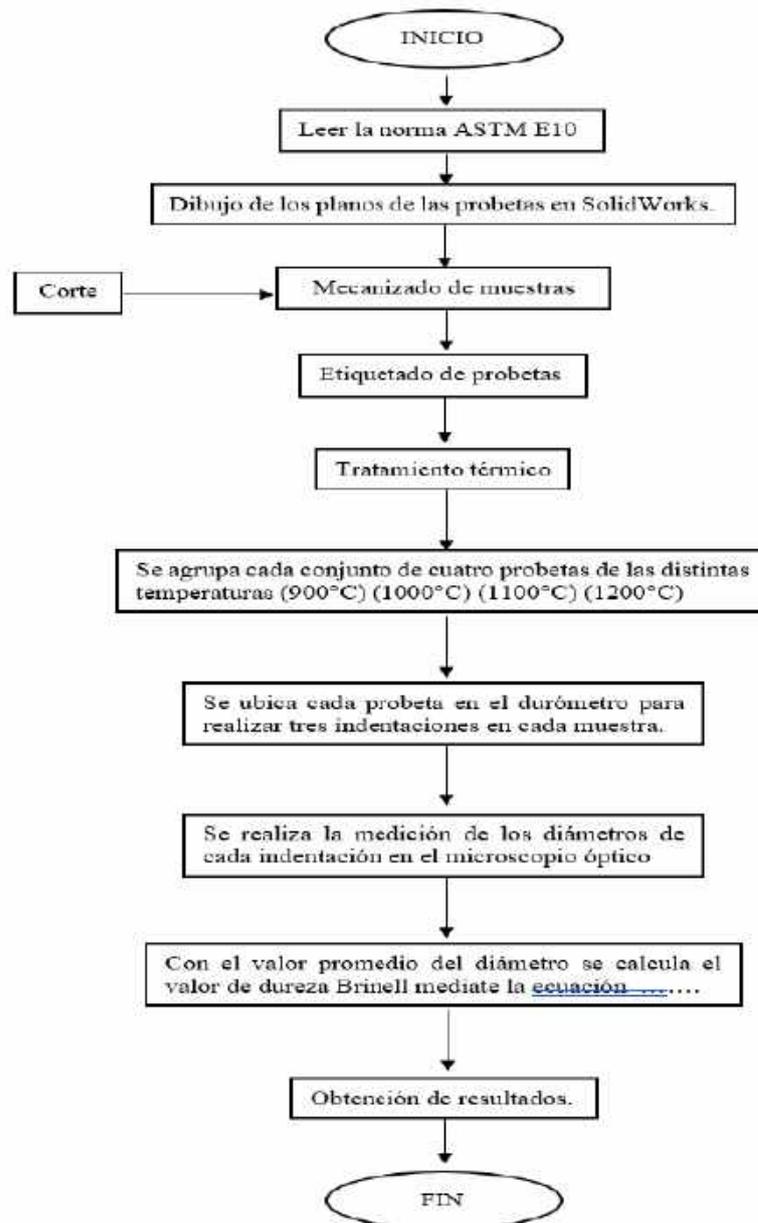
**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.11. Ensayo de Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell se basa en lo establecido en la Norma ASTM E10 "Método de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos" en concordancia con el apartado 2.8.5.

#### 3.11.2. Procedimiento

En el siguiente diagrama de flujo se describe cada una de las etapas que se sigue para la realización del análisis de espectrometría. La norma que rige este procedimiento es la ASTM E10 "Método de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos"

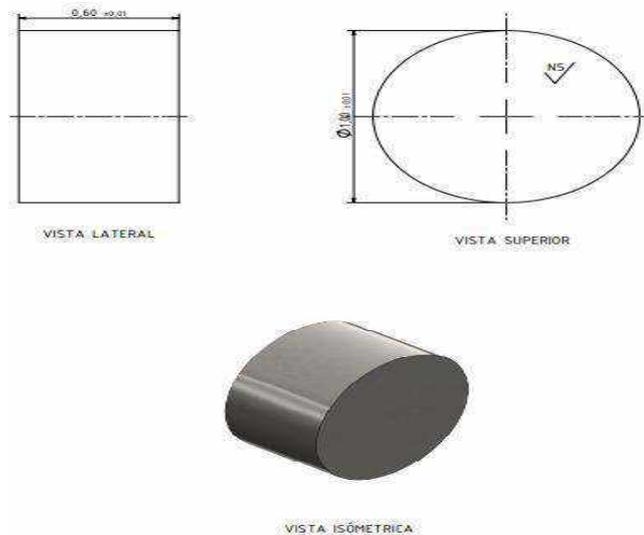


**Ilustración 27-3:** Diagrama de flujo para dureza Brinell

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.11.3. Obtención de probetas

Las veinte probetas destinadas para metalografía también se usaron para el ensayo de dureza Brinell, dado que cumple con la norma ASTM E10, por lo tanto, las medidas de las muestras son las siguientes:



**Ilustración 28-3:** Dimensiones de las probetas para dureza

Fuente: ASTM E3, 1995

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

### 3.11.4. Descripción del proceso

Como primer punto, se usa del durómetro que se encuentra en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH, cuyas características se describen más adelante.

**Tabla 8-3:** Características del durómetro

DURÓMETRO	
CARACTERÍSTICAS	
Marca	Huayin
Modelo	HBRV-187.5
Fuente de Alimentación	220V CA o 110 V CA
Frecuencia	50 – 60 Hz
Rango de medición	4-650HBW
Fuerza de prueba	30-187.5kgf
Altura máxima de la prueba	200mm
Dimensiones	480x250x760mm
Peso aprox.	95 kg

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Con el durómetro se realiza tres indentaciones, cada una a una distancia de la otra mayor a 2.5 veces el diámetro promedio de una de las indentaciones, el valor del diámetro del indentador a usar es 2.5 mm y la fuerza aplicada durante 15 segundos es de 1839 [N] que es igual a 187.57 [kgf]. Ver ilustración 29-3.



**Ilustración 29-3:** Uso del durómetro del laboratorio de Materiales -ESPOCH

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Posteriormente, se usa el microscopio óptico Mitutoyo que se encuentra en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH y cuyas características se describen en la tabla 9-3.

**Tabla 9-3:** Características del microscopio óptico de medición

MICROSCOPIO ÓPTICO DE MEDICIÓN		
	CARACTERÍSTICAS	
	Marca	Mitutoyo
	Tipo	Óptico
	Aplicaciones técnicas	De medidas
	Fuente de alimentación	110 V CA
	Frecuencia	50 – 60 Hz

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Con la máquina anterior se mide para cada indentación, dos diámetros perpendiculares como se muestra en la ilustración 30-3.



**Ilustración 30-3:** Medición de diámetros de las indentaciones

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Con los valores de los dos diámetros se determina el diámetro promedio que se puede reemplazar junto a los demás valores en la ecuación (8 – 3), dada por la norma ASTM E10, y a su vez calcular la dureza Brinell:

$$HBW = \frac{2F_{kgf}}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad ec. (8 - 3)$$

Donde:

F es la carga [kgf]

D es el diámetro indentador [mm]

d es el diámetro huella [mm]

### 3.12. Cálculo de escala de micrografías

El programa MShot Image Analysis System, nos brinda las imágenes de las micrografías desde el microscopio óptico Nikon hacia nuestro ordenador. La imagen tiene una medida de 732  $\mu\text{m}$  en el eje X para una ampliación 10X. Esta imagen se traslada a Word, donde presenta una base de 14,64 cm y mediante una regla de tres simples se compara con 732  $\mu\text{m}$ , para la línea de escala de la imagen ubicada en la parte inferior derecha se traza un segmento de recta de 1,5 cm que equivale a 75  $\mu\text{m}$ . de esta manera quedan escaladas las micrografías de acero AISI 1018.

### 3.13. Cálculo del error muestral de los resultados de los ensayos

Una parte importante de este estudio es validar los resultados de las variables cuantitativas de los ensayos realizados, como son: resistencia máxima a la tracción, energía absorbida, dureza Brinell. Para ello se calcula el error muestral usando la ecuación (9-3) dada por (González et al., 2014).

$$E = Z_{\frac{\alpha}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad ec. (9 - 3)$$

Donde,

$E$  es el error muestral

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$  es el es el cuantil de la distribución normal estándar correspondiente ( $z_{\alpha/2} = 1.64$  en el caso de un índice de confiabilidad de 90%).

$n$  es el tamaño muestral (en el apartado 3.1 se consideró un tamaño de muestra 4)

$\sigma$  es la desviación típica de la respuesta (se calcula usando el programa Excel, con la función DESVEST.M)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se detallan los resultados del análisis metalográfico, con ello los resultados del cálculo de tamaño de grano, los resultados de tracción y tenacidad obtenidos de los ensayos realizados en los laboratorios del Centro De Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de Ambato y, por último, los resultados de los ensayos de dureza Brinell realizados en los laboratorios de Materiales de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH. De cada resultado obtenido se hace un breve análisis.

#### 4.1. Resultados de Espectrometría

En la tabla 1-4 se detallan los valores obtenidos del análisis de espectrometría de acuerdo con el ANEXO B.

**Tabla 1-4:** Composición Química del Acero AISI 1018.

Fe %	C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cu %	Ni %	Cr %	V %
98,93	0,195	0,476	0,010	0,010	0,139	0,061	0,095	0,010	0,0050
W %	Co %	Ti %	Sn %	Al %	Nb %	B %	Pb %	Mg %	Mo %
0,100	0,010	0,003	0	0,005	0,013	0	0	0,0050	0,050

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.2. Resultado de temperatura crítica superior

Los valores de los porcentajes de cada uno de los elementos obtenidos en el análisis de espectrometría se reemplazan en la *ec.*(2 – 3) y con ello se obtiene la temperatura crítica superior, cuyo valor es:

$$Ac_3 (^{\circ}C) = 828,01 \quad ec. (9 - 3)$$

#### 4.3. Resultado del tiempo de austenización o permanencia a la temperatura de calentamiento

En concordancia a lo que establece el apartado 3.5, se calcula el tiempo de austenización al reemplazar el valor del diámetro en milímetros de las probetas utilizadas, en la *ec.* (3 – 3).

$$t = 20 + \frac{25,4}{2}$$

$$t = 32,7 \text{ min}$$

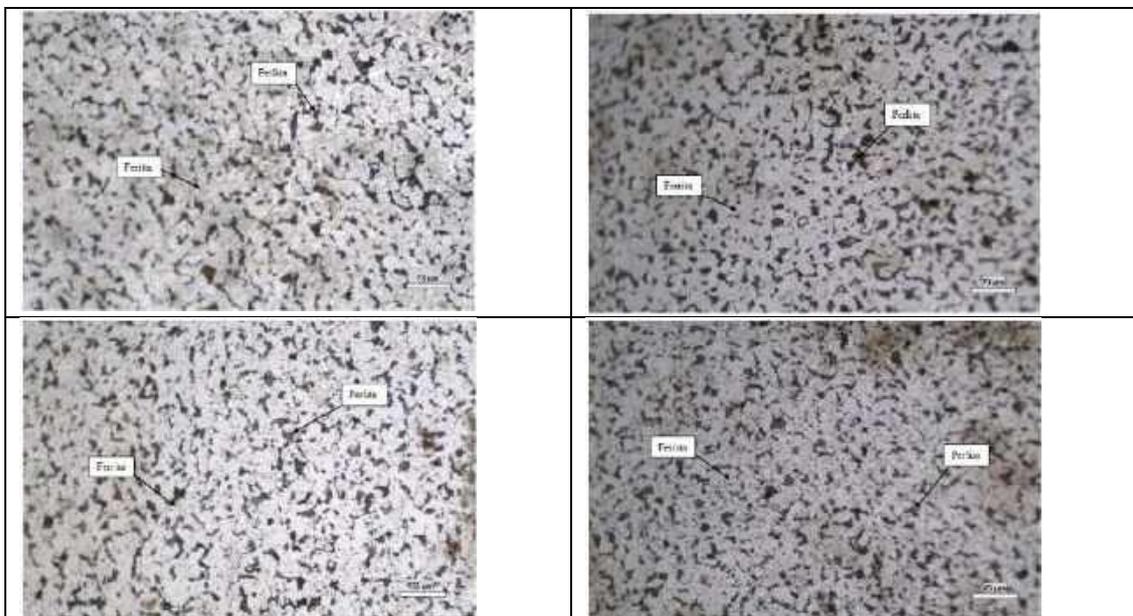
Por el estado del horno se ha considerado un tiempo de austenización de dos horas para asegurar la homogeneidad del calor en el horno y el cambio total de fase.

#### 4.4. Resultados del análisis metalográfico

Más adelante se muestran las imágenes de las micrografías de las cuatro muestras de acero AISI 1018 sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de calentamiento. Atacadas con Nital al 5% y con magnificación en el microscopio de 100X.

##### 4.4.1. Muestra sin tratamiento térmico

En las cuatro ilustraciones siguientes se observa la microestructura del acero AISI 1018, en la cual se evidencia una matriz de ferrita más perlita. Las áreas claras corresponden a ferrita mientras que las áreas oscuras a perlita.

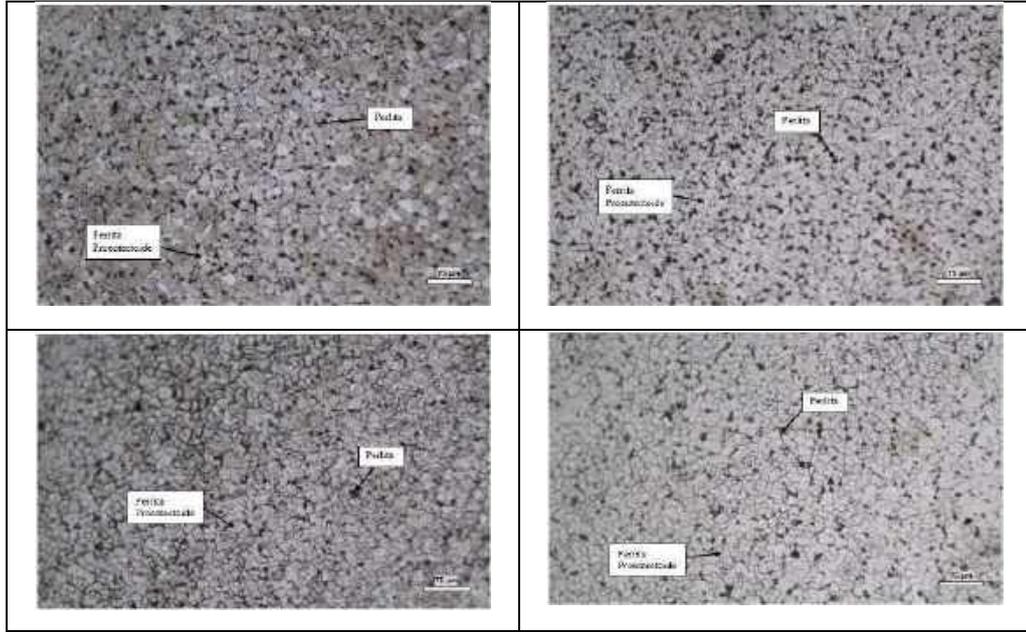


**Ilustración 1-4:** Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras sin tratamiento térmico. Atacadas con Nital al 5%. A 100X.

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

##### 4.4.2. Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 900 °C

En las siguientes cuatro microestructuras se observa áreas claras correspondientes a ferrita proeutectoide. Las áreas oscuras son perlita. Las estructuras son similares a las anteriores, pero a simple vista se evidencia un afinamiento de grano.

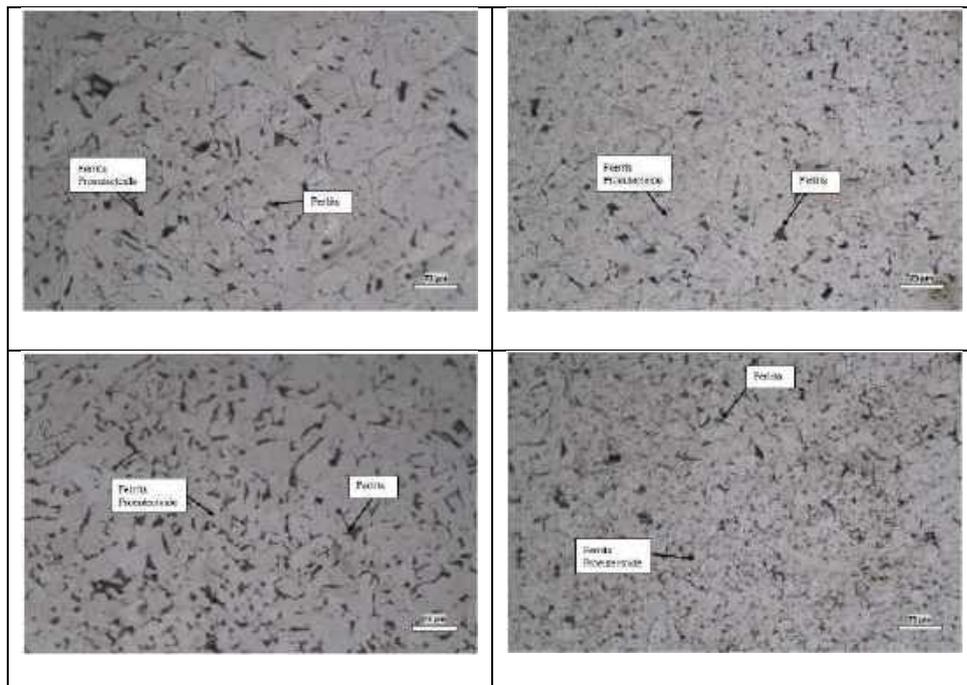


**Ilustración 2-4:** Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 900° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.4.3. *Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1000 °C*

En las siguientes cuatro microestructuras se observa las áreas claras correspondientes a ferrita. Las áreas oscuras son perlita. En este caso, a simple vista se evidencia un aumento del tamaño de grano con respecto a las muestras anteriores.

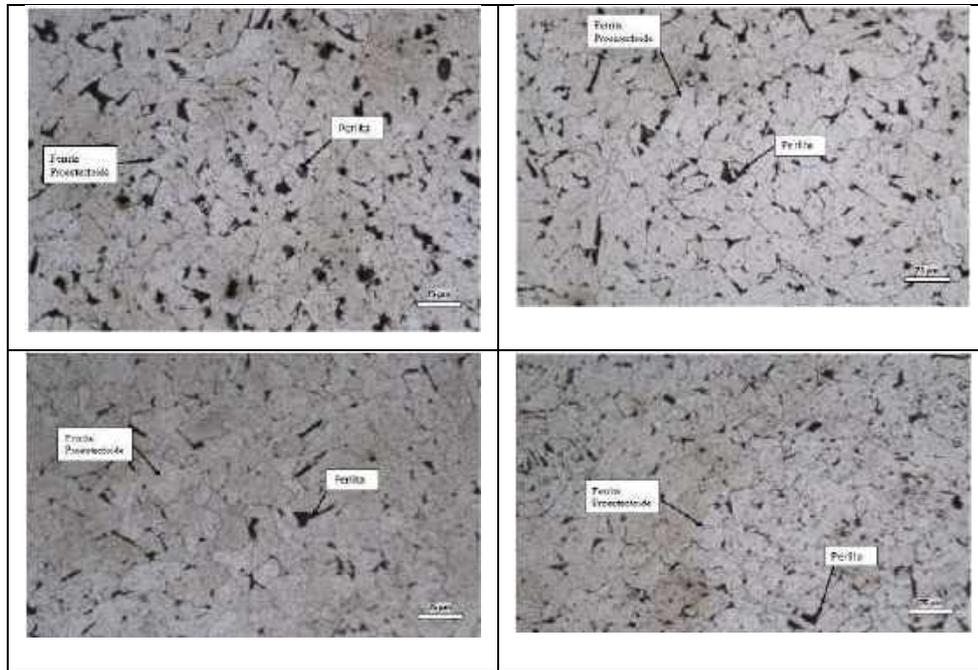


**Ilustración 3-4:** Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1000° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.4.4. *Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1100 °C*

De la misma manera, las siguientes microestructuras presentan áreas claras y áreas oscuras, correspondientes a ferrita proeutectoide y perlita, respectivamente. La estructura es similar a la anterior, pero a simple vista se observa nuevamente un leve aumento del tamaño de grano.

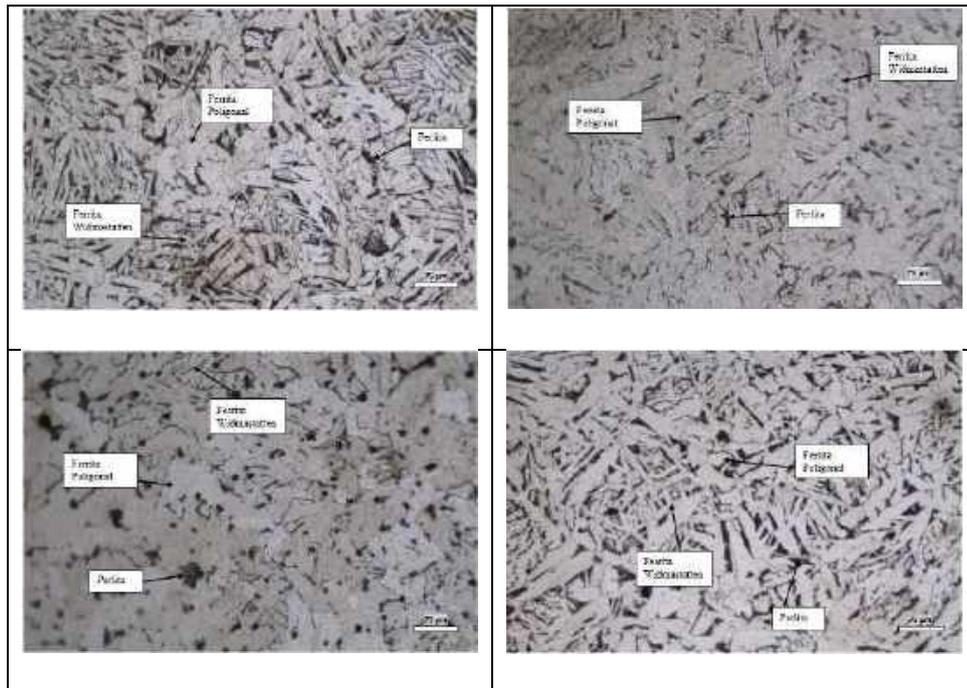


**Ilustración 4-1:** Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1100° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.4.5. *Muestra tratada térmicamente con temperatura de calentamiento de 1200 °C*

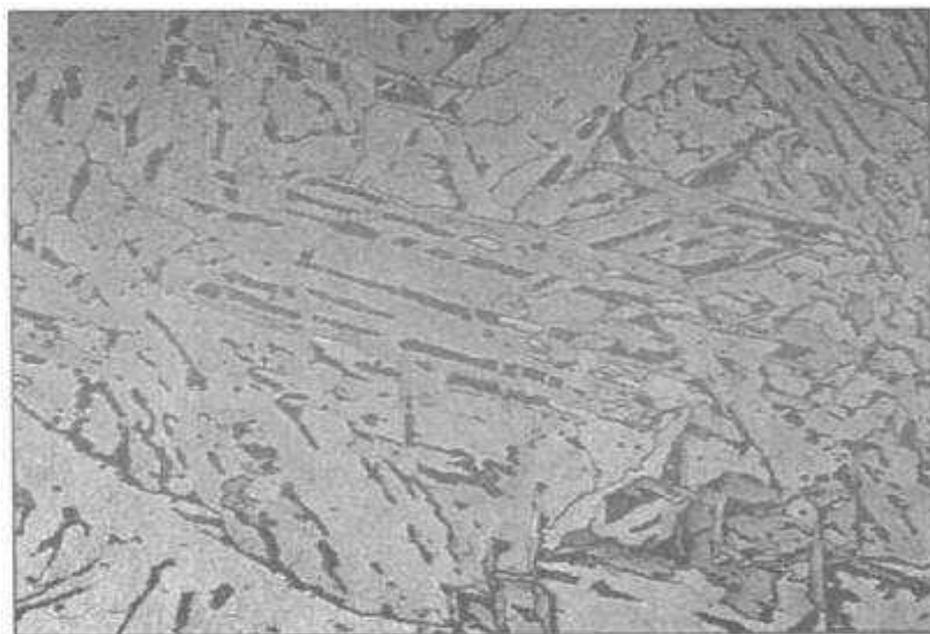
A diferencia de las anteriores micrografías obtenidas. En las siguientes cuatro microestructuras se presenta una estructura Widmanstätten. Perlita en agujas de ferrita acicular y poligonal.



**Ilustración 5-4:** Microestructuras del Acero AISI 1018. Muestras calentadas a 1200° C por 2 horas y enfriadas al aire. Ampliación: 100X.

**Realizado por:** González, K., Villarreal, E., 2022.

Para aceros en estados recocido y normalizado, enfriados desde elevadas temperaturas, según (Espejo y Castro, 2001) presentan la siguiente estructura (Perlita en agujas de ferrita acicular).



**Ilustración 6-4:** Estructura Widmanstätten en un Acero con 0.2 %C, enfriado desde una elevada temperatura de austenización. 100X.

**Fuente:** (Espejo y Castro, 2001, p.25)

Los listones de ferrita Widmanstätten pueden nuclear en los bordes de grano de la austenita, en la ferrita reticular formada a temperaturas superiores o en el interior del grano austenítico. Este tipo

de ferrita no es deseable porque sus propiedades mecánicas son peores que las correspondientes a otras morfologías de la ferrita. Por esta razón, se tiende a evitar las estructuras Widmanstätten, impidiendo su formación, o eliminándolas por tratamiento. (Blázquez, Lorenzo y López, 2017).

El acero con estructuras widmanstätten se caracteriza por (1) un valor de impacto bajo, (2) un porcentaje de elongación bajo ya que la perlita fuerte está aislada en parches ineficaces por ferrita débil o cementita quebradiza, a lo largo de los cuales las grietas pueden propagarse fácilmente. Esta estructura se encuentra en aceros sobrecalentados y acero fundido, pero el alto contenido de silicio que se usa en las fundiciones de acero la modifica (TotalMateria, 2000). Por esta razón, se ha visto en trabajos anteriores que a una temperatura de normalizado excesivamente alta es perjudicial, especialmente en aceros de uso general.

Según (Bodnar y Hansen, 1994b), tanto el límite elástico como la resistencia a la tracción aumentan con un aumento en la fracción de volumen de ferrita de widmanstätten y una reducción en el tamaño de grano de la ferrita. Por el contrario, el nivel de tenacidad alcanzado en estas microestructuras de ferrita poligonal/ferrita widmanstätten/perlita dependen en gran medida del tamaño del grano de ferrita; cuanto más fino es el tamaño del grano, mejor es la tenacidad.

Por otro lado, de acuerdo a (Bodnar y Hansen, 1994), explica que la fracción de volumen de la estructura de widmanstätten disminuye al disminuir el tamaño del grano de austenita o la velocidad de enfriamiento (es decir, al aumentar el espesor del producto).

Dichos granos de austenita refinados pueden engrosarse cuando el acero se calienta muy por encima de la temperatura  $A_{c3}$ , en operaciones tales como soldadura, forja y cementación, a menos que se restrinja el crecimiento del grano. Esta restricción puede lograrse mediante un modo adecuado de fabricación del acero (TotalMateria, 2000).

#### **4.5. Tamaño de grano**

Para el cálculo del tamaño de grano se utilizó dos métodos: de comparación y de intercepto.

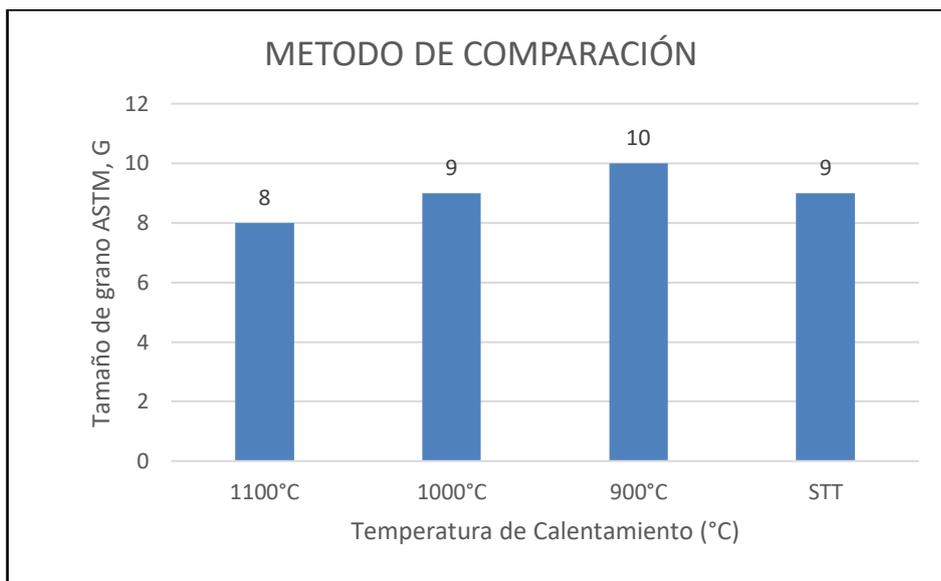
##### **Comparación**

En la tabla 2-4 se detallan los valores de tamaño de grano promedio para las muestras sin tratamiento térmico y para las muestras tratadas térmicamente a diferentes temperaturas de calentamiento.

**Tabla 2-4:** Resultados del cálculo del tamaño de grano

NÚMERO DE TAMAÑO DE GRANO ASTM	
Temperatura de Calentamiento	Tamaño de grano ASTM, G
1200°C	---
1100°C	8
1000°C	9
900°C	10
STT	9

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.



**Ilustración 7-4:** Gráfica del tamaño de grano vs temperatura de calentamiento.

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Se observa en la ilustración 7-4 la variación del tamaño de grano en función de la temperatura de calentamiento, claramente se evidencia un aumento del tamaño de grano, dado que, conforme aumenta la temperatura de calentamiento se obtiene un tamaño de grano mayor, sin embargo, a la temperatura de 1200 °C al tener una estructura widmanstätten y la presencia de ferrita acicular no se puede realizar el mismo cálculo, dado que, de acuerdo a (Kim, Kim y Huh, 2009), no existe un método establecido para evaluar cuantitativamente el tamaño de grano de la ferrita acicular.

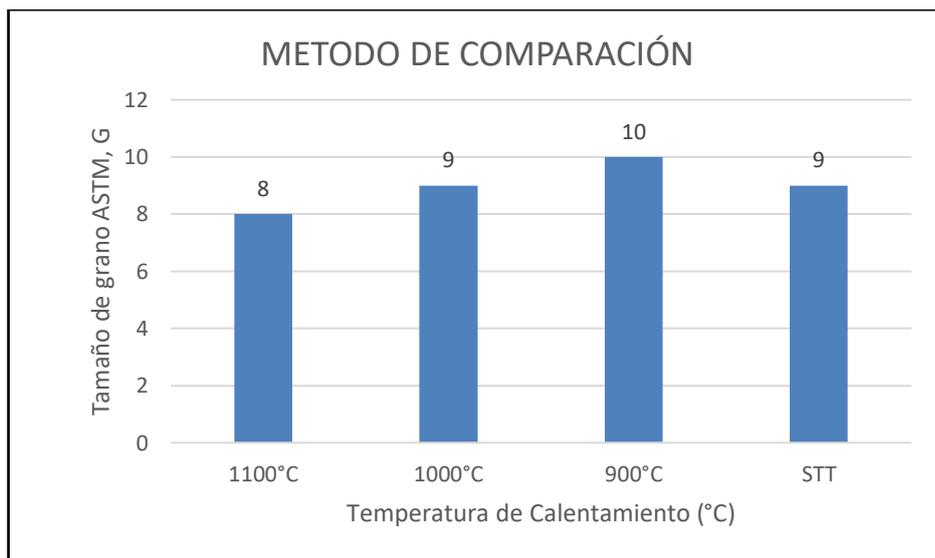
### **Método de Interceptos**

En la tabla 3-4 se detallan los valores de tamaño de grano promedio para las muestras sin tratamiento térmico y para las muestras tratadas térmicamente a diferente temperatura de calentamiento.

**Tabla 3-4:** Resultados del cálculo del tamaño de grano

METODO DE INTERCEPTOS	
Temperatura de Calentamiento	Tamaño de grano ASTM, G
1200°C	----
1100°C	8
1000°C	9
900°C	10
STT	9

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.



**Ilustración 8-4:** Gráfica del tamaño de grano vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

En la ilustración 8-4 se muestra la variación del tamaño de grano en función de la temperatura de calentamiento. De la misma forma que en el método anterior, se observa que conforme aumenta la temperatura de calentamiento se obtiene un tamaño de grano mayor, exceptuando para el caso de la temperatura de calentamiento de 1200°C por la presencia de ferrita widmanstätten y ferrita acicular.

Las micrografías de las muestras de acero AISI 1018 sin tratamiento térmico presentan una matriz de ferrita más perlita cuyo tamaño de grano ASTM promedio es 9. Al realizar el tratamiento térmico de recocido de regeneración a una temperatura de calentamiento de 900°C se observa una disminución del tamaño de grano, cuyo valor obtenido fue de 10. Con ello se refleja un afinamiento del grano, acorde a lo que menciona (Blázquez, Lorenzo y López, 2017) en la definición de recocido de regeneración.

Sin embargo, conforme se aumenta la temperatura de calentamiento para el resto de muestras, se registra un aumento en el tamaño de grano, por lo cual, queda claro que para obtener un afinamiento de grano con un tratamiento de recocido de regeneración es necesario que la temperatura de calentamiento este lo más cercana posible a la temperatura crítica superior Ac3 y si se desea obtener granos más gruesos se aumenta la temperatura pero tomando en cuenta que ha temperaturas de calentamiento muy elevadas se deteriora la estructura y las propiedades mecánicas a pesar que no se haya alcanzado la temperatura de fusión del material. Puesto que, a una temperatura de calentamiento de 1200 °C las muestras tratadas térmicamente, en sus micrografías se evidenció una estructura widmastatten y ferrita acicular, como ya se explicó en el apartado 4.4.5.

#### 4.6. Resultados del Ensayo de Tracción

En las siguientes tablas se registran los datos de los resultados de los ensayos de tracción realizados a las veinte probetas de acero AISI 1018 divididas en cinco grupos, cuatro con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de calentamiento y uno sin tratamiento. Para más detalles del ensayo realizado se especifica en el anexo A.

**Tabla 4-1:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1200 °C.

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
Probetas a temperatura de calentamiento de 1200°C				
Identificación de la probeta	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
1200°C-1	429,58	310,87	257,92	52,62
1200°C-2	517,16	377,91	341	50,4
1200°C-3	502,87	372,64	323,91	50,5
1200°C-4	499,89	361,06	319,37	50,33
Promedio $\bar{X}$	487,377	355,619	310,547	50,964
Desviación estándar	39,259	30,65	36,299	1,108
Coefficiente de variación CV	8,06	8,62	11,69	2,17

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 5-4:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1100 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 1100°C				
Identificación de la probeta	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
1100°C-1	464,52	335,07	297,35	63,59
1100°C-2	478,51	351,06	300	65,99
1100°C-3	471,17	347,65	296,98	55,36
1100°C-4	460,67	337,87	299,17	54,58
Promedio $\bar{X}$	468,718	342,913	298,376	59,883
Desviación estándar	7,842	7,652	1,447	5,761
Coefficiente de variación CV	1,67	2,23	0,48	9,62

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 6-4:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 1000 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 1000°C				
Identificación de la probeta	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
1000°C-1	524,32	380,6	355,31	54,37
1000°C-2	520,52	379,36	333,57	51,3
1000°C-3	530,68	386,07	333,21	59,55
1000°C-4	533,09	382,52	140,09	58,04
Promedio $\bar{X}$	527,154	382,135	290,543	55,816
Desviación estándar	5,768	2,925	100,834	3,712
Coefficiente de variación CV	1,09	0,77	34,71	6,65

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 7-4:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas a temperatura de 900 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 900°C				
Identificación de la probeta	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
900°C-1	542,65	383,6	390,92	61,04
900°C-2	545,2	381,76	382,97	60,88
900°C-3	551,66	390,4	431,95	57,55
900°C-4	539,2	397,33	385,6	60,59
Promedio $\bar{X}$	544,677	388,27	397,86	60,017
Desviación estándar	5,263	7,088	22,963	1,654
Coefficiente de variación CV	0,97	1,83	5,77	2,76

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 8-4:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas sin tratamiento térmico.

Probetas sin tratamiento térmico				
Identificación de la probeta	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
STT-1	586	437,43	408,27	36,02
STT-2	593,33	443,2	395,15	34,7
STT-3	584,29	433,28	397,7	32,6
STT-4	586,53	434,32	376,94	35,14
Promedio $\bar{X}$	587,541	437,058	394,517	34,618
Desviación estándar	3,978	4,457	13,019	1,45
Coefficiente de variación CV	0,68	1,02	3,3	4,19

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

En la tabla 9-4 se detallan los valores promedios de las cuatro muestras utilizadas para cada temperatura de calentamiento y para cada variable característica del material como es resistencia máxima a tracción, resistencia de rotura, límite de fluencia y porcentaje de elongación.

**Tabla 9-4:** Resultados promedios de los ensayos de tracción

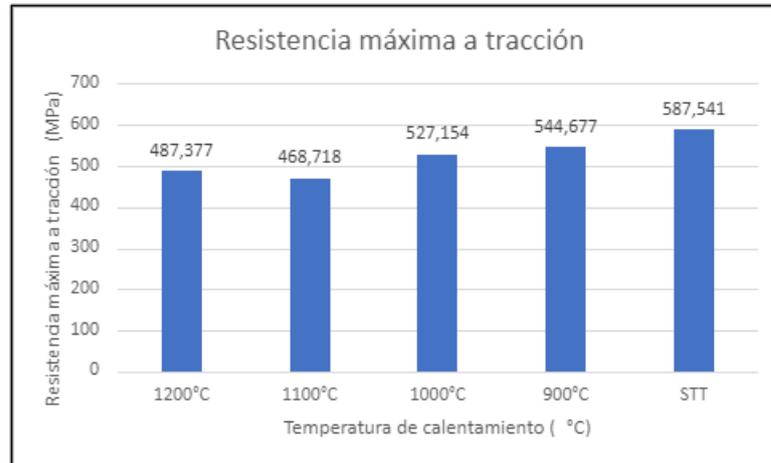
ENSAYO DE TRACCIÓN VALORES PROMEDIOS				
Temperatura de Calentamiento	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	% Elongación
1200°C	487,377	355,619	310,547	50,964
1100°C	468,718	342,913	298,376	59,883
1000°C	527,154	382,135	290,543	55,816
900°C	544,677	388,27	397,86	60,017
STT	587,541	437,058	394,517	34,618

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

En los siguientes gráficos se observan la variación de cada variable característica que define las propiedades mecánicas del material, obtenidas en el ensayo de tracción, en función de las temperaturas de calentamiento consideradas.

En la ilustración 9-4 se observa la variación de la resistencia a la tracción promedio a diferentes temperaturas de calentamiento, en la cual se evidencia la disminución del valor de esta variable con los tratamientos térmicos, obteniendo un valor mínimo de 468,718 MPa a una temperatura de calentamiento de 1100 °C. Hay que destacar que se observa una disminución progresiva de la

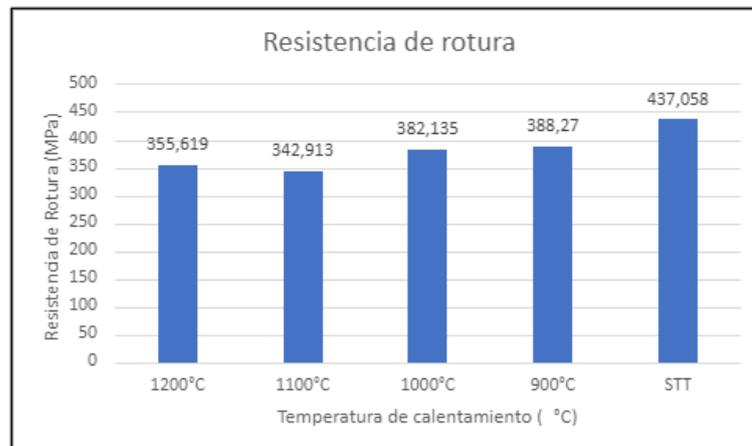
resistencia con el aumento de la temperatura, hasta que se llega a la temperatura de 1200°C en la cual, se ve un leve aumento de la resistencia con respecto a la temperatura anterior de 1100°C.



**Ilustración 9-4:** Gráfica de la resistencia máxima vs temperatura de calentamiento.

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022

De la misma forma, en la ilustración 10-4 se observa la variación de la resistencia de rotura promedio a diferentes temperaturas de calentamiento, en la cual se evidencia la disminución del valor de esta variable característica con los tratamientos térmicos, obteniendo un valor mínimo de 342,913 MPa a una temperatura de calentamiento de 1100 °C y considerando que la probeta sin ningún tratamiento tiene una resistencia de 437,058 MPa.

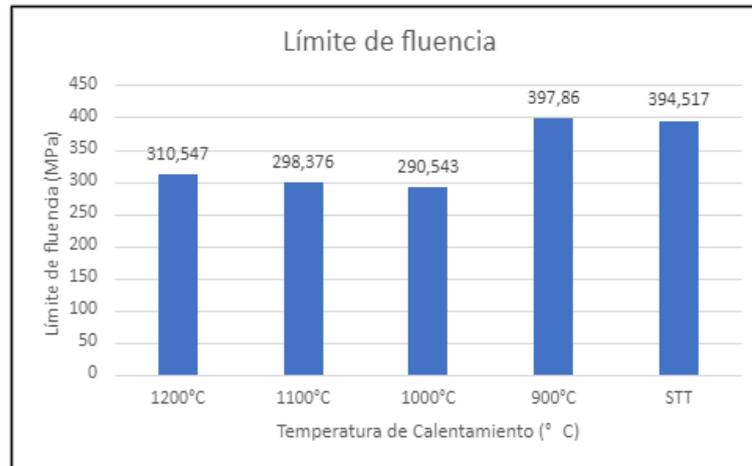


**Ilustración 10-4:** Gráfica de la resistencia de rotura vs temperatura de calentamiento.

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

En la ilustración 11-4 se observa la variación del límite de fluencia promedio a diferentes temperaturas de calentamiento, se evidencia que para la muestra con tratamiento térmico a temperatura de calentamiento de 900°C se tiene un mínimo aumento de límite de fluencia a

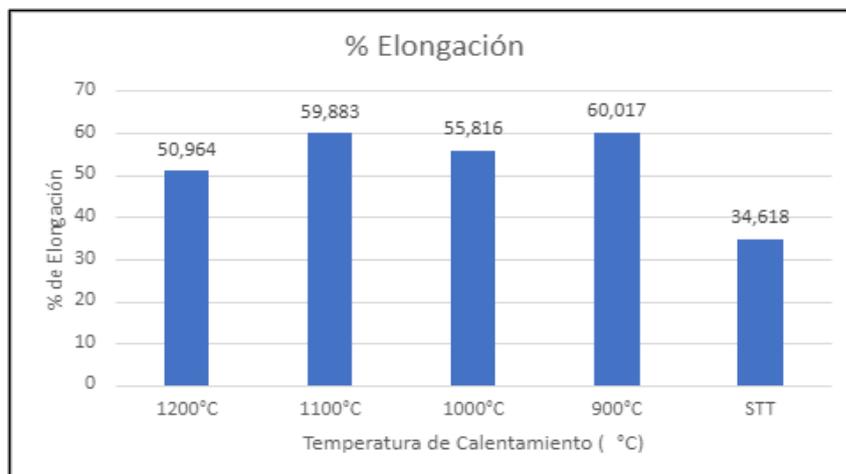
comparación de la muestra sin tratamiento térmico, sin embargo, para las otras muestras con tratamientos térmicos se observa una disminución significativa. Obteniendo un valor mínimo del límite de fluencia a 1000°C.



**Ilustración 11-4:** Gráfica del límite de fluencia vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

Por último, en la ilustración 12-4 se observa la variación del porcentaje de elongación promedio a diferentes temperaturas de calentamiento. Se ve que las muestras con tratamiento térmico poseen mayor ductilidad o se vuelven más blandas que la muestras sin tratamiento. El valor máximo del porcentaje de elongación es 60,017% que corresponde a la muestra con tratamiento térmico a temperatura de calentamiento de 900°C. Y el valor mínimo entre las muestras tratadas térmicamente es de 50,964% correspondiente a la temperatura de 1200°C.



**Ilustración 12-4:** Gráfica del % de elongación vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.7. Resultados del Ensayo de Impacto Charpy

Más adelante, se detallan los datos de los resultados de los ensayos de impacto Charpy realizados a las veinte probetas de acero AISI 1018 divididas en cinco grupos, cuatro con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de calentamiento y uno sin tratamiento. Para más detalles del ensayo realizado se especifica en el anexo A.

**Tabla 10-4:** Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1200 °C.

ENSAYO DE IMPACTO CHARPY		
Probetas a temperatura de calentamiento de 1200°C		
Identificación de la probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
1200°C-1	45,15	58,93
1200°C-2	39,55	49,62
1200°C-3	59,7	74,33
1200°C-4	53,67	67,27
Promedio $\bar{X}$	49,518	62,54
Desviación estándar	8,932	10,67
Coeficiente de variación CV	18,038	17,06

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 11-4:** Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1100 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 1100°C		
Identificación de la probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
1100°C-1	69,79	88,77
1100°C-2	46,03	56,59
1100°C-3	50,85	64,42
1100°C-4	64,45	79,73
Promedio $\bar{X}$	57,78	72,38
Desviación estándar	11,178	14,55
Coeficiente de variación CV	19,345	20,11

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 12-4:** Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 1000 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 1000°C		
Identificación de la probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
1000°C-1	81,28	102,53
1000°C-2	75,73	96,08
1000°C-3	81,28	101,63
1000°C-4	78,29	99,3
Promedio $\bar{X}$	79,145	99,89
Desviación estándar	2,678	2,88
Coefficiente de variación CV	3,383	2,88

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 13-4:** Resultados de los ensayos de impacto a una temperatura de 900 °C.

Probetas a temperatura de calentamiento de 900°C		
Identificación de la probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
900°C-1	40,81	51,04
900°C-2	47,8	59,6
900°C-3	50,17	61,81
900°C-4	42,97	53,77
Promedio $\bar{X}$	45,438	56,56
Desviación estándar	4,3	5
Coefficiente de variación CV	9,464	8,85

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 14-4:** Resultados de los ensayos de tracción de las probetas sin tratamiento térmico.

Probetas sin tratamiento térmico		
Identificación de la probeta	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
STT-1	14,3	17,61
STT-2	12,23	15,17
STT-3	14,65	18,09
STT-4	12,23	15,18
Promedio $\bar{X}$	13,353	16,52
Desviación estándar	1,304	1,56
Coefficiente de variación CV	9,766	9,44

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

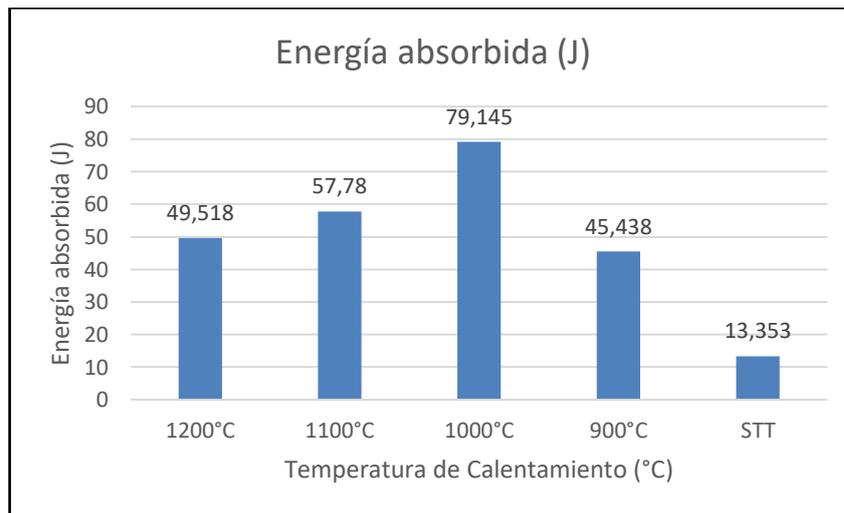
En la tabla 15-4 se muestran los valores promedios de las cuatro muestras utilizadas para cada temperatura de calentamiento y para cada variable característica del material como es energía absorbida y resistencia al impacto.

**Tabla 15-4:** Resultados promedios de los ensayos de impacto

ENSAYO DE IMPACTO CHARPY VALORES PROMEDIOS		
Temperatura de Calentamiento	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )
1200°C	49,518	62,54
1100°C	57,78	72,38
1000°C	79,145	99,89
900°C	45,438	56,56
STT	13,353	16,52

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

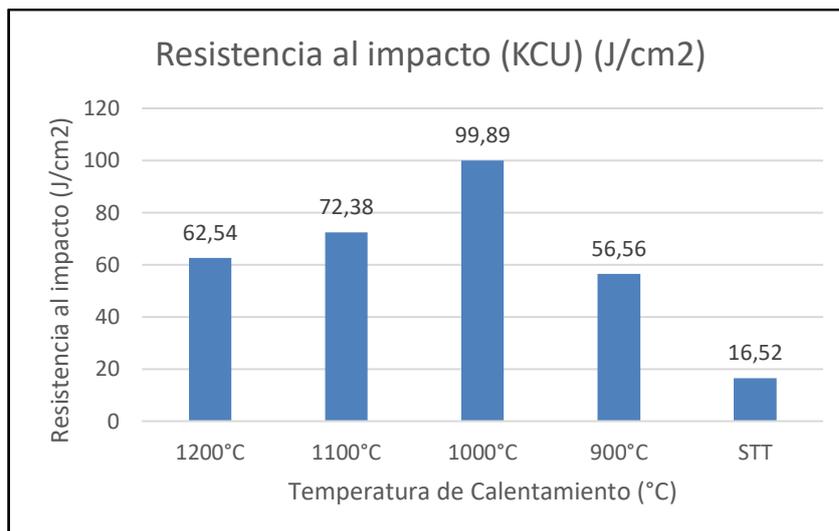
En la ilustración 13-4 se observa la variación de la energía absorbida promedio a diferentes temperaturas de calentamiento, se ve claramente un aumento de esta variable con los tratamientos térmicos, obteniendo un valor máximo de 79,145 J correspondiente a una temperatura de 1000°C.



**Ilustración 13-4:** Gráfica de la energía absorbida vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

De la misma forma, en la ilustración 14-4 se observa la variación de la resistencia al impacto a diferentes temperaturas de calentamiento. Al igual que en caso anterior se evidencia un aumento de esta variable con los tratamientos térmicos, obteniendo un valor máximo de 99,89 J/cm<sup>2</sup> correspondiente a una temperatura de 1000°C.



**Ilustración 14-4:** Gráfica de la resistencia al impacto vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

#### 4.8. Resultados del Ensayo de Dureza Brinell

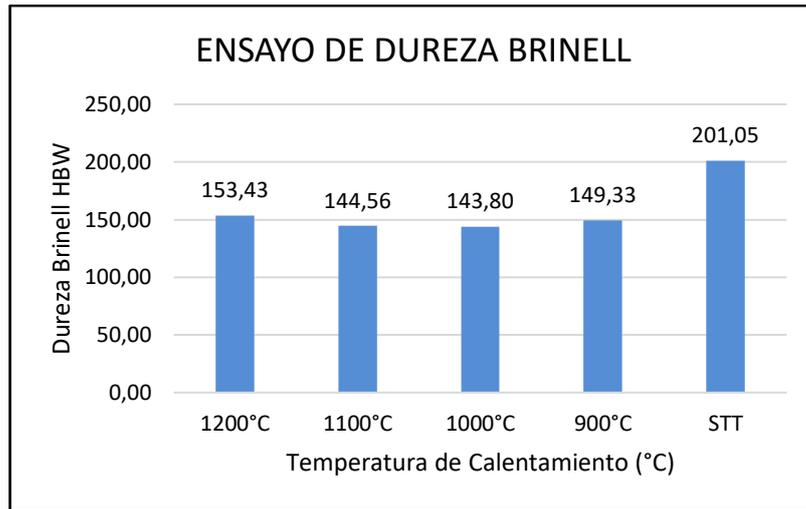
En la tabla 16-4 se registran los datos de los resultados promedios de los ensayos de dureza Brinell realizados a las veinte probetas de acero AISI 1018 divididas en cinco grupos, cuatro con tratamiento térmico a diferentes temperaturas de calentamiento y uno sin tratamiento.

**Tabla 16-4:** Resultados promedios de los ensayos de dureza Brinell

ENSAYO DE DUREZA BRINELL	
Temperatura de Calentamiento	HBW
1200°C	151,96
1100°C	144,56
1000°C	143,80
900°C	149,33
STT	201,05

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

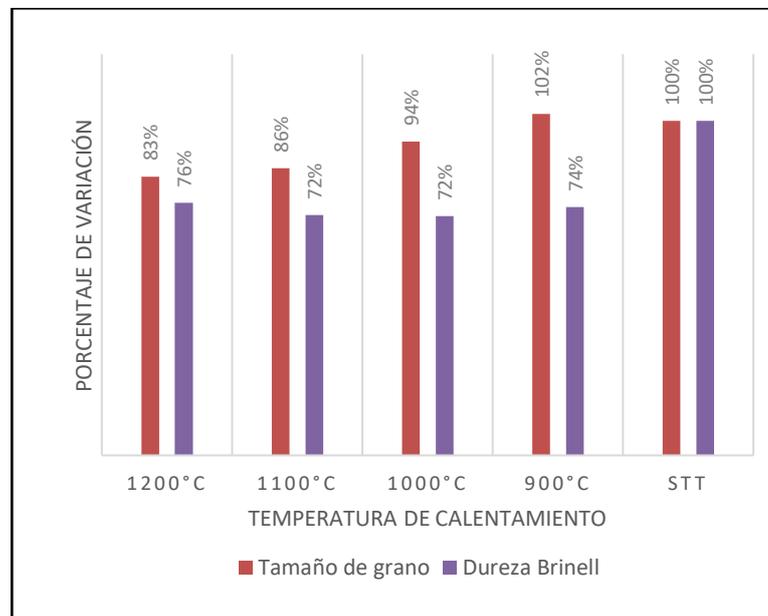
En la ilustración 15-4 se observa la variación de la dureza Brinell promedio a diferentes temperaturas de calentamiento. Claramente se observa una disminución de la dureza con los tratamientos térmicos. Obteniendo un valor mínimo de 143,8 HB correspondiente a la temperatura de 1000°C. Es necesario resaltar que a 1200°C se tiene la dureza máxima entre las muestras tratadas térmicamente.



**Ilustración 15-4:** Gráfica de la dureza Brinell vs temperatura de calentamiento.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

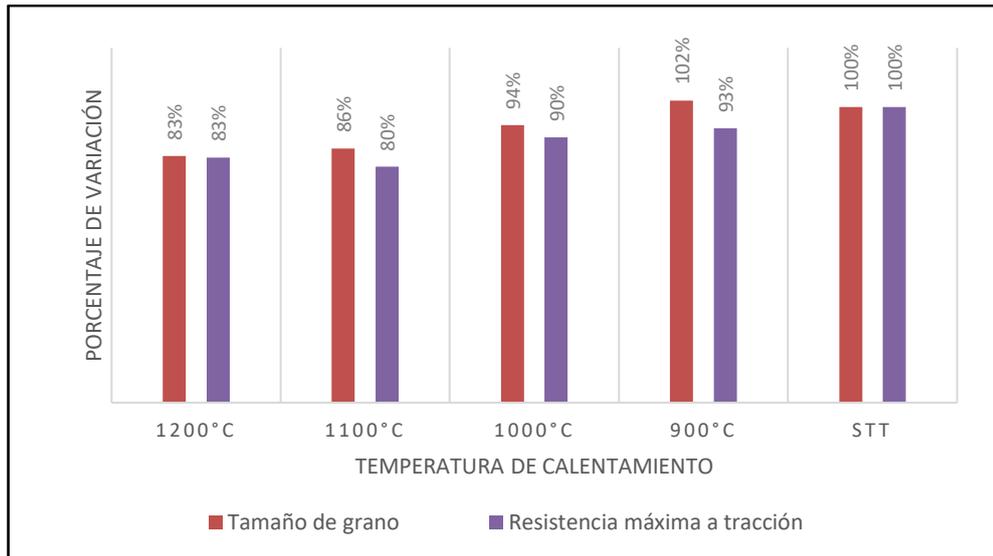
#### 4.9. Variación de las propiedades mecánicas con respecto al tamaño de grano



**Ilustración 16-4:** Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la dureza

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

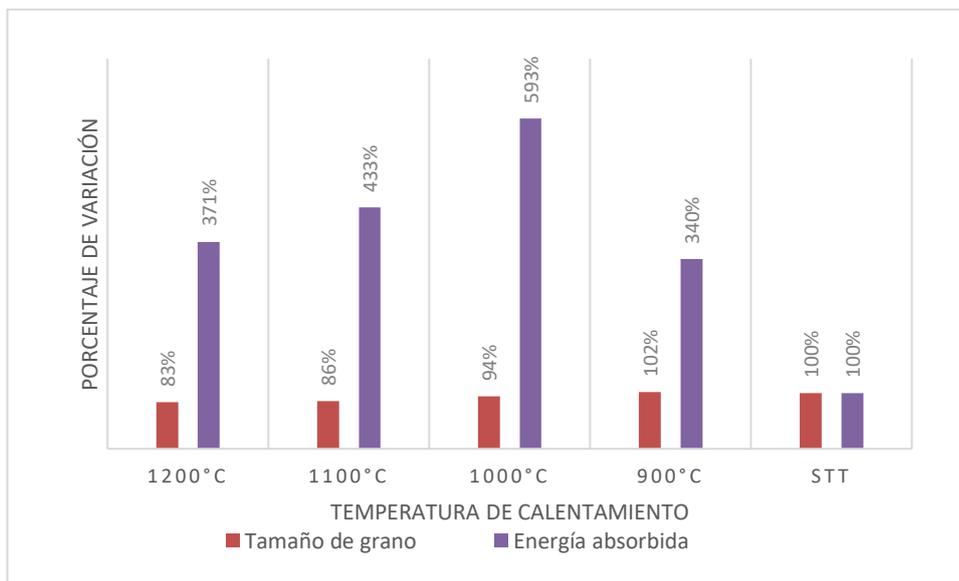
En la ilustración 16-4 se observa que en las muestras con tratamiento térmico conforme aumenta el tamaño de grano existe una leve disminución de la dureza. Sin embargo, a la temperatura de calentamiento de 1200 °C se pierde esta secuencia y se ve un pequeño aumento con respecto a la dureza obtenida en la temperatura de 1100 °C.



**Ilustración 17-4:** Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la resistencia máxima a tracción

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

En la ilustración 17-4 se observa que en las muestras con tratamiento térmico existe una disminución progresiva de la resistencia máxima a tracción conforme el tamaño de grano aumenta, sin embargo, esta secuencia se pierde con la temperatura de calentamiento de 1200°C.



**Ilustración 18-4:** Gráfica del porcentaje de variación del tamaño de grano con respecto a la energía absorbida.

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

De acuerdo con la ilustración 18-4 se observa que no existe una relación directa entre el crecimiento de grano y el aumento de energía absorbida. No obstante, las muestras con tratamiento térmico presentan un aumento significativo de esta variable con respecto a las

muestras sin tratamiento térmico. Por lo tanto, se tiene mayor tenacidad para las muestras con tratamiento térmico.

Se observa que en las muestras con tratamiento térmico conforme se aumenta la temperatura de calentamiento disminuye la resistencia, pero aumenta su ductilidad, sin embargo, a la temperatura de 1200°C existe un cambio en la variación de las propiedades, dado que a esta temperatura se da un aumento en la resistencia del material y disminución de la ductilidad, así como también de un ligero aumento de la dureza. En cuanto a la energía absorbida con respecto al aumento del tamaño de grano o de la temperatura de calentamiento, no se puede establecer una relación específica. No obstante, la tenacidad aumenta considerablemente en las muestras con tratamiento térmico, independientemente de la temperatura de calentamiento.

#### 4.10. Resultados del cálculo del error muestral

En las tablas siguientes se detallan los resultados de los errores muestrales para cada variable considerada en cada ensayo.

**Tabla 17-4:** Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción

CÁLCULO DEL ERROR MUESTRAL DEL ENSAYO DE TRACCIÓN				
Temperatura de Calentamiento	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Nivel de confianza	Error muestral
1200°C	487,377	10,015	0,9	8,24%
1100°C	468,718	7,842	0,9	6,45%
1000°C	527,154	5,768	0,9	4,74%
900°C	544,677	5,263	0,9	4,33%
STT	587,541	3,978	0,9	3,27%

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 18-4:** Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción

CÁLCULO DEL ERROR MUESTRAL DEL ENSAYO DE TENACIDAD				
Temperatura de Calentamiento	Energía absorbida (J)	Desviación estándar	Nivel de confianza	Error muestral
1200°C	49,518	12,038	0,9	9,90%
1100°C	57,78	11,178	0,9	9,19%
1000°C	79,145	2,678	0,9	2,20%
900°C	45,438	4,3	0,9	3,54%
STT	13,353	1,304	0,9	1,07%

Realizado por: González, K., Villarroel, E., 2022.

**Tabla 19-4:** Resultados del cálculo del error muestral del ensayo de tracción

CÁLCULO DEL ERROR MUESTRAL DEL ENSAYO DE DUREZA				
Temperatura de Calentamiento	HB	Desviación estándar	Nivel de confianza	Error muestral
1200°C	153,43	3,25	0,9	2,67%
1100°C	144,56	1,18	0,9	0,97%
1000°C	143,80	12,01	0,9	9,88%
900°C	149,33	10,76	0,9	8,85%
STT	201,05	3,04	0,9	2,50%

**Realizado por:** González, K., Villarroel, E., 2022.

Los resultados de los errores muestrales registrados son inferiores al 10%, lo cual permite validar los resultados, dado que se ha considerado un error admisible de máximo 10%.

## CONCLUSIONES

- En este trabajo se evaluó el efecto de la temperatura de calentamiento en el tamaño de grano, resistencia a la tracción, dureza y tenacidad del acero AISI 1018, en condiciones de normalizado. Se afirma que se da el crecimiento de grano conforme aumenta la temperatura de calentamiento de los tratamientos térmicos de recocido de regeneración.
- A medida que aumenta el tamaño de grano disminuye la resistencia y dureza, pero aumenta la ductilidad del material. Por otro lado, el aumento significativo de la tenacidad se da en las muestras tratadas térmicamente sin relación alguna con el aumento del tamaño de grano o temperatura de calentamiento. Con eso se concluye que la temperatura de calentamiento es un factor determinante en el tamaño final del grano.
- Si bien es cierto, con el aumento de la temperatura de calentamiento se obtiene granos gruesos es muy importante mencionar que con temperaturas de calentamiento muy elevadas o cercanas al punto de fusión del acero AISI 1018, las propiedades mecánicas y estructura se ven deterioradas, debido a la aparición de listones de ferrita widmanstätten que son fácilmente observadas en las micrografías obtenidas.
- Con el tratamiento térmico de recocido de regeneración en aceros hipoeutectoides como es el acero AISI 1018, la austenita se transforma, gracias al enfriamiento al aire, en ferrita proeutectoide y perlita, para el caso de la temperatura de 1200°C, se obtiene perlita en ferrita widmanstätten, poligonal y agujas de ferrita acicular.
- Con el tratamiento de recocido de regeneración se consigue el afinamiento de grano conforme la temperatura de calentamiento este lo más cercana posible de la temperatura crítica superior  $A_{c3}$ .
- Es importante garantizar un refinamiento adecuado del tamaño de grano de la austenita (por ejemplo, a través de temperaturas "bajas" de recalentamiento o de laminado) para minimizar la formación de una estructura gruesa de widmanstätten.
- La presencia de ferrita widmanstätten en las muestras de acero utilizadas indican un sobre calentamiento. Con esta estructura se obtiene un aumento de la resistencia y dureza del material con respecto a las muestras tratadas térmicamente a una temperatura de calentamiento inferior.

## RECOMEDACIONES

- Al realizar cualquier tipo de ensayo, sea destructivo o no, se deben tomar las precauciones necesarias como el uso del equipo protección personal ya sea el uso de mandil, guantes, gafas o casco, luego verificar el estado de los equipos y el funcionamiento instalaciones eléctricas, al igual que contar los recursos necesarios para la realización del ensayo.
- Para obtener resultados confiables, se recomienda cumplir con las especificaciones que plantean cada una de las normas para la preparación de muestras metalográficas, ataque químico, medición del tamaño de grano, ensayo de dureza y tracción
- Se recomienda ampliar la investigación, no solo para el caso de los aceros al carbono, sino para las distintas aleaciones. Además, se podría evaluar otra variable importante como es el efecto del tiempo de permanencia a la temperatura de austenización en el tamaño de grano y las propiedades mecánicas del material.
- Para obtener resultados más precisos, ya sea en los ensayos de tracción o de tenacidad es importante utilizar mínimo tres probetas y sacar un resultado promedio. Para el caso de la tracción hay que tomar en cuenta que, si la probeta se fractura fuera de la longitud calibrada, el ensayo no sirve y hay que repetir.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIGAJE, C.** Implementación de la norma ISO/IEC 17025:2017 aplicada a ensayos de tracción de la máquina universal de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2019. pp. 80. [Consulta: 2022-03-07]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19306/1/UPS%20-%20TTS176.pdf>.
- AKKURT, A.S; et al.** “The effect of post-heat treatment of laser surface melted AISI 1018 steel”. Journal of Materials Science [en línea], 1996, (Turquía), p. 2-4. [Consulta: 10 marzo 2022]. ISSN 00222461. DOI 10.1007/BF00355879. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00355879>.
- ALARCON, A.A.** Máquina universal de ensayos destructivos: sistema móvil [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2018. [Consulta: 2022-04-02]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8561/1/04MEC239TRABAJODEGRADO.pdf>.
- ANALITICA Y REDES.** *Espectrómetros de Chispa* [Blog]. 2022. [Consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.analiticayredes.com/index.php/es/productos/28-representaciones/oblf/espectrometros-de-chispa>.
- ASKELAND, D.R. & PHULÉ, P.P.** *Ciencia e ingeniería de los materiales* [en línea]. Cuarta Edición. Mexico, D.F.: THOMSON. 2004. [Consulta: 02 marzo 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/439156545/Ciencia-e-Ingenieria-de-los-Materiales-4ta-Edicion-Donald-Askeland-Lib-pdf>
- ASTM\_E112.** Métodos de Prueba para Determinar el Tamaño de Grano Promedio.
- ASTM E3.** Práctica estándar para el micrograbado de metales y aleaciones.
- AZO, M.** Acero al carbono AISI 1018 ( UNS G10180 ) [Blog]. 2013. [Consulta: 01 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9138>
- BADARUDDIN, M; et al.** “Experimental investigation of mechanical properties of cold-drawn AISI 1018 steel at high-temperature steady-state conditions”. Journal of Materials Research and Technology [en línea], 2020, (Indonesia), p. 3-6. [Consulta: 02 abril 2022]. ISSN

22387854.

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785419302467>

**BARRIENTOS, J.M.** Guía de prácticas para observación en el microscopio electrónico, en el laboratorio de metalografía [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 2009. pp. 171. [Consulta: 2022-03-14]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0577\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0577_M.pdf)

**BLÁZQUEZ, V; et al.** Ingeniería y Ciencia de los Materiales Metálicos [en línea]. Sexta Edición. Madrid-España.: Dextra Editorial S.L. 2017. [Consulta: 20 marzo 2022]. Disponible en: [https://kupdf.net/download/ingenieria-y-ciencia-de-los-materiales-metalicos\\_5aa4db00e2b6f5a269c63aad\\_pdf](https://kupdf.net/download/ingenieria-y-ciencia-de-los-materiales-metalicos_5aa4db00e2b6f5a269c63aad_pdf)

**BODNAR, R.L. & HANSEN, S.S.** “Effects of austenite grain size and cooling rate on Widmanstätten ferrite formation in low-alloy steels”. Metallurgical and Materials Transactions A [en línea], 1994, (Estados Unidos), p. 2-5. [Consulta: 12 abril 2022]. pp. 03-05. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02665443>

**BODNAR, R.L. & HANSEN, S.S.** “Effects of Widmanstätten ferrite on the mechanical properties of a 0.2 pct C-0.7 pct Mn steel”. Metallurgical and Materials Transactions [en línea], 1994, (Estados Unidos), p. 03-08. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02665443>

**BUENAÑO, J.W.** Estudio del ensayo de impacto y su incidencia en el comportamiento del acero AISI 8620 mediante la norma ASTM E 23 [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato, Ecuador. 2012. pp. 33. [Consulta: 2022-04-29]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3704/1/Tesis%20I.%20M.%20156%20-%20Buena%c3%bl0%20Barreno%20Jackson%20Wilfrido.pdf>

**CALLISTER, W.D.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* [en línea]. Sexta Edición. Madrid-España.: Reverté S. A. 2012. [Consulta: 05 abril 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/31759957/Fundamentos\\_de\\_la\\_ciencia\\_de\\_los\\_materiales\\_Callister](https://www.academia.edu/31759957/Fundamentos_de_la_ciencia_de_los_materiales_Callister)

**DELGADO POMA, G.L.** Diagnóstico de las propiedades de los aceros por microscopía óptica. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Lima, Perú. 2016. pp. 80-100. [Consulta: 2022-05-13]. Disponible en: <https://docplayer.es/66091643-Universidad->

nacional-de-ingenieria-facultad-de-ingenieria-geologica-minera-y-metalurgica.html

**DÍAZ, F. & REYES, A.** *Aceros, estructuras y tratamientos térmicos* [en línea]. Cuautitlán Izcalli-México. 2012. [Consulta: 05 mayo 2022]. Disponible en: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20termicos.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20termicos.pdf)

**ESPEJO, E. & CASTRO, A.** *Microestructuras básicas de aceros, fundiciones y algunas aleaciones no ferrosas* [en línea]. Bogotá-Colombia. 2001. [Consulta: 21 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49649>

**GONZÁLEZ, J; et al.** *Tamaño muestral* [en línea]. Cataluña-España. 2014. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: [http://www.ub.edu/ceea/sites/all/themes/ub/documents/Tamano\\_muestral.pdf](http://www.ub.edu/ceea/sites/all/themes/ub/documents/Tamano_muestral.pdf)

**HERNÁNDEZ, S.J.** *Tratamientos térmicos en acero* [blog]. Quetzaltenango-Guatemala: 2020 [Consulta: 18 julio 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/44465706/Hornos\\_para\\_Tratamiento\\_T%C3%A9rmico\\_en\\_Aceros](https://www.academia.edu/44465706/Hornos_para_Tratamiento_T%C3%A9rmico_en_Aceros)

**KIM, K.H; et al.** “Método de medición del tamaño de grano de la estructura de ferrita acicular”. Revista de KWJS [en línea], 2009, (Corea), p. 02-05. [Consulta: 05 junio 2022]. Disponible en: <http://koreascience.or.kr/article/JAKO200909651054696.page>

**MARTINEZ, I; et al.** *Tratamientos termicos* [blog]. Irapauto-México: 2015 [Consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/512041342/ingenieria-de-materiales>

**MENDEZ, A.J.** Análisis de la influencia del tiempo de aplicación del tratamiento termoquímico de cementado en la dureza superficial del acero AISI/SAE 1018. [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2021. pp. 28-37. [Consulta: 2022-07-07]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19975>

**MONTEJANO, S.** Estudio de distorsión en piezas componentes de maquinaria pesada y de aceros estructurales soldadas por la técnica GMAW. [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Corporación Mexicana de Investigación de Materiales, División de Estudios de Posgrado, Saltillo, México. 2016. pp. 48-77. [Consulta: 2022-07-10]. Disponible en: <https://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1022/228/1/Monografia%20SergioAMontejanoM.pdf>

**MUÑOZ, C.F; et al.** Influencia del tratamiento térmico de temple a temperaturas intercríticas

en las propiedades mecánicas del acero AISI SAE 1018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia. 2014. pp. 23-40. [Consulta: 2022-08-11]. Disponible en: <https://1library.co/document/ykrkrlrvz-influencia-tratamiento-termico-temple-temperaturas-intercriticas-propiedades-mecanicas.html>

**NIÑO, M.** *Laboratorio de ciencias de los materiales* [en línea]. Caracas-Venezuela: 2001. [Consulta: 12 agosto 2022]. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAQ3886.pdf>

**PERO-SANZ, J.A.** *Ciencia e ingeniería de materiales: estructura, transformaciones propiedades y selección* [en línea]. Cuarta Edición. Madrid-España.: CIE INVERSIONES EDITORIALES, 2000. [Consulta: 05 junio 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/97085013/Materiales-Peró-Sanz-Elorz-Ciencia-e-Ingenieria-de-Materiales>.

**PRABAKARAN, M.P. & KANNAN, G.R.** “Effects of post-weld heat treatment on dissimilar laser welded joints of austenitic stainless steel to low carbon steel” *International Journal of Pressure Vessels and Piping* [en línea], 2020, (India), pp. 01-07. [Consulta: 19 marzo 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104322>.

**SALINAS, R.A.** Diseño de un prototipo de laboratorio de dureza dedicado a la calibración de durómetros, por métodos Rockwell, Brinell, Vickers y Shore [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ciencias y Educación, Bogotá, Colombia. pp. [Consulta: 2022-04-17]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26289>

**SANTOS, E.** “Notas científicas acerca del ensayo de dureza”. [en línea], 2001, (Perú), pp. 01-04. [Consulta: 19 agosto 2022]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6768>

**SMITH, W. & HASHEMI, J.** *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería Materiales* [en línea]. Cuarta Edición. Mexico, D.F.: MCGRAW-HILL. 2004. [Consulta: 02 julio 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/39261016/Fundamentos\\_de\\_la\\_ciencia\\_e\\_ingenier%C3%ADa\\_de\\_materiales\\_4th\\_Edition\\_Fundamentos\\_de\\_la\\_ciencia\\_e\\_ingenier%C3%ADa\\_de\\_materiales\\_P%C3%A1gina\\_1\\_de\\_5\\_Troud](https://www.academia.edu/39261016/Fundamentos_de_la_ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_materiales_4th_Edition_Fundamentos_de_la_ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_materiales_P%C3%A1gina_1_de_5_Troud)

**TECNICA EN LABORATORIOS.** *Microscopio NIKON ECLIPSE E200 LED* [Blog]. México D. F. 2022. [Consulta: 01 septiembre 2022]. Disponible en:

[https://www.tecnicaenlaboratorios.com/Nikon/Eclipse\\_E200LED\\_Especificaciones.htm](https://www.tecnicaenlaboratorios.com/Nikon/Eclipse_E200LED_Especificaciones.htm)

**TELENCHANA, J.L., 2013.** Análisis de revestimientos duros en uniones soldadas de acero al carbono A36 mediante el proceso SMAW y su incidencia en las propiedades mecánicas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, Ecuador. 2013. pp. 20-45. [Consulta: 2022-06-07]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/5995>

**THAMIR, H.Y; et al.** “Structure-Properties Relationships in Heat Treated Low Carbon Steel” Journal of al-qadisiyah for Engineering Science [en línea], 2017, (Irak), pp. 02-06. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: [https://www.academia.edu/35917954/Structure\\_Properties\\_Relationships\\_in\\_Heat\\_Treated\\_Low\\_Carbon\\_Steel](https://www.academia.edu/35917954/Structure_Properties_Relationships_in_Heat_Treated_Low_Carbon_Steel)

**THEWLIS, G.** “Materials perspective: Classification and quantification of microstructures in steels”. Materials Science and Technology [en línea], 2004, (Reino Unido), pp. 02-07. [Consulta: 18 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/026708304225010325?cookieSet=1>

**TOTALMATERIA.** *Fundición de acero: Microestructura y tamaño de grano* [blog]. Suiza: 2000 [Consulta: 03 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=EN>

**TREJO, J.M.** *Conversión de microscopio metalográfico convencional en innovador microscopio metalográfico digital* [en línea]. Santa Tecla-El Salvador: ITCA Editores. 2017. [Consulta: 08 abril 2022]. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/uploads/2018/03/06-Microscopio-metalografico.pdf>

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA.** *Espectrometría de emisión por chispa* [blog]. Cartagena-Colombia: 2018 [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: <https://www.upct.es/sait/es/tecnicas-espectrometricas-y-afines/espectrometro-de-emision-por-chispa///>.

**VACA, W.** Análisis de Recocido en Soldadura de Acero AISI 1018 con Electrodo AWS E-7018 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Centro de Estudios de Posgrado. Ambato-Ecuador. 2012. pp. 10-23. [Consulta: 2022-08-07]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2613>

**VANDER, V.** *Metallography principles and practice* [en línea]. Cuarta Edición. New York- Estados Unidos: McGraw-Hill. 2007. [Consulta: 17 abril 2022]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books/about/Metallography\\_Principles\\_and\\_Practice.html?id=GRQC8zYqtBIC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Metallography_Principles_and_Practice.html?id=GRQC8zYqtBIC&redir_esc=y)

## **ANEXOS**

**ANEXO A:** INFORME DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO.

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 180439290820220726-ETM.	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa/Cliente:</b> Evelyn Villarroel.	
<b>Dirección:</b> Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.	
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 1804392908.	<b>Teléfono:</b> +593999899131.
<b>E-mail:</b> eve146villarroel@hotmail.com.	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E8/E8M-22 Métodos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación de probetas	Tratamiento	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180439290820220726-ETM 01	Normalizado	1200 °C	4
2	180439290820220726-ETM 02	Normalizado	1000 °C	4
3	180439290820220726-ETM 03	Normalizado	900 °C	4
4	180439290820220726-ETM 04	Normalizado	1100 °C	4
5	180439290820220726-ETM 05	Sin Tratamiento	-	4
<b>Total</b>				<b>20</b>

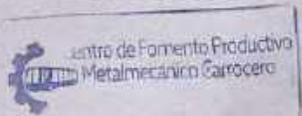
**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.

ENSAYO SOLICITADO

No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180439290820220726-ETM 01-1	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
2	180439290820220726-ETM 01-2	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
3	180439290820220726-ETM 01-3	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
4	180439290820220726-ETM 01-4	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
5	180439290820220726-ETM 02-1	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
6	180439290820220726-ETM 02-2	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
7	180439290820220726-ETM 02-3	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
8	180439290820220726-ETM 02-4	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
9	180439290820220726-ETM 03-1	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
10	180439290820220726-ETM 03-2	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
11	180439290820220726-ETM 03-3	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
12	180439290820220726-ETM 03-4	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
13	180439290820220726-ETM 04-1	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
14	180439290820220726-ETM 04-2	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
15	180439290820220726-ETM 04-3	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
16	180439290820220726-ETM 04-4	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
17	180439290820220726-ETM 05-1	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
18	180439290820220726-ETM 05-2	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
19	180439290820220726-ETM 05-3	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26
20	180439290820220726-ETM 05-4	Cumple criterios dimensionales	2022/07/26

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCT.	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga G. MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCT
Cliente	

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 180439290820220726-ETM.**

**DATOS GENERALES**

N° de proforma: RM\_2022\_021.

Empresa/Clientes: Evelyn Villarroel.

RUC/C.I.: 1804392908.

Teléfono: +593999899131.

Dirección: Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.

Correo: eve148villarroel@hotmail.com.

**DATOS DEL ENSAYO:**

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Ambato/Catiglatá

**Método de ensayo:**

ASTM E8/E8M-22 Métodos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Tipo de probeta: Cilíndrica.

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal para metales Metro test 1500 KN.

Modelo: STH-1500 S/C.

Serie: 8802M001.

Velocidad de ensayo: 10 mm/min.

Precarga: 3000 N.

Zona calibrada: 50 mm.

Fecha inicio de Ensayo: 2022/07/29.

Fecha Finalización de Ensayo: 2022/08/15.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación de probetas	Tratamiento	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180439290820220726-ETM 01	Normalizado	1200 °C	4
2	180439290820220726-ETM 02	Normalizado	1000 °C	4
3	180439290820220726-ETM 03	Normalizado	900 °C	4
4	180439290820220726-ETM 04	Normalizado	1100 °C	4
5	180439290820220726-ETM 05	Sin Tratamiento	-	4
<b>Total</b>				<b>20</b>

**Observación:** La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

 <b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	 <b>Revisado por:</b> Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	 <b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT.
--	---	--

**Lugar y fecha de emisión de Informe:** Ambato, 18 de agosto de 2022

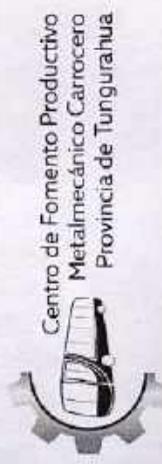
**N°. Factura:** 001-001-000000040.

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS

Resultados:

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia a de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación
1	180439290820220726-ETM 01-1	19,8	50,9	12,21	117,090	50300,00	36400,00	30200,01	429,58	310,87	257,92	52,62
2	180439290820220726-ETM 01-2			12,32	119,210	61650,01	45050,00	40550,00	517,16	377,91	341,00	50,40
3	180439290820220726-ETM 01-3			12,31	119,016	59850,01	44350,00	38550,00	502,87	372,64	323,91	50,50
4	180439290820220726-ETM 01-4			12,17	116,324	58150,01	42000,00	37150,00	459,89	361,06	319,37	50,33
				Promedio $\bar{X}$		57487,508	41950,000	36637,503	487,377	355,619	310,547	50,964
				Desviación estándar $S_{n-1}$		5000,234	3923,221	4526,284	39,259	30,550	36,299	1,108
				Coeficiente de variación CV		8,70	9,35	12,35	8,06	8,62	11,69	2,17

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia a de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación
5	180439290820220726-ETM 02-1	21,3	49,3	12,29	118,630	62200,01	45150,00	42150,00	524,32	380,60	355,31	54,37
6	180439290820220726-ETM 02-2			12,31	119,016	61950,01	45150,00	39700,00	520,52	379,36	333,57	51,30
7	180439290820220726-ETM 02-3			12,27	118,244	62750,01	45650,00	39400,00	530,88	386,07	333,21	59,55
8	180439290820220726-ETM 02-4			12,32	119,210	63550,01	45600,00	16700,00	533,09	382,52	382,135	140,09
				Promedio $\bar{X}$		62612,510	45387,500	34487,500	527,154	382,135	290,543	55,816
				Desviación estándar $S_{n-1}$		708,725	275,000	11922,135	5,768	2,925	100,834	3,712
				Coeficiente de variación CV		1,13	0,61	34,57	1,09	0,77	34,71	6,65



INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS

Código: ED-AE-IMA-R1-008  
 Fecha de Elaboración: 2017-03-06  
 Fecha de última aprobación: 2022-07-27  
 Revisión: 2

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia a de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación	
9	180439290820220726-ETM 03-1	21,7	50,2	12,51	122,915	66700,01	47150,00	48050,00	542,65	383,60	390,92	61,04	
10	180439290820220726-ETM 03-2			12,56	123,899	67550,01	47300,00	47450,00	545,20	381,76	390,40	382,97	60,88
11	180439290820220726-ETM 03-3			12,44	121,543	67050,01	47450,00	52500,01	539,20	397,33	385,60	397,33	60,59
12	180439290820220726-ETM 03-4			12,55	123,702	66700,01	49150,00	47700,00	544,677	388,270	397,860	397,860	60,017
				<b>Promedio <math>\bar{X}</math></b>		67000,010	47762,500	48925,003	5,263	7,088	22,963	1,654	
				<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>		402,078	933,073	2396,009	0,97	1,83	5,77	2,76	
				<b>Coefficiente de variación CV</b>		0,60	1,95	4,90					

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia a de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación	
13	180439290820220726-ETM 04-1	21,5	49,9	13,12	135,194	52800,01	45300,00	40200,00	464,52	335,07	297,35	63,59	
14	180439290820220726-ETM 04-2			13,07	134,166	54200,01	47100,00	40250,00	478,51	351,06	300,00	300,00	65,99
15	180439290820220726-ETM 04-3			13,12	135,194	53700,01	47000,00	40150,00	471,17	347,65	296,98	296,98	55,36
16	180439290820220726-ETM 04-4			13,06	134,371	61900,01	45400,00	40200,00	460,67	337,87	298,17	298,17	54,58
				<b>Promedio <math>\bar{X}</math></b>		63150,010	46200,000	40200,000	468,718	342,913	298,376	58,883	
				<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>		1014,889	983,192	40,825	7,842	7,652	1,447	5,761	
				<b>Coefficiente de variación CV</b>		1,61	2,13	0,10	1,67	2,23	0,48	9,62	

**INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES METÁLICOS**

Código: CF-AE-RM-RG-008  
 Fecha de Elaboración: 2017-01-06  
 Fecha de última aprobación: 2022-07-27  
 Revisor: Z

N	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia máxima a tracción (MPa)	Resistencia a de rotura (MPa)	Límite fluencia (MPa)	% Elongación
17	180439290820220726-ETM 05-1	21.4	50.5	12,71	126,876	74350,01	55500,01	51800,01	586,00	437,43	408,27	36,02
18	180439290820220726-ETM 05-2			12,61	124,888	74100,01	55350,01	49350	593,33	443,20	395,15	34,70
19	180439290820220726-ETM 05-3			12,60	126,477	73900,01	54800,01	50300	584,29	433,28	397,70	32,60
20	180439290820220726-ETM 05-4			12,64	125,483	73600,01	54500,01	47300	586,53	434,32	376,94	35,14
				<b>Promedio <math>\bar{X}</math></b>		73987,510	50037,510	49687,503	587,541	437,058	394,517	34,618
				<b>Desviación estándar <math>S_{n-1}</math></b>		317,214	467,930	1884,314	3,978	4,457	13,018	1,450
				<b>Coefficiente de variación CV</b>		0,43	0,86	3,79	0,68	1,02	3,30	4,19

**Observaciones:** Ninguna

## HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

## HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180439290820220726-ETM.

## DATOS DEL CLIENTE

Empresa/Cliente: Evelyn Villarroel.

Dirección: Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.

Núm. de cédula/RUC: 1804392908.

E-mail: eve14villarroel@hotmail.com.

Teléfono: +593999899131.

## DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

## Designación del material:

Material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas.

## Método de ensayo:

ASTM E8/E8M-22 Métodos de prueba estándar para pruebas de tensión de materiales metálicos.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180439290820220726-ETM 01-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180439290820220726-ETM 01-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180439290820220726-ETM 01-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180439290820220726-ETM 01-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	

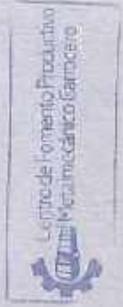
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
5	180439290820220726-ETM 02-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
6	180439290820220726-ETM 02-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
7	180439290820220726-ETM 02-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180439290820220726-ETM 02-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180439290820220726-ETM 03-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180439290820220726-ETM 03-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
11	180439290820220726-ETM 03-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
12	180439290820220726-ETM 03-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
13	180439290820220726-ETM 04-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
14	180439290820220726-ETM 04-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
15	180439290820220726-ETM 04-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
16	180439290820220726-ETM 04-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
17	180439290820220726-ETM 05-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
18	180439290820220726-ETM 05-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
19	180439290820220726-ETM 05-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
20	180439290820220726-ETM 05-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: CF-AE-RM-RG\_003  
Fecha de Elaboración: 2016-07-06  
Fecha de última aprobación: 2022-02-04  
Revisión: 4

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCPT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Area de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga G. MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT
Cliente	



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180439290820220726-EIM.

DATOS DEL CLIENTE

Empresa/Cliente: Evelyn Villarroel.

Dirección: Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.

Núm. de cédula/RUC: 1804392908.

Teléfono: +593998899131.

E-mail: eve148villarroel@hotmail.com.

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material:

Material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas.

Método de ensayo: ASTM E23-18. Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación de probetas	Tratamiento	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180439290820220726-EIM 01	Normalizado	1200 °C	4
2	180439290820220726-EIM 02	Normalizado	1100 °C	4
3	180439290820220726-EIM 03	Normalizado	1000 °C	4
4	180439290820220726-EIM 04	Normalizado	900 °C	4
5	180439290820220726-EIM 05	Sin Tratamiento	-	4
<b>Total</b>				<b>20</b>

Nota: La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE IMPACTO CHARPY MATERIALES METÁLICOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 180439290820220726-EIM.**

**DATOS GENERALES**

N° de proforma: RM\_2022\_021.

Empresa/Cliente: Evelyn Villarroel.

Dirección: Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.

RUC/C.I.: 1804392908

Teléfono: +593999899131.

Correo: eve146villarroel@hotmail.com.

**DATOS DEL ENSAYO**

Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Dirección: Santo Domingo y Río de Janeiro, Ambato/Catigata.

Método de ensayo: ASTM E23-18 Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos.

Tipo de ensayo: Cuantitativo.

Tipo de probeta: Estándar.

Energía utilizada (J): 450.

Tipo de muesca: Entalle en "V".

Equipo utilizado: Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J.

Modelo: PIC 450/C

Serie: M152552AR14.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2022/08/16.

Fecha de Finalización de Ensayo: 2022/08/16.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en **probetas de material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas**. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carroceros de la provincia de Tungurahua.

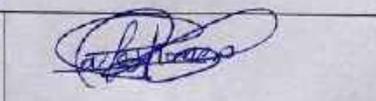
**OBJETOS DE ENSAYO**

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación de probetas	Tratamiento	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180439290820220726-EIM 01	Normalizado	1200 °C	4
2	180439290820220726-EIM 02	Normalizado	1100 °C	4
3	180439290820220726-EIM 03	Normalizado	1000 °C	4
4	180439290820220726-EIM 04	Normalizado	900 °C	4
5	180439290820220726-EIM 05	Sin Tratamiento	-	4
<b>Total</b>				<b>20</b>

Observaciones: La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad; no debe ser reproducido total ni parcialmente.

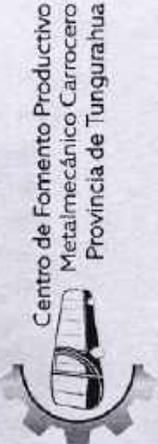
		
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCP.	<b>Revisado por:</b> Ing. David Romero G. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCP.	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCP.

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 18 de agosto de 2022.  
N°. Factura: 001-001-000000040.

**Resultados:**

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Sección Transversal de la Probeta		Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )	Aspecto de fractura (% de cizallamiento)	Fractura de probeta	
				Ancho (cm)	Espesor (cm)				SI	NO
1	180439290820220726-EIM 01-1	21,5	48,7	0,953	0,804	45,15	58,93	50	x	
2	180439290820220726-EIM 01-2			0,989	0,806	39,55	49,62	50	x	
3	180439290820220726-EIM 01-3			1,018	0,789	59,70	74,33	60	x	
4	180439290820220726-EIM 01-4			0,996	0,801	53,67	67,27	50	x	
				Promedio $\bar{x}$		49,518	62,54			
				Desviación estándar $S_{n-1}$		8,932	10,67			
				Coeficiente de variación CV		18,038	17,06			

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Sección Transversal de la Probeta		Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )	Aspecto de fractura (% de cizallamiento)	Fractura de probeta	
				Ancho (cm)	Espesor (cm)				SI	NO
5	180439290820220726-EIM 02-1	21,9	48,2	0,973	0,808	69,79	88,77	50	x	
6	180439290820220726-EIM 02-2			1,003	0,811	46,03	56,59	40	x	
7	180439290820220726-EIM 02-3			0,983	0,803	50,85	64,42	50	x	
8	180439290820220726-EIM 02-4			0,998	0,810	64,45	79,73	40	x	
				Promedio $\bar{x}$		57,780	72,38			
				Desviación estándar $S_{n-1}$		11,178	14,55			
				Coeficiente de variación CV		19,345	20,11			



## INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES METÁLICOS

Código: CF-AE-EM-RG-041  
 Fecha de Elaboración: 2018-04-28  
 Fecha de última aprobación: 2022-07-20  
 Revisión: 2

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Sección Transversal de la Probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )	Aspecto de fractura (% de cizallamiento)	Fractura de probeta	
				Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )				SI	NO
9	180439290820220726-EIM 03-1	22,3	46,4	0,986	0,804	0,793	81,28	102,53	50	x	
10	180439290820220726-EIM 03-2			0,984	0,801	0,788	75,73	96,08	50	x	
11	180439290820220726-EIM 03-3			0,991	0,807	0,800	81,28	101,63	50	x	
12	180439290820220726-EIM 03-4			0,977	0,807	0,788	78,29	99,30	50	x	
				Promedio $\bar{x}$			79,145	99,89			
				Desviación estándar $S_{n-1}$			2,678	2,88			
				Coeficiente de variación CV			3,383	2,88			

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Sección Transversal de la Probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm <sup>2</sup> )	Aspecto de fractura (% de cizallamiento)	Fractura de probeta	
				Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )				SI	NO
13	180439290820220726-EIM 04-1	22,6	46,8	0,997	0,802	0,800	40,81	51,04	50	x	
14	180439290820220726-EIM 04-2			0,995	0,806	0,802	47,80	58,80	50	x	
15	180439290820220726-EIM 04-3			1,007	0,806	0,812	50,17	61,81	60	x	
16	180439290820220726-EIM 04-4			0,999	0,800	0,799	42,97	53,77	60	x	
				Promedio $\bar{x}$			45,438	56,56			
				Desviación estándar $S_{n-1}$			4,300	5,00			
				Coeficiente de variación CV			9,464	8,85			

INFORME DE ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES METÁLICOS

Código: CE-NE-EN-RC-041  
 Fecha de Elaboración: 2018-04-28  
 Fecha de última aprobación: 2022-07-20  
 Revisión: 2

N°	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Sección Transversal de la Probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm²)	Aspecto de fractura (% de cizallamiento)	Fractura de probeta	
				Ancho (cm)	Espesor (cm)	Área (cm²)				SI	NO
17	180439290820220726-EIM 05-1	22,8	47,1	1,001	0,811	0,812	14,30	17,61	100	x	
18	180439290820220726-EIM 05-2			1,006	0,802	0,806	12,23	15,17	100	x	
19	180439290820220726-EIM 05-3			1,002	0,808	0,810	14,65	18,09	100	x	
20	180439290820220726-EIM 05-4			1,001	0,805	0,806	12,23	15,18	100	x	
				Promedio $\bar{x}$			13,353	16,52			
				Desviación estándar $S_{n-1}$			1,304	1,56			
				Coeficiente de variación CV			9,766	9,44			

Observaciones del ensayo: Ninguna

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

**Informe N°:** 180439290820220726-EIM.

**DATOS DEL CLIENTE**

**Empresa/Cliente:** Evelyn Villarreal.

**Dirección:** Av. Canónigo Ramos y Joaquín Pinto, Riobamba.

**Núm. de cédula/RUC:** 1804392908.

**E-mail:** eve146villarreal@hotmail.com.

**Teléfono:** +593999899131.

**DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio:** Resistencia de Materiales.

**Designación del material:**

Material metálico con tratamiento térmico: Acero AISI 1018 Normalizado a diferentes temperaturas.

**Método de ensayo:**

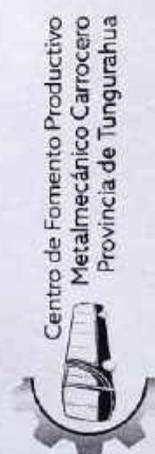
ASTM E23-18. Métodos de prueba estándar para pruebas de impacto de barra con muescas de materiales metálicos.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180439290820220726-EIM 01-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180439290820220726-EIM 01-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180439290820220726-EIM 01-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180439290820220726-EIM 01-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: CE-AE-RII-RG-003  
 Fecha de Elaboración: 2016-07-06  
 Fecha de última actualización: 2022-06-04  
 Versión: 4

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
5	180439290820220726-EIM 02-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
6	180439290820220726-EIM 02-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
7	180439290820220726-EIM 02-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180439290820220726-EIM 02-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180439290820220726-EIM 03-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180439290820220726-EIM 03-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
11	180439290820220726-EIM 03-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
12	180439290820220726-EIM 03-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
13	180439290820220726-EIM 04-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
14	180439290820220726-EIM 04-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
15	180439290820220726-EIM 04-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
16	180439290820220726-EIM 04-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
17	180439290820220726-EIM 05-1	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
18	180439290820220726-EIM 05-2	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
19	180439290820220726-EIM 05-3	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	
20	180439290820220726-EIM 05-4	2022/07/26	2022/08/18	Cliente	Se entrega al cliente	

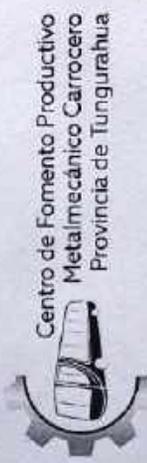
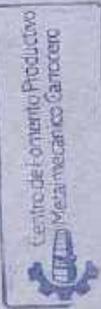


HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: CF-AE-IMA-RG-003  
Fecha de Elaboración: 2016.07.06  
Fecha de última aprobación: 2022-02-04  
Revisión: 4

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMCPT no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	<b>Aprobado por:</b> Ing. Luis Mayorga G. MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT
Cliente	



**ANEXO B: REPORTE DEL ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA REALIZADO EN EL  
LABORATORIO DE MATERIALES PERTENECIENTE A LA FACULTAD DE  
MECÁNICA DE LA ESPOCH**

**Bruker Analysis Report**



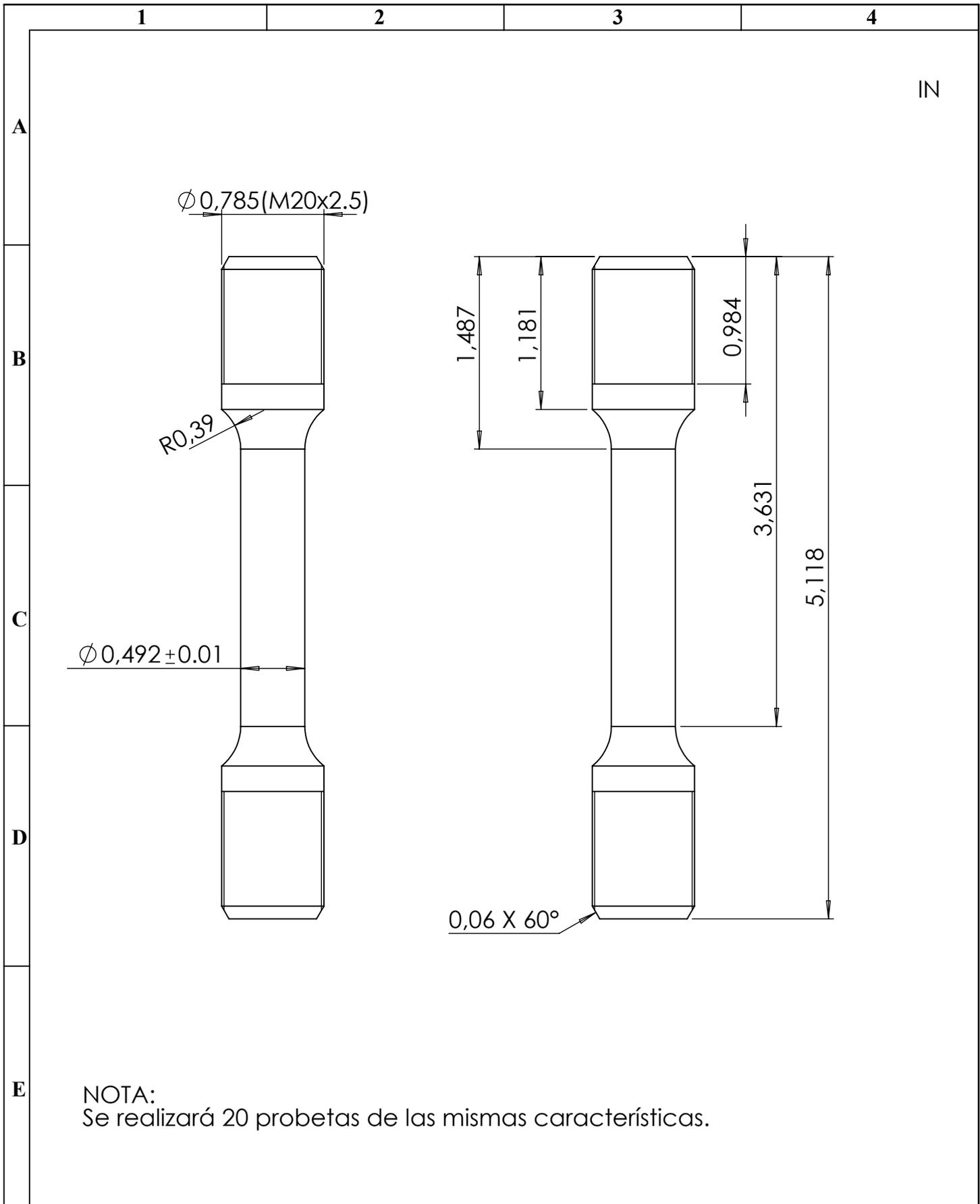
Sample:

Analysis Time: 18.10.2022 15:51:30

Method: Fe100

	<b>C [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>
∅	<b>0,195</b>	<b>0,139</b>	<b>0,476</b>	<b>&lt;0,0100</b>	<b>&lt;0,0100</b>
	<b>Cr [%]</b>	<b>Mo [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Al [%]</b>
∅	<b>&lt;0,0100</b>	<b>0,050</b>	<b>0,095</b>	<b>0,061</b>	<b>&lt;0,0050</b>
	<b>Co [%]</b>	<b>Mg [%]</b>	<b>Nb [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>V [%]</b>
∅	<b>0,010</b>	<b>&lt;0,0050</b>	<b>0,013</b>	<b>&lt;0,0030</b>	<b>&lt;0,0050</b>
	<b>W [%]</b>	<b>Fe [%]</b>			
∅	<b>&lt;0,100</b>	<b>98,93</b>			

## **ANEXO C: PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN**



NOTA:  
Se realizará 20 probetas de las mismas características.

Nº. Lámina: 1 de 3		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>											
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [lb]		Tolerancia		Escala		Registro	
<b>Datos</b>		<b>Nombre</b>		<b>Firma</b>		<b>Fecha</b>		<b>PROBETAS PARA</b> <b>ENSAYO DE</b> <b>TRACCION</b>				0,49		±0.005 [±5°]		1:1			
<b>Proyectó</b>		Gonzalez K. - Villarroel E.				2022/04/20													
<b>Dibujó</b>		Gonzalez K. - Villarroel E.				2022/04/20													
<b>Revisó</b>		Ing. Serrano C.				2022/04/20		<b>Materiales:</b> ACERO AISI 1018		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									
<b>Aprobó</b>		Ing. Serrano C.				2022/04/20		<b>Nombre de archivo:</b> Tracción.sldprt											

**ANEXO D: PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TENACIDAD**

1

2

3

4

A

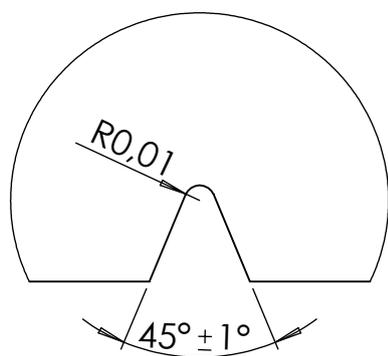
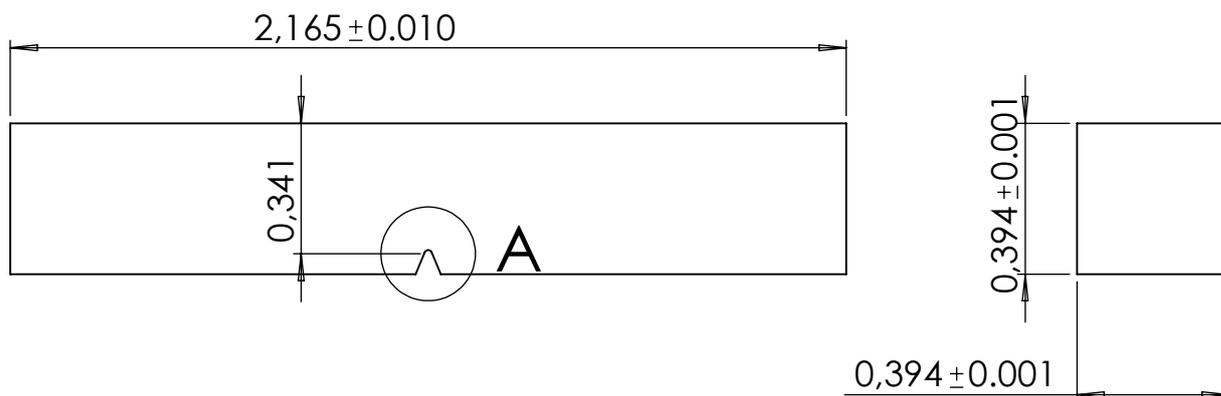
IN

B

C

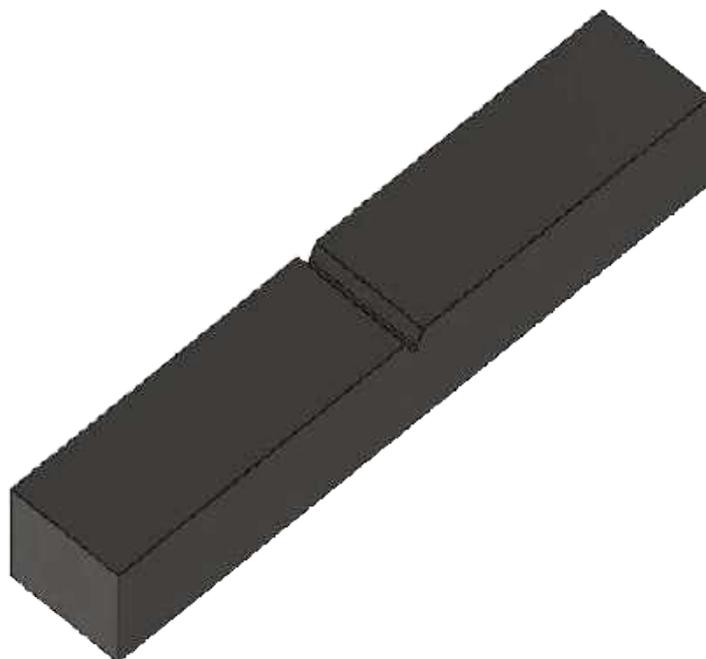
D

E



**DETALLE A**

ESCALA 8 : 1



NOTA:  
Se realizará 20 probetas de las mismas características.

Nº. Lámina: 2 de 3	Nº. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2022	<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
Email: Teléfonos:			<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE TENACIDAD</b>		Peso [lb]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma			Fecha	0,1		2:1
Proyectó	Gonzalez K. - Villarroel E.		2022/04/20	<b>Materiales:</b> ACERO AISI 1018		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		
Dibujó	Gonzalez K. - Villarroel E.		2022/04/20					
Revisó	Ing. Serrano C.		2022/04/20	<b>Nombre de archivo:</b> Tenacidad.sldprt				
Aprobó	Ing. Serrano C.		2022/04/20					

**ANEXO E: PLANOS DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE DUREZA**

1

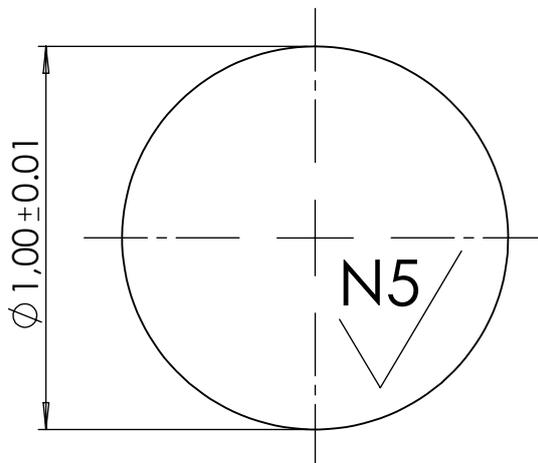
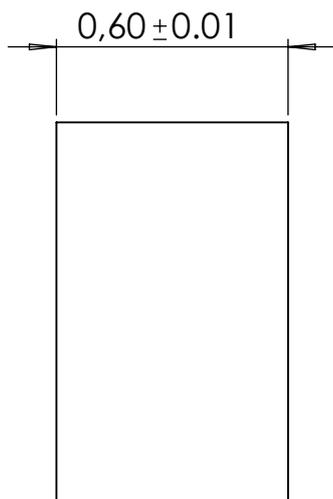
2

3

4

A

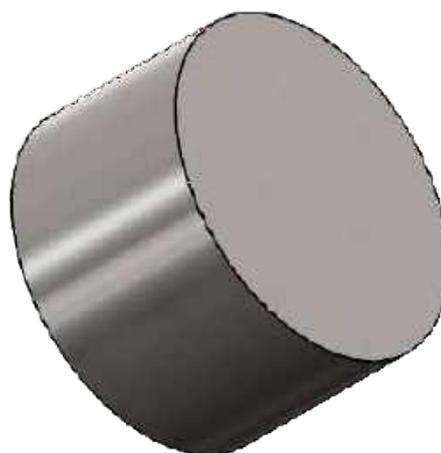
IN



B

C

D



E

NOTA:  
Se realizará 20 probetas de las mismas características.

N°. Lámina: 3 de 3		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-MER-D-001-01-2022		<b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
Email: Teléfonos:						<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE DUREZA</b>				Peso [lb]		Tolerancia		Escala	Registro
Datos	Nombre		Firma	Fecha						0,134		±0.005 [±5°]		2:1	
Proyectó	Gonzalez K. - Villarroel E.			2022/04/20		<b>Materiales:</b> ACERO AISI 1018				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó	Gonzalez K. - Villarroel E.			2022/04/20											
Revisó	Ing. Serrano C.			2022/04/20		<b>Nombre de archivo:</b> Dureza.sldprt									
Aprobó	Ing. Serrano C.			2022/04/20											