



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS  
SUPERFICIALES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO AL  
CARBONO ASTM A36”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**BYRON PATRICIO COSTALES LOGROÑO**

**ROBINSON MANUEL GONZAGA COSTA**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**“INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS  
SUPERFICIALES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO AL  
CARBONO ASTM A36”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**AUTORES: BYRON PATRICIO COSTALES LOGROÑO**

**ROBINSON MANUEL GONZAGA COSTA**

**DIRECTOR: Ing. EDISSON FERNANDO CALDERÓN FREIRE Msc.**

Riobamba – Ecuador

2022

**© 2022, Byron Patricio Costales Logroño; & Robinson Manuel Gonzaga Costa**

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 de Autor.

Nosotros, Byron Patricio Costales Logroño y Robinson Manuel Gonzaga Costa, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 22 de julio de 2022



---

**Byron Patricio Costales Logroño**  
**CI: 060392224-6**



---

**Robinson Manuel Gonzaga Costa**  
**CI: 230043955-7**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **“INFLUENCIA DE LAS ALTAS TEMPERATURAS SUPERFICIALES EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO AL CARBONO ASTM A36”**, realizado por los señores **BYRON PATRICIO COSTALES LOGROÑO** y **ROBINSON MANUEL GONZAGA COSTA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos Msc <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-07-22
Ing. Edison Fernando Calderón Freire Msc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-07-22
Ing. José Antonio Granizo PhD <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-07-22

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de Trabajo de Integración Curricular se lo dedico con todo amor a Dios por guiarme y bendecirme en cada paso de mi vida y permitirme alcanzar esta meta anhelada, gracias a él he logrado concluir con mi carrera, a mis padres Víctor Hugo y Aurora Beatriz a mis hermanos Mónica y Mauricio, por inculcarme sus valores, sus consejos, su apoyo incondicional para hacer de mí una mejor persona y sobre todo por inspirarme a lograr mis sueños, anhelos y metas, a mi sobrino Iván por su amor y sus alegrías, a mi familia por siempre estar pendientes de mí, viviré eternamente agradecido y a mis amigos quienes directa o indirectamente hicieron de este un sueño una realidad.

**Byron**

El presente trabajo de Integración Curricular se lo dedico primeramente a Dios ya que gracias a sus bendiciones he logrado concluir con mi objetivo, a mis padres Manuel Gonzaga y Carmen Costa por haberme forjado como persona; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los cuales se encuentra este, a mis hermanos ya que sin el apoyo de ellos no lo hubiera logrado. A mi familia por siempre estar pendientes en todo momento también a mis amigos ya que han sido una pieza fundamental para lograr tan anhelado objetivo.

**Robinson**

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir esta maravillosa etapa de mi vida quiero agradecer a Dios por darme salud, vida, intelecto y talento, mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Mantenimiento Industrial, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica, a sus docentes quienes me brindaron en sus aulas la luz del conocimiento y me orientaron en el camino de la investigación, para formarme como persona y profesional, a mis padres y hermanos por todo su amor, enseñanzas, y ser el pilar fundamental de mi vida que junto a mí caminaron en todo momento, agradezco a mis tutores Ing. Edison Calderón Msc., y Ing. José Granizo PhD., quienes con su apoyo y enseñanzas contribuyeron para alcanzar este logro en mi vida profesional.

**Byron**

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Carrera de Mantenimiento Industrial y a los docentes por compartir sus conocimientos durante mi trayectoria estudiantil. Al Director y Miembro por su contribución para la elaboración del trabajo de integración curricular. Gracias a mis padres, hermanos por estar en todo momento brindándome su apoyo y siempre desear lo mejor para mi vida, gracias por sus consejos ya que fueron fundamentales para mi formación, gracias por confiar en mí y en mis expectativas. Gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de este momento.

**Robinson**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Definición del problema.....	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. <i>Variable dependiente</i> .....	6
1.5.2. <i>Variables independientes</i> .....	6
1.6. Aceros avanzados de alta resistencia (AHSS, Advanced High-Strength Steels)....	6
1.7. Aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA, High-Strength, low-alloy).....	7
1.7.1. <i>Utilización de las aleaciones en la ingeniería</i> .....	7
1.8. Fases del acero.....	8
1.8.1. <i>Clasificación del acero</i> .....	8
1.9. Caracterización de la microestructura del acero.....	9
1.9.1. <i>Cambios de la microestructura en el acero ASTM A36 a altas temperaturas</i> .....	9
1.9.2. <i>Acero estructural laminado en caliente</i> .....	10
1.9.3. <i>Designaciones ASTM para aceros</i> .....	11
1.10. Acero al carbono ASTM A36.....	11
1.10.1. <i>Composición del acero ASTM A36</i> .....	12
1.10.2. <i>Propiedades del acero ASTM A36</i> .....	12

<b>1.11.</b>	<b>Altas temperaturas</b> .....	13
<b>1.11.1.</b>	<i>Corrosión a altas temperaturas</i> .....	13
<b>1.11.2.</b>	<i>Sistema de corrosión a alta temperatura</i> .....	13
<b>1.11.3.</b>	<i>Deterioro de los materiales a altas temperaturas</i> .....	14
<b>1.11.4.</b>	<i>Oxidación a altas temperatura</i> .....	15
<b>1.12.</b>	<b>Metalografía</b> .....	15
<b>1.12.1.</b>	<i>Equipo para la metalografía</i> .....	15
<b>1.12.2.</b>	<i>Procedimiento del ensayo metalográfico</i> .....	16
<b>1.13.</b>	<b>Ensayos no destructivos</b> .....	16
<b>1.13.1.</b>	<b>Ultrasonido</b> .....	16
1.13.1.1.	<i>Pulso-eco</i> .....	17
<b>1.14.</b>	<b>Combustión</b> .....	17
<b>1.14.1.</b>	<i>Triángulo de la combustión</i> .....	17
<b>1.14.2.</b>	<i>Tipos de combustión</i> .....	18
<b>1.15.</b>	<b>Combustible</b> .....	18
<b>1.15.1.</b>	<i>Propiedades de los combustibles</i> .....	18
<b>1.15.2.</b>	<i>Combustibles líquidos</i> .....	19
<b>1.15.3.</b>	<i>Composición de los combustibles</i> .....	19
<b>1.16.</b>	<b>Quemador</b> .....	20

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	21
<b>2.1.</b>	<b>Criterios para el diseño del módulo</b> .....	21
<b>2.1.1.</b>	<b><i>Partes del quemador de combustión interna ACPM</i></b> .....	21
2.1.1.1.	<i>Cabezal de retención de llama</i> .....	22
2.1.1.2.	<i>Electrodos de ignición y boquilla</i> .....	22
2.1.1.3.	<i>Motor eléctrico</i> .....	23
2.1.1.4.	<i>Bomba de combustible</i> .....	23
2.1.1.5.	<i>Ventilador</i> .....	24
2.1.1.6.	<i>Racor de tubo con conector</i> .....	24
2.1.1.7.	<i>Transformador de encendido</i> .....	25
2.1.1.8.	<i>Cámara de combustión</i> .....	25
<b>2.1.2.</b>	<b><i>Selección de materiales</i></b> .....	25
2.1.2.1.	<i>Placas de acero ASTM A36</i> .....	25
2.1.2.2.	<i>Tamaño de la muestra</i> .....	26

2.1.2.3.	<i>Quemador de combustión interna de marca beckett</i> .....	27
2.1.2.4.	<i>Identificación de la bomba de combustible</i> .....	28
<b>2.2.</b>	<b>Pruebas de funcionamiento</b> .....	28
2.2.1.	<i>Pruebas en vacío</i> .....	28
2.2.2.	<i>Pruebas sobre probetas de acero al carbono ASTM A36</i> .....	29
<b>2.3.</b>	<b>Aplicación de diagnóstico técnico al acero ASTM A36</b> .....	29
2.3.1.	<i>Ensayo no destructivo de ultrasonido</i> .....	31
2.3.2.	<i>Descripción del equipo utilizado para el ensayo de ultrasonidos</i> .....	31
2.3.3.	<i>Gel para acoplamiento</i> .....	32
2.3.4.	<i>Calibración del instrumento</i> .....	32
2.3.5.	<i>Proceso para la determinación del espesor</i> .....	33
2.3.6.	<i>Tabulación de datos</i> .....	34
<b>2.4.</b>	<b>Ensayo de dureza Brinell</b> .....	36
<b>2.5.</b>	<b>Ensayos metalográfico acero ASTM A36</b> .....	39
2.5.1.	<i>Probetas ASTM A36 para pruebas metalográfico</i> .....	39
2.5.1.1.	<i>Tamaño de la probeta</i> .....	39
2.5.1.2.	<i>Corte de las probetas</i> .....	40
2.5.1.3.	<i>Desbaste</i> .....	40
2.5.1.4.	<i>Pulido</i> .....	41
2.5.1.5.	<i>Ataque químico</i> .....	42
2.5.2.	<i>Equipos utilizados para ensayo metalográfico</i> .....	43
2.5.3.	<i>Cálculo del tamaño de grano ASTM</i> .....	45
<b>2.6.</b>	<b>Termómetro infrarrojo</b> .....	46
2.6.1.	<i>Descripción de los equipos utilizados</i> .....	46

### **CAPITULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS</b> .....	48
<b>3.1.</b>	<b>Recolección de datos</b> .....	48
<b>3.2.</b>	<b>Análisis de datos</b> .....	89
3.2.1.	<i>Observación visual</i> .....	89
3.2.2.	<i>Ultrasonido</i> .....	91
3.2.3.	<i>Ensayo de metalografía</i> .....	92
3.2.3.1.	<i>Determinación del tamaño de grano ASTM</i> .....	93
3.2.4.	<i>Ensayos de dureza</i> .....	96
3.2.5.	<i>Gráficas de distribución de temperaturas</i> .....	99

<b>3.2.6.</b>	<b><i>Pérdida del material</i></b> .....	101
<b>3.2.7.</b>	<b><i>Comprobación de la hipótesis</i></b> .....	102
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	104
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	105
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Composición química del acero A36 .....	12
<b>Tabla 2-1:</b>	Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A36 .....	13
<b>Tabla 3-1:</b>	Tipos de combustión .....	18
<b>Tabla 4-1:</b>	Propiedades del combustible diésel.....	19
<b>Tabla 1-2:</b>	Variables para el cálculo del tamaño de muestra .....	26
<b>Tabla 2-2:</b>	Parámetros de la experimentación.....	27
<b>Tabla 3-2:</b>	Composición química del acero ASTM A36 calidad estructural .....	27
<b>Tabla 4-2:</b>	Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 calidad estructural .....	27
<b>Tabla 5-2:</b>	Especificaciones técnicas del motor eléctrico .....	30
<b>Tabla 6-2:</b>	Especificaciones técnicas de la bomba de aceite.....	30
<b>Tabla 7-2:</b>	Especificaciones técnicas del quemador a diésel .....	31
<b>Tabla 8-2:</b>	Espesores de la probeta no experimentada.....	35
<b>Tabla 9-2:</b>	Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 30 minutos de exposición a las altas temperaturas.....	35
<b>Tabla 10-2:</b>	Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 60 minutos de exposición a las altas temperaturas.....	35
<b>Tabla 11-2:</b>	Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 90 minutos de exposición a las altas temperaturas.....	36
<b>Tabla 12-2:</b>	Comparación entre características de los microscopios electrónico y óptico....	44
<b>Tabla 1-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°1 .....	49
<b>Tabla 2-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°2.....	50
<b>Tabla 3-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°3.....	51
<b>Tabla 4-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°4.....	52
<b>Tabla 5-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°5.....	53
<b>Tabla 6-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°6.....	54
<b>Tabla 7-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°7.....	55
<b>Tabla 8-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°8.....	56
<b>Tabla 9-3:</b>	Datos de experimentación probeta N°9.....	57
<b>Tabla 10-3:</b>	Datos obtenidos del ensayo de ultrasonido .....	58
<b>Tabla 11-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 0 .....	59
<b>Tabla 12-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 1 .....	60
<b>Tabla 13-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 2 .....	61
<b>Tabla 14-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 3 .....	62

<b>Tabla 15-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 4 .....	63
<b>Tabla 16-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 5 .....	64
<b>Tabla 17-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 6 .....	65
<b>Tabla 18-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 7 .....	66
<b>Tabla 19-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 8 .....	67
<b>Tabla 20-3:</b>	Metalografía de la probeta N° 9 .....	68
<b>Tabla 21-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 0.....	69
<b>Tabla 22-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 1.....	70
<b>Tabla 23-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 2.....	71
<b>Tabla 24-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 3.....	72
<b>Tabla 25-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 4.....	73
<b>Tabla 26-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 5.....	74
<b>Tabla 27-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 6.....	75
<b>Tabla 28-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 7.....	76
<b>Tabla 29-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 8.....	77
<b>Tabla 30-3:</b>	Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 9.....	78
<b>Tabla 31-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 0 .....	79
<b>Tabla 32-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 1 .....	80
<b>Tabla 33-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 2 .....	81
<b>Tabla 34-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 3 .....	82
<b>Tabla 35-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 4 .....	83
<b>Tabla 36-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 5 .....	84
<b>Tabla 37-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 6 .....	85
<b>Tabla 38-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 7 .....	86
<b>Tabla 39-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 8 .....	87
<b>Tabla 40-3:</b>	Ensayo de dureza Brinell probeta N° 9 .....	88
<b>Tabla 41-3:</b>	Resultados del tamaño de grano ASTM de cada probeta.....	95
<b>Tabla 42-3:</b>	Resultados de dureza Brinell (HB).....	96
<b>Tabla 43-3:</b>	Resultados de dureza Rockwell B (HRB) .....	98
<b>Tabla 44-3:</b>	Implicación de la pérdida del material en costos.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Clasificación de las aleaciones Hierro – Carbono .....	7
<b>Figura 2-1:</b>	Microestructura de los aceros .....	9
<b>Figura 3-1:</b>	Micrografía del acero ASTM A36 antes y después de la exposición a altas temperaturas del fuego .....	10
<b>Figura 4-1:</b>	Tipo de acero según el contenido de carbono .....	11
<b>Figura 5-1:</b>	Tipos de acero según su uso .....	12
<b>Figura 6-1:</b>	Componentes del sistema HTC .....	14
<b>Figura 7-1:</b>	Fases de la reacción de combustión.....	17
<b>Figura 8-1:</b>	Triangulo de la combustión.....	18
<b>Figura 1-2:</b>	Quemador de combustión interna ACPM .....	21
<b>Figura 2-2:</b>	Modulo de experimentación.....	22
<b>Figura 3-2:</b>	Cabezal de retención de llama.....	22
<b>Figura 4-2:</b>	Electrodos de ignición .....	23
<b>Figura 5-2:</b>	Boquilla de diésel .....	23
<b>Figura 6-2:</b>	Motor eléctrico .....	23
<b>Figura 7-2:</b>	Bomba de combustible .....	24
<b>Figura 8-2:</b>	Ventilador para quemador a diésel.....	24
<b>Figura 9-2:</b>	Racor de tubo con conector .....	24
<b>Figura 10-2:</b>	Cámara de combustión .....	25
<b>Figura 11-2:</b>	Probeta de ensayo Acero ASTM A36 .....	26
<b>Figura 12-2:</b>	Pruebas en vacío del quemador a diésel para la experimentación.....	28
<b>Figura 13-2:</b>	Probetas de acero ASTM A36 después de la experimentación .....	29
<b>Figura 14-2:</b>	Olympus MG45 .....	30
<b>Figura 15-2:</b>	Componentes del Olympus MG45 .....	32
<b>Figura 16-2:</b>	Gel para acoplamiento ultrasónico .....	32
<b>Figura 17-2:</b>	Calibración del equipo de ultrasonido Olympus MG 45 .....	33
<b>Figura 18-2:</b>	Aplicación del gel acoplante sobre la superficie del acero ASTM A36.....	33
<b>Figura 19-2:</b>	Medición del espesor de la placa de acero ASTM A36 .....	34
<b>Figura 20-2:</b>	Recolección de datos de los espesores de las placas de acero ASTM A36.....	34
<b>Figura 21-2:</b>	Durómetro HBRV-187.5 .....	37
<b>Figura 22-2:</b>	Microscopio con micrómetro .....	37
<b>Figura 23-2:</b>	Ubicación de la huella en cuadrantes del microscopio con micrómetro .....	38
<b>Figura 24-2:</b>	Huella del indentador vista por el microscopio con micrómetro.....	38

<b>Figura 25-2:</b>	Corte de la probeta para metalografía .....	39
<b>Figura 26-2:</b>	Corte de las probetas de acero ASTM A36 para ensayos de metalografía.....	40
<b>Figura 27-2:</b>	Banco de portaliñas .....	41
<b>Figura 28-2:</b>	Pulido de las probetas.....	41
<b>Figura 29-2:</b>	Alumina para materiales ferrosos .....	42
<b>Figura 30-2:</b>	Nital al 2% para ataque químico .....	42
<b>Figura 31-2:</b>	Microscopio electrónico de barrido (SEM).....	43
<b>Figura 32-2:</b>	Microscopio óptico.....	44
<b>Figura 33-2:</b>	Termómetro infrarrojo industrial Fluke 586.....	46
<b>Figura 34-2:</b>	Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus .....	47
<b>Figura 1-3:</b>	Exposición de las probetas al fuego .....	48
<b>Figura 2-3:</b>	Estado de la probeta después de la exposición al fuego .....	48
<b>Figura 3-3:</b>	Acabado tipo espejo de las probetas para metalografía.....	58
<b>Figura 4-3:</b>	Enfriamiento a temperatura ambiente de la probeta.....	89
<b>Figura 5-3:</b>	Observación visual de las probetas después de la exposición al fuego .....	90
<b>Figura 6-3:</b>	Rugosidades en la superficie de la probeta después de la exposición al fuego .	91
<b>Figura 7-3:</b>	Microestructura del acero ASTM A36 a temperatura ambiente.....	92
<b>Figura 8-3:</b>	Microestructura del acero ASTM A36 después de la exposición al fuego.....	93
<b>Figura 9-3:</b>	Números de grano de la probeta no experimentada a un aumento de 200x .....	94

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Variación del espesor después de la exposición a altas temperaturas .....	92
<b>Gráfico 2-3:</b>	Resultados de los tamaños de grano ASTM de cada probeta.....	95
<b>Gráfico 3-3:</b>	Variación de dureza Brinell de la zona A.....	97
<b>Gráfico 4-3:</b>	Variación de dureza Brinell de la zona B.....	97
<b>Gráfico 5-3:</b>	Variación de dureza Rockwell B en la zona A.....	98
<b>Gráfico 6-3:</b>	Variación de dureza Rockwell B en la Zona B .....	99
<b>Gráfico 7-3:</b>	Distribución de temperaturas durante 30 minutos de exposición.....	99
<b>Gráfico 8-3:</b>	Distribución de temperaturas durante 60 minutos de exposición.....	100
<b>Gráfico 9-3:</b>	Distribución de temperaturas durante 60 minutos de exposición.....	100
<b>Gráfico 10-3:</b>	Implicación de la pérdida del material. ....	102
<b>Gráfico 11-3:</b>	Tendencia de los datos en la curva espesor – tiempo de exposición.....	103
<b>Gráfico 12-3:</b>	Tendencia de los datos en la curva espesor – distancia.....	103

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ACPM:</b>	Aceite combustible para motores
<b>AHSS:</b>	Aceros avanzados de alta resistencia
<b>ASTM:</b>	Sociedad Americana para pruebas y materiales
<b>A36:</b>	Descripción para aceros estructurales al carbón
<b>A572:</b>	Descripción de acero estructural
<b>Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>:</b>	Alumina (óxido de aluminio)
<b>CIA:</b>	Método de enfriamiento en aire
<b>CIW:</b>	Método de enfriamiento en agua
<b>CO:</b>	Monóxido de carbono
<b>CH<sub>4</sub>:</b>	Metano
<b>C<sub>2</sub> H<sub>2</sub>:</b>	Acetileno
<b>CO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de carbono
<b>CS<sub>2</sub>:</b>	Sulfuro de carbono
<b>C<sub>n</sub> H<sub>m</sub>:</b>	Hidrocarburos de formula genérica
<b>GPH:</b>	Galones por hora
<b>HB:</b>	Dureza Brinell
<b>HRB:</b>	Dureza Rockwell B
<b>HSLA:</b>	Acero de alta resistencia y baja aleación
<b>HTC:</b>	Corrosión a alta temperatura
<b>H<sub>2</sub> S:</b>	Sulfuro de hidrogeno
<b>NPTF:</b>	Combustible cónico de tubería nacional
<b>NFPA:</b>	Agencia Nacional de Protección Contra Incendios
<b>SEM:</b>	Microscopio óptico de barrido
<b>SO<sub>2</sub>:</b>	Dióxido de azufre

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Tabla de conversión de escalas de dureza BR a HRB
- ANEXO B:** Especificaciones generales del acero ASTM A36
- ANEXO C:** Temperaturas obtenidas durante la experimentación
- ANEXO D:** Metalografías mediante el microscopio óptico
- ANEXO E:** Metalografías mediante el microscopio electrónico de barrido
- ANEXO F:** Construcción del módulo de análisis para la investigación
- ANEXO G:** Probetas antes de la exposición a las altas temperaturas
- ANEXO H:** Toma de temperaturas ambientes obtenidas antes de la experimentación
- ANEXO I:** Toma de temperaturas máximas obtenidas durante la experimentación
- ANEXO J:** Muestras para el análisis metalográfico por el microscopio óptico
- ANEXO K:** Muestras para el análisis metalográfico por el microscopio electrónico de barrido  
SEM
- ANEXO L:** Exposición de las probetas al fuego
- ANEXO M:** Proceso de enfriamiento por aire a temperatura ambiente de las probetas después  
de la exposición a las altas temperaturas
- ANEXO N:** Ensayo de dureza Brinell
- ANEXO O:** Análisis metalográfico
- ANEXO P:** Distancias de las probetas con respecto al cañon del quemador
- ANEXO Q:** Centrado de la probetas en la camara de combustión
- ANEXO R:** Zonas de la probeta para la experimentación de dureza
- ANEXO S:** Tamaños comunes de granos ASTM

## RESUMEN

El presente proyecto investigativo tuvo como objetivo analizar la influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades del acero al carbono ASTM A36. Para lo cual se comenzó con el análisis del estado del arte, luego se prosiguió con la experimentación de placas de acero de 12 mm de espesor, sometido a las altas temperaturas superficiales alcanzando rangos de temperaturas entre 700 °C a 1110 °C en diferentes tiempos de exposición, una vez que se culminó con la experimentación a cada una de las probetas se realizó ensayos de ultrasonido mediante la norma ASTM E797/E797M-21, análisis metalográfico de las probetas basado a la norma ASTM E3-11, determinación del tamaño de grano de acuerdo a la norma ASTM E112-13 y finalmente se determina la dureza mediante la norma ASTM E10-18, estos ensayos se realizaron con la finalidad de constatar los cambios en las propiedades del acero. Los resultados de los ensayos de espesor y dureza después de la experimentación, han proporcionado valores promedios obteniendo el espesor de 11,81 mm y durezas de 145 HB y 79, 4 HRB en la zona A, 138 HB y 76,8 HRB en la zona B, finalmente se evidenció la presencia de las fases de ferrita y perlita y una reducción en el tamaño de grano del acero que paso de 8,41 a 7,61. Se concluyó que el espesor, la dureza y el tamaño de grano del acero ASTM A36 se redujeron debido a la exposición de las altas temperaturas en un intervalo de tiempo de 90 minutos y una distancia de 100 mm. Se recomienda continuar con investigaciones de este campo aplicado a otros tipos de acero al carbono y realizar cortes en frio de las muestras metalográficas para evitar cambios de fases.

**Palabras clave:** <ACERO A36> <ULTRASONIDO> <ASTM> <ESPESOR> <DUREZA> <FERRITA> <PERLITA>.

1697-DBRA-UTP-2022



## SUMMARY

The objective of this research project was to analyze the influence of high surface temperatures on the carbon steel properties ASTM A36. It began with the analysis of the state of the art, then continued with the experimentation of 12 mm thick steel plates. They were subjected to high surface temperatures, reaching temperature ranges between 700 °C to 1110 °C at different times of exposure. Once the experimentation was completed on each of the specimens, ultrasound tests were carried out using the ASTM E797/E797M-21 standard, metallographic analysis of the specimens based on the ASTM E3-11 standard, determination of the size of grain according to the ASTM E112-13 standard and finally the hardness is determined by the ASTM E10-18 standard. These tests were carried out in order to verify the changes in the steel properties. The results of the thickness and hardness tests after experimentation have provided average values, obtaining a thickness of 11,81 mm and hardnesses of 145 HB and 79,4 HRB in zone A, 138 HB and 76,8 HRB in zone B. Finally the presence of the ferrite and pearlite phases and a reduction in the steel grain size that went from 8,41 to 7,61 was evidenced. It was concluded that the thickness, hardness and steel grain size of ASTM A36 were reduced due to exposure to high temperatures in a time interval of 90 minutes and a distance of 100 mm. It is recommended to continue with research in this field applied to other types of carbon steel and cold cut metallographic samples to avoid phase changes.

**Keywords:** <STEEL A36> <ULTRASOUND> <METALLOGRAPHIC ANALYSIS>  
<STEEL PROPERTIES> <FERRITE> <PERLITE>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.  
C.I. 0603357062

## INTRODUCCIÓN

El acero estructural ASTM A36 es una aleación baja en carbono y elementos aleantes, siendo un material de uso común a nivel industrial y artesanal del país, en la actualidad es utilizado en la construcción de estructuras metálicas. Al ser un material que tiene bajo porcentaje de carbono sus elementos aleantes están propensos a sufrir oxidación o corrosión, pero es un material que tiene una buena resistencia y fuerza, debido a la gran demanda que existe se ha propuesto realizar la investigación, la cual nos permite analizar la influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades del acero al carbono ASTM A36, el presente trabajo de Integración Curricular es de tipo investigativo, para la experimentación de campo se utilizó un quemador de combustión interna como fuente de calor y con la ayuda de información bibliográfica se fundamentó.

Según Yan et al. (2021), un requisito importante a considerar durante la utilización del acero estructural es el desempeño a las altas temperaturas provenientes del fuego, siendo necesario caracterizar su comportamiento a temperaturas elevadas y después del enfriamiento, dicha investigación permite la caracterización de las propiedades de los aceros después de la exposición a temperaturas elevadas.

Para cumplir con los objetivos propuestos de la investigación se parte de obtener probetas expuestas a altas temperaturas en distancias y tiempos diferentes, con la ayuda de ensayos de metalografía se puede conocer como se ve afectada la microestructura del acero ASTM A36 después de la exposición a temperaturas elevadas, además con los ensayos no destructivos como ultrasonido se puede evidenciar los cambios que sufren en el espesor y mediante un ensayo de dureza se identifica la variación de la dureza de cada probeta.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

El acero ASTM A36 es una aleación al carbono siendo el más utilizados por la fabricación de planchas y perfiles estructurales los cuales se usan para la elaboración de estructuras metálicas, cuya demanda está creciendo rápidamente, este acero estructural posee propiedades y características que lo diferencia del resto, dentro de sus propiedades principales tenemos: eléctricas, magnéticas, mecánicas, químicas, físicas y térmicas, además es un acero de fácil soldabilidad, el material al ser factible encontrar en el mercado son utilizados para usos generales en el sector de la construcción de estructuras civiles y la industria petrolera (Espinoza y Pazmiño, 2019: pp.23-30).

Es ampliamente utilizado en la industria ecuatoriana para la elaboración de estructuras metálicas, puentes y demás elementos de tipo estructural. En general las uniones para estos materiales son soldas, por lo cual es necesario garantizar las propiedades mecánicas adecuadas que hagan que el elemento soldado cumpla las exigencias del trabajo al cual va a ser sometido. Existen estudios previos sobre la influencia de la fatiga en las estructuras metalográficas en puentes antiguos, pero no acerca de la variación ante la presencia de altas temperaturas (Naranjo et al., 2015: p.135).

Según (Sajid y Kiran, 2018: pp.920-945) se menciona que los aceros estructurales son los materiales de la construcción más utilizados en Estados Unidos, pero la alta conductividad térmica y el bajo calor específico hacen que estos materiales sean vulnerables a los accidentes de incendios, según la Agencia Nacional de Protección Contra Incendios (NFPA) en el 2016 se registraron incendios estructurales cada 63 segundos, es por esto que ha realizado el estudio para la evaluación del comportamiento mecánico tras el incendio del acero ASTM A36, sometiendo las probetas a altas temperaturas comprendidas entre 500 °C a 1000 °C, en los resultados mencionan cambios en su estructura ya que el acero sufre oxidación debido a temperaturas superiores a los 570 °C dando la presencia de hematita exterior y magnetita interior.

(Sajid et al., 2020: pp. 04020133-1-04020133-10) en el artículo científico “Relaciones entre microestructura y propiedades mecánicas para aceros estructurales post-incendio” realizan la investigación con el objetivo de investigar los cambios en la microestructura de los aceros

estructurales que están expuestos a accidentes por incendio, en la investigación mencionan que existe la degradación del 22% en el límite elástico en las muestras del acero ASTM A36 esto atribuye a un ligero aumento de volumen y de grano de ferrita y disminución en el volumen de perlita después del enfriamiento desde temperaturas a 700°C.

Procel (2016) en el trabajo de titulación denominado “Estudio de la acción del fuego (cambios de temperatura) en perfiles doblados A36 y en vigas I calidad A572 Gr. 50 en una estructura regular con pórticos” El autor hace un estudio para conocer las modificaciones que sufren las estructuras metálicas por el incremento de temperaturas, se menciona como objetivo principal el comportamiento de una estructura de acero bajo la acción del fuego o cambios de temperatura, en el cual señala que el aumento de las temperaturas supone importantes pérdidas mecánicas del acero, para la investigación el material de análisis que utilizó es el acero estructural siendo este uno de los más utilizados a nivel mundial.

De acuerdo con (Caicedo et al., 2017: pp.173-189) La revista científica europea “Resistencia de materiales-ingeniería mecánica estudio de caso: degradación del acero ASTM A36 sometido al fenómeno de termofluencia”, hace referencia a los estudios experimentales con el objetivo de obtener información sobre la degradación del acero ASTM A36 expuesto a rangos de temperatura de 500 a 650°C, en los ensayos metalográficos que realizaron a las placas de acero se evidenció que existe la aparición de cavidades a lo largo de los límites de grano producido por temperaturas superiores a los 550°C, mostrando que éstas son cavidades esféricas debido a que el material comenzó a ser afectado por el fenómeno de la termofluencia promoviendo la falla en el acero. Finalmente definen la termofluencia como un fenómeno que se produce por la combinación de cargas y temperaturas elevadas expuestas directamente sobre el acero.

En el Ecuador y a nivel mundial, actualmente en las construcciones civiles se está remplazando el hormigón por estructuras metálicas siendo el acero ASTM A36 el más utilizado por su bajo costo y aceptables propiedades mecánicas. Según (López y Oñate, 2017: p.5), menciona que la termofluencia es una deformación de un material metálico o aleación, cuando se somete a la combinación de parámetros físicos como la tensión y temperatura, esta deformación es un factor limitante en diseños de ingeniería cuando el acero opera a temperaturas elevadas, además manifiestan: que el acero en los ensayos de termofluencia la temperatura para que el material llegue a fracturarse es de 550°C y en el análisis microestructural del acero existe un cambio totalmente por los efectos de la degradación del material producidos por este fenómeno donde las fases de ferrita y perlita están alargadas en dirección de la carga aplicada en el material a elevadas temperaturas.

Otra investigación realizada por (Almendariz et al., 2021: pp.1313-1337), la revista Científica-Académica Multidisciplinaria Polo del Conocimiento “Estudio de los efectos de la temperatura de precalentamiento sobre la microestructura y propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 y A572 GR.50” nos presentan los cambios microestructurales que tienen estos materiales al ser sometidos a altas temperaturas, en las temperaturas de 300°C y 500°C de precalentamientos directamente a los materiales se han observado cambios significativos a nivel microestructural y propiedades mecánicas, en las micrografías de los aceros se tiene morfologías de grano ferrítico dando origen a una reducción de la resistencia al impacto.

## **1.2. Definición del problema**

El acero se enfrenta a uno de sus principales enemigos: el fuego, el otro es la corrosión. Si desde el punto de vista estructural y de ejecución de obra el acero se comporta de manera óptima, reduciendo los tiempos de ejecución y aligerando los pesos de la estructura permitiendo cubrir grandes luces, desde el punto de vista de su resistencia frente al fuego, el acero presenta grandes problemas (Ruiz, 2015, p.2).

El acero ASTM A36 es uno de los más utilizados para la construcción de estructuras a nivel mundial, muchas de estas estructuras se encuentran a la intemperie, en ambientes corrosivos o a altas temperaturas como es el caso de un incendio.

La falta de conocimiento de métodos que ayuden a prevenir o reducir la degradación del acero provocan a las empresas elevados costos de mantenimiento: a corto plazo la inversión en métodos para prevenir el deterioro o a largo plazo llegando hacer necesario el cambio total de la estructura provocando pérdidas de producción y productividad.

El tiempo de vida útil del acero es de 20 a 30 años en condiciones estándares de operación, diversas fuentes consideran que se puede alargar este tiempo de 50 a 60 años llevando un buen mantenimiento preventivo y correctivo, para mantener la integridad de la estructura. (Caicedo, 2014, pp.3-4).

## **1.3. Justificación**

A nivel mundial, principalmente en las empresas industriales y en las estructuras metálicas el acero ASTM A36 es uno de los materiales más utilizados. Muchas de las empresas destinan una gran parte del presupuesto para el mantenimiento por la degradación del material debido a los

problemas que se presentan por diversos factores, estos problemas pueden ser prevenidos mediante el uso de métodos de protección. Al no realizar un análisis costo beneficio las empresas optan por realizar reemplazos totales de elementos afectados generando un mayor gasto por concepto de mantenimiento, es por esto que la razón principal de la investigación permitirá a las empresas conocer como las altas temperaturas afecta en la degradación del material y a la estructura interna.

La exposición de componentes ingenieriles a altas temperaturas es frecuente, se considera temperatura alta a aquella que está entre un 30 y un 40% por debajo de la temperatura de fusión. La predicción de la vida a fatiga a estas temperaturas es mucho más complicada que a temperatura ambiente, debido a que suelen activarse otros mecanismos que aceleran el daño por fatiga, además que las tensiones y la oxidación juega un papel clave en la fatiga a alta temperatura.(Fernández, 2016, p.56).

En la carrera de Mantenimiento Industrial de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo no existen evidencia de trabajos de investigación que estén relacionadas con el tema de estudio, es por eso que en el presente trabajo de integración curricular se propone como idea innovadora encaminada para las nuevas generaciones e ingenieros siendo el punto de partida y guía, motivando a realizar futuras investigaciones sobre el tema expuesto, aportando a las líneas de investigación institucionales en el área de Ingeniería y Tecnología de Materiales en busca de conocer que cambios sufre el acero ante la presencia de altas temperaturas. Esto ha motivado a la elaboración de esta investigación la cual tiene como objetivo analizar la degradación de placas de acero ASTM A36 mediante parámetros establecidos.

Aplicando conocimientos ingenieriles se someterá el acero ASTM A36 a altas temperaturas producidas directamente por el fuego de un quemador de combustión interna esto con la finalidad de conocer que cambios existirán en su microestructura. Además determinar si la distancia entre el quemador y la placa de acero incidirán en la reducción del espesor y dureza.

#### **1.4. Objetivos**

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

Analizar la influencia de las altas temperaturas superficiales en las propiedades del acero al carbono ASTM A36.

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

Realizar el estudio del estado del arte.

Elaborar el módulo de análisis para el desarrollo del tema de investigación.

Establecer los parámetros temperatura, distancia y tiempo.

Utilizar herramientas de diagnóstico técnico para determinar el espesor y dureza de la placa de acero ASTM A36.

Elaborar ensayos metalográficos para analizar la microestructura de los cambios efectuados por la aplicación de calor intenso.

#### **1.5. *Hipótesis***

El tiempo de exposición y la distancia del quemador influyen en la degradación del acero ASTM A36.

##### **1.5.1. *Variable dependiente***

- Degradación del acero ASTM A36.

##### **1.5.2. *Variables independientes***

- Tiempo de exposición.
- Distancia.

#### **1.6. *Aceros avanzados de alta resistencia (AHSS, Advanced High-Strength Steels)***

Son aceros que poseen una tensión de fluencia nominal hasta 1200 MPa y una tensión última de 1500 MPa, este tipo de aceros son empleados en las diversas industrias debido a las ventajosas propiedades mecánicas y rentabilidad (Yan et al., 2021: pp.1).

Según (Yan et al., 2021: pp.1) menciona que los AHSS presentan una microestructura multifásica la cual contiene una o más fases distintas a la ferrita, perlita o cementita, éstas podrían incluir fases

como la martensita, bainita, y/o austenita están presentes en cantidades suficientes para producir resistencia y durabilidad mientras se mantienen la conformidad.

### 1.7. Aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA, High-Strength, low-alloy)

(Nascimento y Fernández, 2021: p.38) definen a los aceros HSLA como microaleados que nacieron en respuesta al requisito para la reducción del peso de los vehículos, estos aceros contienen bajo contenido de carbono es decir que el peso de carbono está por debajo del 0,2%, y un porcentaje de elementos aleantes como el manganeso, fósforo, silicio, cromo, níquel, molibdeno, y cantidades pequeñas de vanadio, titanio y niobio. Estos aceros son laminados en caliente, de forma controlada logrando obtener una estructura de grano muy fino, con valores elevados del límite elástica y de la resistencia junto con una baja temperatura de transición dúctil-frágil.

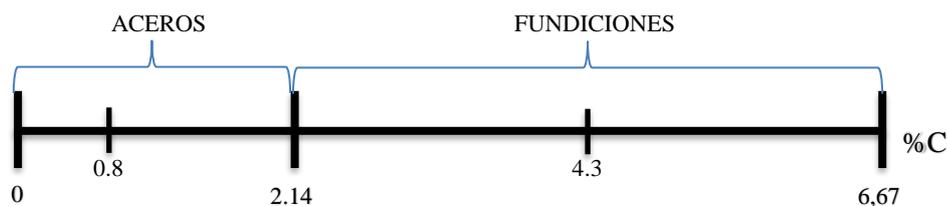
#### 1.7.1. Utilización de las aleaciones en la ingeniería

La aplicación del acero ASTM A36 en las diferentes ingenierías, las aleaciones presentan mejores propiedades en donde es necesario tener mejor resistencia a temperaturas elevadas y a la corrosión.

La ingeniería utiliza las siguientes aleaciones:

- **Aleaciones de hierro:** compuesto por el acero y fundiciones
- **Aleaciones ligeras:** están presente las aleaciones de aluminio, magnesio y de titanio
- **Aleaciones de bajo punto de fusión:** son las aleaciones de zinc, plomo y estaño
- **Aleaciones de cobre**
- **Aleaciones especiales:** son aleaciones de base de níquel y cobalto (Aguirre, 2020, pp.8-9).

Las aleaciones Hierro – Carbono pueden clasificarse en aceros y fundiciones por su contenido de carbono que puede variar en porcentaje de peso.



**Figura 1-1:** Clasificación de las aleaciones Hierro – Carbono

Fuente: (Aguirre, 2020, p.9)

## 1.8. Fases del acero

El acero es una aleación de hierro y carbono con una proporción que oscila entre 0.0008 y 2%, las propiedades físicas y su comportamiento a diferentes temperaturas dependen de la cantidad y de la distribución del carbono, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias:

- **Ferrita:** conformada por el hierro, pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución, es blanda y dúctil
- **Cementita:** compuesta de hierro con un porcentaje de 6.67% de carbono, es de gran dureza y muy quebradiza
- **Perlita:** resulta de la mezcla de las sustancias de ferrita y cementita

El acero al no ser tratado térmicamente su resistencia y dureza dependerá de las proporciones de estas tres sustancias, al ser mayor el contenido de carbono de un acero menor será la cantidad de ferrita y mayor de perlita, si el acero tiene un porcentaje de 0,8% de carbono el material estará compuesto de perlita, y si el carbono está presente en grandes cantidades de un acero se dice que es una mezcla de cementita y perlita (Cruz et al., 2018: p.231).

### 1.8.1. Clasificación del acero

**Aceros al carbono.** - Está compuesto por el 90% de carbono y menos del 1,65% de manganeso y 0,6% de silicio, es utilizado para la fabricación de máquinas, carrocerías de automóviles, estructuras de la construcción, etc., (Cruz et al., 2018: p.232).

**Aceros aleados.** - Está compuesto por proporciones determinadas de vanadio, molibdeno entre otros, y grandes cantidades de manganeso, silicio y cobre, usados para la fabricación de engranajes, ejes, entre otros (Cruz et al., 2018: p.232).

**Aceros inoxidables.** - Compuesto por cromo, níquel y otros elementos de aleación capaces de ser resistentes durante mucho tiempo a temperaturas extremas, utilizados por su resistencia a la oxidación en fines decorativos, tuberías y depósitos de petróleo, almacenamiento de productos químicos y útiles de cocina (Cruz et al., 2018: p.232).

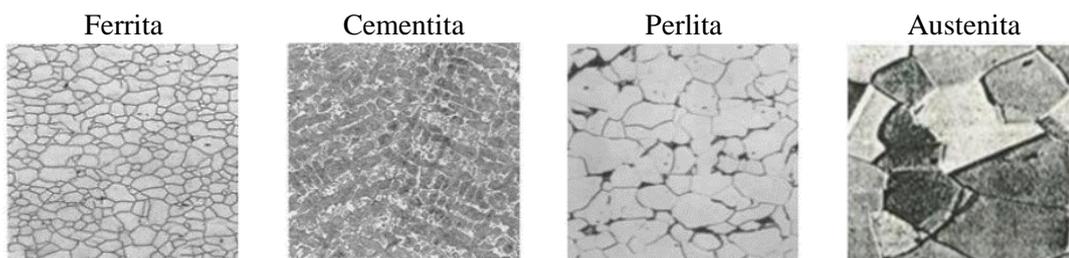
**Aceros para herramientas.** - Contiene wolframio, molibdeno y otras aleaciones que generen alta resistencia, dureza y durabilidad, utilizado para la fabricación de herramientas, cabezales de corte y modelado de máquinas (Cruz et al., 2018: p.232).

## 1.9. Caracterización de la microestructura del acero

Para la caracterización de la microestructura del acero es necesario partir de las muestras metalográficas que se preparan utilizando técnicas de metalografía, en la investigación realizada por (Sajid et al., 2020: p.04020133-3), para el análisis de la microestructura del acero utilizan la microscopía de luz, microscopía electrónica de barrido, la microscopía electrónica de transmisión, la difracción de retrodispersión de electrones y la tomografía con sonda atómica, estas técnicas son utilizadas en la actualidad para la caracterización de la composición de las fases y tamaños de grano del acero.

Según (Sajid et al., 2020: p.04020133-4), el tamaño de grano y las fracciones de volumen de ferrita y perlita varían debido a las altas temperaturas de exposición sobre el acero, para los ensayos metalográficos en esta investigación adquirieron ocho micrografías de varios lugares de las probetas, esto con un aumento de 20 veces para garantizar la presencia de grano de cada constituyente microestructural.

En el acero ASTM A36 las fracciones de área de ferrita y perlita experimentan cambios menores hasta un 5%, esto se produce cuando las muestras metalográficas se enfrían con aire a temperaturas de hasta 1000°C, este acero A36 poseen en promedio del 77% el 2% es ferrita, mientras que del 22% el 2% es perlita. El tamaño de grano de la ferrita muestra un cambio cuando se enfrían con aire desde diferentes temperaturas (Sajid et al., 2020: p.04020133-4).



**Figura 2-1:** Microestructura de los aceros

Fuente: (Aguirre, 2020, p.16)

### 1.9.1. Cambios de la microestructura en el acero ASTM A36 a altas temperaturas

En la investigación realizada por (Sajid et al., 2020: p.04020133-4) los cambios de la microestructura en las muestras de acero ASTM A36 al enfriarse con aire desde temperaturas hasta 600°C no se mostró cambios considerables, para las temperaturas entre 600°C a 800°C al enfriarse el acero exhibieron un ligero aumento en el tamaño de grano de la ferrita, mientras que la colonia de la

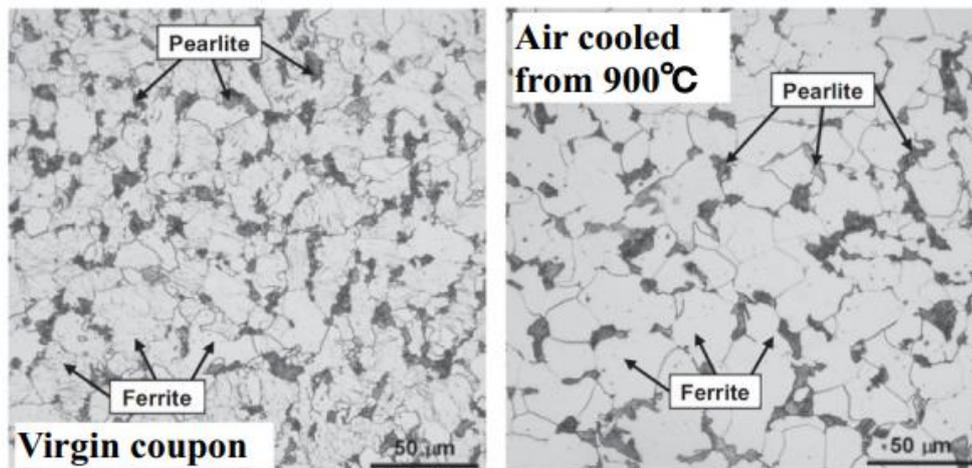
perlita permaneció igual, este tipo de acero al enfriarse por aire desde temperaturas superiores a 800°C, la ferrita y perlita experimentaron aumento en el tamaño de grano.

### 1.9.2. Acero estructural laminado en caliente

Estos aceros se clasifican según el límite elástico nominal, y los de un límite elástico nominal igual o superior a los 460 MPa, a éstos se les clasifica como aceros de alta resistencia. Los aceros utilizados en diferentes países tienen rangos de límites elásticos nominales similares, es por esto que debido a la gran cantidad de datos, éstos se clasifican en grados II, III; IV, VI según el límite elástico nominal (Yu et al., 2019: p.361).

Los aceros de grado II tiene valores de límite elástico nominal que están entre 200 y 300 MPa, mientras que los de grado IV se encuentran los aceros de alta resistencia con valores de límite elástico nominal superior a los 600 MPa. (Yu et al., 2019: p.361).

En la investigación realizada por (Yu et al., 2019: p.361), mencionan que hay dos métodos de enfriamiento del acero después de la exposición a elevadas temperaturas, éstas son: el método de enfriamiento en aire (CIA, cool in air) la cual les permitió simular la situación de extinción natural de las altas temperaturas de un incendio, y el otro método es de enfriamiento en agua (CIW, cooling in water) éste método les ayudo simular y eliminar las altas temperaturas de un incendio extinguido con cañones de agua.



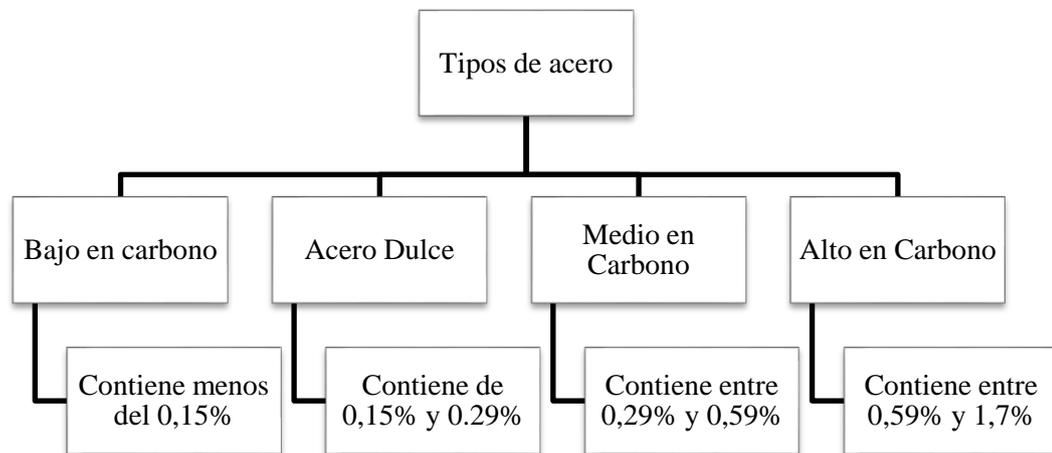
**Figura 3-1:** Micrografía del acero ASTM A36 antes y después de la exposición a altas temperaturas del fuego

**Fuente:** (Yu et al., 2019: p.368)

### 1.9.3. Designaciones ASTM para aceros

Según la norma (ASTM) Sociedad Americana para pruebas y materiales establece la siguiente designación para la numeración de los aceros:

- **A:** materiales ferrosos.
- **B:** materiales no ferrosos.
- **C:** hormigón.
- **D:** químicos, aceites, pinturas, etc.
- **E:** para métodos de ensayos.
- **M:** muestra los estándares que puede ser utilizadas en unidades métricas.



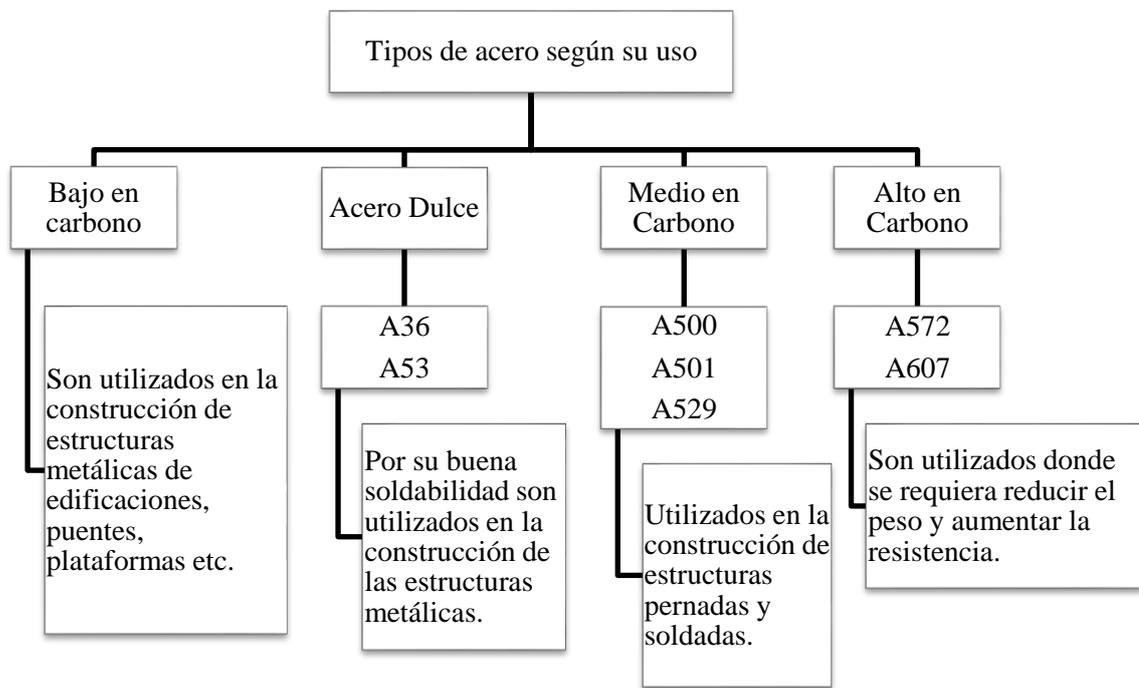
**Figura 4-1:** Tipo de acero según el contenido de carbono

Fuente: (Vizueta y Pabón, 2019: p.16)

### 1.10. Acero al carbono ASTM A36

El acero ASTM A36 por lo general se usa en la industria de hidrocarburos para la fabricación de tuberías para transportar crudo y sus derivados debido a que posee buenas propiedades mecánicas.

Con el pasar de los años han tenido un mayor estudio este tipo de acero es por esto que sus propiedades son mejores actualmente, consecuencia de esto se han desarrollado métodos de laminación controlada, tratamientos termomecánica y tratamientos térmicos intercríticos (Melgarejo et al., 2013: p.76).



**Figura 5-1:** Tipos de acero según su uso

Fuente: (Vizueta y Pabón, 2019: p.16)

### 1.10.1. Composición del acero ASTM A36

El acero ASTM A36 está compuesto por los siguientes elementos.

**Tabla 1-1:** Composición química del acero A36

% C	%Mn	%P	% S	%Si	% Cu	% Fe
0,25	0,93	0,011	0,0013	0,181	<0,01	93

Fuente: Norma ASTM A36

**Nota:** Porcentajes de la composición química del acero ASTM A36

### 1.10.2. Propiedades del acero ASTM A36

Las propiedades del acero se encuentran bajo la norma ASTM A36, la misma que se aplica en la manufactura de perfiles estructurales en caliente y placas.

**Nota:** Tabla de las propiedades mecánicas y físicas del acero A36 con sus respectivas unidades.

**Tabla 2-1:** Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A36

<b>Mecánicas</b>	
Esfuerzo a la tensión (MPa)	400-500
Esfuerzo a la fluencia mínimo (MPa)	250
Elongación mínima en 50 mm (2")	23%
Módulo de elasticidad (GPa)	200
<b>Físicas</b>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	7,85

Fuente: Norma ASTM A36

### **1.11. Altas temperaturas**

Las estructuras con armazón de acero se han utilizado ampliamente en edificios de gran altura, debido a su resistencia y desempeño sísmico, pero sus propiedades mecánicas pueden reducirse debido a las altas temperaturas de exposición a las que se encuentre (Ren, 2020, p.636).

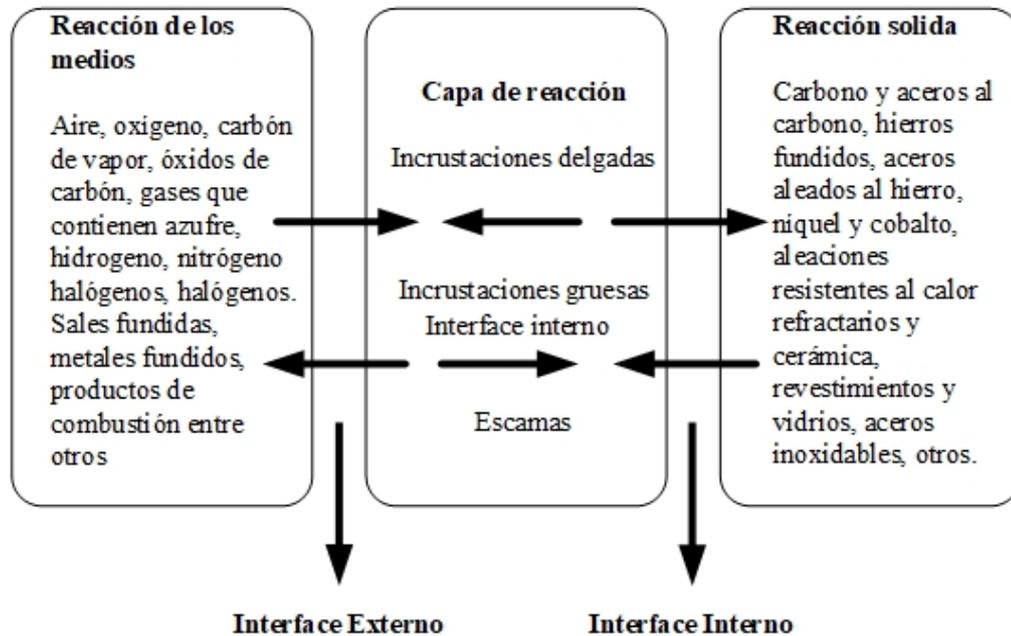
Debido a las altas temperaturas de exposición, el acero da origen a la fluencia que es normalmente una deformación permanente en función del tiempo para el material bajo estrés, y puede aumentar rápidamente en los aceros cuando la temperatura supera los 400°C (Li et al., 2020: p.1).

#### **1.11.1. Corrosión a altas temperaturas**

Se caracteriza por las grandes formaciones de productos de corrosión y una fuerte degradación del material, el fallo de los elementos asociados a la construcción en aplicaciones de alta temperatura puede darse a la interacción del material con el entorno lo cual provoca la pérdida de protección y la degradación acelerada del acero, la reacción más predominante a altas temperaturas es la oxidación además existen otras reacciones como la sulfuración, la carburación, los ataques de hidrogeno, haluros, sales y metales fundidos (Sequiera, 2019, p.3).

#### **1.11.2. Sistema de corrosión a alta temperatura**

Un sistema HTC es la composición de un material a alta temperatura, ambiente agresivo u hostil y una película o incrustación del efecto de la corrosión por la acción del material con el ambiente, estos componentes del sistema se encuentran en varios procesos industriales, en la figura 3-1 se resume los componentes del sistema de corrosión a alta temperatura.



**Figura 6-1:** Componentes del sistema HTC

Fuente: (Sequiera, 2019, p.3)

### 1.11.3. Deterioro de los materiales a altas temperaturas

A partir del deterioro de los materiales a temperaturas superiores de los 100°C se produce el fenómeno de la corrosión en los metales y sus aleaciones, se puede dar a través de: oxidación, carburización, sulfuración, corrosión por metales líquidos, corrosión por halógenos y haluros.

La carburización en el acero se da por el resultado de una mezcla de agentes carburantes como CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> entre otros y agentes descarburantes como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, según (Serna et al., 2018: p.2), la carburación está influenciada por dos procesos importantes: uno es la reacción causada por el carbono al ser absorbido por la superficie del acero, y el otro es la velocidad a la cual el carbono puede fundirse desde la superficie hacia el interior del acero.

La sulfuración en los ambientes industriales se produce debido a las altas temperaturas, el azufre al ser una impureza común de los combustibles es uno de los más significativos contaminantes, el contenido de azufre en el petróleo es de 1 a 3%, pero cuando el carbono es empleado como combustible está presente entre 0.5 a 5%, el azufre puede reaccionar con el oxígeno hasta formar óxidos de azufre cuando se da la combustión con exceso de aire para generar calor en los procesos industriales, un ataque acelerado por sulfuración puede darse si en los ambientes oxidantes se acelera por las impurezas como el sodio, cloro y potasio, estos elementos químicos pueden reaccionar entre ellos con el azufre y generar vapores de sales que pueden llegar a depositarse a bajas temperaturas sobre las superficies metálicas (Sánchez, 2016, p.44).

#### **1.11.4. Oxidación a altas temperatura**

Es la consecuencia de la interacción de un metal y el oxígeno que se encuentra en el medio ambiente. En las altas temperaturas los metales reaccionan directamente con la atmósfera gaseosa, para un material dado la temperatura asume un papel crítico en la determinación de la tasa de oxidación ya que cuando la temperatura se incrementa, la tasa de oxidación también aumenta. Los ciclos térmicos causan grietas y asombrosos daños en las escalas de óxido protector (Tristancho et al., 2015: p.34).

La temperatura de operación asume un papel crítico en la determinación de la tasa de oxidación para un material, si la temperatura se incrementa entonces la tasa de oxidación también aumenta, el incremento del contenido en cromo es la forma más común de mejorar la resistencia a la corrosión, las adiciones de aleaciones que son usadas además del cromo son el aluminio, silicio y níquel (Tristancho et al., 2015: p.38).

#### **1.12. Metalografía**

La norma ASTM E7-03 define a la metalografía como la ciencia que se relaciona con la constitución y estructura, y la relación que existe con las propiedades, de metales y aleaciones.

Estos ensayos permiten inspeccionar los micro constituyentes microestructurales y microfases en la investigación realizada por (Silveira et al., 2021: p.4), estos ensayos se pueden realizar mediante exámenes detallados por microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (SEM), mediante los procedimientos convencionales de esmerilado y pulido.

Según (Almendariz et al., 2021: p.1319) para observar las fases del acero que se encuentran en diferentes zonas, se realiza un análisis metalográfico basado en la norma ASTM E3-11, la misma que indica el procedimiento para la preparación de las muestras que van a ser analizadas.

##### **1.12.1. Equipo para la metalografía**

Para la caracterización de la microestructura se utilizan técnicas de microscopía: óptica y electrónica de barrido.

El SEM (Scanning Electron Microscope) o microscopio electrónico de barrido, es aquel que utiliza un haz de electrones en lugar de un haz de luz para formar la una imagen, permite enfocar

una gran parte de la muestra debido a su profundidad de campo, además produce imágenes de alta resolución, la mayoría de estos microscopios las muestras requieren que estas sean conductoras, las figuras pueden presentar tres dimensiones, proyectadas en una imagen de TV o imagen digital, su resolución está entre 4 y 20nm esto dependiendo del microscopio (Castroviejo Fernández, 2020).

### **1.12.2. Procedimiento del ensayo metalográfico**

Una vez que se tiene las dimensiones de la probeta se procede a preparar la superficie primero se empieza usando lijas de grano grueso hasta lograr un rayado uniforme. El siguiente paso es pulir la muestra mediante el uso de lijas de forma consecutiva desde el número 320 hasta 1500 por pulgada cuadrada, el pulido se lo hace en un solo sentido luego se realiza un pulido fino mediante el uso de la esmeriladora, el pulido final se debe hacer con un disco forrado de paño con la adición de alúmina ( $Al_2O_3$ ) de 0,3  $\mu m$  moviendo la probeta en sentido radial esto con la finalidad de obtener una superficie de tipo espejo. El siguiente paso es realizar un ataque químico con Nital de 2 a 5% durante un aproximado de 15 segundos hasta tener una tonalidad gris, retiramos el químico con abundante agua, lo secamos y como último paso se realiza el análisis de la probeta en el microscopio, los pasos antes mencionados se realizan según la norma ASTM E-3 10.3.2.

### **1.13. Ensayos no destructivos**

Son ensayos en los cuales no se altera la forma ni las propiedades del material en estudio, es de tipo técnico el cual nos permite conocer alguna característica física, integral o de estructura de un material en específico, en la industria los ensayos no destructivos son usados para determinar:

- Control de calidad
- Control de seguridad

El control de calidad implica la verificación de que todo material y componente el mismo que tiene que cumplir con las especificaciones de diseño, mientras que el control de seguridad conlleva a que no existan fallas o alteraciones durante los procesos en materiales o componentes.

#### **1.13.1. Ultrasonido**

Es un tipo de ensayo no destructivo en el cual un haz o conjunto de ondas de alta frecuencia son introducidas a través del material para la detección de fallas en su superficie y sub-superficie.

Además, este ensayo sobre materiales está basado en los fenómenos que se producen en la propagación de vibraciones mecánicas, con frecuencia de 0,25 y 25 MHz.

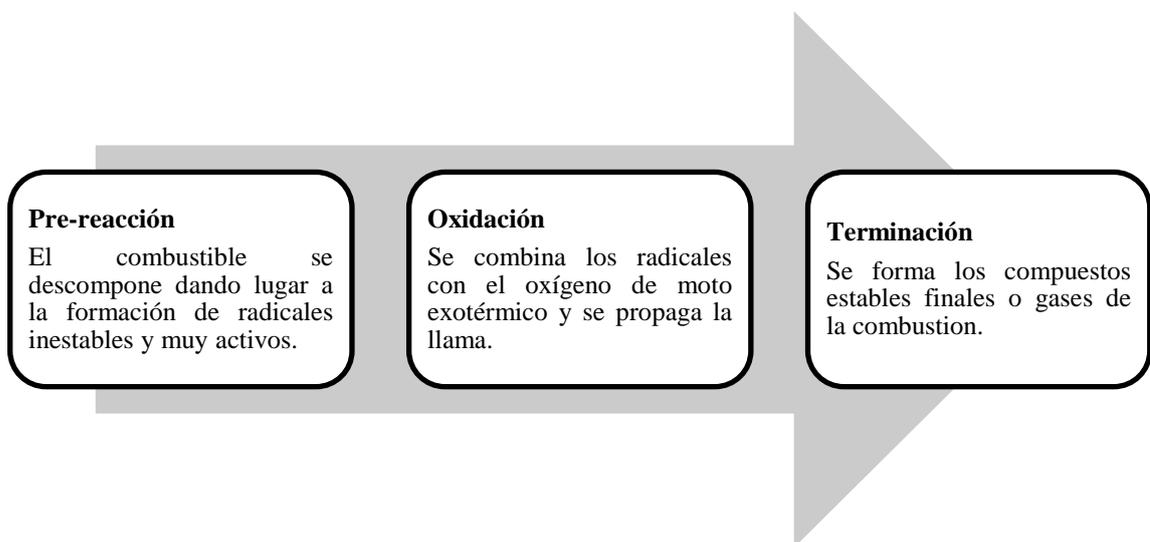
#### 1.13.1.1. *Pulso-eco*

Método que sirve para medir el espesor de un material, el cual se basa en generar pulsos a alta frecuencia aplicados a un transductor hasta la parte posterior del material posteriormente lo transforma a vibración mecánica, este método sirve para realizar evaluaciones volumétricas de soldadura, discontinuidades y medir espesores.

### 1.14. **Combustión**

Recibe el nombre de combustión a la reacción física-química durante el cual se oxida un combustible en presencia de un elemento comburente, desprendiendo luz y calor en forma de llama (Barrera et al., 2018: p.3).

La reacción de la combustión se da en tres fases:



**Figura 7-1:** Fases de la reacción de combustión

**Fuente:** (Barrera et al., 2018: p.3)

#### 1.14.1. *Triángulo de la combustión*

Es importante conocer que, para el inicio de la combustión, el combustible debe encontrarse en estado gaseoso, es por esto que los combustibles al estar en estado sólido y líquido deben

calentarse primeramente hasta llegar a la temperatura de gasificación es aquí donde se desprenden vapores los mismos que calentarse hasta la temperatura de ignición provocan que este se inflame.



**Figura 8-1:** Triángulo de la combustión

Fuente: (Barrera et al., 2018: p.4)

#### 1.14.2. Tipos de combustión

**Tabla 3-1:** Tipos de combustión

Tipo	Descripción
<b>Completa</b>	Si se oxida todo el combustible y en los gases solo aparece $N_2$ , $CO_2$ , $H_2O$ , $SO_2$ , esta combustión que se lleva a cabo por una cantidad de aire igual o superior a la necesaria.
<b>Incompleta</b>	No se oxida forma completa es por esto que se producen inquemados, como C, $N_2$ , CO, $H_2S$ , $CS_2$ , $C_nH_m$ , y restos de combustibles, siendo éstas sustancias contaminantes.
<b>Teórica</b>	Al trabajar con la cantidad de oxígeno necesaria no existe la presencia de inquemados, esto genera oxidación en su totalidad.
<b>Exceso de aire</b>	Existen pérdidas de calor durante el proceso de combustión, lo cual perjudica la eficiencia y la forma y longitud de la llama.
<b>Defecto de aire</b>	Existe presencia de inquemados, debido a que se utiliza una cantidad menor de aire que el necesario.

Fuente: (Barrera et al., 2018: p.4)

### 1.15. Combustible

#### 1.15.1. Propiedades de los combustibles

En la investigación realizada por (Pourhoseini et al., 2021: p.9), establece las propiedades del combustible diésel que se muestra en la tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Propiedades del combustible diésel

<b>Propiedad del combustible</b>	<b>Diésel</b>
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	828,7
Viscosidad dinámica (kg/ms)	0,0032
Tensión superficial (N/m)	0,0300
Valor calorífico (MJ/kg)	42,50
Numero de cetano	48,00

Fuente: (Pourhoseini et al., 2021: p.9)

### **1.15.2. Combustibles líquidos**

Estos combustibles se caracterizan por no tener una forma definida pero mantienen un volumen determinado, esto se debe a las fuerzas que originan los movimientos moleculares lo cual son elevadas frente a las fuerzas de atracción como para permitir el movimiento de las moléculas entre sí, además estos combustibles precisan de una zona de almacenamiento en la instalación, a éste grupo pertenecen las gasolinas, gasóleos, fuelóleos, finalmente son importantes emisores de óxidos de azufre y nitrógeno (Barrera et al., 2018: p.5).

### **1.15.3. Composición de los combustibles**

Un combustible se compone fundamental de carbono e hidrogeno, pero también puede contener pequeñas cantidades de azufre, oxígeno e inertes, tales como humedad, cenizas, CO<sub>2</sub> y nitrógeno.

El diésel se obtiene del petróleo que pasa por un proceso de destilación con un punto de ebullición de 250 a 350°C.

Con base en el boletín N0 086 emitido por la Coordinación General de Petroecuador, se indica que el diésel Premium que se comercializa en el país contiene 150 ppm de azufre por debajo del límite máximo permitido en la norma INEN1489 de 500 ppm.

El estudio se realizó en mayo del 2013 sobre 72 muestras recogidas en 25 estaciones de servicio en Quito analizadas en el Laboratorio de Hidrocarburos de la Facultad de Química de la Escuela Politécnica Nacional. Sin embargo, en comparación con la norma euro 5 y euro 6, en las que se establecen que el nivel máximo de contenido de azufre es de 15 ppm y 10 ppm respectivamente. Califica a este gasóleo como un combustible de mala calidad, impidiendo el uso de nuevas tecnologías para el tratamiento y reducción de los gases de escape (Pilliza y Montalvo, 2016: p.10).

## **1.16. Quemador**

Es un mecanismo con la capacidad de realizar la mezcla de combustible y comburente para producir una combustión o formación de fuego en proporción, forma y condición la cual puede ser controlada, puede ocupar combustible de tipo: gas licuado de petróleo, diésel o gasolina.

Para los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas en la pulverización, generando micro gotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire mediante una pulverización mecánica. Los quemadores están fabricados desde pequeñas hasta altas potencias, la combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, la cantidad de aire a impulsar y los elementos que producen dicha mezcla; de este modo se puede obtener altos rendimientos de combustión (Vidal, 2018: p.12).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Criterios para el diseño del módulo

Para el diseño del módulo se utilizó un quemador de combustión interna de marca beckett ACPM, éstos utilizan componentes que son técnicamente avanzados con el fin de satisfacer un ahorro en el combustible, además de una llama limpia y uniforme en las altas temperaturas.



**Figura 1-2:** Quemador de combustión interna ACPM

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

El módulo diseñado para la experimentación consta principal: de un quemador de combustión interna y una cámara de combustión la misma que es realizada de tubería de acero al carbono con las siguientes características: diámetro de 20mm, espesor de 8mm, longitud de 40mm, la cual servirá para la colocación de las probetas que serán sometidas a las altas temperaturas, el módulo finalmente consta de un tanque reservorio para el combustible (diésel) con una capacidad de 20 litros o 5,28 galones.

##### 2.1.1. Partes del quemador de combustión interna ACPM

El quemador de marca beckett, consta de elementos principales:

- **A:** Cabezal de retención de llama.
- **B:** Electrodo de ignición y boquilla.

- **C:** Motor eléctrico.
- **D:** Carcasa de aluminio fundido a presión.
- **E:** Bomba de combustible.
- **F:** Ventilador.
- **G:** Racor de tubo con conector.
- **H:** Transformador de encendido.



**Figura 2-2:** Modulo de experimentación.

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.1. *Cabezal de retención de llama*

Este cabezal permite aumenta la eficiencia del combustible en un 35 % gracias a la llama altamente estable y una combustión intensa.



**Figura 3-2:** Cabezal de retención de llama

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.2. *Electrodos de ignición y boquilla*

Al aplicar una tensión de encendido que circula por estos electrodos se produce un salto de chispa en las puntas de éste, la cual hace que el quemador se encienda.



**Figura 4-2:** Electrodo de ignición

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

La boquilla es la encargada de pulverizar el combustible a presión generando un aumento en la superficie de vaporización y se mezcla con la cantidad correcta de aire para que se produzca la combustión.



**Figura 5-2:** Boquilla de diésel

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.3. *Motor eléctrico*

El motor eléctrico es el encargado de transmitir potencia a la bomba de combustible y al ventilador.



**Figura 6-2:** Motor eléctrico

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.4. *Bomba de combustible*

La bomba se encarga de suministrar a una presión adecuada el combustible hacia la boquilla del quemador por medio de ductos de combustible, ésta es la encargada de suministrar presiones que van de 100 a 200 psi según lo requiera el quemador.



**Figura 7-2:** Bomba de combustible

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.5. Ventilador

Se encarga de suministrar el aire necesario para la combustión que es tomado directamente desde el ambiente y lo presuriza dentro la cámara de combustión pasando ésta por el cañón de aire.

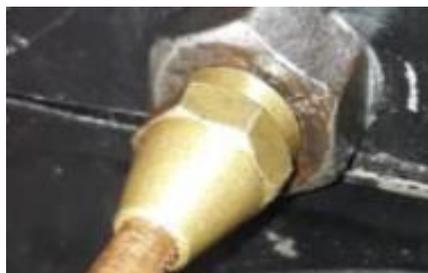


**Figura 8-2:** Ventilador para quemador a diésel

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.6. Racor de tubo con conector

El racor de tubo permite la unión de los ductos de combustibles que van desde la bomba de combustible hasta la boquilla.



**Figura 9-2:** Racor de tubo con conector

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.1.7. *Transformador de encendido*

Para el encendido del combustible el transformador se encarga de producir el arco eléctrico entre las puntas de los electrodos proporciona 10000 V y 23 mA.

#### 2.1.1.8. *Cámara de combustión*

Para la cámara de combustión se utilizó un tubo de acero al carbono el cual nos permite colocar las placas a experimentar, los orificios fueron realizados para introducir las placas de acero, se encuentran a una distancia de 100 mm, teniendo en cuenta la distancia de la placa de acero ASTM A36 al cañón del quemador, las medidas corresponden a 100, 200 y 300 mm de distancia.



**Figura 10-2:** Cámara de combustión

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

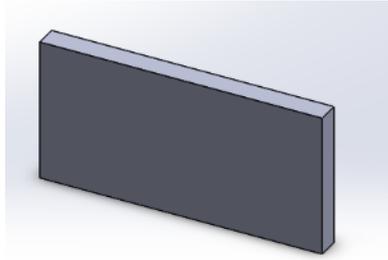
#### 2.1.2. *Selección de materiales*

La selección de las medidas de las probetas de ensayo del acero ASTM A36 que se utilizaron, se realizó en base a la norma española UNE-EN ISO 12944-6:2018, la cual en la parte 6 se utiliza para ensayos de laboratorio para la protección de estructuras de acero frente a la corrosión, las medidas de las probetas según la norma tienen las siguientes dimensiones:

- **Largo:** 150mm.
- **Ancho:** 75mm.
- **Espesor:** 12mm.

##### 2.1.2.1. *Placas de acero ASTM A36*

Para la elaboración de las probetas a pruebas, se realizó la adquisición y la compra de placas de acero estructural laminadas al caliente ASTM A36 en la empresa ecuatoriana NOVACERO para lo cual se adquiere placas de 3" x 1/2", con las siguientes características y propiedades.



**Figura 11-2:** Probeta de ensayo Acero ASTM A36

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.1.2.2. *Tamaño de la muestra*

Para el tamaño de la muestra, se debe realizar mediante cálculos estadísticos, donde se utiliza el cálculo del tamaño de muestra para una población desconocida de acuerdo a la siguiente formula:

$$n = \frac{Z\alpha^2 * p * q}{d^2} \quad (1)$$

Donde:

- n:** Tamaño de muestra.
- Z $\alpha$ :** Nivel de confianza o seguridad (1- $\alpha$ ).
- p:** Probabilidad de éxito, o proporción esperada.
- q:** Probabilidad de fracaso.
- d:** Porcentaje de error, o precisión (Torres, Paz y Salazar 2018, pp. 9).

Para un nivel de confianza o seguridad del muestreo de 95%, da un valor de  $\alpha = 0,025$  para lo cual se obtiene  $Z\alpha = 1,96$  de acuerdo a las tablas de distribución normal Z, para la proporción esperada o la probabilidad de éxito se tiene el 5% dando un valor de  $p = 0,025$ . La probabilidad de fracaso está dada por la expresión  $q = 1 - p$  siendo el valor  $q = 0,975$ . Finalmente se estima una precisión del 15% de error.

**Tabla 1-2:** Variables para el cálculo del tamaño de muestra

Nivel de confianza	Z $\alpha$	p	q	Error
95 %	1,96	0,025	0,975	15 %

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Con los datos obtenidos de la tabla 1-2, se remplaza en la ecuación (1).

$$n = \frac{(1,96)^2 (0,025)(0,975)}{(0,15)^2} = 4,16 = 5$$

Según la fórmula se tendría que utilizar 5 probetas, sin embargo, para obtener mejores resultados de la investigación se utilizará 9 probetas, considerando los siguientes parámetros.

**Tabla 2-2:** Parámetros de la experimentación

Numero de probeta	Distancia (mm)	Tiempo (min)
1	100	30
2	200	30
3	300	30
4	100	60
5	200	60
6	300	60
7	100	90
8	200	90
9	300	90

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 3-2:** Composición química del acero ASTM A36 calidad estructural

Norma Técnica	C %	Mn %	P %	S%	Si%	Cu%
ASTM A36	0,25 0,29	0,8 1,2	0,04 máximo	0,05 máximo	0,4 máximo	0.2 máximo

Fuente: (Importaceros, 2021: p.19)

**Tabla 4-2:** Propiedades mecánicas del acero ASTM A36 calidad estructural

Norma Técnica	Fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Alargamiento %
ASTM A36	250 mínimo	400 mínimo 550 máximo	20 mínimo

Fuente: (Importaceros, 2021: p.19)

### 2.1.2.3. Quemador de combustión interna de marca beckett

Este tipo de quemador brinda una alta eficiencia de combustión, la cual permite ahorrar combustible además asegura una estabilidad en la llama de modo que sea limpia y uniforme a las altas temperaturas, el quemador consta con las siguientes especificaciones técnicas:

El caudal nominal de la bomba de aceite está dado por:

- Para un caudal de 3 GPH, con una presión de 100 psi y una velocidad de 3450 rpm, se utilizará para los aceites combustibles N°2 y para combustibles más ligeros

- Para un caudal de 2 GPH, con una presión de 200 psi y una velocidad de 3450 rpm, se utilizará para los aceites combustibles N°2

#### 2.1.2.4. *Identificación de la bomba de combustible*

A     2     V     A     7116

Donde:

- **A:** Escenario único
- **2:** Velocidad del motor: 3450 rpm
- **V:** Capacidad 3 GPH
- **A:** Rotación del eje y ubicación de la boquilla (A = Rotación en el sentido de las agujas del reloj / boquilla derecha)
- **7116:** Número de identificación

## 2.2. Pruebas de funcionamiento

### 2.2.1. *Pruebas en vacío*



**Figura 12-2:** Pruebas en vacío del quemador a diésel para la experimentación

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

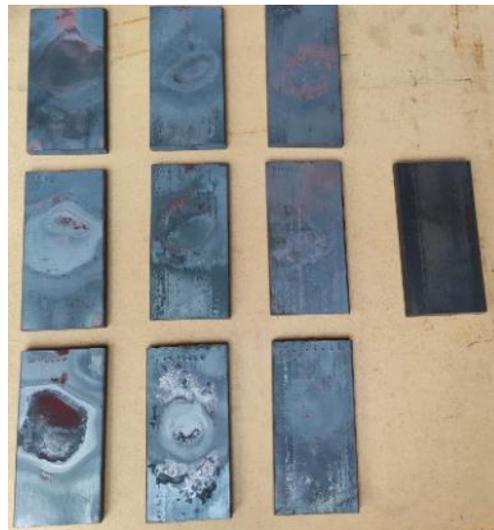
La prueba en vacío se la realizó encendiendo el quemador sin ninguna probeta en un lapso de tiempo de 15 minutos, esto con el fin de comprobar que se encuentre en perfecto funcionamiento, en esta prueba se reafirma el consumo del combustible (diésel), el mismo que por cada hora de funcionamiento bombea 3 galones, es así que se estima que para la elaboración de la investigación

se necesita 27 galones de combustible para el total de 9 horas de experimentación de las probetas a ser analizadas.

### **2.2.2. Pruebas sobre probetas de acero al carbono ASTM A36**

Una vez que se realiza las pruebas en vacío con el quemador, se procedió a realizar las pruebas de campo considerando el tiempo de exposición al fuego y la distancia de la probeta con respecto al cañón del quemador como se observa en la tabla 4-2.

En la siguiente figura se observa las probetas que han sido expuestas al fuego durante tiempos y distancias diferentes, así también se puede observar la probeta que no ha sido experimentada la cual nos sirve para comparar.



**Figura 13-2:** Probetas de acero ASTM A36 después de la experimentación

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### **2.3. Aplicación de diagnóstico técnico al acero ASTM A36**

Para la aplicación de diagnóstico técnico del acero se realizó mediante ensayos no destructivos de ultrasonido el cual nos permitirá conocer el espesor de cada placa de acero antes y después de la exposición a las altas temperaturas.



**Figura 14-2:** Olympus MG45

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Para la toma de datos del espesor por ultrasonido en las placas de acero ASTM A36 se utilizó el equipo Olympus MG45, el cual está diseñado para llevar a cabo una amplia variedad de mediciones de espesores en materiales rígidos el cual garantiza tener medidas de espesores mediante métodos no destructivos en las placas de acero.

Las especificaciones técnicas de las partes importantes que consta el quemador de combustión interna utilizado para la investigación se detallan a continuación en las siguientes tablas.

**Tabla 5-2:** Especificaciones técnicas del motor eléctrico

Especificaciones técnicas			
Equipo	Descripción	Unidad	Valor
Motor eléctrico OIL BURNER MARATHON ELECTRIC	Frecuencia	Hz	60
	Velocidad	Rpm	3450
	Voltaje	V	115
	Factor de seguridad	SF	1,0
	Intensidad	A	3,7
	Temperatura ambiente	°C	40
	Potencia	hp – kW	0,25 – 0.19
	Numero de Fases	PH	1
	Diámetro del eje	In	0,5
	Longitud del eje	In	2
	Rotación del eje	CW	Horaria

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 6-2:** Especificaciones técnicas de la bomba de aceite

Especificaciones técnicas			
Equipo	Descripción	Unidad	Valor
Bomba de aceite SUNTEC A2VA-7116	Colador	GPH	3
	Diámetro eje	In	5/16
	Puerto de manómetro	NPTF	1/8
	Puerto válvula de purga	NPTF	1/8
	Boquilla salida	NPTF	1/8

**Continúa**

	Entrada y retorno	NPTF	¼
	Rango presión de la boquilla	Psi	100 – 200
	Ajuste de presión de entrega	Psi	100
	Temperatura de aceite	°F	50 – 115
	Presión de entrada máx.	Psi	10
	Presión de salida máx.	Psi	10
	Consumo de energía a 100 psi	W	70
	Consumo de energía a 150 psi	W	90
	Velocidad del motor	Rpm	3450
	Frecuencia del motor	Hz	60

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 7-2:** Especificaciones técnicas del quemador a diésel

Especificaciones técnicas			
Equipo	Descripción	Unidad	Valor
Quemador ACPM beckett	Capacidad	GPH	0,4 a 3
	Potencia mínima a 0,4 GPH	Btu/h	56000
	Potencia máxima a 3 GPH	Btu/h	420000
	Diámetro del cañón	In	4
	Profundidad	in	8,5
	Ancho	In	15
	Altura	In	12,50
	Temperatura ambiente máx.	°C	46
	Potencia	Hp	¼
	Velocidad	Rpm	3450

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 2.3.1. *Ensayo no destructivo de ultrasonido*

Para determinar el espesor antes y después de la experimentación mediante la aplicación de ensayos no destructivos de ultrasonido, se realizó mediante la norma ASTM E797/E797M-21 destinada para la medición de espesores de cualquier material mediante el método manual de contacto ultrasónico de pulso-eco, a temperaturas que no excedan los 93°C o 200°F, para la determinación del espesor de las placas de acero ASTM A36 se considera componentes planos y con superficies paralelas, se tomó como referencia el método por calibración el cual consiste en calibrar el instrumento con diferentes espesores de un material en específico.

### 2.3.2. *Descripción del equipo utilizado para el ensayo de ultrasonidos*

**OLYMPUS MG 45** es un medidor de espesores por ultrasonido que consta de una pantalla a colores la cual proporciona una imagen B-Scan (imagen de corte transversal) y una lectura del espesor del material aplicado, además consta de un teclado ubicados en el panel frontal.



**Figura 15-2:** Componentes del Olympus MG45

Fuente: Manual Olympus MG 45, 2021.

### 2.3.3. Gel para acoplamiento

Es un fluido que sirve como conductor para que las ondas del ultrasonido se transmitan desde el palpador hacia la placa que se desea estudiar, su principal función es evitar que el aire se desvíe y provoque una transferencia de ondas del ultrasonido para el material que se requiere estudiar.



**Figura 16-2:** Gel para acoplamiento ultrasónico

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 2.3.4. Calibración del instrumento

Es importante calibrar el equipo antes de tomar medidas de los espesores ya que esto nos permite obtener medidas correctas y confiables del espesor de cada placa de acero A36 a experimentar. Para realizar este proceso existen dos tipos de calibración que son: Calibración por velocidad de propagación y calibración por medio de dos espesores. La calibración del instrumento se realizó

mediante el uso de dos espesores del mismo material, para este método se utilizó dos placas de acero ASTM A36 con espesores de 12mm y 4mm.



**Figura 17-2:** Calibración del equipo de ultrasonido Olympus MG 45

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 2.3.5. *Proceso para la determinación del espesor*

- Por cada placa de acero ASTM A36 se realizó la medición de espesores en tres lugares diferentes (izquierda, centro y derecha).
- Calibrar el instrumento de medida.
- Aplicar gel para acoplamiento en el área que se desea conocer el espesor.



**Figura 18-2:** Aplicación del gel acoplante sobre la superficie del acero ASTM A36

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

- Una vez que se aplica el gel acoplante en la superficie de la placa, se procede a realizar las medidas de los espesores en los puntos antes mencionados, presionando el palpador del instrumento de manera perpendicular a la placa de acero.



**Figura 19-2:** Medición del espesor de la placa de acero ASTM A36

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

- Finalmente esperamos que la medida se proyecte en la pantalla del instrumento y se estabilice para la recolección de los datos ver figura 19-2.

### 2.3.6. *Tabulación de datos*

Para la tabulación de los datos de espesores, se procedió a la medición en tres lugares distintos de cada probeta, como se muestra en las siguientes tablas, donde se observa los diferentes espesores que se obtuvieron luego de que las probetas se sometieran a las altas temperaturas, en diferentes distancias y tiempos de exposición al fuego.



**Figura 20-2:** Recolección de datos de los espesores de las placas de acero ASTM A36

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Después de que las probetas de acero han sido experimentadas, se realiza una limpieza de las costras metálicas originadas por la experimentación, con el fin de recolectar las medidas correctas de los espesores de cada probeta. En la tabla 8-2, se encuentra las medidas de los espesores de la

probeta que no ha sido experimentada a las altas temperaturas, la cual se encuentra en estado natural de fábrica.

**Tabla 8-2:** Espesores de la probeta no experimentada

Número de Probeta	Zona de la probeta medida		
	Izquierda (mm)	Centro (mm)	Derecha (mm)
0	12,03	12,05	11,98

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

En la tabla 9-2, se observa las medidas de los espesores que tienen las probetas después de estar expuesto a las altas temperaturas durante 30 minutos y a diferentes distancias que se encuentra cada probeta con respecto al filo del cañón del quemador.

**Tabla 9-2:** Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 30 minutos de exposición a las altas temperaturas

Número de Probeta	Zona de la probeta medida			Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Izquierda (mm)	Centro (mm)	Derecha (mm)		
1	11,87	11,86	11,91	30	100
2	11,93	11,87	11,92	30	200
3	12,00	11,98	11,96	30	300

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

En la tabla 10-2, se puede observar las medidas de los espesores de cada probeta que ha sido experimentada a las altas temperaturas durante 60 minutos, en las diferentes distancias.

**Tabla 10-2:** Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 60 minutos de exposición a las altas temperaturas

Número de Probeta	Zona de la probeta medida			Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Izquierda (mm)	Centro (mm)	Derecha (mm)		
4	11,83	11,86	11,98	60	100
5	11,92	11,92	11,92	60	200
6	11,96	11,96	12,00	60	300

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Finalmente, en la tabla 11-2, nos presenta las medidas de los espesores cuando cada probeta es experimentada a las altas temperaturas durante 90 minutos de exposición.

**Tabla 11-2:** Espesor de las probetas de acero ASTM A36 después 90 minutos de exposición a las altas temperaturas

Número de Probeta	Zona de la probeta medida			Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Izquierda (mm)	Centro (mm)	Derecha (mm)		
7	11,86	11,75	11,82	90	100
8	11,86	11,80	11,87	90	200
9	11,94	11,94	11,96	90	300

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.4. Ensayo de dureza Brinell

Se realiza el ensayo para conocer la dureza del material después de que las probetas se sometieron a las altas temperaturas, las mediciones se realizaron en dos zonas (ver anexo Q) : en la zona A, corresponde a la medición de tres puntos en la cara transversal de la probeta, para la zona B se midió en cuatro puntos, esta superficie es aquella que en la experimentación se encontraba en contacto directo con el fuego prolongado por el quemador, para medir la dureza se realizó bajo la norma ASTM E10-18, la misma que nos permite realizar los métodos de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos.

- **Preparación de la superficie:** Antes de realizar el ensayo las superficies tienen que estar paralelas y bien pulidas esto con la finalidad de obtener un mejor resultado.
- **Equipo:** Se hizo uso del equipo HBRV-187.5 (ver figura 21-2, página 37), que se encuentra en el laboratorio de materiales de la facultad de mecánica de la ESPOCH, se utilizó un indentador de bola de carburo de tungsteno de cabeza cilíndrica con un diámetro de 2,5mm, dependiendo de la carga se puede obtener durezas: Brinell, Vickers y Rockwell.

Mediante la norma ASTM E10-18, la cual establece el principio general de la prueba de dureza por indentación Brinell, se sigue dos importantes pasos a fin de recolectar los datos para ser remplazada en la ecuación (2) de la página 39, para las dos zonas ensayadas (zona A y zona B), se sigue los mismos pasos:

- **Paso 1:** El penetrador se pone en contacto con la zona en dirección perpendicular a la superficie de la probeta y se aplica una fuerza  $F$ , durante un tiempo de permanencia especificado y luego se elimina.

- **Paso 2:** El diámetro de la huella se mide en dos direcciones perpendiculares entre sí, para reemplazar estos valores en la ecuación (2) y obtener la dureza Brinell del acero ASTM A36.



**Figura 21-2:** Durómetro HBRV-187.5

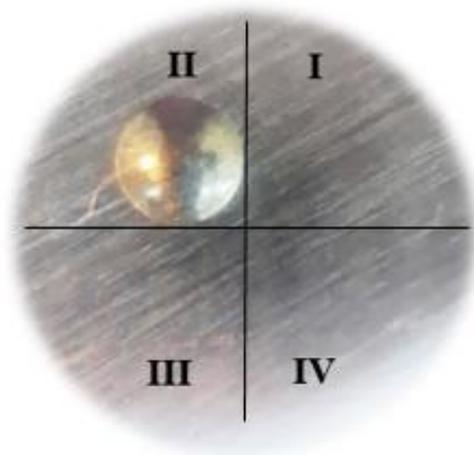
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.



**Figura 22-2:** Microscopio con micrómetro

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

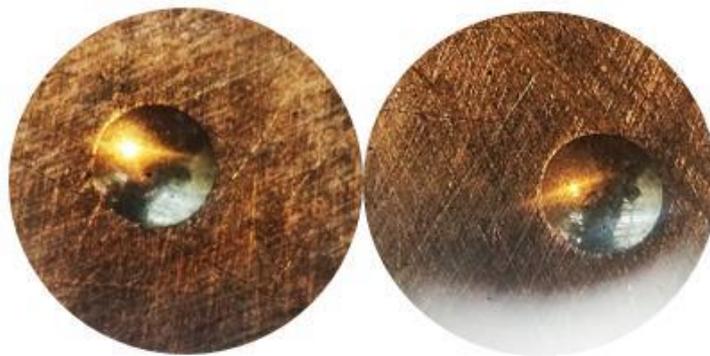
El durómetro no nos proporciona el valor de dureza de manera directa, por lo que se tiene que utilizó un microscopio con micrómetro ver figura 22-2, el mismo que sirve para medir los diámetros de las huellas.



**Figura 23-2:** Ubicación de la huella en cuadrantes del microscopio con micrómetro

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Para la lectura de los diámetros de la huella, se coloca la probeta y se realiza un ajuste manualmente de la platina del microscopio hasta encontrar la huella que deja el indentador sobre la superficie de la zona ensayada del acero este ubicada en el segundo cuadrante ver figura 23-2, posteriormente se mueve los ejes hasta que la huella se encuentre en el cuarto cuadrante para obtener los valores de diámetro.



**Figura 24-2:** Huella del indentador vista por el microscopio con micrómetro

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Luego de obtener los valores de los diámetros de la huella del indentador se utiliza la siguiente ecuación establecida por la norma ASTM E10-18, la carga para este ensayo corresponde a la relación de diámetro de fuerza, el valor de P para esta investigación es de 1839N o 187,5 Kgf según la norma, estos parámetros nos permiten determinar la dureza Brinell.

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

38

Donde:

- P:** Carga expresada en (Kgf)
- d:** Diámetro promedio de los diámetros 1 y 2 respectivamente (mm)
- D:** Diámetro del indentador (mm)

## **2.5. Ensayos metalográfico acero ASTM A36**

### **2.5.1. Probetas ASTM A36 para pruebas metalográfico**

Para la ejecución de las pruebas y muestras metalográficas se realizó bajo la norma ASTM E3-11(2017) la cual es la guía estándar para la preparación de muestras metalográficas, con el fin de revelar la estructura del acero ASTM A36 después de estar expuesto a las altas temperaturas, por medio de un microscopio electrónico de barrido o microscopio óptico de luz.

Además, que la selección de las probetas para las pruebas metalográficas debe ser representativos del material que se está estudiando, a continuación, se detalla el procedimiento para la preparación de las muestras para los ensayos metalográficos de acuerdo a la norma:

#### *2.5.1.1. Tamaño de la probeta*

La norma recomienda que la probeta a utilizar en los exámenes metalográficos debe ser de 12 a 25 mm<sup>2</sup> (0,5 a 1 in<sup>2</sup>), esto para facilitar su manipulación durante la preparación, donde se debe tomar en cuenta que muestras pequeñas o grandes son generalmente más difíciles de preparar, para nuestra investigación se utilizaron probetas de 25 mm<sup>2</sup>.



**Figura 25-2:** Corte de la probeta para metalografía

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 2.5.1.2. Corte de las probetas

La norma nos indica que se debe tener cuidado al momento de realizar los cortes para minimizar cualquier alteración en la estructura del metal, es por esto que la norma establece tres formas comunes para la realización del corte de la probeta.



**Figura 26-2:** Corte de las probetas de acero ASTM A36 para ensayos de metalografía

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Para los cortes realizados en cada una de las probetas se realizó mediante sierra de cinta o corte en frío, produciendo una superficie lisa mediante la ayuda de lubricante y las condiciones de enfriamiento, a fin de no dañar la estructura del acero a ser analizado.

### 2.5.1.3. Desbaste

En este proceso de desbaste consta principalmente de dos etapas que son: lijado grueso y un lijado fino, para este proceso se utilizó el banco de portaliijas el mismo que posee un sistema de agua constante, el cual cumple con la función de refrigeración y barrer la superficie de la muestra a fin de evitar que se acumulen partículas del material.

Para el lijado grueso, se utilizó lijas que van desde 100, 150, 220, 320, 400, posterior se realiza un lijado fino con lijas de 600, 1000, 1200 y 1500, obteniendo un acabado tipo espejo.

El procedimiento para el desbaste de cada probeta se realiza manualmente en los bancos de portaliijas del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica, primero se coloca la lija en

la superficie del banco y se sujeta, posteriormente con la mano derecha se procede a realizar movimientos en sentido vertical de arriba hacia abajo a lo largo de la superficie de la lija, después de cierto tiempo se debe rotar 90° a la probeta y continuar con el mismo movimiento.



**Figura 27-2:** Banco de portalijs

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.5.1.4. *Pulido*

Para el pulido de las probetas es necesario la utilización de la máquina pulidora del mismo laboratorio mencionado anteriormente, esta máquina consta con un disco horizontal en cual se encuentra un paño de microfibra.



**Figura 28-2:** Pulido de las probetas

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Para el acabado tipo espejo en la superficie de la probeta se debe colocar partículas abrasivas de Alumina ( $Al_3O_2$ ) sobre el paño sintético de microfibra, el cual es recomendado para materiales ferrosos.



**Figura 29-2:** Alumina para materiales ferrosos

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

#### 2.5.1.5. *Ataque químico*

Después de obtener un acabado superficial tipo espejo, sin rayas e irregularidades de cada una de las probetas experimentadas, éstas se encuentran listas para la aplicación del ataque químico, el mismo que nos permite revelar la microestructura del material.

De acuerdo a la norma ASTM E407-07(2015) las superficies de las probetas son tratadas químicamente con Nital al 2%, el mismo que es recomendado para aceros al carbono el cual nos permite diferenciar las fases del acero.



**Figura 30-2:** Nital al 2% para ataque químico

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 2.5.2. Equipos utilizados para ensayo metalográfico

**La microscopía electrónica de barrido** o SEM (Escanning Electron Microscopy) es una técnica de microscopía donde su principio de funcionamiento se basa mediante la emisión de electrones generando un campo más detallado con imágenes en escala de grises.

El microscopio electrónico de barrido permite tener una mayor amplitud de las imágenes, que puede llegar a tener 30 000x de amplitud, principalmente está formado por: fuente de electrones, lente de electrones, detectores para las señales de interés, dispositivos de visualización y salida de datos.

Antes de la utilización del equipo se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Fuente de alimentación estable.
- Buen funcionamiento del sistema de vacío.
- Buen funcionamiento del sistema de refrigeración.
- Piso sin vibraciones.
- Habitación libre de campos magnéticos y eléctricos ambientales (Aguirre, 2020, p. 37).



**Figura 31-2:** Microscopio electrónico de barrido (SEM)

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Microscopio óptico** o también conocido como microscopio de luz, es un equipo mucho más sencillo la manipulación en comparación con el SEM, permite mejorar 750 veces lo que el ser humano puede observar a simple vista, una de sus desventajas es que posee de limitadas

ampliaciones que viene dado por tres ampliaciones 100x, 200x y 500x. Este equipo posee cinco tipos de microscopía óptica, éstas dependerán de la variación de los lentes y el haz de luz:

- Campo brillante.
- Campo oscuro.
- Contraste de fase.
- Interferencia diferencial.
- Fluorescencia.



**Figura 32-2:** Microscopio óptico

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 12-2:** Comparación entre características de los microscopios electrónico y óptico

Características	Electrónico	Óptico
Haz luminoso	De electrones	De luz
Medio	Vacío	Atmósfera
Lente	Electroestáticos	Cristal
Poder de resolución	3 Ångstrom	2000 Ångstrom
Aumento	Máximo 1 000 000x	Máximo 2000x
Enfoque	Eléctrico	Mecánico
Imagen producida en color	No	Si
Longitud de onda	0,086 Ångstrom (20 kV)	7500 Ångstrom (visibles)
	0,0037 Ångstrom (1000 kV)	2000 Ångstrom (ultravioleta)
La muestra requiere un tratamiento previo	Siempre	No siempre

Fuente: (Aguirre, 2020, p.39)

### 2.5.3. Cálculo del tamaño de grano ASTM

Con la obtención de las fotografías de las microestructuras del acero ASTM A36, se realiza el cálculo del tamaño de grano mediante las siguientes fórmulas basadas en la norma ASTM E112-13.

$$N=2^{n_A-1} \quad (3)$$

Donde:

**N:** Cantidad de granos.

**n<sub>A</sub>:** Tamaño de grano aparente.

Mediante la siguiente formula se procede a realizar el cálculo del factor de corrección que se agrega al tamaño de grano aparente de la muestra, visto con el aumento M en lugar del aumento básico Mb.

$$Q=2\log_2\left(\frac{M}{M_b}\right) \quad (4)$$

Donde:

**Q:** Factor de corrección.

**M:** Aumento utilizado.

**M<sub>b</sub>:** Aumento básico utilizado 100 X.

Finalmente, para determinar el tamaño de grano real en números ASTM, se utiliza la siguiente formula:

$$n=n_A+Q \quad (5)$$

Donde:

**n:** Tamaño de grano real en número ASTM.

**n<sub>A</sub>:** Tamaño de grano aparente.

**Q:** Factor de corrección.

## 2.6. Termómetro infrarrojo

Según (Jaca et al., 2017: p.2193) la emisividad del acero A36 varían entre 0.3 y 0.8, para superficies no oxidadas y oxidadas, es por esto que para el presente trabajo de investigación se asume la emisividad de 0,8 para la superficie de cada probeta experimentada al fuego con el fin de recolectar las temperaturas que éstas alcanzan durante el tiempo de exposición a diferentes distancias.

### 2.6.1. Descripción de los equipos utilizados

Para conocer los valores de temperatura a la que se encuentra la placa de acero cuando está sometida a calor se utilizó dos equipos que son los siguientes:

El Termómetro de contacto Fluke 586, es también un termómetro IR, este equipo consta con un puntero laser que permite simplificar las mediciones más complejas, tiene un rango de medida de temperatura de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la emisividad es regulable que va desde 0.10 a 1, además posee una distancia al tamaño de punto de medición de 50:1, su tiempo de respuesta es menor a 500 ms.



**Figura 33-2:** Termómetro infrarrojo industrial Fluke 586

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

El Raytek Raynger Series 3iPlus es un termómetro IR de uso industrial de nueva generación, diseñado para soportar mediciones de altas temperaturas, tiene un rango de medida de  $400$  a  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dentro de sus aplicaciones es utilizado para operaciones de fundición y procesamiento, plantas de tratamiento térmico, hornos entre otros, además permite ajustar su emisividad desde 0.1 a 1, la distancia al tamaño de punto de medición es de 250:1, finalmente posee un tiempo de respuesta igual 200 ms.



**Figura 34-2:** Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

## CAPITULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIONES DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Recolección de datos

A continuación, se muestran los parámetros que han sido considerados para la elaboración de la experimentación y la recolección de los datos, las mismas que servirán para la construcción de graficas con los resultados obtenidos durante la investigación.



**Figura 1-3:** Exposición de las probetas al fuego

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

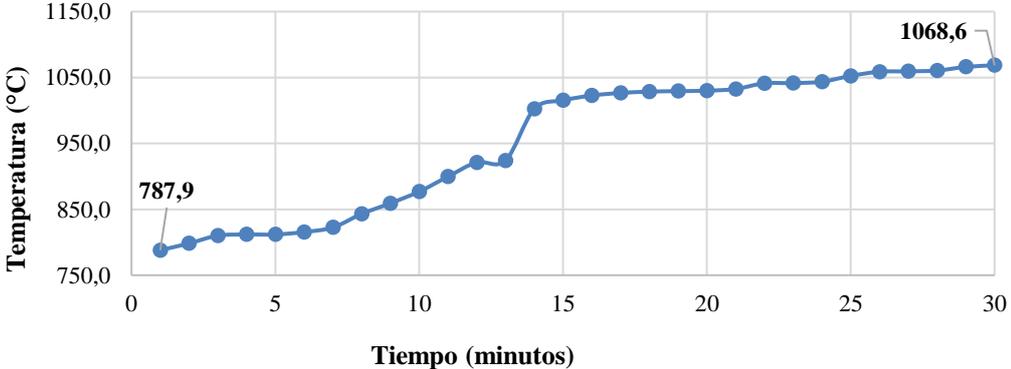


**Figura 2-3:** Estado de la probeta después de la exposición al fuego

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

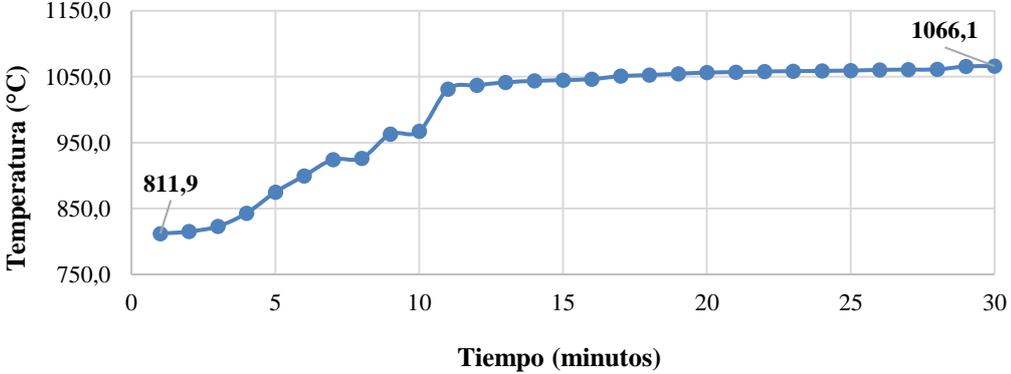
En las siguientes tablas, se muestran los datos obtenidos de temperaturas que alcanza la superficie del acero ASTM A36 al estar expuesto a las altas temperaturas en los diferentes tiempos de exposición y distancias, mediante la utilización de un Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus

**Tabla 1-3:** Datos de experimentación probeta N°1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																																																					
INFORMACIÓN																																																																					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h20																																																																
<b>N° Probeta</b>	1	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	30 min																																																																
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																																																																		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																																																																		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																																																																		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																																																																		
RECOLECCION DE DATOS																																																																					
Reporte fotográfico																																																																					
																																																																					
Gráfica temperatura – tiempo																																																																					
<p><b>Probeta 1 (distancia 100 mm)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data points for Probeta 1 (distancia 100 mm)</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>787,9</td></tr> <tr><td>1</td><td>800,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>810,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>820,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>830,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>840,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>850,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>860,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>870,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>880,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>890,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>900,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>910,0</td></tr> <tr><td>13</td><td>920,0</td></tr> <tr><td>14</td><td>930,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>940,0</td></tr> <tr><td>16</td><td>950,0</td></tr> <tr><td>17</td><td>960,0</td></tr> <tr><td>18</td><td>970,0</td></tr> <tr><td>19</td><td>980,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>990,0</td></tr> <tr><td>21</td><td>1000,0</td></tr> <tr><td>22</td><td>1010,0</td></tr> <tr><td>23</td><td>1020,0</td></tr> <tr><td>24</td><td>1030,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>1040,0</td></tr> <tr><td>26</td><td>1050,0</td></tr> <tr><td>27</td><td>1060,0</td></tr> <tr><td>28</td><td>1070,0</td></tr> <tr><td>29</td><td>1080,0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1068,6</td></tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	787,9	1	800,0	2	810,0	3	820,0	4	830,0	5	840,0	6	850,0	7	860,0	8	870,0	9	880,0	10	890,0	11	900,0	12	910,0	13	920,0	14	930,0	15	940,0	16	950,0	17	960,0	18	970,0	19	980,0	20	990,0	21	1000,0	22	1010,0	23	1020,0	24	1030,0	25	1040,0	26	1050,0	27	1060,0	28	1070,0	29	1080,0	30	1068,6
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																																																				
0	787,9																																																																				
1	800,0																																																																				
2	810,0																																																																				
3	820,0																																																																				
4	830,0																																																																				
5	840,0																																																																				
6	850,0																																																																				
7	860,0																																																																				
8	870,0																																																																				
9	880,0																																																																				
10	890,0																																																																				
11	900,0																																																																				
12	910,0																																																																				
13	920,0																																																																				
14	930,0																																																																				
15	940,0																																																																				
16	950,0																																																																				
17	960,0																																																																				
18	970,0																																																																				
19	980,0																																																																				
20	990,0																																																																				
21	1000,0																																																																				
22	1010,0																																																																				
23	1020,0																																																																				
24	1030,0																																																																				
25	1040,0																																																																				
26	1050,0																																																																				
27	1060,0																																																																				
28	1070,0																																																																				
29	1080,0																																																																				
30	1068,6																																																																				

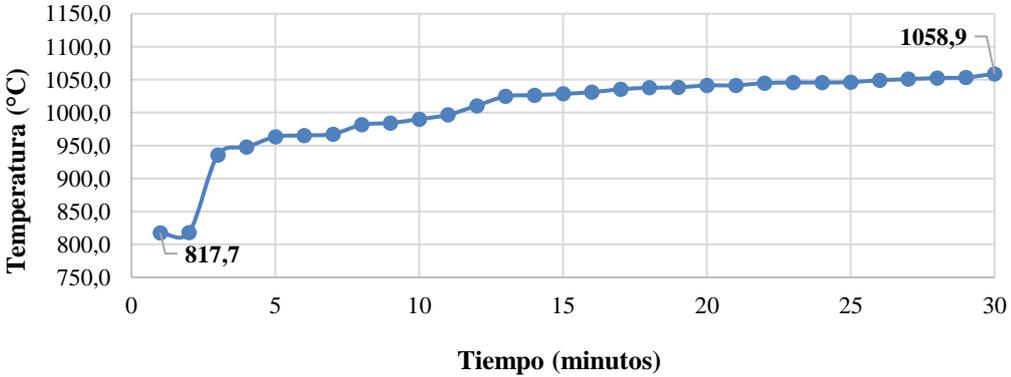
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 2-3:** Datos de experimentación probeta N°2

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																																																			
INFORMACIÓN																																																																			
<b>C</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	10h30																																																														
<b>N° Probeta</b>	2	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	30 min																																																														
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																																																																
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																																																																
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																																																																
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																																																																
RECOLECCION DE DATOS																																																																			
Reporte fotográfico																																																																			
																																																																			
Gráfica temperatura - tiempo																																																																			
<p><b>Probeta 2 (distancia 200 mm)</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>811,9</td></tr> <tr><td>2</td><td>820,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>830,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>840,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>850,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>860,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>870,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>880,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>890,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>900,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>910,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>920,0</td></tr> <tr><td>13</td><td>930,0</td></tr> <tr><td>14</td><td>940,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>950,0</td></tr> <tr><td>16</td><td>960,0</td></tr> <tr><td>17</td><td>970,0</td></tr> <tr><td>18</td><td>980,0</td></tr> <tr><td>19</td><td>990,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>1000,0</td></tr> <tr><td>21</td><td>1010,0</td></tr> <tr><td>22</td><td>1020,0</td></tr> <tr><td>23</td><td>1030,0</td></tr> <tr><td>24</td><td>1040,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>1050,0</td></tr> <tr><td>26</td><td>1060,0</td></tr> <tr><td>27</td><td>1070,0</td></tr> <tr><td>28</td><td>1080,0</td></tr> <tr><td>29</td><td>1090,0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1066,1</td></tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	1	811,9	2	820,0	3	830,0	4	840,0	5	850,0	6	860,0	7	870,0	8	880,0	9	890,0	10	900,0	11	910,0	12	920,0	13	930,0	14	940,0	15	950,0	16	960,0	17	970,0	18	980,0	19	990,0	20	1000,0	21	1010,0	22	1020,0	23	1030,0	24	1040,0	25	1050,0	26	1060,0	27	1070,0	28	1080,0	29	1090,0	30	1066,1
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																																																		
1	811,9																																																																		
2	820,0																																																																		
3	830,0																																																																		
4	840,0																																																																		
5	850,0																																																																		
6	860,0																																																																		
7	870,0																																																																		
8	880,0																																																																		
9	890,0																																																																		
10	900,0																																																																		
11	910,0																																																																		
12	920,0																																																																		
13	930,0																																																																		
14	940,0																																																																		
15	950,0																																																																		
16	960,0																																																																		
17	970,0																																																																		
18	980,0																																																																		
19	990,0																																																																		
20	1000,0																																																																		
21	1010,0																																																																		
22	1020,0																																																																		
23	1030,0																																																																		
24	1040,0																																																																		
25	1050,0																																																																		
26	1060,0																																																																		
27	1070,0																																																																		
28	1080,0																																																																		
29	1090,0																																																																		
30	1066,1																																																																		

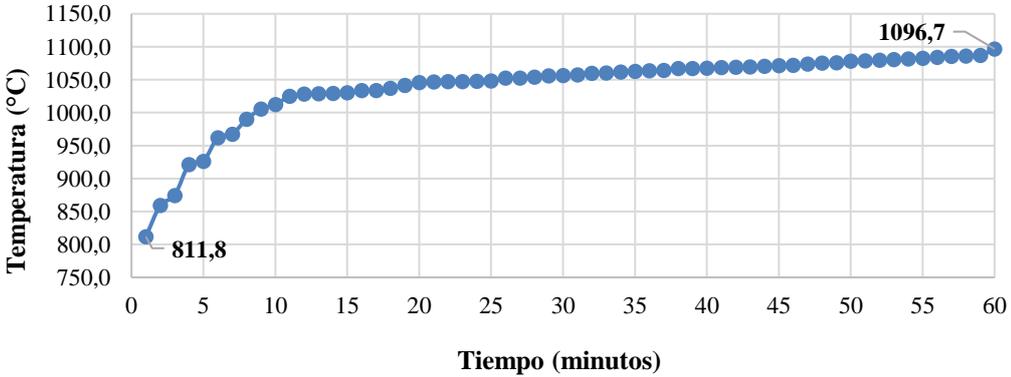
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 3-3:** Datos de experimentación probeta N°3

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																																																			
INFORMACIÓN																																																																			
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	12h15	<b>Hora final</b>	12h45																																																														
<b>N° Probeta</b>	3	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	30 min																																																														
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																																																																
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																																																																
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																																																																
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																																																																
RECOLECCION DE DATOS																																																																			
<b>Reporte fotográfico</b>																																																																			
																																																																			
Gráfica temperatura - tiempo																																																																			
<p><b>Probeta 3 (distancia 300 mm)</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>817,7</td></tr> <tr><td>2</td><td>817,7</td></tr> <tr><td>3</td><td>940,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>950,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>960,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>965,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>965,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>975,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>980,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>985,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>990,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>1000,0</td></tr> <tr><td>13</td><td>1010,0</td></tr> <tr><td>14</td><td>1020,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>1025,0</td></tr> <tr><td>16</td><td>1030,0</td></tr> <tr><td>17</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>18</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>19</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>21</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>22</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>23</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>24</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>26</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>27</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>28</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>29</td><td>1035,0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1058,9</td></tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	1	817,7	2	817,7	3	940,0	4	950,0	5	960,0	6	965,0	7	965,0	8	975,0	9	980,0	10	985,0	11	990,0	12	1000,0	13	1010,0	14	1020,0	15	1025,0	16	1030,0	17	1035,0	18	1035,0	19	1035,0	20	1035,0	21	1035,0	22	1035,0	23	1035,0	24	1035,0	25	1035,0	26	1035,0	27	1035,0	28	1035,0	29	1035,0	30	1058,9
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																																																		
1	817,7																																																																		
2	817,7																																																																		
3	940,0																																																																		
4	950,0																																																																		
5	960,0																																																																		
6	965,0																																																																		
7	965,0																																																																		
8	975,0																																																																		
9	980,0																																																																		
10	985,0																																																																		
11	990,0																																																																		
12	1000,0																																																																		
13	1010,0																																																																		
14	1020,0																																																																		
15	1025,0																																																																		
16	1030,0																																																																		
17	1035,0																																																																		
18	1035,0																																																																		
19	1035,0																																																																		
20	1035,0																																																																		
21	1035,0																																																																		
22	1035,0																																																																		
23	1035,0																																																																		
24	1035,0																																																																		
25	1035,0																																																																		
26	1035,0																																																																		
27	1035,0																																																																		
28	1035,0																																																																		
29	1035,0																																																																		
30	1058,9																																																																		

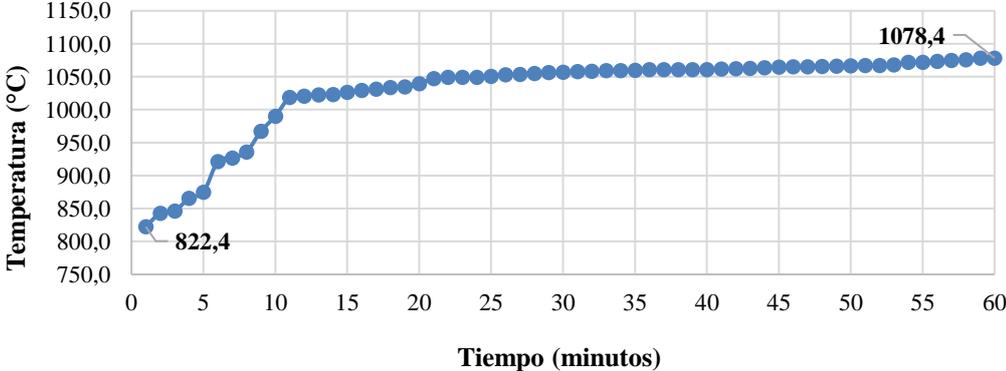
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 4-3:** Datos de experimentación probeta N°4

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																	
INFORMACIÓN																																	
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h45	<b>Hora final</b>	11h45																												
<b>N° Probeta</b>	4	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	60 min																												
<b>T (amb °C)</b>	19°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																														
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																														
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																														
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																														
RECOLECCION DE DATOS																																	
Reporte fotográfico																																	
																																	
Gráfica temperatura - tiempo																																	
<p><b>Probeta 4 (distancia 100 mm)</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>811,8</td></tr> <tr><td>5</td><td>920,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>980,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>1020,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>1040,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>1050,0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1060,0</td></tr> <tr><td>35</td><td>1070,0</td></tr> <tr><td>40</td><td>1075,0</td></tr> <tr><td>45</td><td>1080,0</td></tr> <tr><td>50</td><td>1085,0</td></tr> <tr><td>55</td><td>1090,0</td></tr> <tr><td>60</td><td>1096,7</td></tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	811,8	5	920,0	10	980,0	15	1020,0	20	1040,0	25	1050,0	30	1060,0	35	1070,0	40	1075,0	45	1080,0	50	1085,0	55	1090,0	60	1096,7
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																
0	811,8																																
5	920,0																																
10	980,0																																
15	1020,0																																
20	1040,0																																
25	1050,0																																
30	1060,0																																
35	1070,0																																
40	1075,0																																
45	1080,0																																
50	1085,0																																
55	1090,0																																
60	1096,7																																

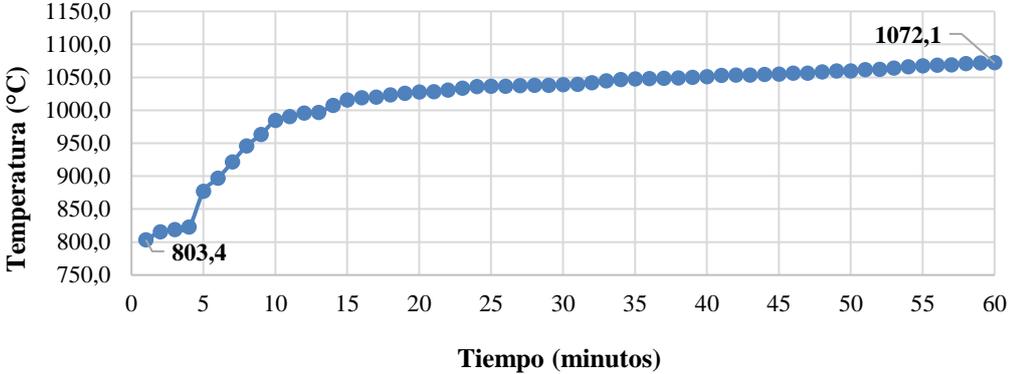
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 5-3:** Datos de experimentación probeta N°5

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																	
INFORMACIÓN																																	
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h50																												
<b>N° Probeta</b>	5	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	60 min																												
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																														
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																														
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																														
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																														
RECOLECCION DE DATOS																																	
Reporte fotográfico																																	
																																	
Gráfica temperatura - tiempo																																	
<p><b>Probeta 5 (distancia 200 mm)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>822,4</td></tr> <tr><td>5</td><td>875,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>925,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>975,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>1025,0</td></tr> <tr><td>25</td><td>1050,0</td></tr> <tr><td>30</td><td>1060,0</td></tr> <tr><td>35</td><td>1065,0</td></tr> <tr><td>40</td><td>1068,0</td></tr> <tr><td>45</td><td>1070,0</td></tr> <tr><td>50</td><td>1072,0</td></tr> <tr><td>55</td><td>1074,0</td></tr> <tr><td>60</td><td>1078,4</td></tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	822,4	5	875,0	10	925,0	15	975,0	20	1025,0	25	1050,0	30	1060,0	35	1065,0	40	1068,0	45	1070,0	50	1072,0	55	1074,0	60	1078,4
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																
0	822,4																																
5	875,0																																
10	925,0																																
15	975,0																																
20	1025,0																																
25	1050,0																																
30	1060,0																																
35	1065,0																																
40	1068,0																																
45	1070,0																																
50	1072,0																																
55	1074,0																																
60	1078,4																																

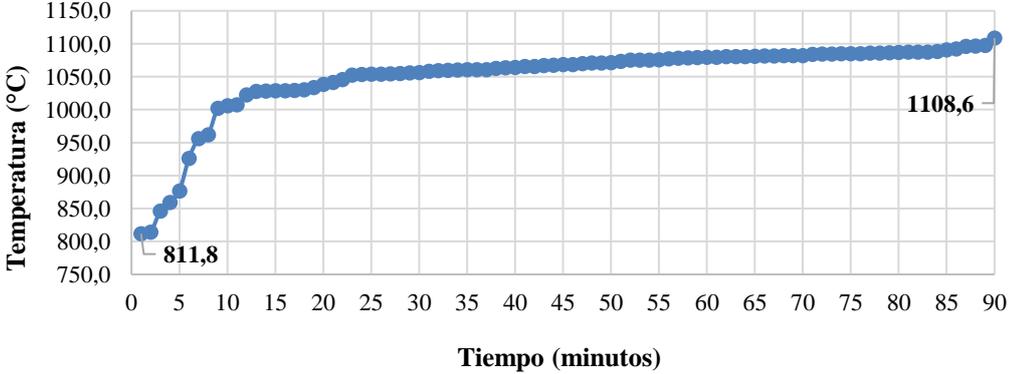
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 6-3:** Datos de experimentación probeta N°6

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																	
INFORMACIÓN																																	
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	11h35	<b>Hora final</b>	12h35																												
<b>N° Probeta</b>	6	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	60 min																												
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																														
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																														
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																														
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																														
RECOLECCION DE DATOS																																	
Reporte fotográfico																																	
																																	
Gráfica temperatura - tiempo																																	
<p><b>Probeta 6 (distancia 300 mm)</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>803,4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>~880</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~950</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>~990</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>~1020</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>~1035</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>~1045</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>~1050</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>~1055</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>~1060</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>~1065</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>~1070</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>1072,1</td> </tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	803,4	5	~880	10	~950	15	~990	20	~1020	25	~1035	30	~1045	35	~1050	40	~1055	45	~1060	50	~1065	55	~1070	60	1072,1
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																
0	803,4																																
5	~880																																
10	~950																																
15	~990																																
20	~1020																																
25	~1035																																
30	~1045																																
35	~1050																																
40	~1055																																
45	~1060																																
50	~1065																																
55	~1070																																
60	1072,1																																

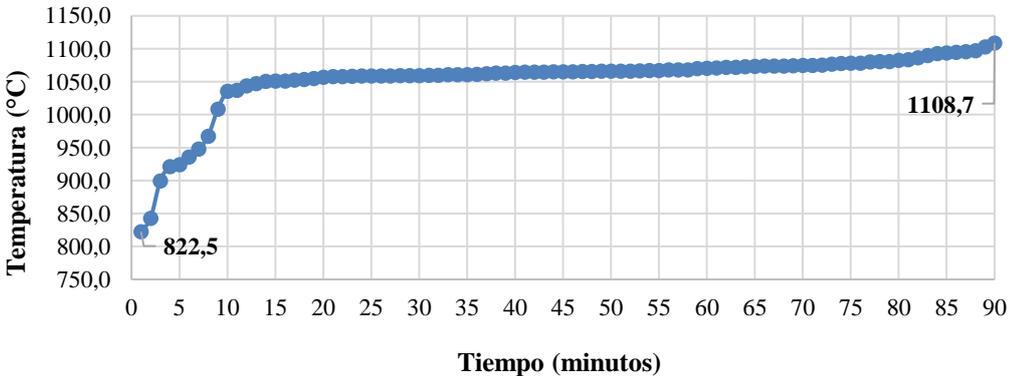
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 7-3:** Datos de experimentación probeta N°7

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																																													
INFORMACIÓN																																													
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h35	<b>Hora final</b>	16h05																																								
<b>N° Probeta</b>	7	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	90 min																																								
<b>T (amb °C)</b>	23,4 °C	<b>Lugar</b>	Riobamba																																										
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																																										
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																																										
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																																										
RECOLECCION DE DATOS																																													
Reporte fotográfico																																													
																																													
Gráfica temperatura - tiempo																																													
<p>Probeta 7 (distancia 100 mm)</p>  <table border="1"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>811,8</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>850,0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>900,0</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>950,0</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1000,0</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>1020,0</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>1030,0</td> </tr> <tr> <td>35</td> <td>1040,0</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>1050,0</td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>1060,0</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>1070,0</td> </tr> <tr> <td>55</td> <td>1080,0</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>1085,0</td> </tr> <tr> <td>65</td> <td>1090,0</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>1095,0</td> </tr> <tr> <td>75</td> <td>1100,0</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>1105,0</td> </tr> <tr> <td>85</td> <td>1108,0</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>1108,6</td> </tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	811,8	5	850,0	10	900,0	15	950,0	20	1000,0	25	1020,0	30	1030,0	35	1040,0	40	1050,0	45	1060,0	50	1070,0	55	1080,0	60	1085,0	65	1090,0	70	1095,0	75	1100,0	80	1105,0	85	1108,0	90	1108,6
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																																												
0	811,8																																												
5	850,0																																												
10	900,0																																												
15	950,0																																												
20	1000,0																																												
25	1020,0																																												
30	1030,0																																												
35	1040,0																																												
40	1050,0																																												
45	1060,0																																												
50	1070,0																																												
55	1080,0																																												
60	1085,0																																												
65	1090,0																																												
70	1095,0																																												
75	1100,0																																												
80	1105,0																																												
85	1108,0																																												
90	1108,6																																												

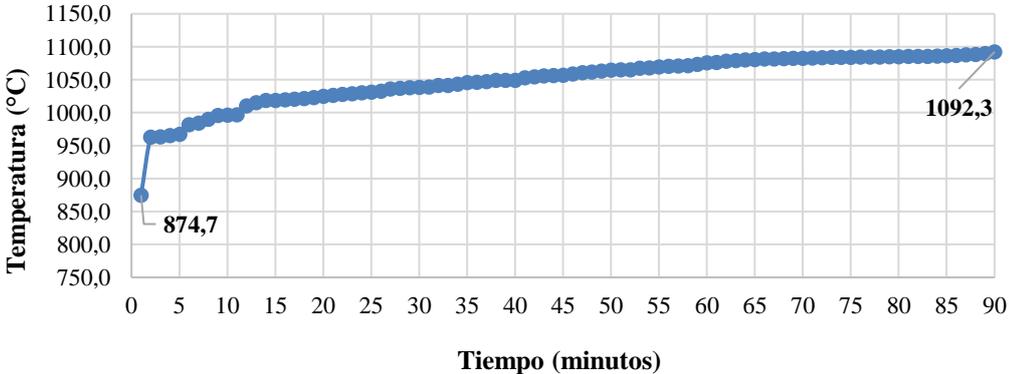
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 8-3:** Datos de experimentación probeta N°8

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																															
INFORMACIÓN																															
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	11h30																										
<b>N° Probeta</b>	8	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	90 min																										
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																												
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																												
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																												
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																												
RECOLECCION DE DATOS																															
Reporte fotográfico																															
																															
Gráfica temperatura - tiempo																															
<p><b>Probeta 8 (distancia 200 mm)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>822,5</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>900,0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>950,0</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>1000,0</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>1050,0</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>1060,0</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>1070,0</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>1075,0</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>1080,0</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>1085,0</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>1090,0</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>1108,7</td> </tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	822,5	5	900,0	10	950,0	15	1000,0	20	1050,0	30	1060,0	40	1070,0	50	1075,0	60	1080,0	70	1085,0	80	1090,0	90	1108,7
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																														
0	822,5																														
5	900,0																														
10	950,0																														
15	1000,0																														
20	1050,0																														
30	1060,0																														
40	1070,0																														
50	1075,0																														
60	1080,0																														
70	1085,0																														
80	1090,0																														
90	1108,7																														

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 9-3:** Datos de experimentación probeta N°9

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>																															
INFORMACIÓN																															
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	13h30	<b>Hora final</b>	15h00																										
<b>N° Probeta</b>	9	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	90 min																										
<b>T (amb °C)</b>	28,6°C	<b>Lugar</b>	Riobamba																												
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus																												
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga																												
<b>Revisado por</b>			Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo																												
RECOLECCION DE DATOS																															
Reporte fotográfico																															
																															
Gráfica temperatura - tiempo																															
<p><b>Probeta 9 (distancia 300 mm)</b></p>  <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Data points from the temperature-time graph</caption> <thead> <tr> <th>Tiempo (minutos)</th> <th>Temperatura (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>874,7</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>~960</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~980</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>~1010</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>~1020</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>~1035</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>~1045</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>~1055</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>~1065</td> </tr> <tr> <td>70</td> <td>~1075</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>~1085</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>1092,3</td> </tr> </tbody> </table>						Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	0	874,7	5	~960	10	~980	15	~1010	20	~1020	30	~1035	40	~1045	50	~1055	60	~1065	70	~1075	80	~1085	90	1092,3
Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)																														
0	874,7																														
5	~960																														
10	~980																														
15	~1010																														
20	~1020																														
30	~1035																														
40	~1045																														
50	~1055																														
60	~1065																														
70	~1075																														
80	~1085																														
90	1092,3																														

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Después de la exposición de las probetas a las altas temperaturas, mediante la aplicación de ensayos no destructivos, se realiza las pruebas de medición de espesores por ultrasonido, obteniendo los siguientes datos.

**Tabla 10-3:** Datos obtenidos del ensayo de ultrasonido

Número de Probeta	Zona de la probeta medida				Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Izquierda (mm)	Centro (mm)	Derecha (mm)	Promedio (mm)		
Probeta base (0)	12,03	12,05	11,98	12,02	0	0
Probeta 1	11,87	11,86	11,91	11,88	30	100
Probeta 2	11,93	11,87	11,92	11,91	30	200
Probeta 3	12,00	11,98	11,96	11,98	30	300
Probeta 4	11,83	11,86	11,89	11,86	60	100
Probeta 5	11,91	11,90	11,89	11,90	60	200
Probeta 6	11,96	11,96	12,00	11,97	60	300
Probeta 7	11,86	11,75	11,82	11,81	90	100
Probeta 8	11,86	11,80	11,87	11,84	90	200
Probeta 9	11,94	11,94	11,96	11,95	90	300

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Mediante la utilización de los microscopios: óptico y electrónico de barrido, del laboratorio de Materiales de la Facultad de Mecánica se obtiene las imágenes en escala de grises de la microestructura de cada probeta después de estar sometida a las altas temperaturas en diferentes aumentos con la finalidad de comparar si existen cambios en su estructura.

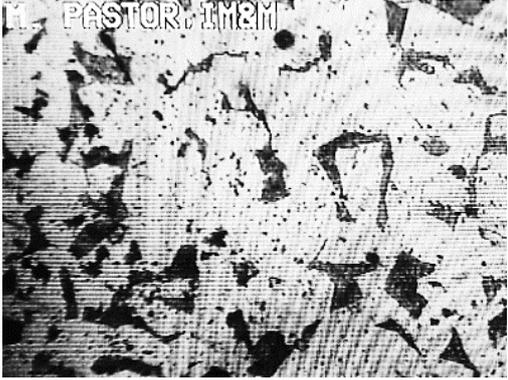


**Figura 3-3:** Acabado tipo espejo de las probetas para metalografía

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Posterior se realiza los ensayos de dureza Brinell de cada probeta experimentada para lo cual se utilizó el durómetro del laboratorio antes mencionado obteniendo los siguientes datos que se muestran las siguientes tablas.

**Tabla 11-3:** Metalografía de la probeta N° 0

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	1		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	0		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	3/2/2022	<b>Hora inicio</b>	0	<b>Hora final</b>	0
<b>N° Probeta</b>	0	<b>Distancia</b>	0	<b>Tiempo</b>	0
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

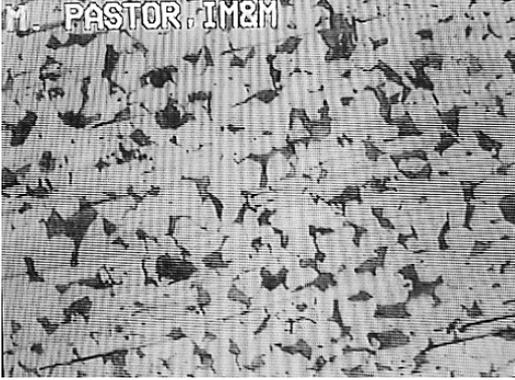
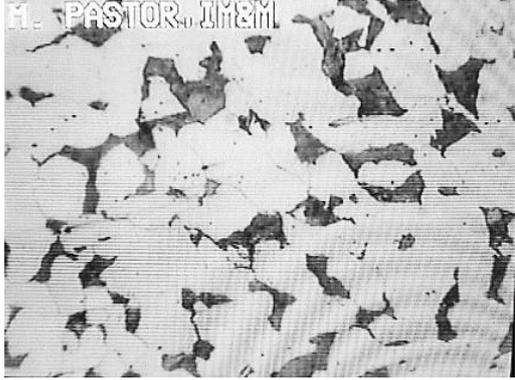
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 12-3:** Metalografía de la probeta N° 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	2		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	1		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	15h00	<b>Hora final</b>	17h30
<b>N° Probeta</b>	1	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

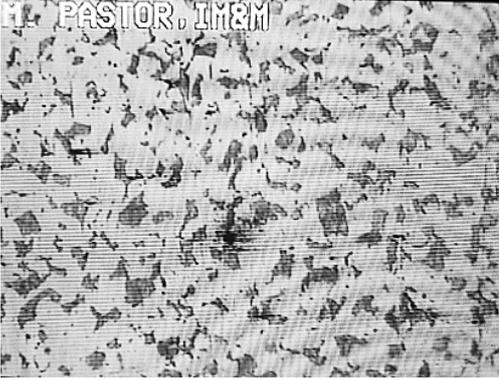
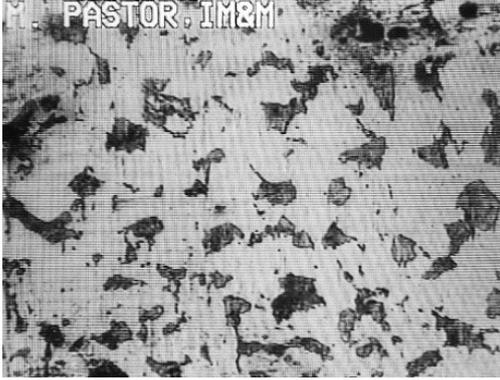
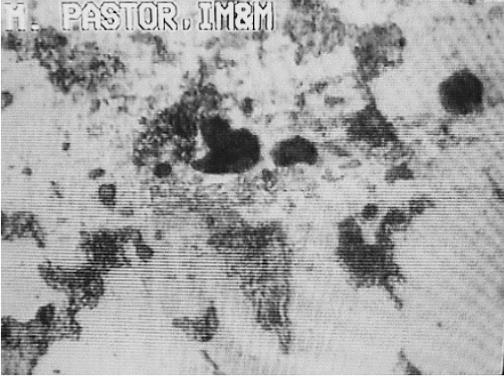
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 13-3:** Metalografía de la probeta N° 2

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	3		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	2		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	10h30
<b>N° Probeta</b>	2	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 14-3:** Metalografía de la probeta N° 3

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	4		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	3		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	12h15	<b>Hora final</b>	12h45
<b>N° Probeta</b>	3	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

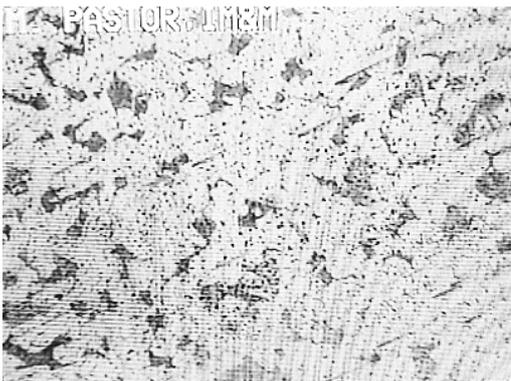
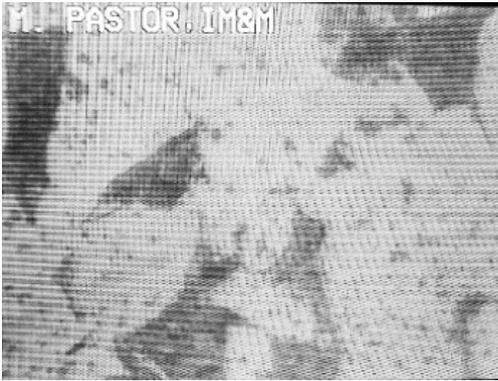
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 15-3:** Metalografía de la probeta N° 4

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	5		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	4		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edisson Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h45	<b>Hora final</b>	11h45
<b>N° Probeta</b>	4	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	19°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

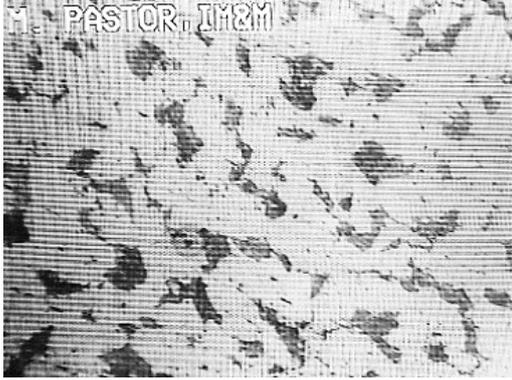
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 16-3:** Metalografía de la probeta N° 5

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	6		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	5		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h50
<b>N° Probeta</b>	5	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

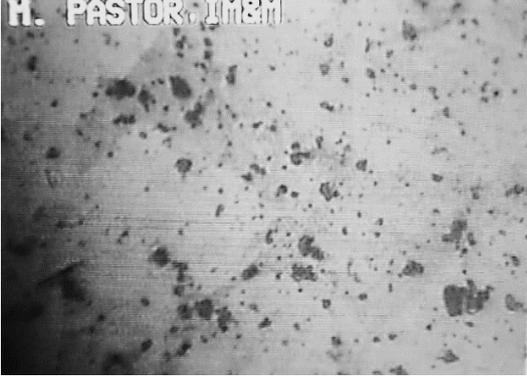
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 17-3:** Metalografía de la probeta N° 6

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	7		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	6		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	11h35	<b>Hora final</b>	12h35
<b>N° Probeta</b>	6	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

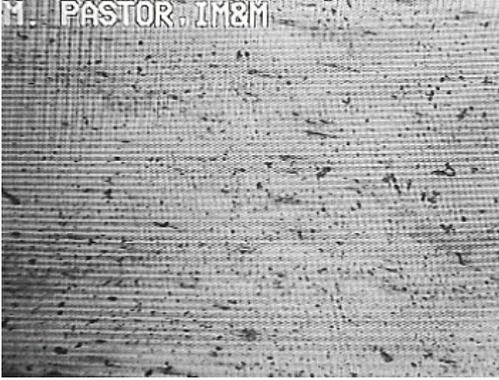
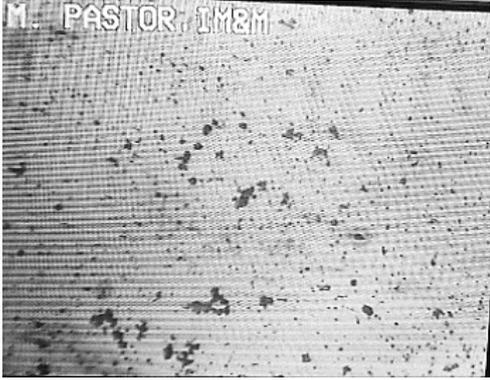
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 18-3:** Metalografía de la probeta N° 7

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	8		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	7		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h35	<b>Hora final</b>	16h05
<b>N° Probeta</b>	7	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	23,4 °C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

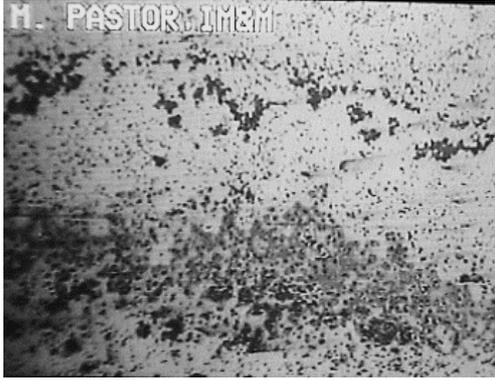
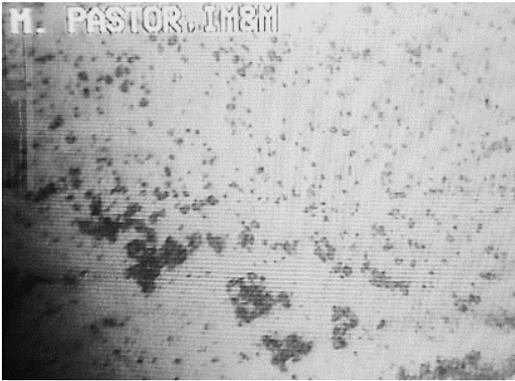
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 19-3:** Metalografía de la probeta N° 8

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	9		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	8		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	11h30
<b>N° Probeta</b>	8	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

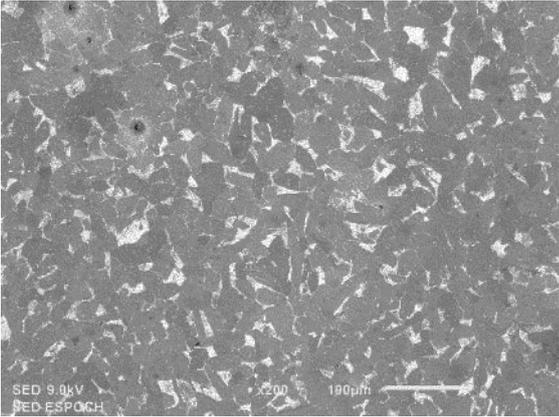
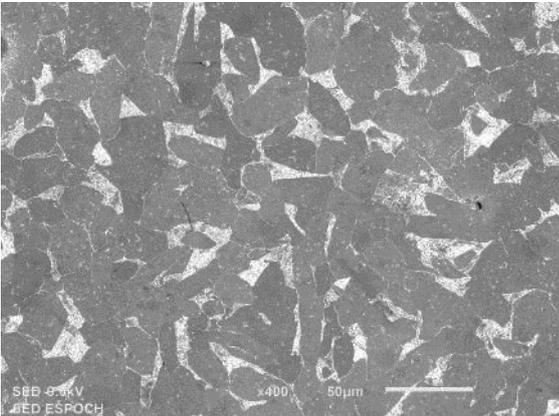
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 20-3:** Metalografía de la probeta N° 9

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	10		
<b>Fecha</b>	16/02/2022	<b>Probeta N°</b>	9		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio óptico				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	13h30	<b>Hora final</b>	15h00
<b>N° Probeta</b>	9	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	28,6°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>10X</b>			<b>20X</b>		
					
<b>50X</b>					
					

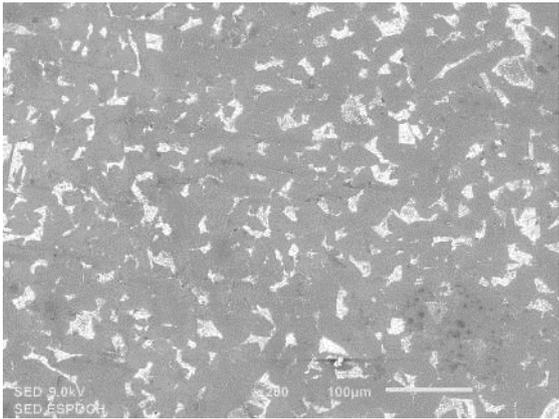
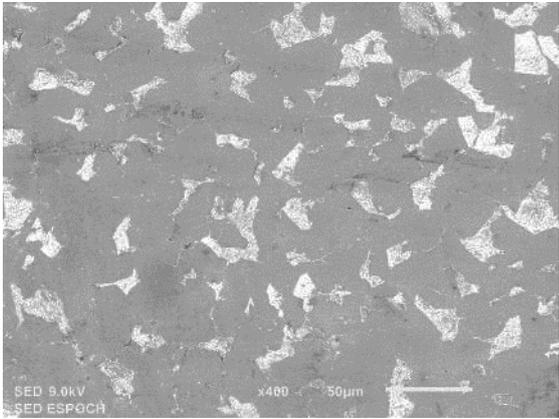
**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 21-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 0

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	1		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	0		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	0	<b>Hora final</b>	0
<b>N° Probeta</b>	0	<b>Distancia</b>	0	<b>Tiempo</b>	0
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

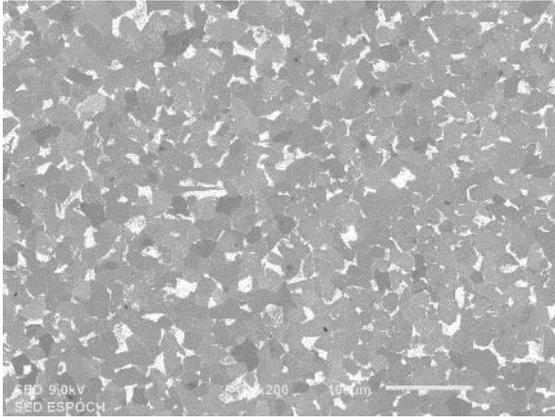
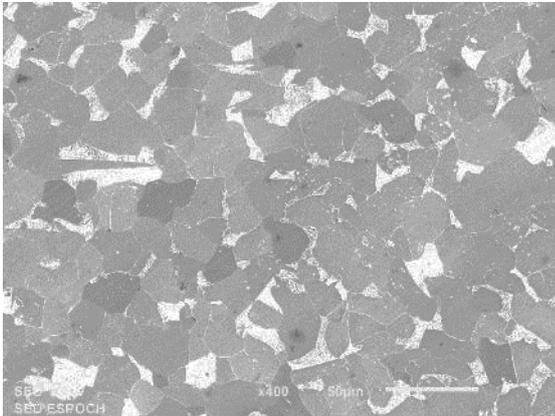
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 22-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	2		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	1		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	15h00	<b>Hora final</b>	17h30
<b>N° Probeta</b>	1	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

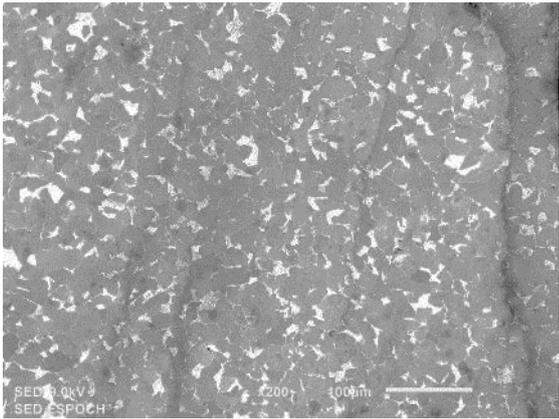
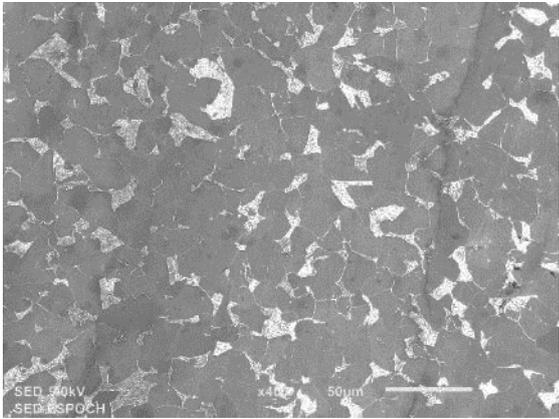
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 23-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 2

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	3		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	2		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	10h30
<b>N° Probeta</b>	2	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

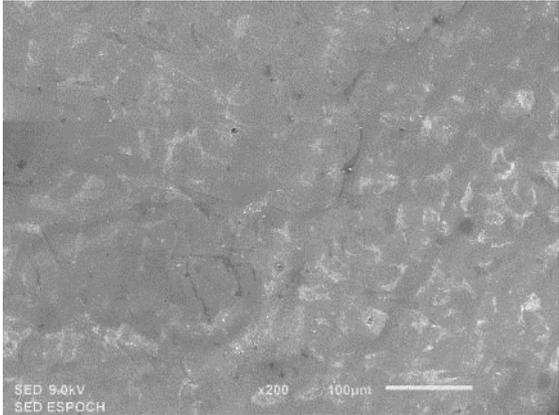
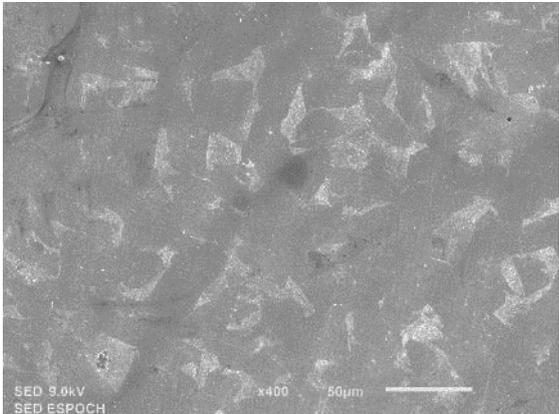
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 24-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 3

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	4		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	3		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	12h15	<b>Hora final</b>	12h45
<b>N° Probeta</b>	3	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

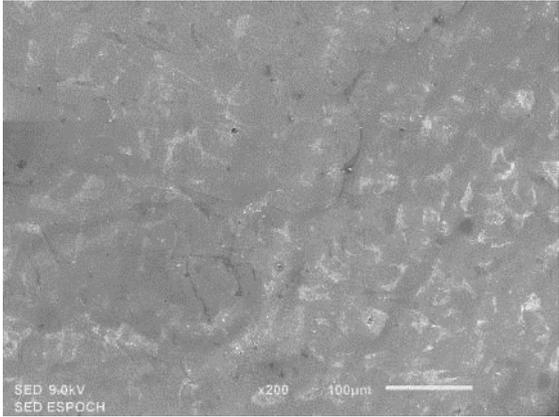
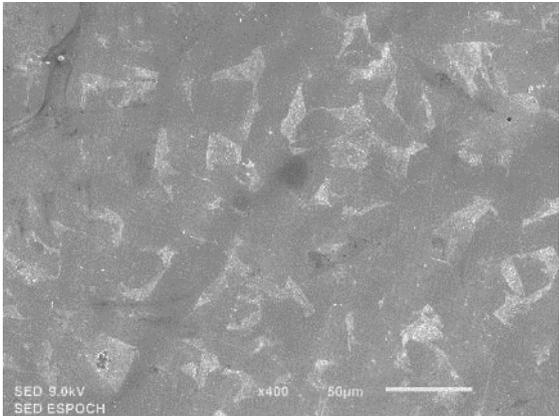
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 25-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 4

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	5		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	4		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h45	<b>Hora final</b>	11h45
<b>N° Probeta</b>	4	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	19°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

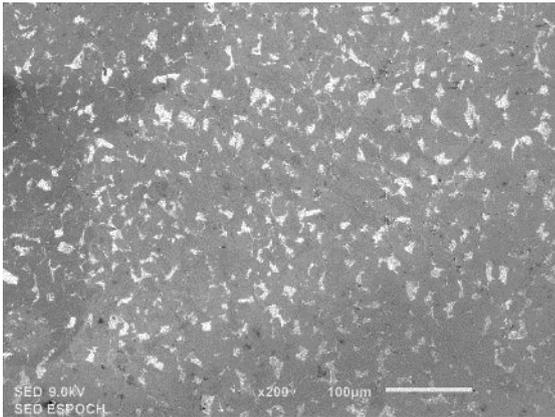
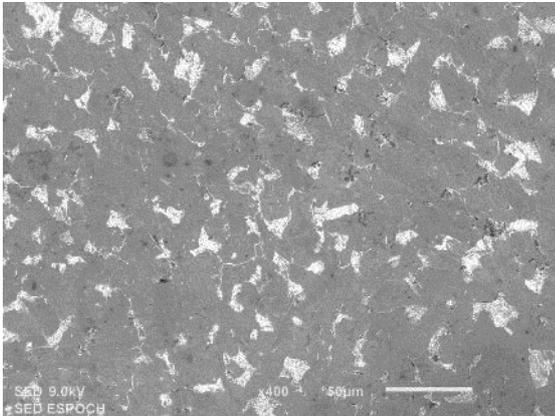
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 26-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 5

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	6		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	5		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h50
<b>N° Probeta</b>	5	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

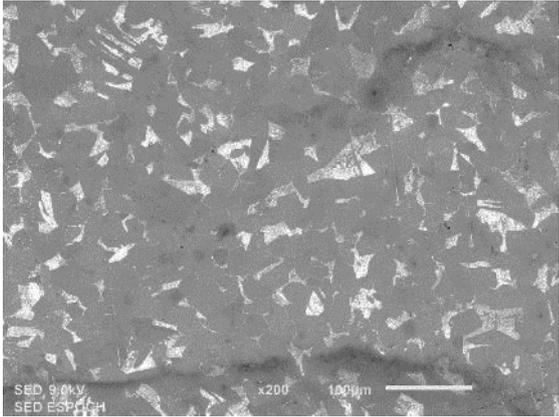
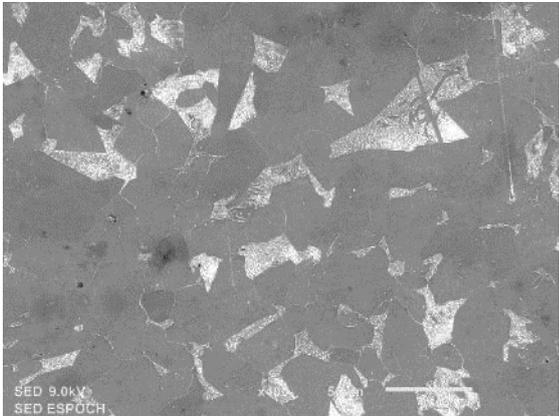
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 27-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 6

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	7		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	6		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	11h35	<b>Hora final</b>	12h35
<b>N° Probeta</b>	6	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

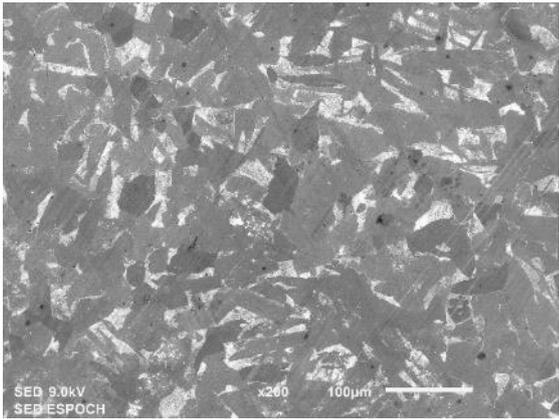
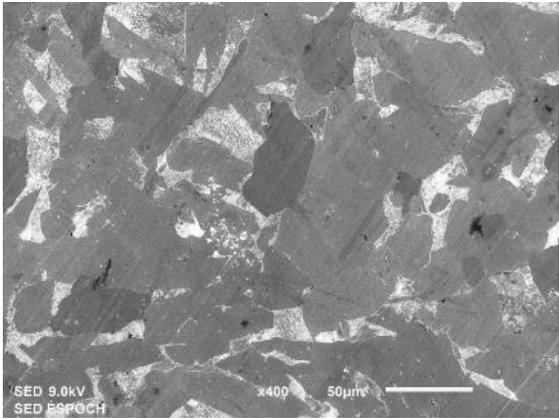
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 28-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 7

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	8		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	7		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h35	<b>Hora final</b>	16h05
<b>N° Probeta</b>	7	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	23,4 °C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

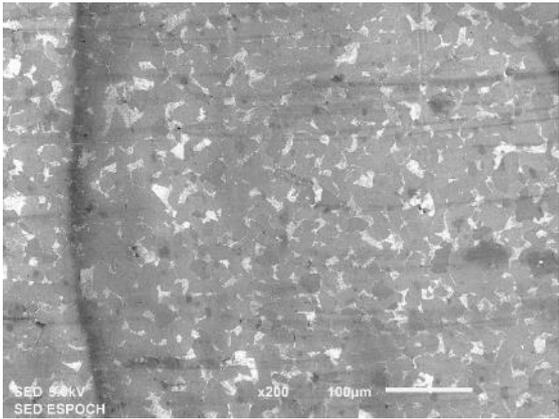
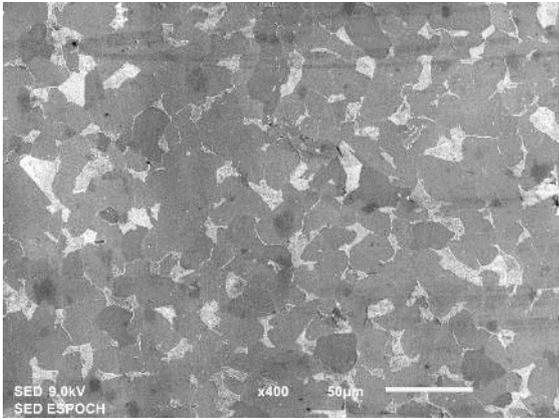
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 29-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 8

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	9		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	8		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	11h30
<b>N° Probeta</b>	8	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

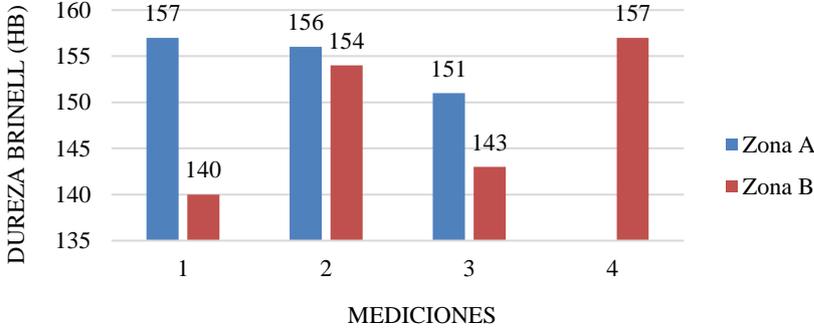
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 30-3:** Metalografía mediante el SEM de la probeta N° 9

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	10		
<b>Fecha</b>	25/02/2022	<b>Probeta N°</b>	9		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio electrónico de barrido JSM-IT100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	13h30	<b>Hora final</b>	15h00
<b>N° Probeta</b>	9	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	28,6°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>RESULTADOS</b>					
<b>200X</b>					
					
<b>400X</b>					
					

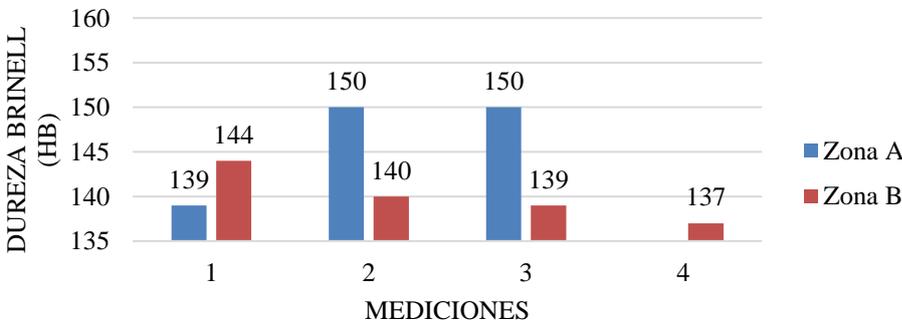
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 31-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 0

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	1		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	0		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	0	<b>Hora final</b>	0
<b>N° Probeta</b>	0	<b>Distancia</b>	0	<b>Tiempo</b>	0
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A (HB)</b>		<b>Zona B (HB)</b>		
<b>1</b>	157		140		
<b>2</b>	156		154		
<b>3</b>	151		143		
<b>4</b>			157		
<b>Promedio</b>	155		149		
GRÁFICA					
 <p style="text-align: center;">DUREZA BRINELL (HB)</p> <p style="text-align: center;">MEDICIONES</p> <p style="text-align: right;">■ Zona A ■ Zona B</p>					

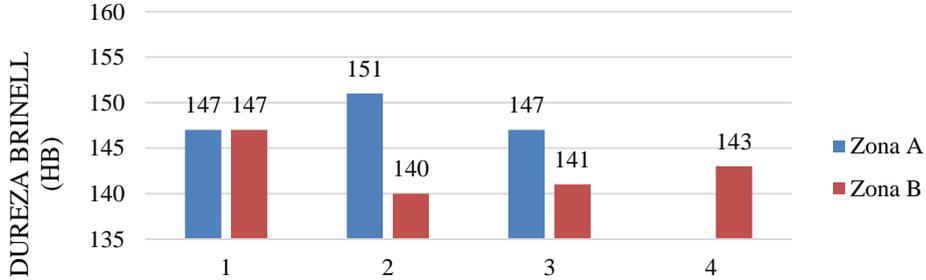
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 32-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 1

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	2		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	1		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	3/2/2022	<b>Hora inicio</b>	15h00	<b>Hora final</b>	17h30
<b>N° Probeta</b>	1	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
	Zona A		Zona B		
					
<b>Mediciones</b>	Zona A		Zona B		
<b>1</b>	139		144		
<b>2</b>	150		140		
<b>3</b>	150		139		
<b>4</b>			137		
<b>Promedio</b>	146		140		
GRÁFICA					
					

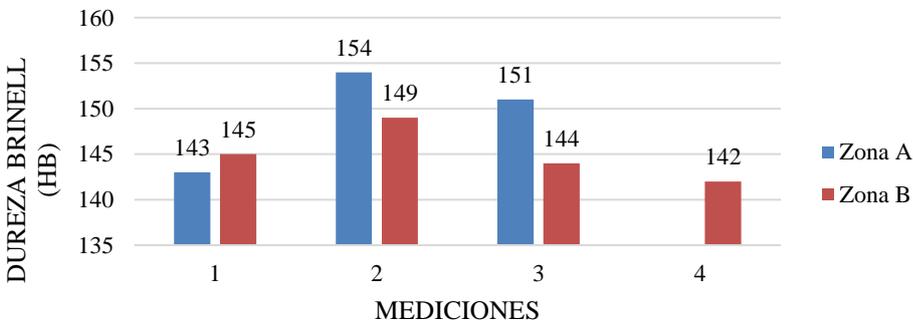
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 33-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 2

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	3		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	2		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	10h30
<b>N° Probeta</b>	2	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	147		147		
<b>2</b>	151		140		
<b>3</b>	147		141		
<b>4</b>			143		
<b>Promedio</b>	148		143		
GRÁFICA					
					
<p>DUREZA BRINELL (HB)</p> <p>MEDICIONES</p>					

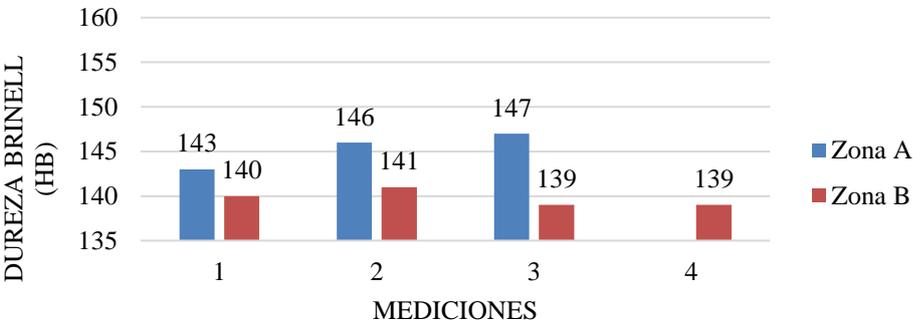
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 34-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 3

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	4		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	3		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	12h15	<b>Hora final</b>	12h45
<b>N° Probeta</b>	3	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	143		145		
<b>2</b>	154		149		
<b>3</b>	151		144		
<b>4</b>			142		
<b>Promedio</b>	149		145		
GRÁFICA					
					

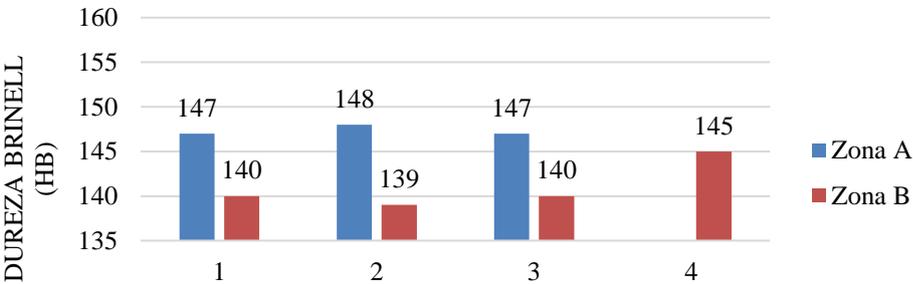
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 35-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 4

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	5		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	4		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h45	<b>Hora final</b>	11h45
<b>N° Probeta</b>	4	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	19°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	143		140		
<b>2</b>	146		141		
<b>3</b>	147		139		
<b>4</b>			139		
<b>Promedio</b>	145		140		
GRÁFICA					
					

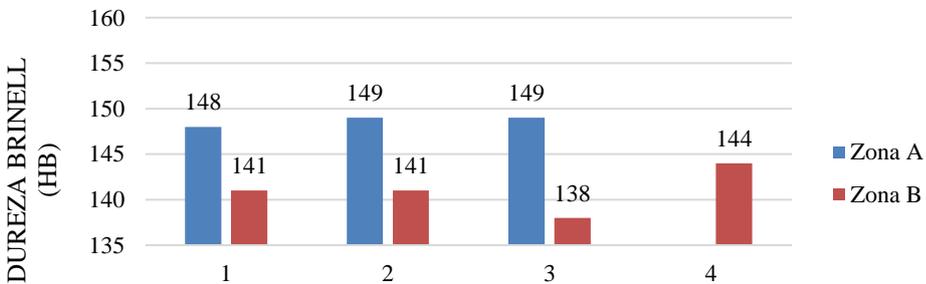
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 36-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 5

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> 					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	6		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	5		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h50
<b>N° Probeta</b>	5	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	147		140		
<b>2</b>	148		139		
<b>3</b>	147		140		
<b>4</b>			145		
<b>Promedio</b>	147		141		
GRÁFICA					
 <p>DUREZA BRINELL (HB)</p> <p>MEDICIONES</p> <p>■ Zona A ■ Zona B</p>					

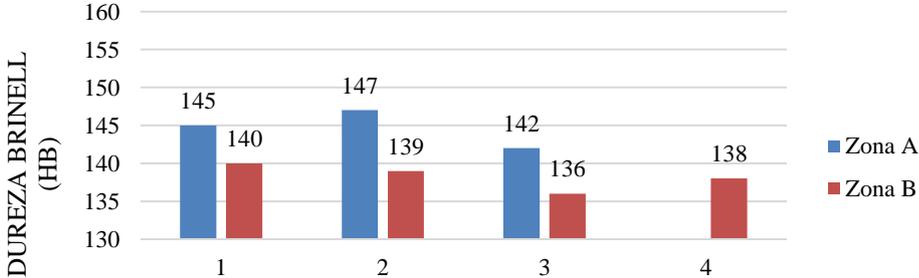
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 37-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 6

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> 					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	7		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	6		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	11h35	<b>Hora final</b>	12h35
<b>N° Probeta</b>	6	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
	Zona A		Zona B		
					
<b>Mediciones</b>	Zona A		Zona B		
<b>1</b>	148		141		
<b>2</b>	149		141		
<b>3</b>	149		138		
<b>4</b>			144		
<b>Promedio</b>	149		141		
GRÁFICA					
					
	<b>MEDICIONES</b>				

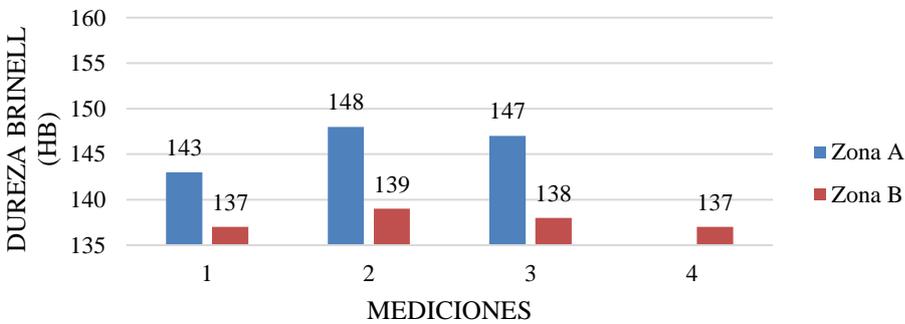
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 38-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 7

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	8		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	7		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h35	<b>Hora final</b>	16h05
<b>N° Probeta</b>	7	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	23,4 °C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	145		140		
<b>2</b>	147		139		
<b>3</b>	142		136		
<b>4</b>			138		
<b>Promedio</b>	145		138		
GRÁFICA					
 <p style="text-align: center;">DUREZA BRINELL (HB)</p> <p style="text-align: center;">MEDICIONES</p> <p style="text-align: right;">■ Zona A ■ Zona B</p>					

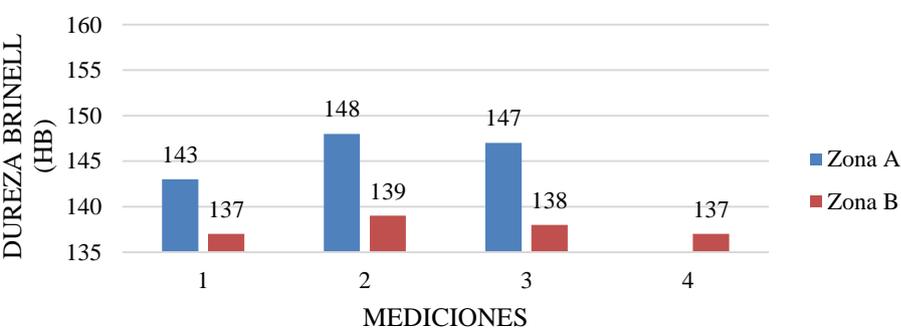
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 39-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 8

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	9		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	8		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
<b>INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</b>					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	11h30
<b>N° Probeta</b>	8	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
<b>RESULTADOS</b>					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	143		137		
<b>2</b>	148		139		
<b>3</b>	147		138		
<b>4</b>			137		
<b>Promedio</b>	146		138		
<b>GRÁFICA</b>					
 <p style="text-align: center;">DUREZA BRINELL (HB)</p> <p style="text-align: center;">MEDICIONES</p> <p style="text-align: right;">■ Zona A ■ Zona B</p>					

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

**Tabla 40-3:** Ensayo de dureza Brinell probeta N° 9

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b>  <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> </div>  </div>					
ENSAYO DE DUREZA					
<b>Tipo de estudio</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°</b>	10		
<b>Fecha</b>	17/02/2022	<b>Probeta N°</b>	9		
<b>Material</b>	ASTM A36				
<b>Dirección</b>	Laboratorio de Materiales FM-ESPOCH				
<b>Equipo</b>	Microscopio Mitutoyo TM 100				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	13h30	<b>Hora final</b>	15h00
<b>N° Probeta</b>	9	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	28,6°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA					
<b>Método</b>	Dureza Brinell (HB)				
<b>Cantidad de carga aplicada</b>	1839 N – 187.5 Kgf				
<b>Diámetro del indentador</b>	2.5mm				
RESULTADOS					
<b>Zona A</b>			<b>Zona B</b>		
					
<b>Mediciones</b>	<b>Zona A</b>		<b>Zona B</b>		
<b>1</b>	148		139		
<b>2</b>	148		139		
<b>3</b>	146		140		
<b>4</b>			138		
<b>Promedio</b>	147		139		
GRÁFICA					
 <p style="text-align: center;">DUREZA BRINELL (HB)</p> <p style="text-align: center;">MEDICIONES</p> <p style="text-align: right;">■ Zona A ■ Zona B</p>					

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2. Análisis de datos

En esta investigación, la microestructura, el espesor y la dureza, después de la experimentación del aceros ASTM A36 cada probeta es sometida a las altas temperaturas, donde éstas se calientan dentro de una cámara de combustión, mediante un quemador se alcanzan temperaturas que van desde los 700 °C hasta los 1100 °C.

Las probetas se mantienen en temperaturas elevadas durante periodos de 30, 60 y 90 minutos en distancias de 100, 200 y 300 milímetros que van desde el cañón del quemador hasta la placa de acero.

Para garantizar una distribución uniforme de la temperatura en cada probeta de prueba, se colocó el cañón del quemador en la parte central de la cámara de combustión, con la finalidad que cada probeta se encuentre en el centro de la cámara de combustión.

#### 3.2.1. Observación visual

En todas las probetas después de ser experimentadas a las altas temperaturas, se realizó el enfriamiento a temperatura ambiente, que consiste en dejar cada probeta en la misma cámara de combustión hasta llegar a una temperatura que se pueda manipular.



**Figura 4-3:** Enfriamiento a temperatura ambiente de la probeta

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Después del proceso de enfriamiento de cada probeta, se puede visualizar que la oxidación del acero estructural ASTM A36 se produce a un ritmo muy lento cuando éste es enfriado a temperatura ambiente, la tasa de oxidación aumenta cuando el acero se somete a temperaturas superiores de 570 °C, la exposición a las elevadas temperaturas da resultado a superficies rugosas.

El aspecto superficial de las probetas sometidas a las altas temperaturas y utilizando el método de enfriamiento a temperatura ambiente se puede ver en la figura 4-3.

En la siguiente figura, se puede observar que todas las probetas después de la exposición al fuego experimentan cambios considerables en su color, esto se debe a la oxidación por las altas temperaturas, o debido a la corrosión atmosférica que pueden sufrir durante el proceso de enfriamiento a temperatura ambiente.



**Figura 5-3:** Observación visual de las probetas después de la exposición al fuego

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Sajid y Kiran (2018), menciona que el aumento de la rugosidad en las superficies del acero estructural aumenta la tasa de corrosión, en la figura 6-3, se puede observar la probeta que tuvo mayor rugosidad en la superficie, causadas por el desprendimiento de la capa de oxidación

después de estar expuesta al fuego durante 90 minutos a una distancia de 100 mm, es decir tuvo mayor influencia aumentando la tasa de corrosión, a diferencia de las otras probetas.



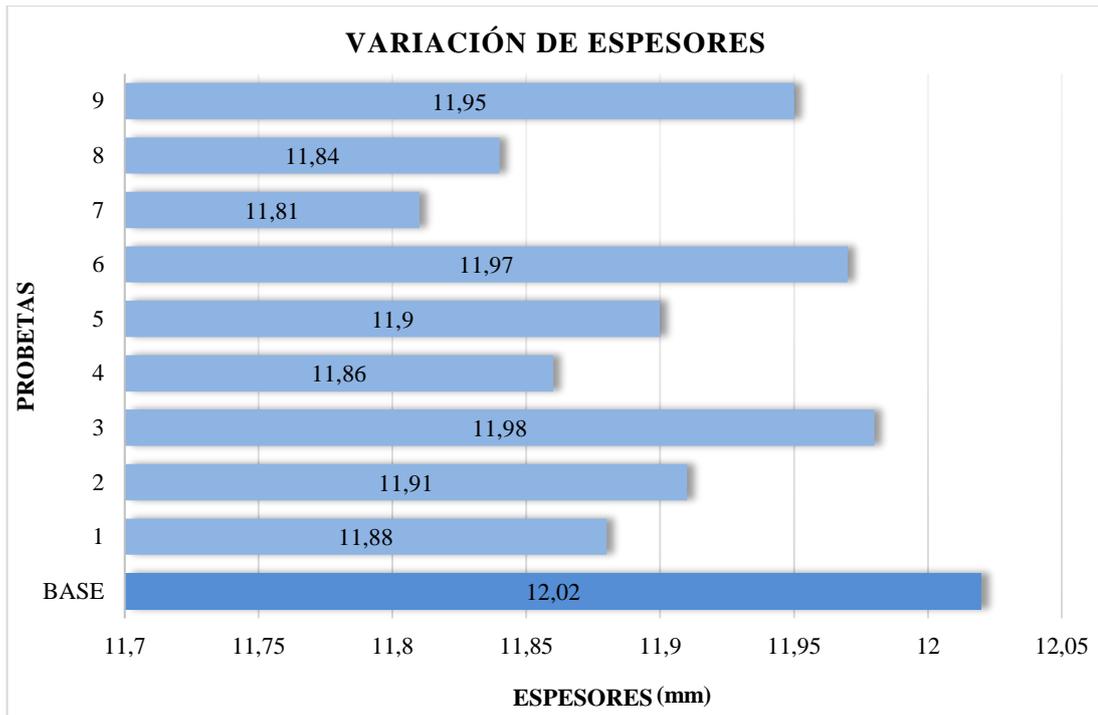
**Figura 6-3:** Rugosidades en la superficie de la probeta después de la exposición al fuego

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.2. *Ultrasonido*

Para determinar el espesor de cada probeta se realizó las mediciones en tres zonas distintas después de la experimentación, en la tabla 10-3 (página 57), se presenta las medidas del espesor de la probeta base y de las probetas experimentadas.

En la gráfica 4-3, se observa la variación del espesor, donde se evidencia que mientras mayor es el tiempo de exposición a las temperaturas elevadas el espesor del acero ASTM A36 se reduce, como es el caso de la probeta N° 7 que tuvo mayor reducción en el espesor con 11,81 mm con respecto a las demás probetas y a la probeta base que tiene un espesor de 12,02 mm, esta reducción se debe a que la probeta se encontró ubicada a una distancia de 100 mm y un tiempo de exposición de 90 minutos, mientras que en la probeta N° 3 se puede observar que tuvo una mínima reducción del espesor con un valor de 11,98 mm con respecto a la probeta base, cuando la probeta estaba ubicada a una distancia de 300 mm y a un tiempo de exposición de 30 minutos, es decir que mientras menor es la distancia y mayor el tiempo de exposición a las altas temperaturas la pérdida del material del acero ASTM A36 es más evidente, verificado mediante los ensayos de ultrasonido.

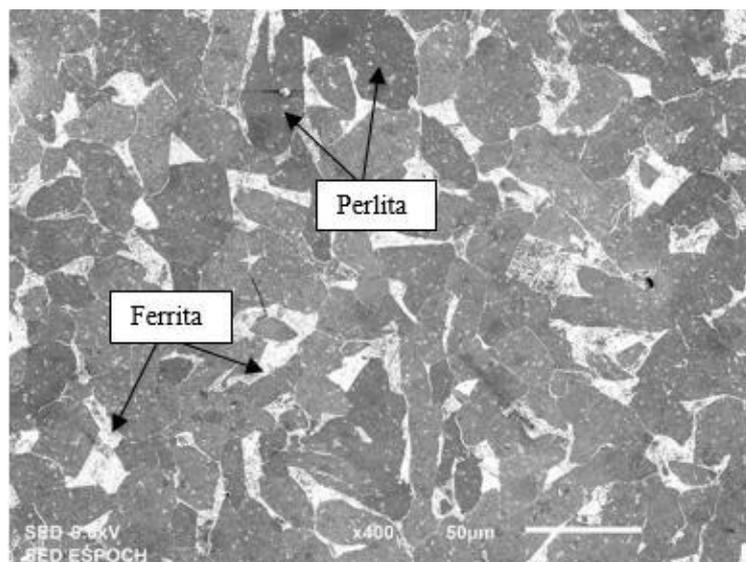


**Gráfico 1-3:** Variación del espesor después de la exposición a altas temperaturas

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.3. Ensayo de metalografía

Los resultados de los ensayos de metalografía realizados por: microscopía óptica y electrónica de barrido se presentar en los anexos D y E respectivamente, en la siguiente figura, se observa la microestructura de la probeta de acero ASTM A36 compuesta principalmente de ferrita y perlita.

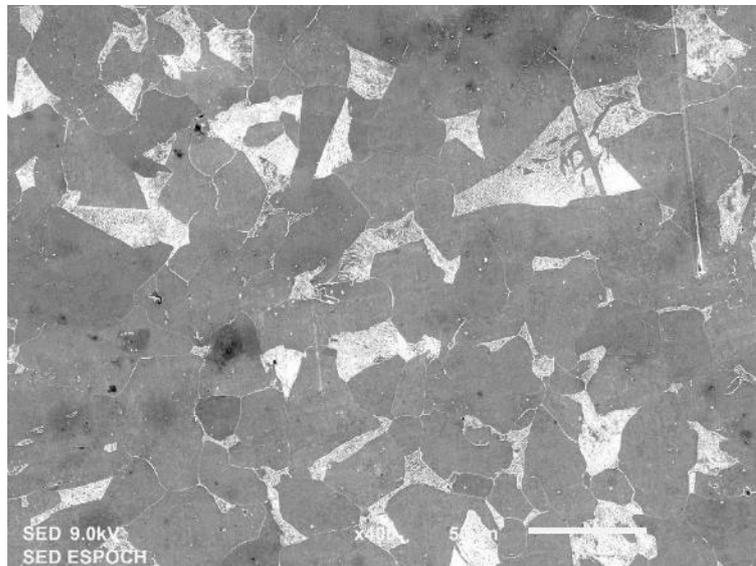


**Figura 7-3:** Microestructura del acero ASTM A36 a temperatura ambiente

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Cuando el acero ASTM A36 está expuesto a temperaturas superiores a los 650 °C, en la ferrita se origina una transformación polimórfica que es aquella transformación de estructuras cristalinas cúbica centra en el cuerpo a cúbica centrada en las caras denominada austenita.

La probeta de acero después de la exposición a las altas temperaturas producidas por el fuego, durante 90 minutos a una distancia de 100 mm con respecto al cañón del quemador y luego de enfriarse lentamente a temperatura ambiente, se observa la presencia de fases de ferrita y perlita relativamente uniforme siendo estas de grano grueso, en la figura 8-3 se evidencia un tamaño de grano de ferrita relativamente mayor, a diferencia de la microestructura del acero cuando no ha sido expuesta a las altas temperaturas como se muestra en la figura 7-3.



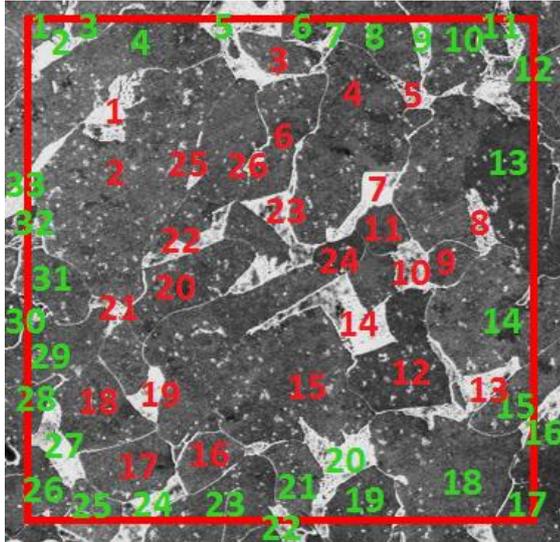
**Figura 8-3:** Microestructura del acero ASTM A36 después de la exposición al fuego

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.3.1. *Determinación del tamaño de grano ASTM*

Para determinar el tamaño de grano ASTM, se procede a realizar los cálculos de cada metalografía realizada a las probetas experimentadas mediante las ecuaciones (3), (4) y (5) de la página 45.

Luego de obtener las metalografías se procede realizar un conteo de los números de granos de cada probeta en el área de 1 in<sup>2</sup>, sumando el número de medios granos (color verde) y granos enteros (color rojo), para obtener el número total de granos 1 in<sup>2</sup> obteniendo los siguientes valores:



**Figura 9-3:** Números de grano de la probeta no experimentada a un aumento de 200x

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

$$\text{Número de medios granos} = \frac{33}{2} = 17$$

$$\text{Numero de granos enteros} = 26$$

$$\text{Total de granos} = 43$$

- **Tamaño de grano aparente**

$$N = 2^{n_A - 1}$$

$$43 = 2^{n_A - 1}$$

$$\ln(43) = \ln(2)^{n_A - 1}$$

$$\ln(43) = n_A - 1 * \ln(2)$$

$$n_A = \frac{\ln(43)}{\ln(2)} + 1$$

$$n_A = 6,41$$

- **Factor de corrección**

$$Q = 2 \log_2 \left( \frac{M}{M_b} \right)$$

$$Q = 2 \log_2 \left( \frac{200x}{100x} \right)$$

$$Q = 2$$

- **Tamaño de grano real en número ASTM**

$$n = n_A + Q$$

$$n = 6,41 + 2$$

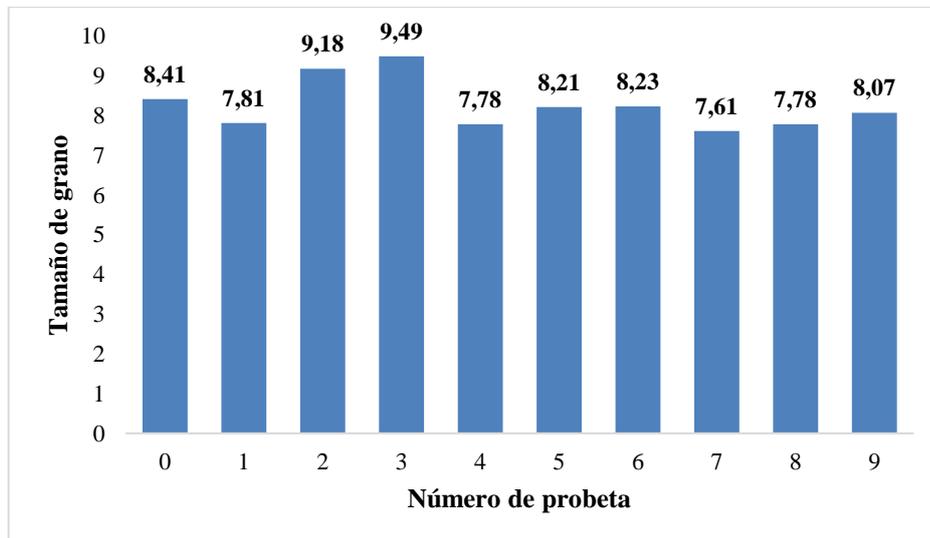
$$n = 8,41$$

Previo a los cálculos realizados a la probeta de acero que no ha sido expuesta a las altas temperaturas, se tiene un tamaño de grano según la norma ASTM de 8,41, en la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos de cada probeta.

**Tabla 41-3:** Resultados del tamaño de grano ASTM de cada probeta

Probeta	Tamaño de grano	Tiempo de exposición (minutos)	Distancia (mm)
Base (0)	8,41	0	0
1	7,81	30	100
2	9,18	30	200
3	9,49	30	300
4	7,78	60	100
5	8,21	60	200
6	8,23	60	300
7	7,61	90	100
8	7,78	90	200
9	8,07	90	300

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.



**Gráfico 2-3:** Resultados de los tamaños de grano ASTM de cada probeta

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Analizando la gráfica 2-3, se realiza una comparación de los resultados por lo que después de la experimentación se observa una reducción en el tamaño de grano a medida que se incrementa la

distancia, pero según la norma ASTM se tiene que mientras más pequeño se observan los granos en las muestras, el tamaño nominal del grano es mayor, es por esto que en la probeta número 7, la misma que estaba ubicada a 100 mm de distancia y durante un tiempo de exposición al fuego de 90 minutos, se observa gráficamente un tamaño de grano mayor en comparación a las otras probetas experimentadas, mientras que en los cálculos realizados para la determinación del tamaño nominal de grano ASTM se observa un menor valor en comparación a las demás probetas.

### 3.2.4. *Ensayos de dureza*

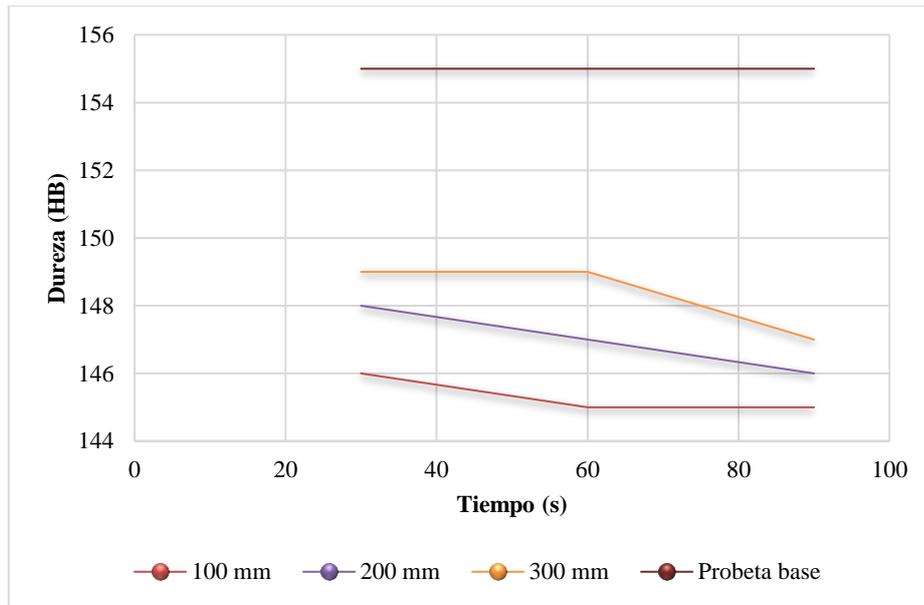
Los datos obtenidos del ensayo de dureza se realizaron en dos zonas diferentes: zona A (cara transversal) y zona B (superficie de contacto directo con el fuego) de cada probeta de acero ASTM A36, después de ser expuesta a las altas temperaturas producidas por el fuego se realizó el ensayo de dureza Brinell donde se puede visualizar en la tabla 42-3, que a medida que la probeta se encuentre más tiempo de exposición al fuego y en menor distancia entre la placa y la fuente de calor la dureza disminuye.

El acero ASTM A36 al ser un acero dulce por el contenido de carbono de 0,25%, posee una dureza en la escala Brinell en el rango de 119-162, basada en la conversión de la resistencia a la tracción (Material Mundial, 2019).

**Tabla 42-3:** Resultados de dureza Brinell (HB)

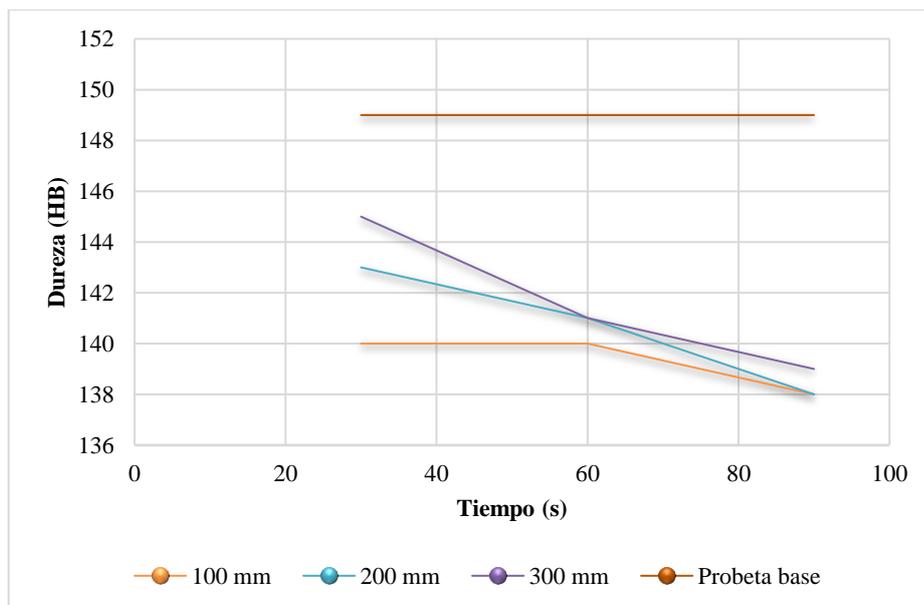
Número de Probeta	Zona de la probeta medida		Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Zona A	Zona B		
	Dureza Brinell (HB)	Dureza Brinell (HB)		
0	155	149	0	0
1	146	140	30	100
2	148	143	30	200
3	149	145	30	300
4	145	140	60	100
5	147	141	60	200
6	149	141	60	300
7	145	138	90	100
8	146	138	90	200
9	147	139	90	300

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.



**Gráfico 3-3:** Variación de dureza Brinell de la zona A

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.



**Gráfico 4-3:** Variación de dureza Brinell de la zona B

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

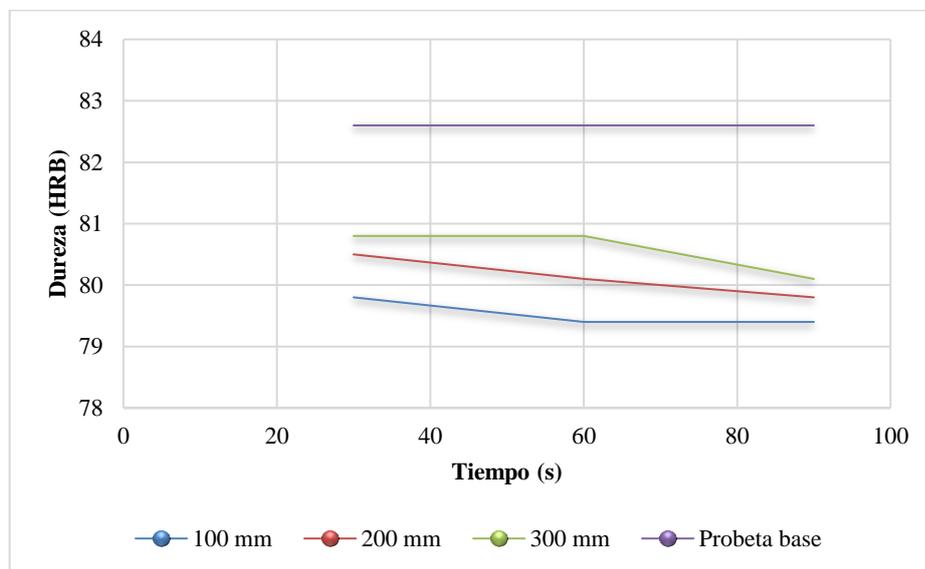
Mediante la tabla de conversión de durezas estándar para metales que se muestra en el anexo A, se utiliza para la conversión en relación de la dureza Brinell (Tungsteno Carburo Bola 3000 Kgf) a escala Rockwell B (100 Kgf), para el acero al carbono ASTM A36, obteniendo los siguientes datos de la tabla.

**Tabla 43-3:** Resultados de dureza Rockwell B (HRB)

Número de Probeta	Zona de la probeta medida				Tiempo de exposición (min)	Distancia de la probeta (mm)
	Zona A		Zona B			
	Dureza Brinell (HB)	Dureza Rockwell B (HRB)	Dureza Brinell (HB)	Dureza Rockwell B (HRB)		
0	155	82,6	149	80,8	0	0
1	146	79,8	140	77,6	30	100
2	148	80,5	143	78,7	30	200
3	149	80,8	145	79,4	30	300
4	145	79,4	140	77,6	60	100
5	147	80,1	141	77,9	60	200
6	149	80,8	141	77,9	60	300
7	145	79,4	138	76,8	90	100
8	146	79,8	138	76,8	90	200
9	147	80,1	139	77,2	90	300

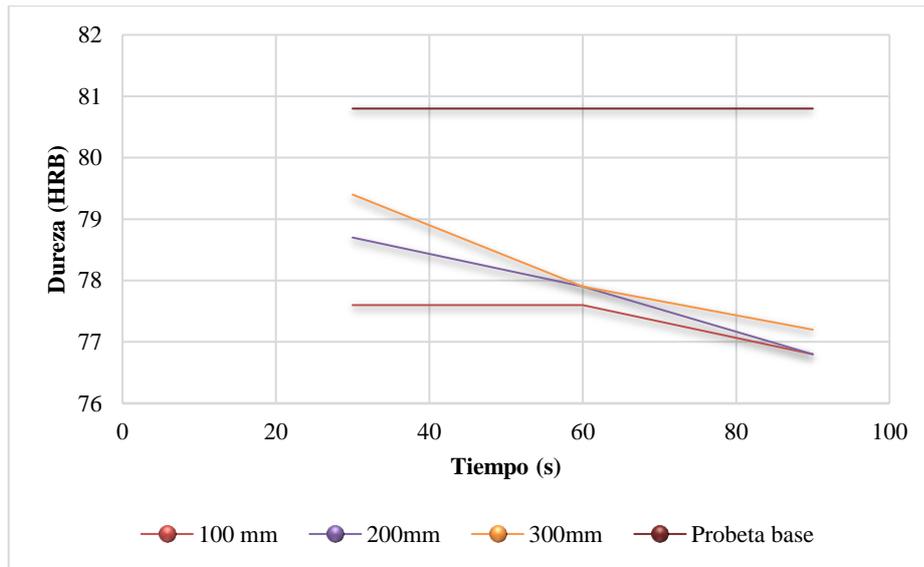
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

En las gráficas 5-3, se observa la variación de la dureza en escala Rockwell B de la zona A, mientras que en la gráfica 6-3, se puede visualizar la variación de dureza que existe en la zona B, de este modo se puede atribuir que las probetas después de ser expuestas a las altas temperaturas pierde sus propiedades haciendo que el acero reduzca su dureza, asimismo se puede decir que la zona B tuvo mayor pérdida de dureza la misma que corresponde a la superficie que tuvo contacto directo con el fuego.



**Gráfico 5-3:** Variación de dureza Rockwell B en la zona A

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

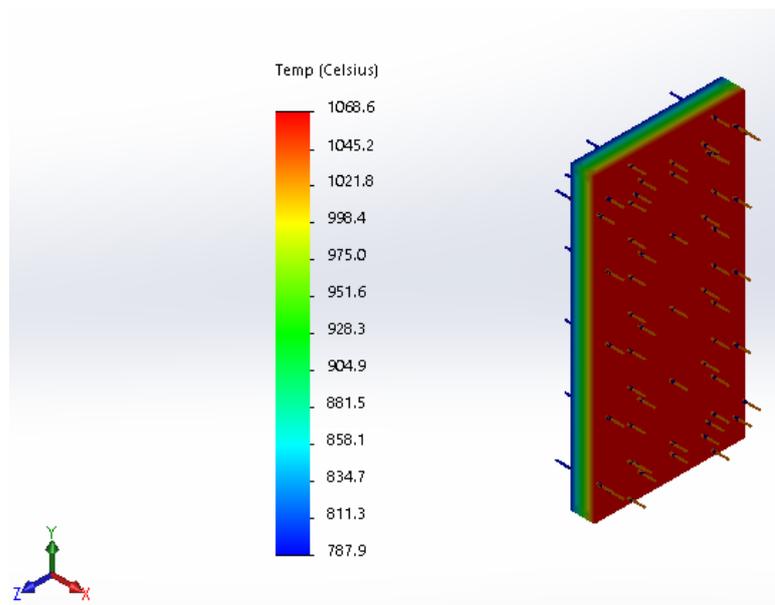


**Gráfico 6-3:** Variación de dureza Rockwell B en la Zona B

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.5. Gráficas de distribución de temperaturas

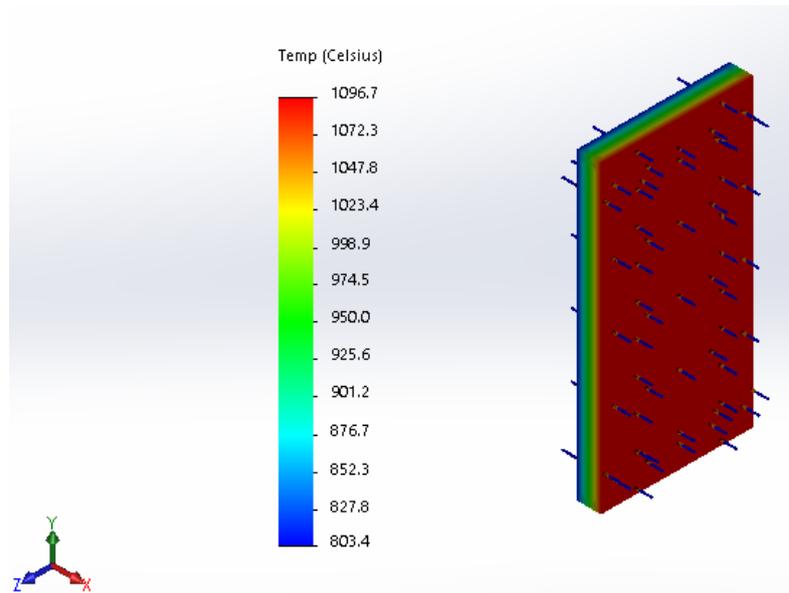
En las siguientes figuras se muestra las distribuciones de las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas durante los diferentes tiempos de exposición de las probetas a altas temperaturas, en el gráfico 7-3, se observa la temperatura máxima de 1068,6 °C en la superficie de contacto directo sobre el fuego y una temperatura mínima de 787,9 durante 30 minutos de exposición.



**Gráfico 7-3:** Distribución de temperaturas durante 30 minutos de exposición

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

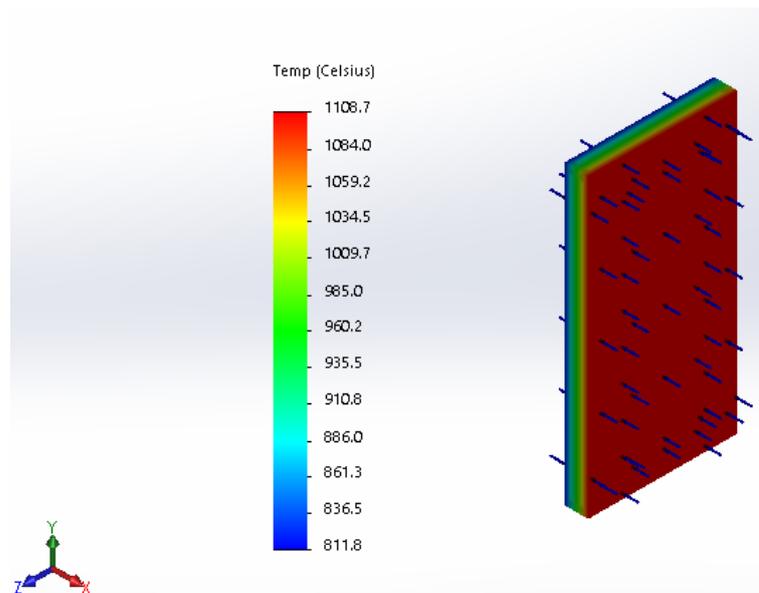
En el siguiente gráfico se puede visualizar la distribución de las temperaturas durante 60 minutos de exposición de las probetas al fuego directo, alcanzando una temperatura máxima 1096,7 °C y una temperatura mínima de 803,4 °C.



**Gráfico 8-3:** Distribución de temperaturas durante 60 minutos de exposición

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Finalmente se tiene la distribución de las temperaturas durante 90 minutos de exposición de las probetas al fuego directo, alcanzando una temperatura máxima 1108,7 °C y una temperatura mínima de 811,8 °C.



**Gráfico 9-3:** Distribución de temperaturas durante 60 minutos de exposición

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.6. Pérdida del material

Con los datos obtenidos de los ensayos de ultrasonido, se obtiene las medidas de los espesores iniciales y finales del material de cada probeta, de este modo se procede a determinar la pérdida del material durante la experimentación.

Mediante los espesores de las placas, se evidencia que mayor es la pérdida del material, cuando las probetas se encuentran expuesta a las altas temperaturas en menor distancia y más tiempo de exposición.

Por lo tanto, se tiene que la pérdida del material se reduce en un 0,89 % durante 540 minutos de exposición a las altas temperaturas.

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{\text{Total de costos de pérdida del material}}{\text{Total de costos iniciales}} * 100\% \quad (6)$$

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{0,80}{89,50} * 100\%$$

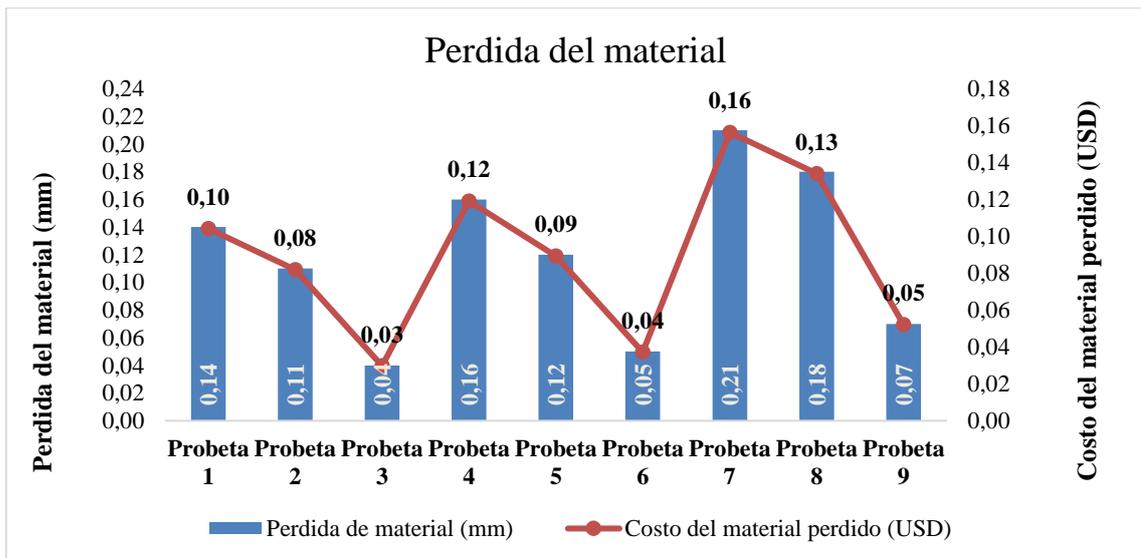
$$\% \text{ de pérdida} = 0,89 \%$$

**Tabla 44-3:** Implicación de la pérdida del material en costos

Distancia (mm)	Placa	Espesores (mm)		Pérdida del material (mm)	Costos (USD)		% de la pérdida del material
		Inicial	Final		Inicial	Pérdida del material	
0	Probeta 0	12,02	12,02	0,00	8,95	0,00	0 %
100	Probeta 1	12,02	11,88	0,14	8,95	0,10	1,16%
200	Probeta 2	12,02	11,91	0,11	8,95	0,08	0,92%
300	Probeta 3	12,02	11,98	0,04	8,95	0,03	0,33%
100	Probeta 4	12,02	11,86	0,16	8,95	0,12	1,33%
200	Probeta 5	12,02	11,90	0,12	8,95	0,09	1,00%
300	Probeta 6	12,02	11,97	0,05	8,95	0,04	0,42%
100	Probeta 7	12,02	11,81	0,21	8,95	0,16	1,75%
200	Probeta 8	12,02	11,84	0,18	8,95	0,13	1,50%
300	Probeta 9	12,02	11,95	0,07	8,95	0,05	0,58%

**Realizado por:** Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

Asimismo, se puede decir que la probeta experimentada a 100 mm de distancia con respecto al cañón del quemador y a un tiempo de exposición de 90 minutos, se tiene que el porcentaje de pérdida del material en costos es de 1,75% en relación al costo inicial de la probeta que es 8,95 USD.



**Gráfico 10-3:** Implicación de la pérdida del material.

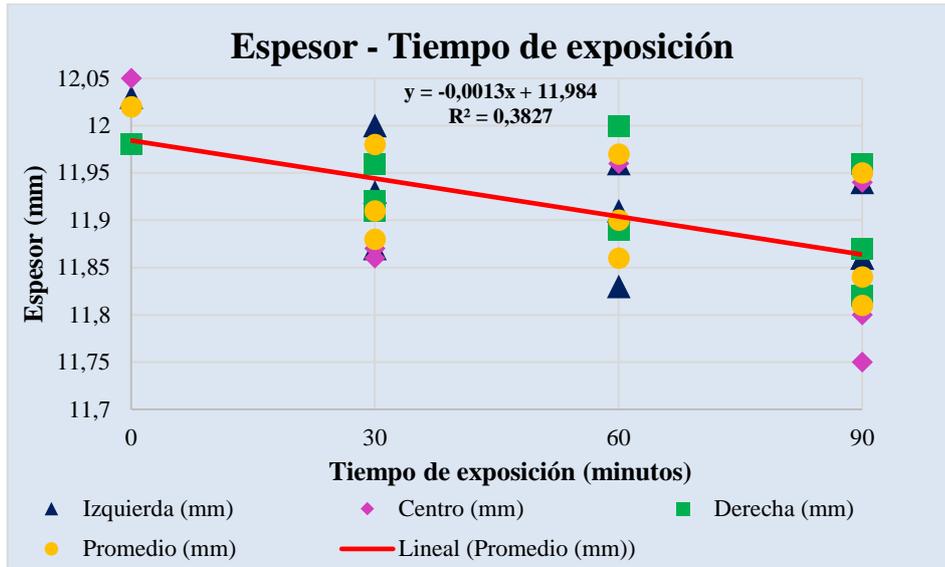
Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

### 3.2.7. Comprobación de la hipótesis

Para la demostración o comprobación de la hipótesis propuesta para la investigación se realizó mediante un análisis estadístico de la tendencia de los datos, en la tabla 10-3 de la página 57, nos permite analizar los datos obtenidos del espesor de cada probeta experimentada antes y después de estar expuestas a las altas temperaturas superficiales.

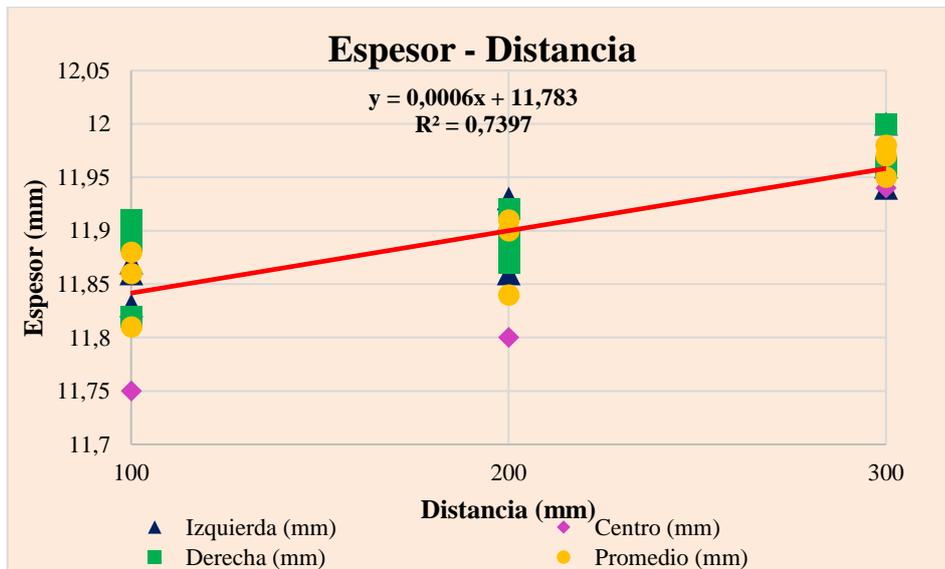
Las probetas después de estar sometido a las altas temperaturas en tiempo de exposición de 30, 60 y 90 minutos, y distancias de 100, 200 y 300 mm, se tienen las medidas del espesor o degradación del material en diferentes zonas de cada placa de acero y se analizan los datos obtenidos en las siguientes gráficas.

En la gráfica 11-3, se presenta la tendencia de los datos en la curva espesor y tiempo de exposición, donde se observa una recta decreciente y se puede decir que a mayor tiempo de exposición de la probeta a las altas temperaturas, mayor será la degradación del material reflejada en la reducción del espesor, mientras que en la tendencia de los datos de la curva espesor y distancia de la gráfica 12-3, se tiene una recta creciente donde se puede observar que a menor distancia se encuentre la probeta expuesta a las altas temperaturas mayor será la degradación del acero.



**Gráfico 11-3:** Tendencia de los datos en la curva espesor – tiempo de exposición

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.



**Gráfico 12-3:** Tendencia de los datos en la curva espesor – distancia

Realizado por: Costales, B.; Gonzaga, R., 2021.

En conclusión, con las gráficas obtenidas de la tendencia de los datos la hipótesis se “ACEPTA” debido a que mayor tiempo de exposición y menor distancia va haber mayor degradación o reducción en el espesor del material, es decir el tiempo de exposición y la distancia influyen en la degradación del acero ASTM A36.

## CONCLUSIONES

En la presente investigación realizada se ha logrado cumplir con los objetivos específicos y responder a la hipótesis propuesta:

Con los datos obtenidos de la tabla 10-3, se comprobó la degradación del material cuando se aumenta el tiempo de exposición a las altas temperaturas y se redujo la distancia del foco de calor con respecto a la placa expuesta.

Se demostró la hipótesis, donde se evidencia que existen modificaciones en las propiedades mecánicas del acero ASTM A36, ya que la probeta experimentada a una distancia de 100 mm y en un tiempo de 90 minutos es la que mayor incidencia tuvo, corroborando que el tiempo y la distancia influyen en la degradación del acero.

Mediante el ensayo de ultrasonido se realizó la medición del espesor del acero, después de haber sometido el material a altas temperaturas y comparando respecto a la probeta base, se tiene una reducción del espesor de 0,21 mm en la probeta con mayor incidencia, corroborando que mientras mayor es el tiempo de exposición y menor la distancia el espesor del material tiende a disminuir.

Mediante los ensayos metalográficos se realizó el análisis de la microestructura de las probetas experimentadas a través del cálculo del tamaño de grano nominal ASTM se obtuvo un tamaño nominal de 7,61 que corresponde a la probeta N°7 experimentada en un intervalo de tiempo de 90 minutos y una distancia de 100 mm, corroborando que mientras mayor es el tiempo de exposición y menor la distancia el grano nominal ASTM se reduce.

Se realizó ensayos de dureza Brinell corroborando que mientras menor es la distancia y mayor el tiempo de exposición a las altas temperaturas, la dureza se redujo 3,87 % en la zona A y 4,95 % en la zona B en la probeta experimentada en un tiempo de 90 minutos y una distancia de 100 mm del foco de calor con respecto a la placa expuesta.

## **RECOMENDACIONES**

Cortar en frío las placas de acero mediante una cortadora de chorro de agua para evitar cambio de fases en la microestructura del material.

Utilizar elementos de protección personal, el mandil, los guantes, las gafas o el casco, esto según el proceso requerido, además se debe verificar el estado de los equipos y el funcionamiento de las instalaciones eléctricas.

Utilizar equipos adecuados, cumplir con los procedimientos y especificaciones que plantean las normas para la preparación de las muestras metalográficas, ataque químico, ensayos de dureza y ultrasonido.

Realizar un estudio de cómo influyen las altas temperaturas en otros tipos de aceros utilizado en la industria ecuatoriana.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE RUIZ, Diana Estefanía.** Análisis de la influencia del tamaño de las agujas de la martensita en las propiedades mecánicas de los aceros AISI 4140 y AISI 4340 [En línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 8-39. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13812>

**ALMENDARIZ, M.H; et al.** “Estudio de los Efectos de la Temperatura de Pre calentamiento sobre la Microestructura y Propiedades Mecánicas de Aceros ASTM A36 y A572 GR. 50”. *Polo del Conocimiento* [En línea], 2021, (Ecuador) 6(1), pp. 1313-1337. [Consulta: 10 noviembre 2021]. ISSN 2550-682X. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2227/4461>

**ASTM E797/E797M-21.** (2021). *Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method.*

**ASTM A36.** (2019). *Standard Specification for Carbon Structural Steel.*

**ASTM E3-11.** (2017). *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.*

**ASTM E7-03.** (2010). *Standard Terminology Relating to Metallography.*

**ASTM E10-18.** (2018). *Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.*

**ASTM E112-13.** (2021). *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.*

**ASTM E407-07(2015).** (2015). *Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.*

**BARRERA, M.C; et al.** “Principios Básicos de la Combustión”. Universidad Politécnica de València [en línea], 2018, (España) pp. 1-10. [Consulta: 25 noviembre 2021]. ISBN 9788413960036. Disponible en: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/103833>

**CAICEDO, J.I; et al.** “Resistencia De Materiales-Ingeniería Mecánica Estudio De Caso: Degradación Del Acero Astm A36 Sometido Al Fenómeno De Termofluencia”. *European*

*Scientific Journal, ESJ* [En línea], 2017,(Ecuador) 13(6), pp. 173-189. [Consulta: 10 noviembre 2021]. ISSN 1857-7881. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p173>

**CAICEDO REYES, Jorge Isaías.** Estudio Del Efecto De Termofluencia Sobre El Hierro Fundido Gris Perlítico Como Material Alternativo Y Su Incidencia En La Degradación Microestructural En Espejos De La Cámara De Combustión De Los Hornos Industriales Para Pan [En línea]. (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2014. pp. 3-4 [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7572>

**CRUZ, E; et al.** “Caracterización de metales por técnicas metalográficas aplicando métodos estadísticos de calidad “Six sigma de Comprobación””. *Polo del Conocimiento* [En línea], 2018,(Ecuador) 3(1), pp. 229-248. [Consulta: 24 noviembre 2021]. ISSN 2550-682X. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/745/920>

**ESPINOZA DE LA VEGA, Karla Mishelle, & PAZMIÑO GUEVARA, Esteban Mauricio.** Evaluación Experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, A-36, A-572 y A-588, para la obtención de los diagramas de Esfuerzo-Deformación [En línea]. (Disertación). (Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador: 2019. pp. 23-30. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17648>

**FERNÁNDEZ, J.A.** Análisis del comportamiento a fatiga a alta temperatura de la aleación HAYNES 230: Predicción de velocidades de propagación y diseño de ensayos [En línea]. (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2016. pp. 56. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: [https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70841/fichero/MEMORIA\\_COMPLETA.pdf](https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70841/fichero/MEMORIA_COMPLETA.pdf).

**IMPORT ACERO.** *Catalogo De Productos Importaceros.* [blog]. Ecuador: IMPORT ACERO Somos importadores y distribuidores directos, 2021 [Consulta: 11 abril 2021]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-importaceros-2021-web.pdf>.

**JACA, R.C; et al.** “Comportamiento poscrítico de tanques de almacenamiento de combustible sometidos a la acción de viento y fuego”. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional* [En línea], 2017,(Argentina) 35(38), pp. 2187-2203. [Consulta: 2 marzo 2022]. ISSN 2591-3522.

Disponible en: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/download/5436/5405>

**LI, G.Q; et al.** “Creep effect on critical strength of high-strength steel columns exposed to fire”. *Engineering Structures* [En línea], 2020,(China) 220, pp. 1-18. [Consulta: 2 febrero 2022]. ISSN 1873-7323. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110971>

**LÓPEZ SAÑAY, Dennis Patricio, & OÑATE GUERRERO, Jimmy Darío.** Estudio en el rango 500°C de la degradación microestructural del acero A36 y fundición nodular perlítica por efecto de termofluencia. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 5. [Consulta: 2021-11-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8074>

**MATERIAL MUNDIAL.** Norma ASTM AISI y SAE US. Acero ASTM A36, Acero A36 Propiedades, Ficha Técnica, Dureza, Densidad Estructural PDF [blog]. 2019. [Consulta: 11 abril 2022]. Disponible en: <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>

**MELGAREJO, M; et al.** “Determination of Flaw Causes in ASTM A36 Steel’s SMAW Welding Process HAZ”. *INGE CUC* [En línea], 2013,(Colombia) 9(2), pp. 75-82. [Consulta: 2 marzo 2022]. ISSN 0122-6517 Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/2638?show=full>

**MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB).** Universidad de Burgos [blog]. 2020. [Consulta: 2 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.ubu.es/parque-cientifico-tecnologico/servicios-cientifico-tecnicos/microscopia/microscopia-electronica-de-barrido-meb>

**NARANJO, C; et al.** “Estudio de las transformaciones metalográficas y variación de las propiedades mecánicas en juntas soldadas de acero ASTM A588 y A36”. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE* [En línea], 2015,(Ecuador). 10(1), pp. 135-141. [Consulta: 28 febrero 2020]. ISSN 1390-4663. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/38>

**NASCIMENTO, A., & FERNÁNDEZ, T.** “Influencia del ángulo de bisel en la soldadura a tope de un acero ASTM A 36 soldado con electrodo revestido”. *Ciencia & Futuro* [En línea], 2021,(Cuba) 11(3) pp. 36-47. [Consulta: 31 enero 2022]. ISSN 2306-823X. Disponible en: [http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista\\_estudiantil/article/view/2092/1624](http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/2092/1624)

**PILLIZA, Cristian Iván, & MONTALVO, Francisco Javier.** Evaluación del comportamiento y emisión en un motor de combustión interna utilizando en una mezcla de Diesel-Queroseno [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador: 2016. pp.10-11. [Consulta: 19 noviembre 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16785>

**POURHOSEINI, S.H; et al.** “A comparative exploration of thermal, radiative and pollutant emission characteristics of oil burner flame using palm oil biodiesel-diesel blend fuel and diesel fuel”. *Energy* [En línea], 2021, (Iran) 217, pp. 1-39. [Consulta: 31 enero 2021]. ISSN 03605442. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119338>

**PROCEL ANDRADE, Claudette Marie.** Estudio de la acción del fuego (cambios de temperatura) en perfiles doblados A36 y en vigas I calidad A572 Gr. 50 en una estructura regular con pórticos [En línea].(Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2016. pp. 1-172. [Consulta: 14 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/5464>

**REN, W.** “Behaviour of Steel Frames Exposed to Different Fire Spread Scenarios”. *International Journal of Steel Structures* [En línea], 2020, (China) 20(2), pp. 636-654. [Consulta: 2 febrero 2022]. ISSN 2093-6311. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13296-020-00311-x>

**RUIZ PAREDES, Carlos Patricio.** Análisis del comportamiento de la estructura metálica del mercado simón bolívar expuesto al fuego y su incidencia en los resultados finales [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2015. pp. 2-3. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/18626>

**SAJID, H.U., & KIRAN, R.** “Influence of stress concentration and cooling methods on post-fire mechanical behavior of ASTM A36 steels”. *Construction and Building Materials* [en línea], 2018, (United States of America) 186, pp. 920-945. [Consulta: 16 noviembre 2021]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.006>

**SAJID, H.U; et al.** “Microstructure–Mechanical Property Relationships for Post-Fire Structural Steels”. *Journal of Materials in Civil Engineering* [En línea], 2020, (United States of America)

32(6), pp. 1-10. [Consulta: 18 noviembre 2021]. ISSN 0899-1561. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003190](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003190)

**SÁNCHEZ, M.** *Corrosion a altas temperaturas* [En línea]. México, D.F-México: Grupo Editorial Exodo, 2016. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/128625>

**SEQUIERA, C.A.C.** *High Temperature Corrosion Fundamentals and Engineering* [En línea]. New Jersey-Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2019. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/5981073/97740f/?wrongHash>

**SERNA, C.P; et al.** “Evaluation of using acetylene as carbon source in the carburization of steels”. *Revista Materia* [En línea], 2018, (Brazil) 23(2), pp. 1-9. [Consulta: 2 marzo 2022]. ISSN 15177076. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0375>

**SILVEIRA, G.M.S; et al.** “Microstructural characterization and mechanical properties of high-strength steel weld metals obtained by GMAW process with rotating electrode (GMAW-RE)”. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* [En línea], 2021, (Brazil) 43(221) pp. 1-13. [Consulta: 2 febrero 2022]. ISSN 18063691. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40430-021-02932-7>

**TORRES, M; et al.** “Tamaño de una muestra para una investigación de mercado”. *Boletín Electronico Ingenieria Primero* [En línea], 2018, (Guatemala) 2(2), pp. 1-13. [Consulta: 4 marzo 2022]. Disponible en: [https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin02/URL\\_02\\_BAS02.pdf](https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin02/URL_02_BAS02.pdf)

**TRISTANCHO, J.L; et al.** “Corrosión a alta temperatura de los recubrimientos metálicos NiCr y NiCrBSiFe depositados mediante proyección térmica”. *Prospectiva* [En línea], 2015, (Colombia) 13(1), pp. 32-38. [Consulta: 25 noviembre 2021]. ISSN 16928261. Disponible en: <http://ojs.uac.edu.co/index.php/prospectiva/article/view/357/321>

**UNE-EN ISO 12944-6:2018. (2018).** *Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio.*

**VIDAL GRANADINO, Sergio Antonio.** Análisis cualitativo y cuantitativo aplicado al quemador Baltur [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica Federico Santa María Sede Concepción, Hualpén, Chile. 2018. pp. 12-13 [Consulta: 2021-11-19]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/40966>

**VIZUETA MONTALVÁN, Adolfo Darío, & PABÓN REVELO, Christian Santiago.** Estudio comparativo técnico - económico entre dos modelos de edificios de diez pisos: sistema dual de estructura de hormigón armado con losas postensada sin adherencia y estructura de acero con losa compuesta tipo plataforma de acero [En línea] (Proyecto). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. pp. 16-17. [Consulta: 2021-11-20]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20158>

**YAN, X; et al.** “Post-fire mechanical properties of advanced high-strength cold-formed steel alloys”. *Thin-Walled Structures* [En línea], 2021, (United States of America) 159, pp. 1-12. [Consulta: 31 enero 2022]. ISSN 0263-8231. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.107293>

**YU, Y; et al.** “Mechanical properties of hot-rolled and cold-formed steels after exposure to elevated temperature: A review”. *Construction and Building Materials* [En línea], 2019, (China) 213, pp. 360-376. [Consulta: 28 enero 2022]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.062>

## ANEXOS

### ANEXO A: Tabla de conversión de escalas de dureza BR a HRB



*Hogar de las bandas sin grietas, protectoras de la tubería de revestimiento, más resistentes al desgaste en el mercado*

 Inglés
  中文
  Русский

Contacto | Quiénes somos

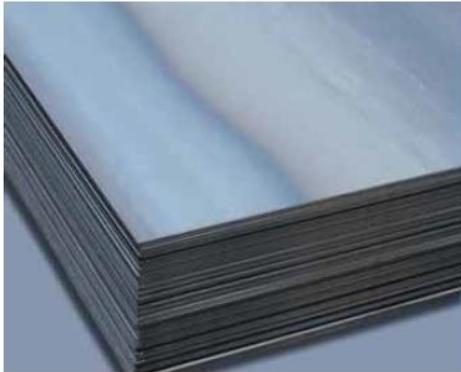
### Tabla de conversión de escalas de dureza

Tabla de conversión de la escala de dureza Brinell a Rockwell

CUADRO DE CONVERSIÓN DE DUREZA

Dureza Brinell	Dureza Rockwell			Resistencia a la Tensión	Dureza Brinell	Dureza Rockwell			Resistencia a la Tensión
	Escala A 60 Kg	Escala B 100 Kg	Escala C 150 Kg			Escala A 60 Kg	Escala B 100 Kg	Escala C 150 Kg	
Tungsteno Carburo Bola 3000				(Psi [libras por pulgada cuadrada] aproximadas)	Tungsteno Carburo Bola 3000				(Psi [libras por pulgada cuadrada] aproximadas)
	85.6		68		331	68.1		35.5	166,000
	85.3		67.5		321	67.5		34.3	160,000
	85		67		311	66.9		33.1	155,000
767	84.7		66.4		302	66.3		32.1	150,000
757	84.4		65.9		293	65.7		30.9	145,000
745	84.1		65.3		285	65.3		29.9	141,000
733	83.8		64.7		277	64.5		28.8	137,000
722	83.4		64		269	64.1		27.6	133,000
712					262	63.6		26.6	129,000
710	83		63.3		255	63		25.4	126,000
698	82.6		62.5		248	62.5		24.2	122,000
684	82.2		61.8		241	61.8	100	22.8	118,000
682	82.2		61.7		235	61.4	99	21.7	115,000
670	81.8		61		229	60.8	98.2	20.5	111,000
656	81.3		60.1		223		97.3	20	
653	81.2		60		217		96.4	18	105,000
647	81.1		59.7		212		95.5	17	102,000
638	80.8		59.2	329,000	207		94.6	16	100,000
630	80.6		58.8	324,000	201		93.8	15	98,000
627	80.5		58.7	323,000	197		92.8		95,000
601	79.8		57.3	309,000	192		91.9		93,000
578	79.1		56	297,000	187		90.7		90,000
555	78.4		54.7	285,000	183		90		89,000
534	77.8		53.5	274,000	179		89		87,000
514	76.9		52.1	263,000	174		87.8		85,000
495	76.3		51	253,000	170		86.8		83,000
477	75.6		49.6	243,000	167		86		81,000
461	74.9		48.5	235,000	163		85		79,000
444	74.2		47.1	225,000	156		82.9		76,000
429	73.4		45.7	217,000	149		80.8		73,000
415	72.8		44.5	210,000	143		78.7		71,000
401	72		43.1	202,000	137		76.4		67,000
388	71.4		41.8	195,000	131		74		65,000
375	70.6		40.4	188,000	126		72		63,000
363	70		39.1	182,000	121		69.8		60,000
352	69.3		37.9	176,000	116		67.6		58,000
341	68.7		36.6	170,000	111		65.7		56,000

## ANEXO B: Especificaciones generales del acero ASTM A36



### LAMINADAS AL CALIENTE

Acero laminado en caliente es acero laminado que ha pasado por el proceso de conformación a una temperatura superior a los 926 grados para evitar que se recristalice. Al acero que está por encima de la temperatura de recristalización puede dársele forma mucho más fácilmente que al acero más frío. También es más barato de fabricar que el acero laminado en frío.

Durante el proceso de enfriamiento, el acero laminado en caliente se contrae, haciendo que su tamaño y forma final sean menos predecibles que los del laminado en frío.

El laminado en caliente permite una gran variedad de formas y de piezas, además de poderse utilizar para fabricar piezas grandes sin tener que preocuparse por la integridad del material. Por eso el acero laminado en caliente se usa a menudo en proyectos estructurales.

## DESCRIPCIÓN

### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 – SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	50mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	1220x2440mm, 4x8 pies y medidas especiales
<b>Acabados:</b>	Acero Negro



Calidad Comercial											
Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	%C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,13	0,02 max	0,03 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569

Calidad Comercial											
Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	%C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,03 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G 3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,03 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

### Usos y aplicaciones:

El acero laminado en caliente se usa principalmente en:

- Edificios metálicos
- Rieles de vías de tren
- Bastidores y otras partes de vehículos pesados
- Calentadores de agua
- Anclajes
- Llantas
- Estructuras de construcción
- Encofrados
- Calderos
- Placas de anclaje
- Otros usos que no requieren formas precisas

Calidad Estructural												
Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	%C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,4	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,8 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,2 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

	Laminado en caliente
Resistencia a la tracción	67.000 psi
Límite elástico	45.000 psi
Reducción volumétrica	58
Estiramiento en 2"	36
Dureza Brinell	137

ANEXO C: Temperaturas obtenidas durante la experimentación

 <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE MECÁNICA</b> <b>ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL</b> 					
RECOLECCIÓN DE DATOS					
<b>Fecha</b>	03/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h20
<b>N° Probeta</b>	1	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		
EXPERIMENTACIÓN					
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	787,9	11	899,6	21	1032,6
2	798,3	12	921,2	22	1041,3
3	810,1	13	924,0	23	1041,5
4	811,8	14	1002,3	24	1043,7
5	811,8	15	1015,3	25	1052,5
6	815,5	16	1022,7	26	1058,8
7	822,5	17	1026,6	27	1059,4
8	843,0	18	1028,6	28	1060,6
9	859,2	19	1029,4	29	1066,1
10	876,9	20	1030,0	30	1068,6



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h00	<b>Hora final</b>	10h30
<b>N° Probeta</b>	2	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	18,4°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		

EXPERIMENTACIÓN

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	811,9	11	1031,1	21	1057,1
2	815,1	12	1037,0	22	1057,9
3	822,9	13	1041,5	23	1058,5
4	843,0	14	1043,7	24	1058,9
5	874,7	15	1044,9	25	1059,4
6	899,6	16	1046,4	26	1060,4
7	924,2	17	1050,9	27	1060,9
8	926,3	18	1052,5	28	1061,1
9	962,9	19	1054,6	29	1065,6
10	967,2	20	1056,3	30	1066,1



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**



**RECOLECCIÓN DE DATOS**

<b>Fecha</b>	04/02/2022	<b>Hora inicio</b>	12h15	<b>Hora final</b>	12h45
<b>N° Probeta</b>	3	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	30 min
<b>T (amb °C)</b>	21°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		

**EXPERIMENTACIÓN**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	817,7	11	996,7	21	1041,5
2	818,1	12	1010,6	22	1044,9
3	935,9	13	1024,7	23	1045,7
4	947,7	14	1026,6	24	1045,8
5	963,4	15	1028,6	25	1046,4
6	965,5	16	1031,1	26	1049,2
7	967,5	17	1035,6	27	1050,9
8	981,6	18	1037,8	28	1052,6
9	984,4	19	1038,4	29	1053,5
10	990,1	20	1041,3	30	1058,9



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	10h45	<b>Hora final</b>	11h45
<b>N° Probeta</b>	4	<b>Distancia</b>	100 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	19°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		

EXPERIMENTACIÓN

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	811,8	21	1046,6	41	1068,5
2	859,2	22	1047,3	42	1068,9
3	874,4	23	1047,4	43	1069,5
4	921,2	24	1047,8	44	1070,3
5	926,3	25	1048,0	45	1071,5
6	962,0	26	1052,5	46	1071,9
7	967,4	27	1052,5	47	1073,6
8	990,1	28	1053,9	48	1075,3
9	1005,3	29	1056,1	49	1075,6
10	1012,5	30	1056,3	50	1078,4
11	1024,7	31	1057,6	51	1078,6
12	1028,1	32	1059,9	52	1079,5
13	1028,6	33	1060,4	53	1080,5
14	1029,4	34	1061,5	54	1081,5
15	1030,0	35	1062,7	55	1082,8
16	1033,4	36	1063,5	56	1083,8
17	1033,6	37	1064,1	57	1085,3
18	1037,0	38	1067,0	58	1085,9
19	1041,3	39	1067,2	59	1086,8
20	1045,7	40	1067,7	60	1096,7



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>Fecha</b>	05/02/2022	<b>Hora inicio</b>	14h50	<b>Hora final</b>	15h50
<b>N° Probeta</b>	5	<b>Distancia</b>	200 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		

EXPERIMENTACIÓN

Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C
1	822,4	21	1047,3	41	1061,5
2	843,0	22	1049,2	42	1062,2
3	846,0	23	1049,2	43	1062,9
4	865,7	24	1049,2	44	1063,5
5	874,7	25	1050,8	45	1064,5
6	921,2	26	1053,0	46	1065,0
7	926,6	27	1053,4	47	1065,1
8	935,9	28	1054,8	48	1065,7
9	967,3	29	1056,3	49	1066,3
10	990,1	30	1057,1	50	1066,7
11	1018,6	31	1057,8	51	1067,0
12	1020,7	32	1058,2	52	1067,0
13	1022,6	33	1059,4	53	1068,0
14	1023,1	34	1059,4	54	1072,0
15	1026,6	35	1059,9	55	1072,1
16	1029,3	36	1060,6	56	1073,3
17	1031,1	37	1060,6	57	1074,6
18	1033,4	38	1060,6	58	1075,6
19	1034,7	39	1060,7	59	1078,3
20	1039,4	40	1060,9	60	1078,4



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

<b>Fecha</b>	09/02/2022	<b>Hora inicio</b>	11h35	<b>Hora final</b>	12h35
<b>N° Probeta</b>	6	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	60 min
<b>T (amb °C)</b>	24,2°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>	Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus				
<b>Realizado por</b>	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
<b>Revisado por</b>	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				

EXPERIMENTACIÓN

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	803,4	21	1028,1	41	1052,5
2	815,4	22	1030,2	42	1053,0
3	818,5	23	1033,4	43	1053,0
4	822,5	24	1035,6	44	1054,0
5	876,9	25	1036,0	45	1054,8
6	896,6	26	1036,1	46	1056,1
7	921,2	27	1037,0	47	1056,3
8	945,8	28	1037,6	48	1057,9
9	963,3	29	1037,9	49	1059,4
10	984,4	30	1038,7	50	1059,4
11	990,1	31	1038,9	51	1061,5
12	995,7	32	1041,6	52	1062,0
13	996,6	33	1044,6	53	1063,9
14	1007,3	34	1046,5	54	1065,7
15	1015,3	35	1047,4	55	1067,4
16	1018,6	36	1047,9	56	1068,1
17	1019,7	37	1048,5	57	1068,6
18	1023,1	38	1049,0	58	1070,7
19	1025,8	39	1049,8	59	1071,5
20	1027,7	40	1050,8	60	1072,1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha	09/02/2022	Hora inicio	14h35	Hora final	16h05
N° Probeta	7	Distancia	100 mm	Tiempo	90 min
T (amb °C)	23,4 °C	Lugar	Riobamba		
Instrumento de medida	Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus				
Realizado por	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
Revisado por	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				

EXPERIMENTACIÓN

Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C
1	811,8	31	1058,2	61	1079,8
2	814,3	32	1059,5	62	1080,5
3	846,0	33	1059,9	63	1080,5
4	859,2	34	1060,4	64	1080,8
5	876,9	35	1060,7	65	1081,1
6	926,3	36	1060,8	66	1081,5
7	956,2	37	1060,9	67	1081,8
8	962,0	38	1062,9	68	1081,9
9	1002,3	39	1063,9	69	1082,0
10	1005,8	40	1064,1	70	1082,0
11	1007,3	41	1065,7	71	1083,8
12	1022,7	42	1065,8	72	1084,3
13	1028,0	43	1067,2	73	1084,6
14	1028,1	44	1067,4	74	1084,9
15	1028,6	45	1068,6	75	1084,9
16	1028,6	46	1068,6	76	1085,0
17	1029,4	47	1069,8	77	1085,9
18	1030,0	48	1070,7	78	1086,1
19	1033,4	49	1071,0	79	1086,2
20	1038,4	50	1071,5	80	1087,0
21	1041,3	51	1073,5	81	1087,5
22	1045,7	52	1075,1	82	1087,6
23	1052,5	53	1075,2	83	1087,6
24	1053,5	54	1075,4	84	1088,2
25	1053,9	55	1075,6	85	1090,7
26	1054,0	56	1077,0	86	1092,3
27	1054,6	57	1078,1	87	1095,9
28	1054,8	58	1078,9	88	1096,7
29	1056,1	59	1079,1	89	1097,4
30	1056,3	60	1079,5	90	1108,6



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



RECOLECCIÓN DE DATOS

Fecha	10/02/2022	Hora inicio	10h00	Hora final	11h30
N° Probeta	8	Distancia	200 mm	Tiempo	90 min
T (amb °C)	18,4°C	Lugar	Riobamba		
Instrumento de medida	Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus				
Realizado por	Byron Costales, Robinson Gonzaga				
Revisado por	Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo				

EXPERIMENTACIÓN

Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C	Tiempo (min)	Temperatura °C
1	822,5	31	1059,7	61	1070,9
2	843,0	32	1059,9	62	1072,0
3	899,6	33	1060,6	63	1072,1
4	921,2	34	1060,9	64	1072,9
5	924,0	35	1061,0	65	1073,2
6	935,9	36	1061,1	66	1073,6
7	947,7	37	1062,1	67	1073,7
8	967,5	38	1063,2	68	1074,0
9	1008,6	39	1063,2	69	1074,1
10	1035,6	40	1064,1	70	1074,8
11	1037,0	41	1064,4	71	1074,9
12	1043,7	42	1064,5	72	1075,3
13	1047,4	43	1064,7	73	1076,9
14	1050,8	44	1064,9	74	1077,8
15	1050,9	45	1065,0	75	1078,4
16	1050,9	46	1065,2	76	1078,4
17	1052,5	47	1065,5	77	1080,2
18	1053,4	48	1065,6	78	1080,5
19	1054,8	49	1066,0	79	1080,8
20	1057,1	50	1066,1	80	1082,6
21	1057,7	51	1066,1	81	1083,6
22	1057,9	52	1066,3	82	1086,6
23	1058,5	53	1066,6	83	1089,6
24	1058,6	54	1067,0	84	1092,8
25	1058,6	55	1067,1	85	1093,8
26	1058,8	56	1067,9	86	1094,9
27	1058,9	57	1068,0	87	1095,8
28	1059,3	58	1068,2	88	1096,9
29	1059,4	59	1070,0	89	1103,1
30	1059,4	60	1070,3	90	1108,7



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL



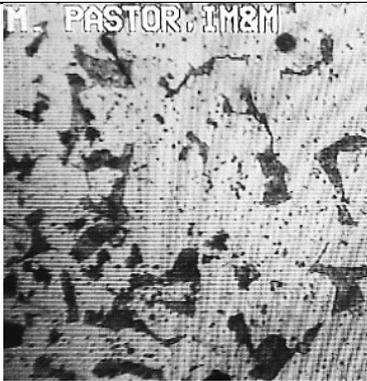
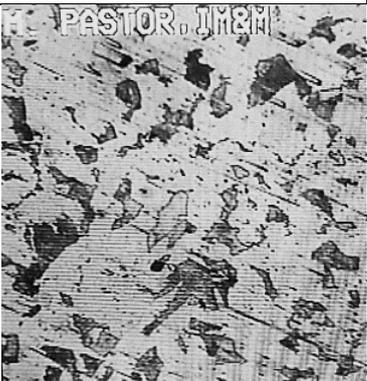
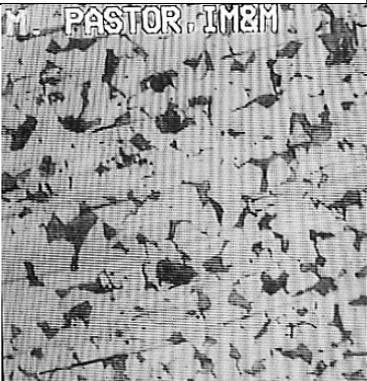
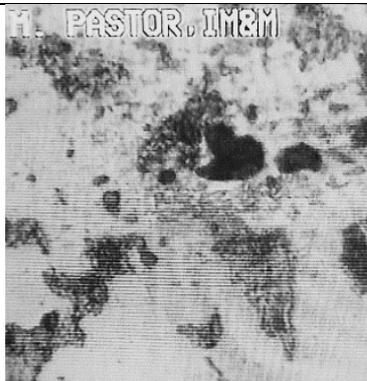
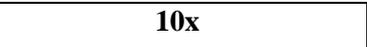
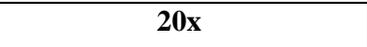
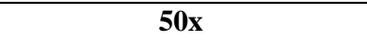
RECOLECCIÓN DE DATOS

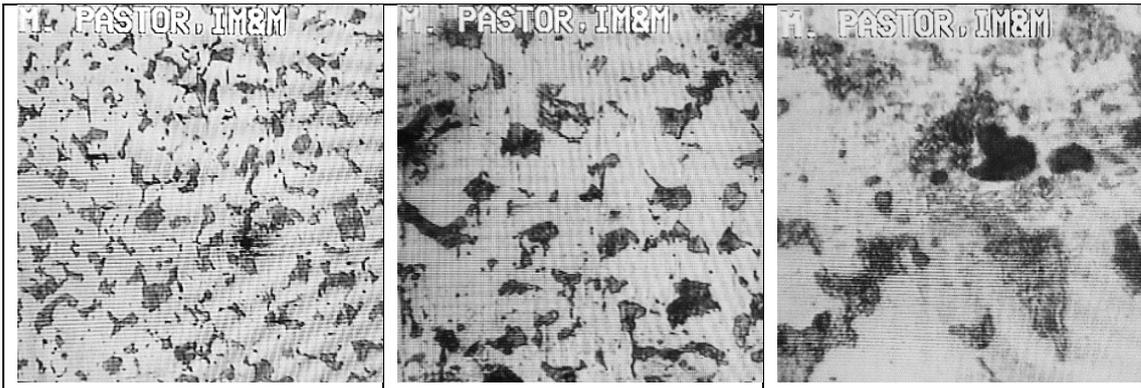
<b>Fecha</b>	10/02/2022	<b>Hora inicio</b>	13h30	<b>Hora final</b>	15h00
<b>N° Probeta</b>	9	<b>Distancia</b>	300 mm	<b>Tiempo</b>	90 min
<b>T (amb °C)</b>	28,6°C	<b>Lugar</b>	Riobamba		
<b>Instrumento de medida</b>			Termómetro infrarrojo Raynger Series 3iPlus		
<b>Realizado por</b>			Byron Costales, Robinson Gonzaga		
<b>Revisado por</b>			Ing. Edison Calderón, Ing. José Granizo		

EXPERIMENTACIÓN

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura °C</b>
1	874,7	31	1038,8	61	1076,5
2	962,9	32	1041,5	62	1078,2
3	963,4	33	1041,5	63	1079,2
4	965,5	34	1043,1	64	1080,3
5	967,2	35	1045,8	65	1080,6
6	981,6	36	1046,4	66	1081,5
7	984,4	37	1047,3	67	1081,8
8	990,1	38	1049,0	68	1082,3
9	995,7	39	1049,2	69	1082,4
10	996,3	40	1049,2	70	1082,5
11	996,7	41	1053,0	71	1083,1
12	1010,6	42	1054,6	72	1083,3
13	1015,3	43	1056,1	73	1083,8
14	1018,6	44	1056,4	74	1084,0
15	1018,8	45	1057,1	75	1084,2
16	1019,7	46	1058,9	76	1084,4
17	1020,7	47	1060,6	77	1084,4
18	1021,6	48	1061,8	78	1084,4
19	1023,1	49	1063,4	79	1084,9
20	1024,7	50	1064,6	80	1085,0
21	1026,6	51	1065,0	81	1085,3
22	1027,7	52	1065,1	82	1085,4
23	1028,6	53	1067,7	83	1085,7
24	1030,2	54	1068,1	84	1085,9
25	1031,1	55	1069,5	85	1086,2
26	1032,6	56	1070,6	86	1087,0
27	1036,0	57	1070,7	87	1088,0
28	1037,0	58	1071,4	88	1088,3
29	1037,8	59	1073,4	89	1089,9
30	1038,7	60	1075,8	90	1092,3

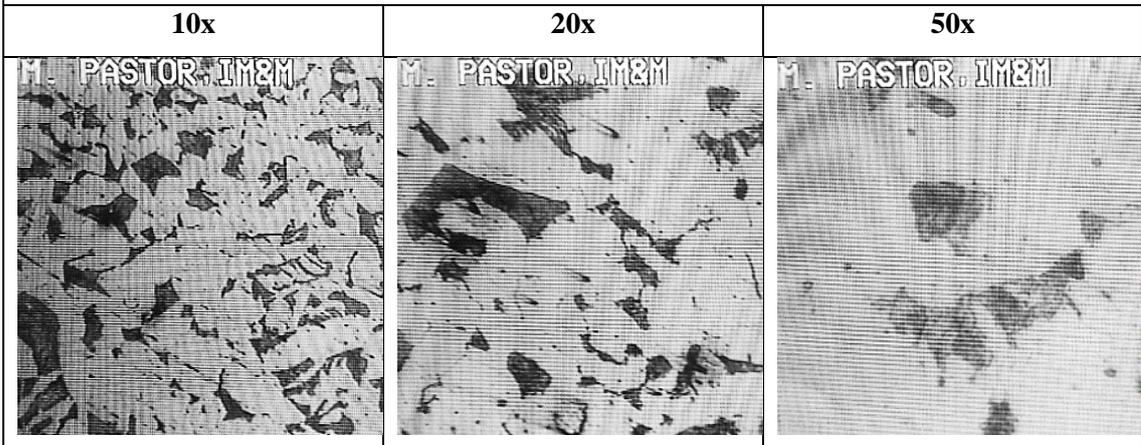
**ANEXO D: Metalografías mediante el microscopio óptico**

<b>RESUMEN METALOGRAFÍAS</b>		
<b>Tiempo de exposición 0 minutos</b>		
<b>10 x</b>	<b>20 x</b>	<b>50 x</b>
		
<b>Tiempo de exposición 30 minutos</b>		
<b>Distancia 100 mm</b>		
<b>10x</b>	<b>20x</b>	<b>50x</b>
		
<b>Distancia 200 mm</b>		
<b>10x</b>	<b>20x</b>	<b>50x</b>
		
<b>Distancia 300 mm</b>		
<b>10x</b>	<b>20x</b>	<b>50x</b>
		

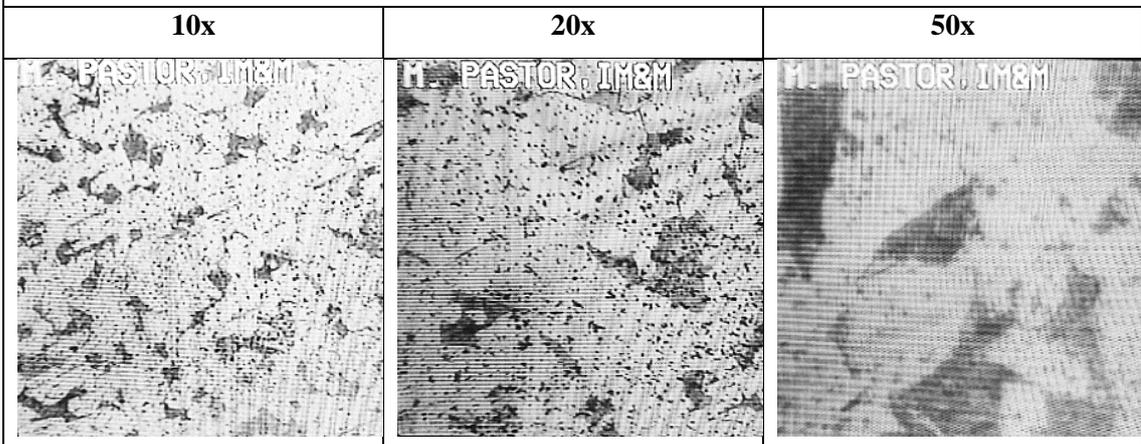


**Tiempo de exposicion 60 minutos**

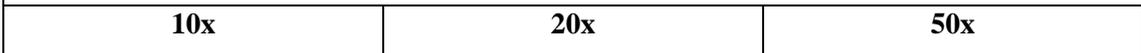
**Distancia 100 mm**



**Distancia 200 mm**



**Distancia 300 mm**





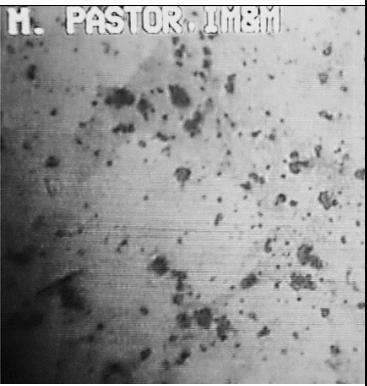
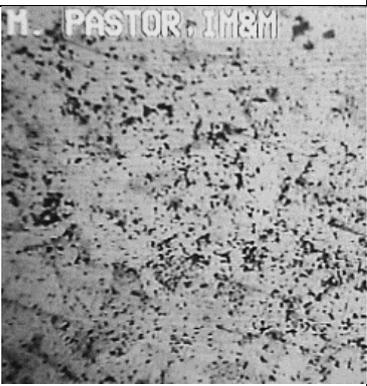
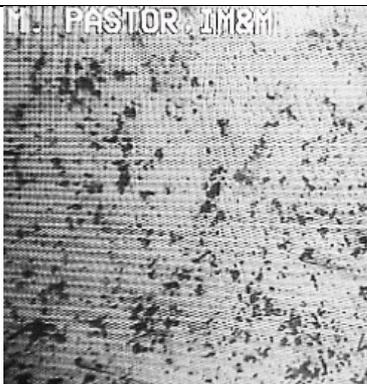
**Tiempo de exposicion 90 minutos**

**Distancia 100 mm**

**10x**

**20x**

**50x**

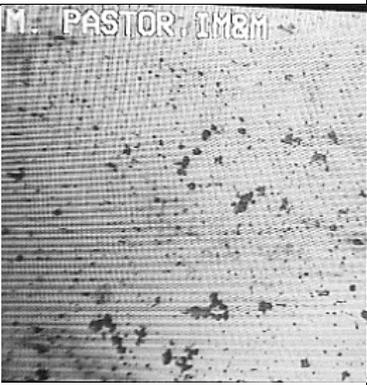
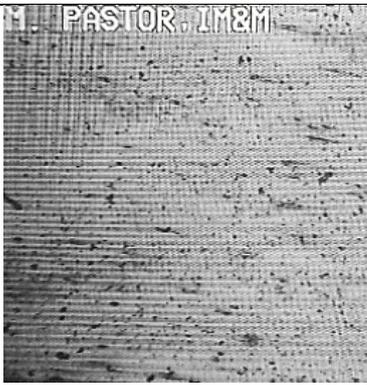


**Distancia 200 mm**

**10x**

**20x**

**50x**



**Distancia 300 mm**

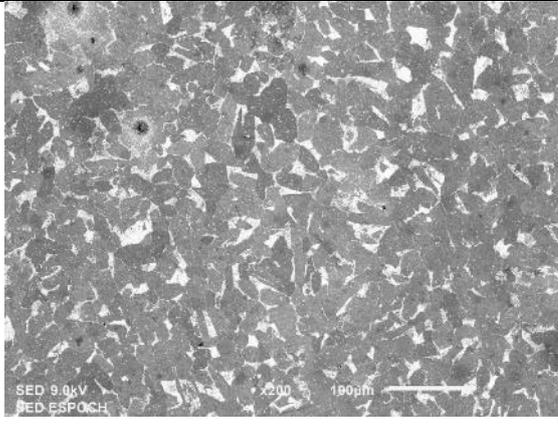
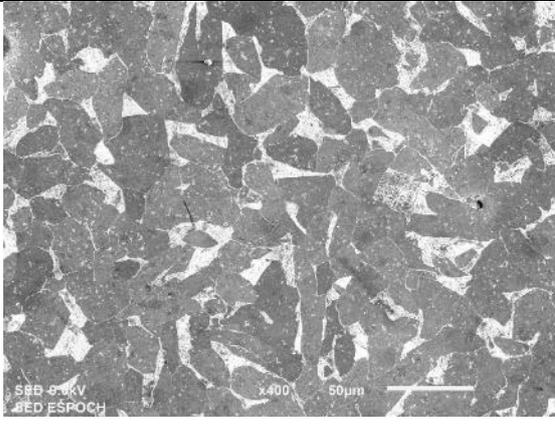
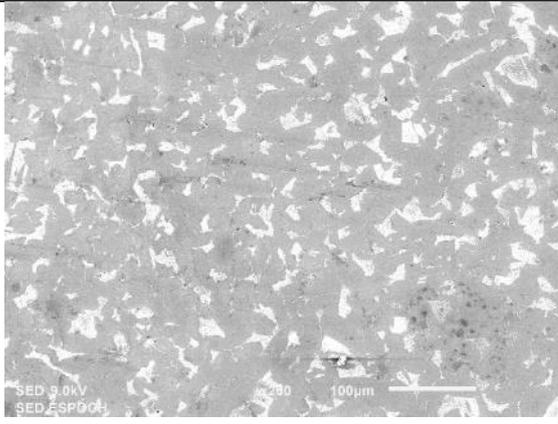
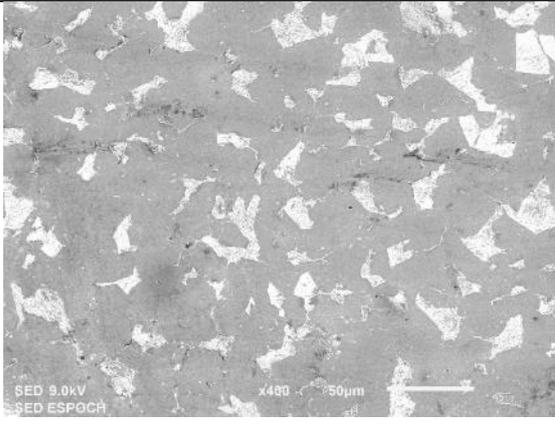
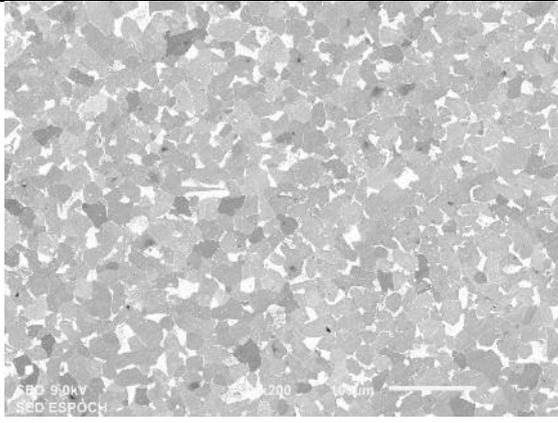
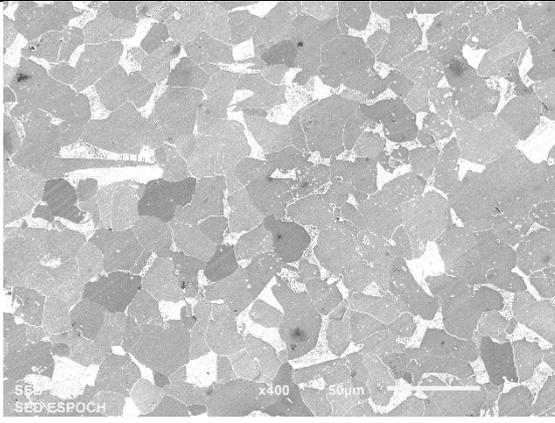
**10x**

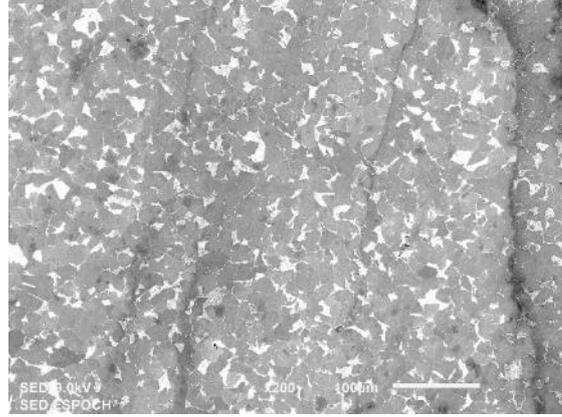
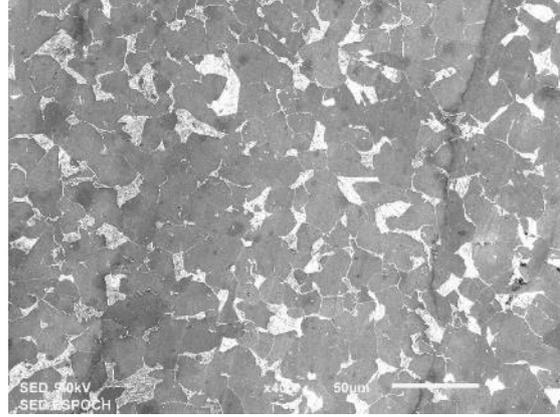
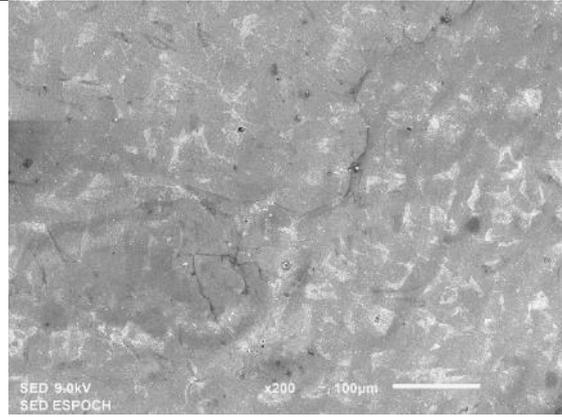
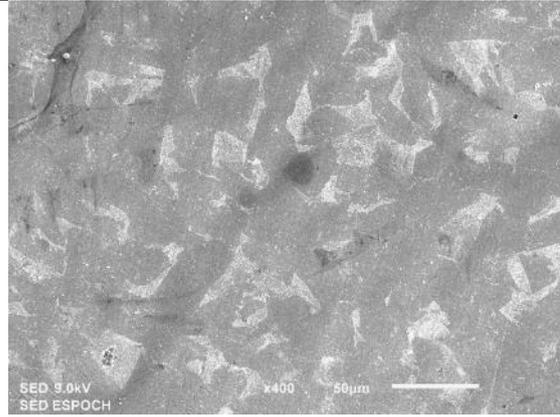
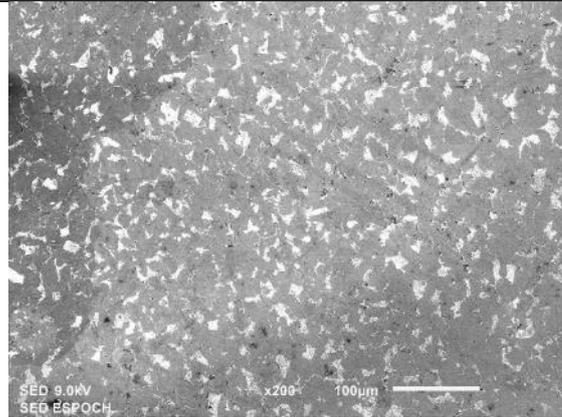
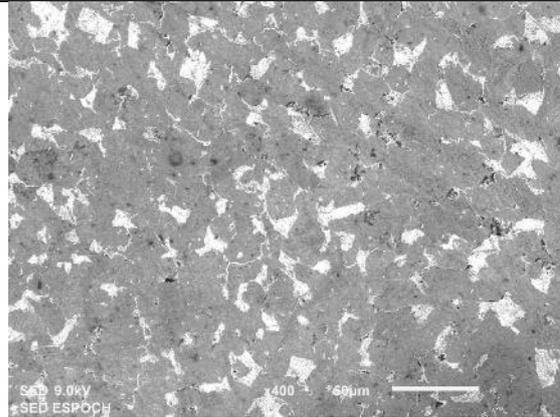
**20x**

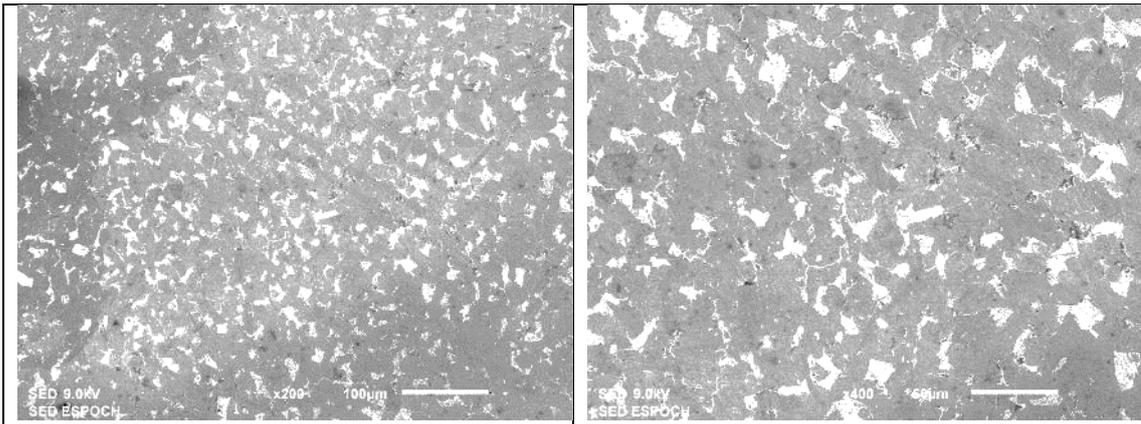
**50x**



**ANEXO E: Metalografías mediante el microscopio electrónico de barrido**

<b>RESUMEN METALOGRAFÍAS</b>	
<b>Tiempo de exposición 0 minutos</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	
<b>Tiempo de exposición 30 minutos</b>	
<b>Distancia de 100 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	
<b>Distancia de 200 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	

<b>Distancia de 300 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	
<b>Tiempo de exposición 60 minutos</b>	
<b>Distancia de 100 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	
<b>Distancia de 200 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>
	
<b>Distancia de 300 mm</b>	
<b>200 x</b>	<b>400 x</b>

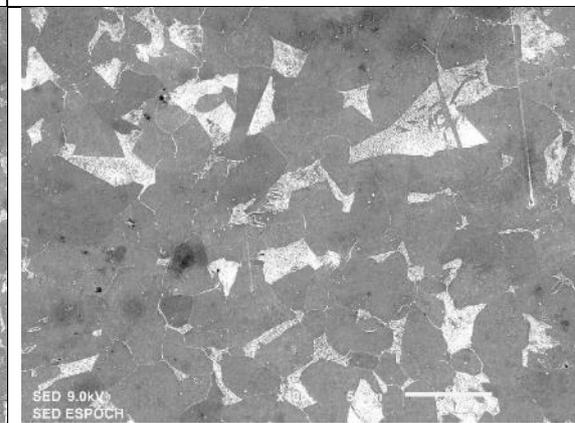
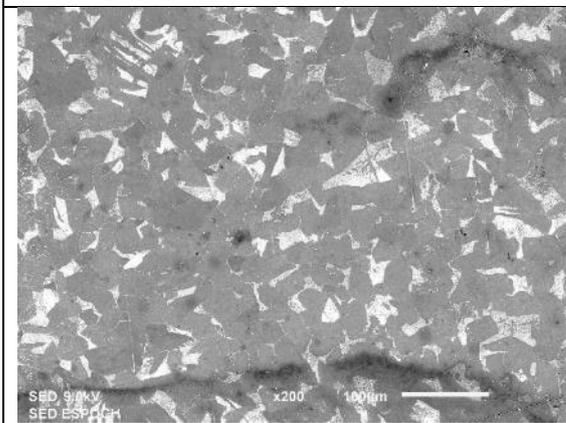


**Tiempo de exposición 90 minutos**

**Distancia de 100 mm**

**200 x**

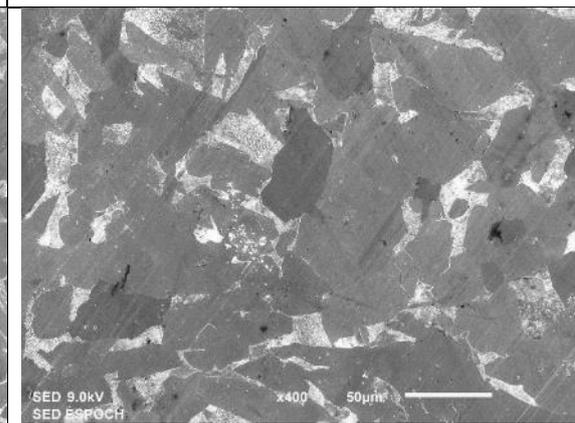
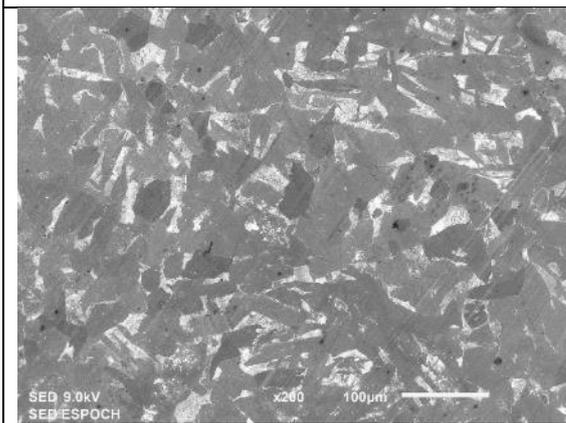
**400 x**



**Distancia de 200 mm**

**200 x**

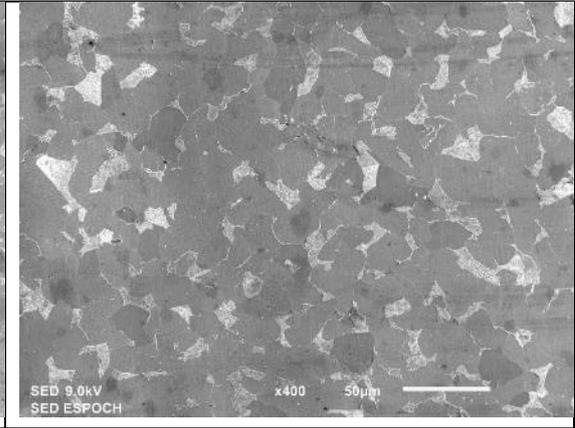
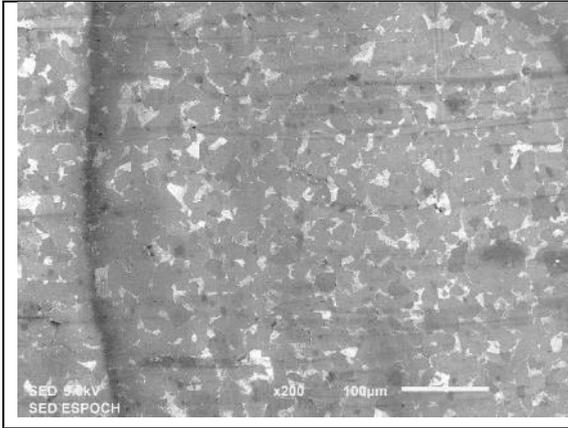
**400 x**



**Distancia de 300 mm**

**200 x**

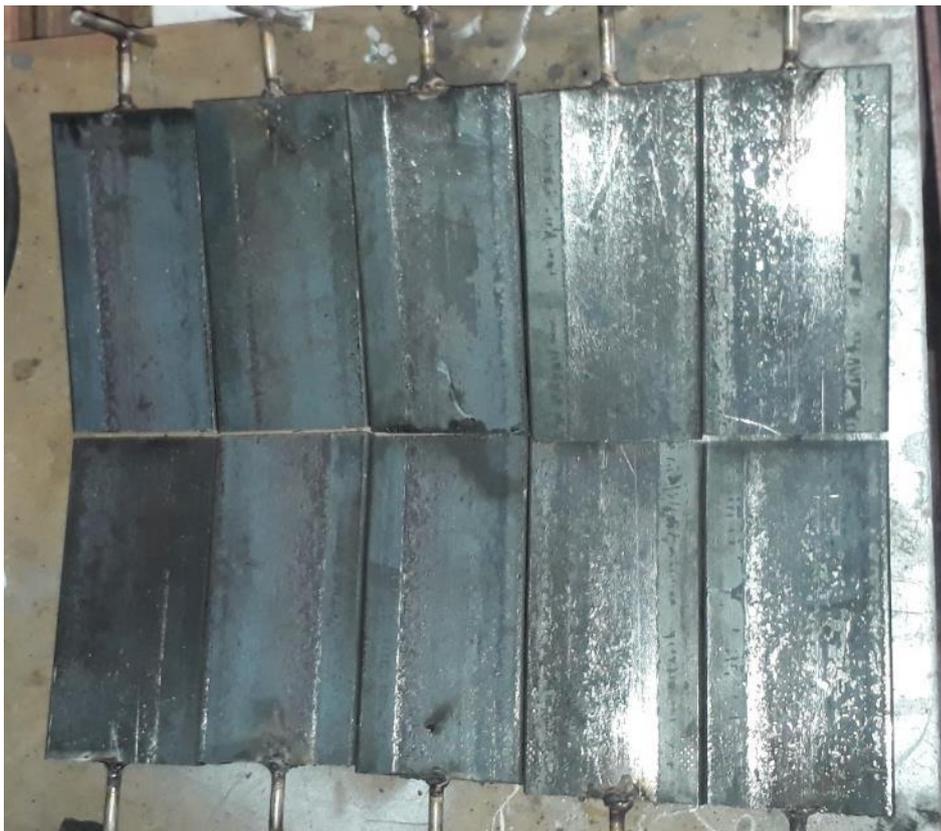
**400 x**



**ANEXO F:** Construcción del módulo de análisis para la investigación



**ANEXO G:** Probetas antes de la exposición a las altas temperaturas



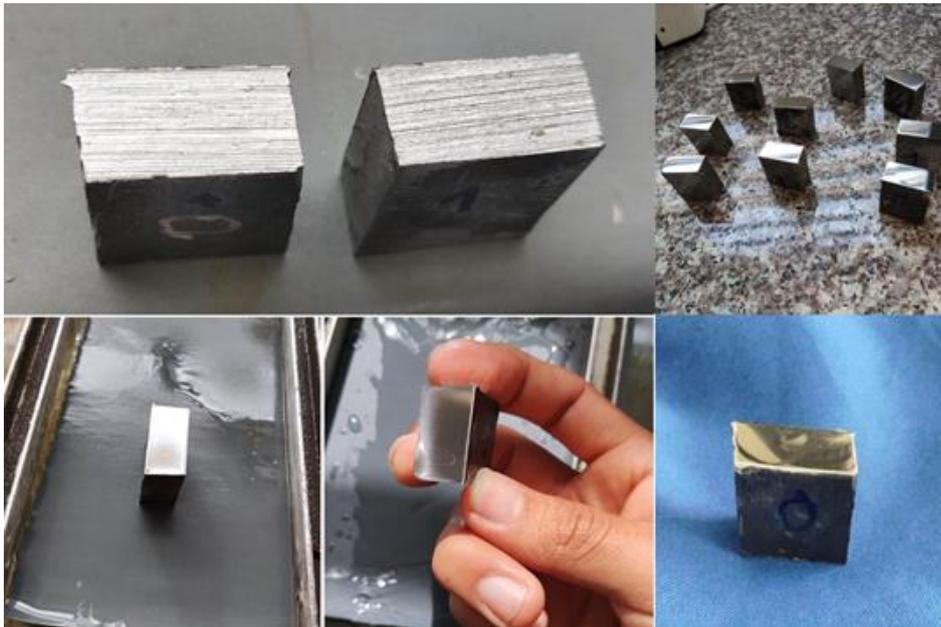
**ANEXO H:** Toma de temperaturas ambientes obtenidas antes de la experimentación



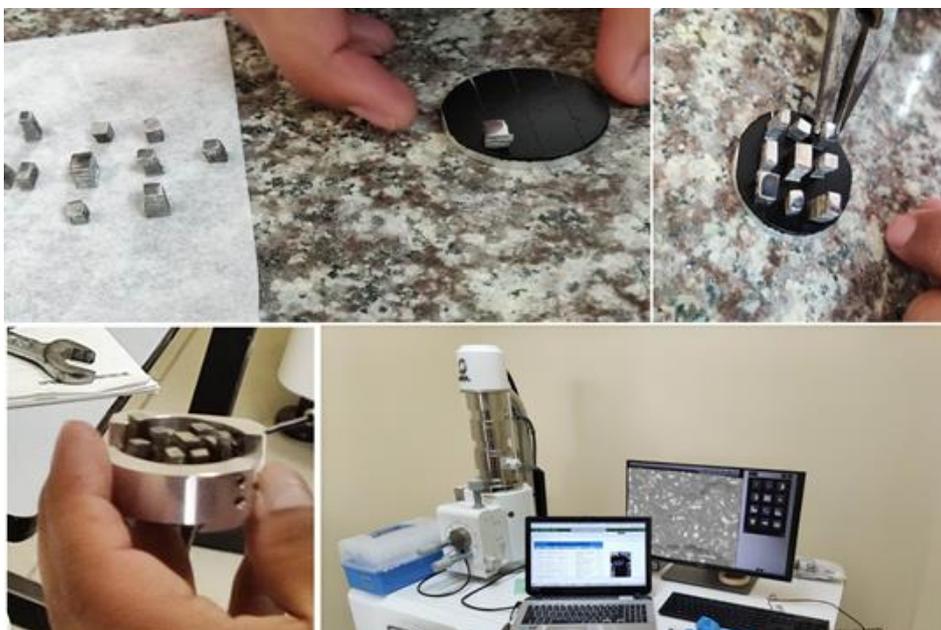
**ANEXO I:** Toma de temperaturas máximas obtenidas durante la experimentación



**ANEXO J:** Muestras para el análisis metalográfico por el microscopio óptico



**ANEXO K:** Muestras para el análisis metalográfico por el microscopio electrónico de barrido  
SEM



**ANEXO L:** Exposición de las probetas al fuego



**ANEXO M:** Proceso de enfriamiento por aire a temperatura ambiente de las probetas después de la exposición a las altas temperaturas



**ANEXO N: Ensayo de dureza Brinell**



**ANEXO O: Análisis metalográfico**



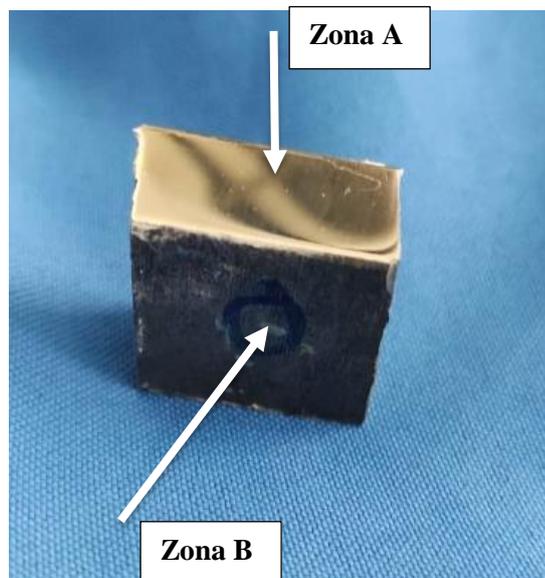
**ANEXO P:** Distancias de las probetas con respecto al cañón del quemador



**ANEXO Q:** Centrado de la probetas en la cámara de combustión

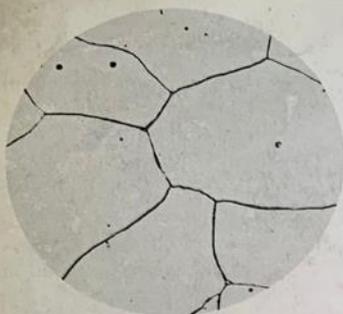


**ANEXO R:** Zonas de la probeta para la experimentación de dureza

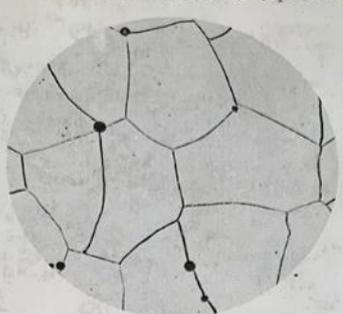


# ANEXO S: Tamaños comunes de granos ASTM

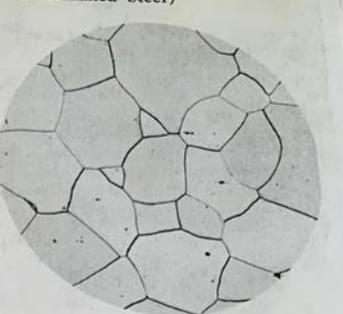
Common Grain Sizes of Low-Carbon Sheet Steel (Specimens Are Rimmed Steel)



Nital 100×  
1 Nominal ASTM grain size No. 1  
(specimen shown has a calculated grain size of 1.17)



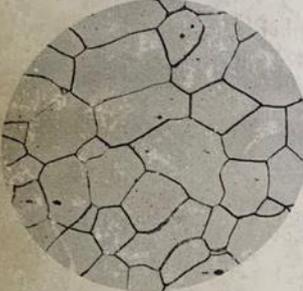
Nital 100×  
2 Nominal ASTM grain size No. 2  
(specimen shown has a calculated grain size of 2)



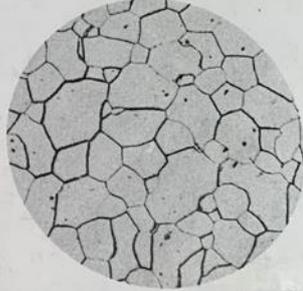
Nital 100×  
3 Nominal ASTM grain size No. 3  
(specimen shown has a calculated grain size of 2.95)

**Nominal Number of Grains per Square Millimeter (at 1×) and per Square Inch (at 100×) for the Ten Grain Sizes Shown**

Grain-size No.	Nominal number of grains		Grain-size No.	Nominal number of grains	
	Per sq mm at 1×	Per sq in. at 100×		Per sq mm at 1×	Per sq in. at 100×
<b>ASTM Grain Sizes (ASTM E112)</b>					
1	15.5	1.0	<b>Calculated Grain Sizes Shown</b>		
2	31.0	2.0	1.17	17.4	1.13
3	62.0	4.0	2	31.0	2.00
4	124	8.0	2.95	59.9	3.86
5	248	16.0	4.04	128	8.23
6	496	32.0	4.98	245	15.8
7	992	64.0	6.08	524	33.8
8	1980	128	7.13	1090	70.0
9	3970	256	8.03	2030	131
10	7940	512	8.97	3890	251
			10	7940	512



Nital 100×  
4 Nominal ASTM grain size No. 4  
(specimen shown has a calculated grain size of 4.04)



Nital 100×  
5 Nominal ASTM grain size No. 5  
(specimen shown has a calculated grain size of 4.98)



Nital 100×  
6 Nominal ASTM grain size No. 6  
(specimen has a calculated grain size of 6.08)



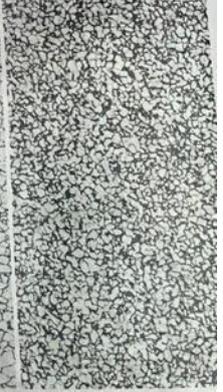
Nital 100×  
7 Nominal ASTM grain size No. 7  
(specimen has a calculated grain size of 7.13)



Nital 100×  
8 Nominal ASTM grain size No. 8  
(specimen has a calculated grain size of 8.03)



Nital 100×  
9 Nominal ASTM grain size No. 9  
(specimen has a calculated grain size of 8.97)



Nital 100×  
10 Nominal ASTM grain size No. 10  
(specimen has a calculated grain size of 10)

Standard methods for estimating the average grain size of metals are presented in ASTM E112, together with formulas for calculating grain size and a table of size relationships for all ASTM grain-size numbers (00 to 14.0, with half sizes).