

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÀNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: Análisis del comportamiento mecánico del acero estructural ASTM A36 recubierto con materiales ignífugos luego que han sido sometidos a altas temperaturas.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas.

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo.

Autora: Ing. Civil Ivonne Alexandra Núñez Acosta.

Director: Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.

Ambato – Ecuador

2025

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad/Centro

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg , e integrado por los señores: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Phd e Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg, designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 RECUBIERTO CON MATERIALES IGNÍFUGOS LUEGO QUE HAN SIDO SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS" elaborado y presentado por la señorita Ing. Ivonne Alexandra Núñez Acosta para optar por el Titulo de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg

Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Phd

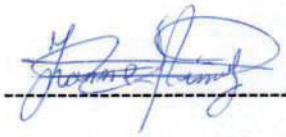
Miembro del Tribunal

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

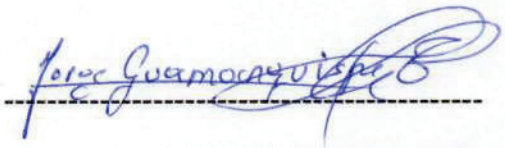
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36 RECUBIERTO CON MATERIALES IGNÍFUGOS LUEGO QUE HAN SIDO SOMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS", le corresponde exclusivamente a: Ing. Ivonne Alexandra Núñez Acosta, Autora bajo la Dirección de Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg , Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Ivonne Alexandra Núñez Acosta

C.C.:1804634150

AUTORA



Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.

C.C.: 1802039485

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Ing. Ivonne Alexandra Núñez Acosta

C.C.: 1804634150

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA…….……..…….....i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad/Centro…….ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS v
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE FIGURAS..... xiv
AGRADECIMIENTO xvi
DEDICATORIA xvii
RESUMEN EJECUTIVO..... xviii
EXECUTIVE SUMMARY xix
CAPÍTULO I 1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1
1.1. Introducción 1
1.2. Justificación 1
1.3. Objetivos..... 3
1.3.1. General 3
1.3.2. Específicos..... 3
CAPITULO II 4
MARCO TEÓRICO..... 4
2.1. Antecedentes investigativos 4
2.2. Fundamentación científica..... 16
2.2.1. Aceros estructurales 16
2.2.2. Acero A36..... 17
2.2.3. Protección contra incendios 18
2.2.3.1. Protección pasiva 18
2.2.3.2. Teoría de la pintura ignifuga intumescente..... 18
2.2.3.3. Comportamiento de los revestimientos ignífugos intumescentes. 19
2.2.3.4. Composición de la intumescencia ignifuga. 19
2.2.4. Masividad..... 20
2.2.5. Aplicación de la pintura intumescente ignifuga..... 20
2.2.5.1. Para la aplicación 20

2.2.5.2. Preparación de superficie a proteger 21
2.2.5.3. Primera capa: imprimante 21
2.2.5.4. Segunda capa: pintura ignífuga intumescente 21
2.2.5.5. Tercera capa: sellador en caso que la pintura este en exteriores... 23
2.2.6. Problemas y riesgos asociados con la falta de recubrimiento 23
2.3. Ensayos aplicados 24
2.3.1. Ensayo de metalografía 24
2.3.2. Ensayo de Dureza Brinell 25
2.3.3. Ensayo de tracción 26
2.3.3.1. Esfuerzo de tracción de una probeta expuesta al fuego sin recubrimiento.. 28
2.3.4. Normas de referencia 29
2.3.5. Selección de las probetas 29
2.3.5.1. Norma ISO 12944 29
2.3.5.2. Norma ASTM A370 30
2.3.5.3. Norma ASTM E119-24: Métodos de prueba estándar para pruebas de fuego de materiales y construcciones de edificios 31
2.3.5.4. Norma ASTM E112. Evaluación del Tamaño de Grano. 31
2.3.5.5. Norma ISO 12944-9. Protección Contra el Fuego. 31
2.3.5.6. Norma ASTM E10-23: Ensayo de Dureza Brinell 32
CAPITULO III 33
MARCO METODOLÓGICO 33
3.1. Tipo de investigación 33
3.2. Población o muestra: 34
3.3. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender 34
3.4. Recolección de información 34
2.3.6. Probetas de acero al carbono ASTM A36 35
2.3.7. Procedimiento para recubrir 36
2.3.8. Descripción de los equipos utilizados 37
2.3.9. Ensayo de dureza Brinell 37
2.3.10. Ensayo de espesor de pintura 43
2.3.11. Proceso para la determinación del espesor 43
2.3.12. Ensayo a tracción Norma ASTM A370 43
2.3.13. Ensayos metalográfico acero ASTM A36 45

3.5. Procesamiento de la información y análisis estadístico:..... 48
CAPITULO IV..... 49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
4.1. Procedimiento adecuado para el recubrimiento del acero con materiales ignífugos ……49
4.1.1. Información respecto a pinturas ignifugas intumescentes en acero ASTM A36 ……49
4.1.1.1. Proceso de investigación y selección de pinturas ignífugas. 49
4.1.1.2. Características de las Pinturas Intumescentes Seleccionadas 54
4.1.1.3. Espesores de pintura 55
4.1.1.4. Cálculo de la masividad probetas planas E-65, P+25 y X-50..... 56
4.1.1.5. Cálculo masividad probetas rectangulares E-65, P-25 y X-50. 57
4.1.1.6. Exposición al fuego de probetas. 58
4.1.1.7. Ensayo Metalográfico. 85
4.1.2. Porcentaje de carbono por recubrimiento 104
4.1.2.1. Ensayo de dureza Brinell probetas rectangulares 107
4.1.2.2. Ensayo de dureza Brinell probetas planas sin tiempo especifico 116
4.1.3. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pinturas (E65, P25 y X50) y sin recubrimiento. 125
4.1.4. Análisis de la dureza probetas planas recubiertas con pinturas (E65, P25 y X50) y sin recubrimiento. 127
4.1.4.1. Ensayo de tracción 128
4.2. Acero estructural recubierto con material ignífugo X50 a temperaturas variables de 600, 800 hasta 1000 135
4.2.1.1. Espesores de pintura probetas X-50..... 135
4.2.1.2. Masividad de las probetas X-50..... 135
4.2.2. Cámara termográfica..... 138
4.2.3. Ensayo metalográfico con recubrimiento X50 para 30, 45 y 60 minutos ……..150
4.2.10. Ensayo de dureza probetas rectangulares..... 156
4.2.8. Ensayo de tracción probetas recubiertas con X-50. 168
4.3. Propiedades mecánicas del material expuesto al fuego a diferentes tiempos ……..174
4.3.1 Análisis del porcentaje de carbono 174
4.3.8. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pintura X50 y sin recubrimiento..... 177

4.3.9. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pintura X50 y sin recubrimiento. 178
4.3.10. Análisis Esfuerzo deformación de probetas con y sin recubrimiento 180
4.4. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender 184
4.4.1. Comprobación de hipótesis 184
4.5. Discusión 184
CAPÍTULO V 186
5.1. Conclusiones 186
5.2. Recomendaciones 186
5.3 BIBLIOGRAFÍA 188
5.4 ANEXOS 192
CAPÍTULO VI 210
6.1. Título 210
6.2. Descripción 210
6.3. Desarrollo de la propuesta 211
6.4. Cronograma 212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de aceros estructurales [26]..... 16

Tabla 2. Propiedades químicas del acero ASTM A36 Planchas Laminadas al Caliente. [26]..... 17

Tabla 3. Descripción de las propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [26]. 18

Tabla 4. Ensayo metalográfico del acero A36 expuesto a altas temperaturas sin recubrimiento. 25

Tabla 5. Datos de dureza de Brinell del acero A36 sometido a altas temperaturas sin recubrimiento. [29]..... 26

Tabla 6. Coeficientes derivados de la temperatura para acero A36. 29

Tabla 7. Dureza del material medido [26] 41

Tabla 8. Equipos utilizados..... 41

Tabla 9. Código de patente ecuación 4 50

Tabla 10. Cuadro comparativo: tiempo de secado y mezclado..... 54

Tabla 11. Resultados de los espesores de pintura medidos con el endoscopio.... 55

Tabla 12. Termografía de la probeta E 65 a 600 °C a 3 min 58

Tabla 13.Termografía de la probeta E 65 a 800 °C a 4 min 60

Tabla 14. Termografía de la probeta E 65 A 1000°C a 5 min 62

Tabla 15. Termografía de la probeta P25 A 600°C a 3 min..... 64

Tabla 16. Termografía de la probeta P25 A 800°C a 4 min..... 66

Tabla 17. Termografía de la probeta P25 A 1000°C a 5 min..... 68

Tabla 18. Termografía de la probeta X-50 A 600°C a 3 min..... 70

Tabla 19. Termografía de la probeta X-50 A 800°C a 4 min..... 72

Tabla 20. Termografía de la probeta X-50 A 1000°C a 5 min..... 74

Tabla 21. Termografía de la probeta E65 A 600°C a 3 min 76

Tabla 22. Termografía de la probeta E65 A 800°C a 4 min 77

Tabla 23. Termografía de la probeta E65 A 1000°C a 5 min 78

Tabla 24. Termografía de la probeta P25 A 600°C a 3 min..... 79

Tabla 25. Termografía de la probeta P25 A 800°C a 4 min..... 80

Tabla 26. Termografía de la probeta P25 A 1000°C a 5 min..... 81

Tabla 27. Termografía de la probeta X-50 A 600°C a 3 min..... 82

Tabla 28. Termografía de la probeta X-50 A 800°C a 4 min..... 83

Tabla 29. Termografía de la probeta X-50 A 1000°C a 5 min..... 84

Tabla 30. Ensayo metalográfico 1..... 85

Tabla 31. Ensayo metalográfico 2..... 87

Tabla 32. Ensayo metalográfico 3..... 88

Tabla 33. Ensayo metalográfico 4..... 89

Tabla 34. Ensayo metalográfico 5..... 90

Tabla 35. Ensayo metalográfico 6..... 91

Tabla 36. Ensayo metalográfico 7..... 92

Tabla 37. Ensayo metalográfico 8..... 93

Tabla 38. Ensayo metalográfico 9..... 94

Tabla 39. Ensayo metalográfico 10..... 95

Tabla 40. Ensayo metalográfico 11..... 96

Tabla 41. Ensayo metalográfico 12..... 97

Tabla 42. Ensayo metalográfico 13..... 98

Tabla 43. Ensayo metalográfico 14..... 99

Tabla 44. Ensayo metalográfico 15..... 100

Tabla 45. Ensayo metalográfico 16..... 101

Tabla 46. Ensayo metalográfico 17..... 102

Tabla 47. Ensayo metalográfico 18 103

Tabla 48. Regla de la palanca 104

Tabla 49. Porcentajes de carbono por temperatura ficha técnica 104

Tabla 50. Porcentajes de carbono por temperatura 105

Tabla 51. Ensayo de dureza probetas rectangulares 1 107

Tabla 52 Ensayo de dureza probetas rectangulares 2 108

Tabla 53. Ensayo de dureza probetas rectangulares 3 109

Tabla 54. Ensayo de dureza probetas rectangulares 4 110

Tabla *55*. Ensayo de dureza probetas rectangulares 5 111

Tabla 56. Ensayo de dureza probetas rectangulares 6 112

Tabla 57. Ensayo de dureza probetas rectangulares 7 113

Tabla *58*. Ensayo de dureza probetas rectangulares 8 114

Tabla *59*. Ensayo de dureza probetas rectangulares 9 115

Tabla 60. Ensayo de dureza 1 116

Tabla *61*. Ensayo de dureza 2 117

Tabla 62.Ensayo de dureza 3 118

Tabla *63*. Ensayo de dureza 4 119

Tabla 64. Ensayo de dureza 4 120

Tabla *65*. Ensayo de dureza 6 121

Tabla 66. Ensayo de dureza 7 122

Tabla 67. Ensayo de dureza 8 123

Tabla 68. Ensayo de dureza 9 124

Tabla 69. Análisis de dureza probetas rectangulares 125

Tabla 70. Análisis de dureza probetas planas 127

Tabla 71. Ensayo de tracción a 600°C 129

Tabla 72. Ensayo de tracción a 800°C 131

Tabla 73. Ensayo de tracción a 1000°C 133

Tabla 74. Espesores de las probetas medidas con el endoscopio..... 135

Tabla 75. Ensayo termográfico 1-2 138

Tabla 76. Ensayo termográfico 3-4 140

Tabla 77. Ensayo termográfico 5-6 142

Tabla 78. Ensayo termográfico 1-2 144

Tabla 79. Ensayo termográfico 3-4 146

Tabla 80. Ensayo termográfico 5-6 148

Tabla 81. Ensayo metalográfico 1 150

Tabla 82. Ensayo metalográfico 2 151

Tabla 83. Ensayo metalográfico 3 152

Tabla *84*. Ensayo metalográfico 4 153

Tabla 85. Ensayo metalográfico 5 154

Tabla 86. Ensayo metalográfico 6 155

Tabla 87. Ensayo de dureza probetas rectangulares 1 156

Tabla *88*. Ensayo de dureza probetas rectangulares 2 157

Tabla 89. Ensayo de dureza probetas rectangulares 3 158

Tabla 90. Ensayo de dureza probetas rectangulares 4 159

Tabla 91. Ensayo de dureza probetas rectangulares 5 160

Tabla 92. Ensayo de dureza probetas rectangulares 6 161

Tabla 93. Ensayo de dureza 1 162

Tabla 94. Ensayo de dureza 2 163

Tabla 95. Ensayo de dureza 3 164

Tabla 96. Ensayo de dureza 4 165

Tabla 97. Ensayo de dureza 5 166

Tabla 98. Ensayo de dureza 6 167

Tabla 99. Ensayo de tracción a 600°C 168

Tabla 100. Ensayo de tracción a 800°C 170

Tabla 101. Ensayo de tracción a 1000°C 172

Tabla 102. Regla de la palanca Acero A36..... 174

Tabla 103. Análisis de porcentaje de Carbono..... 174

Tabla 104. Análisis de porcentaje de Carbono..... 175

Tabla 105. Análisis de porcentaje de Carbono..... 176

Tabla 106. Análisis de dureza recubierta con pintura 177

Tabla 107. Análisis de probetas planas con recubrimiento..... 178

Tabla 108. Curva Temperatura Vs. Esfuerzo..... 180

Tabla 109. Curva Tiempo Vs. Esfuerzo..... 181

Tabla 110. Curva Temperatura Vs. Porcentaje de elongación..... 182

Tabla 111. Tiempo Vs. Porcentaje de elongación..... 183

Tabla 112. Comprobación de hipótesis..... 184

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Reacción de la pintura Vs la temperatura [27]. 19

Fig. 2. Explicación de la composición [5] 20

Fig. 3. Aplicación de un sistema intumescente [5] 23

Fig. 4. Curva Esfuerzo Vs Deformación. 27

Fig. 5. Curvas Esfuerzo deformación para aceros según la temperatura. 28

Fig. 6. Probeta de la norma ISO12944 30

Fig. 7. Norma ASTM A370 30

Fig. 8. Probetas planas y rectangulares para los ensayos 35

Fig. 9. Probetas planas y rectangulares para los ensayos 35

Fig. 11. Limpieza mecánica 36

Fig. 12. Aplicación del recubrimiento imprimación (primer) 36

Fig. 13. Curado y secado del recubrimiento 37

Fig. 14. Pulido de las probetas 37

Fig. 15. Configuración de la carga aplicada 38

Fig. 16. Colocación de la probeta 38

Fig. 17. Colocación del identador 38

Fig. 18. Aplicación de la precarga 39

Fig. 19. Aplicación de carga nominal 39

Fig. 20. Proceso de medición 39

Fig. 21. Análisis del microscopio 40

Fig. 22. Análisis con el catálogo del fabricante 40

Fig. 23. Medición del espesor de la placa de acero ASTM A36. 43

Fig. 24. Probetas para ensayo a Tracción 44

Fig. 25. Máquina de corte de precisión 45

Fig. 26. Pasador cortado 45

Fig. 27. Prensa Hidráulica..... 46

Fig. 28. Banco de Lijas 46

Fig. 29. Pulidora metalográfica 47

Fig. 30. Químicos 47

Fig. 31. Microscopio metalográfico..... 48

Fig. 32. Dimensiones de la probeta plana..... 56

Fig. 33. Dimensiones de la probeta rectangular..... 57

Fig. 34. Relación tiempo - %Carbono 105

Fig. 35. Resultados de la dureza de Brinell probetas rectangulares 126

Fig. 36. Resultados de la dureza de Brinell probetas planas..... 128

Fig. 37. Dimensiones de la probeta plana..... 135

Fig. 38. Dimensiones de la probeta rectangular..... 136

Fig. 39. Porcentaje de Carbono Vs Temperatura..... 175

Fig. 40. Porcentaje de Carbono Vs Tiempo..... 176

Fig. 41. Comparación de las probetas con y sin recubrimiento..... 177

Fig. 42. Comparación de las probetas con y sin recubrimiento..... 179

Fig. 43. Curva Temperatura Vs. Esfuerzo 180

Fig. 44. Curva Tiempo Vs. Esfuerzo 181

Fig. 45. Curva Temperatura Vs. Porcentaje de elongación 182

Fig. 46. Curva Tiempo Vs. Porcentaje de elongación 183

AGRADECIMIENTO

En este momento de culminación, deseo expresar mi profunda gratitud a aquellos que hicieron posible la realización de esta tesis. En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza, la determinación y la sabiduría necesarias para completar este importante capítulo de mi educación. Su paz y su luz me han guiado en este camino.

A mis queridos padres, Rodrigo Núñez y Lourdes Acosta, les agradezco profundamente por su amor incondicional, su aliento constante y su inquebrantable confianza en mí. Desde mis primeros pasos en la educación hasta este momento crucial en mi vida académica, siempre han estado a mi lado, brindándome el apoyo emocional y financiero necesario para alcanzar mis metas. No puedo expresar completamente mi agradecimiento por todo lo que han hecho por mí. Esta tesis no habría sido posible sin su apoyo inquebrantable

A mi tutor, Ingeniero Jorge Guamanquispe, por su orientación experta y su paciencia inquebrantable. Sus consejos y conocimientos han sido fundamentales en la realización de esta tesis.

Con amor y gratitud,

Ivonne Núñez.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis queridos padres, Lourdes Acosta y Rodrigo Núñez, gracias por enseñarme el valor del conocimiento y el esfuerzo. Su confianza en mí me ha impulsado a alcanzar mis metas ya convertirme en la persona que soy hoy. Este trabajo es un testimonio de su amor y dedicación, les agradezco desde lo más profundo de mi corazón por siempre estar a mi lado en este viaje académico. Sin su amor y apoyo, nada de esto sería posible.

Su ejemplo de sacrificio, dedicación y perseverancia ha sido una fuente constante de inspiración para mí. Cada día, me han demostrado que con esfuerzo y determinación se pueden superar los obstáculos y alcanzar los sueños. Su apoyo moral, sus palabras de aliento y sus abrazos en los momentos de duda me han impulsado a seguir adelante.

Aunque este logro lleva mi nombre, sé que es un reflejo del amor y el apoyo que he recibido de ustedes a lo largo de los años. Espero que este trabajo sea un testimonio de mi gratitud hacia ustedes y de mi compromiso continuo de honrar el legado que me han transmitido.

Los amo profundamente y les agradezco desde lo más profundo de mi corazón, este logro es también suyo.

Con Amor y Cariño,

Ivonne Núñez.

RESUMEN EJECUTIVO

En Ecuador, el acero ASTM A36 es ampliamente utilizado en estructuras metálicas por su resistencia y ductilidad, aunque pierde propiedades mecánicas a altas temperaturas, como en incendios. Si bien se emplean recubrimientos ignífugos como protección pasiva, existe escasa investigación local sobre su efectividad en este tipo de acero, lo que representa una brecha crítica en materia de seguridad estructural. Esta investigación se basó en las normas ISO 12944 y E119-24 para establecer los requisitos de pruebas térmicas.

Mediante una metodología experimental, precedida por un análisis documental y de patentes, se identifican pinturas ignífugas disponibles en el país. Se aplicaron tres formulaciones distintas sobre probetas de acero ASTM A36, que fueron sometidas a temperaturas de 600 °C, 800 °C y 1000 °C durante intervalos de 3, 4 y 5 minutos. Se realizaron pruebas de metalografía, dureza y tracción, comparando los resultados con una muestra sin recubrimiento ni exposición térmica. El recubrimiento con mejor desempeño fue evaluado adicionalmente a tiempos extendidos de 30, 45 y 60 minutos.

Los resultados indican que las formulaciones más representativas provienen de DEKORUM INQUIFESA, destacándose la pintura ignífuga X-50. Esta mostró una variación mínima en el contenido de carbono (0,26–0,29%), una pérdida de dureza Brinell reducida (mínima de 139,5 HB), y variaciones en el esfuerzo de fluencia entre solo 1% y 9%. En pruebas de simulación de incendio, X-50 superó al acero sin recubrimiento, con mejoras en resistencia a la tracción de hasta 69%. Sin embargo, después de 30 minutos de exposición continua a altas temperaturas, la efectividad del recubrimiento disminuye, evidenciando la necesidad de sistemas de protección activados complementarios para evitar el colapso estructural.

DESCRIPTORES: ACERO ASTM A36, ENSAYOS DESTRUCTIVOS, PINTURA IGNÍFUGA, PROTECCIÓN PASIVA, RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS.

EXECUTIVE SUMMARY

In Ecuador, ASTM A36 steel is widely used in metal structures due to its strength and ductility, although it loses mechanical properties at elevated temperatures, such as during fire exposure. While intumescent coatings are employed as passive protection, there is limited local research on their effectiveness on this type of steel, representing a critical gap in structural safety. This study followed ISO 12944 and E119-24 standards to define the requirements for thermal testing.

An experimental methodology was developed, preceded by documentary and patent research to identify fireproof coatings available in the country. Three different formulations were applied to ASTM A36 steel specimens, which were then subjected to temperatures of 600 °C, 800 °C, and 1000 °C for intervals of 3, 4, and 5 minutes. Metallographic, hardness, and tensile tests were conducted, and results were compared to a control sample with no coating or thermal exposure. The best-performing coating underwent further testing at extended exposure times of 30, 45, and 60 minutes.

The results indicate that the most representative formulations belong to DEKORUM INQUIFESA, with the X-50 coating standing out. This formulation exhibited minimal variation in carbon content (0.26–0.29%), low Brinell hardness loss (minimum 139.5 HB), and yield strength variations ranging only from 1% to 9%. In fire simulation tests, X-50 outperformed uncoated steel, showing up to 69% improvement in tensile strength. However, after 30 minutes of continuous high-temperature exposure, the coating's effectiveness decreased, suggesting the need for complementary active protection systems to prevent structural failure.

KEYWORDS: ASTM A36 STEEL, DESTRUCTIVE TESTING, FIRE-RESISTANT PAINT, PASSIVE PROTECTION, HIGH TEMPERATURE RESISTANCE.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.Introducción

La resistencia y estabilidad de las estructuras de acero juegan un papel fundamental en la seguridad de edificios e infraestructuras en todo el mundo. Sin embargo, en situaciones de incendio, estas estructuras pueden perder rápidamente su integridad debido a las altas temperaturas a las que están expuestas. En este contexto, el acero estructural ASTM A36 ha sido ampliamente utilizado en la construcción debido a su excelente relación resistencia-peso y su costo accesible. A pesar de sus ventajas, su comportamiento mecánico después de la exposición a altas temperaturas plantea preocupaciones significativas en términos de seguridad y rendimiento estructural.

Esta investigación se enfoca en el análisis del comportamiento mecánico del acero estructural ASTM A36 recubierto con materiales ignífugos después de haber sido sometido a altas temperaturas. El objetivo principal de esta investigación es evaluar cómo los recubrimientos ignífugos afectan la respuesta del acero ASTM A36 ante condiciones de incendio, con un énfasis particular en su capacidad de retener la resistencia y la integridad estructural; también busca proporcionar una comprensión más profunda de cómo los recubrimientos ignífugos pueden mejorar el rendimiento del acero estructural en situaciones de incendio, lo que a su vez puede tener un impacto significativo en la seguridad de las edificaciones y en la toma de decisiones en la industria. de la construcción.

Esta investigación tiene el potencial de mejorar la seguridad en la construcción y de contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas para proteger las estructuras de acero en caso de incendio, lo que a su vez puede tener un impacto positivo en la resistencia de las infraestructuras y en la protección de vidas humanas.

1.2.Justificación

Los metales son altamente dúctiles y cambian sus propiedades mecánicas al ser sometidos al fuego. Comprender cómo los diferentes tipos de acero y tratamientos de protección contra incendios surgen a la resistencia al fuego puede ayudar a

mejorar los estándares de seguridad y reducir los riesgos de colapso o propagación del fuego en caso de un incendio. La protección contra incendios es crucial para garantizar la seguridad de las personas que ocupan edificios y estructuras. Las pinturas ignífugas se utilizan para retrasar o prevenir la propagación del fuego, consumir un tiempo valioso para que las personas puedan evacuar y los servicios de emergencia puedan intervenir [2].

Existe un progresivo avance de investigaciones sobre la resistencia al fuego de las estructuras de acero. Sin embargo, todavía es necesario realizar más investigaciones sobre la resistencia al fuego haciendo una comparación aceros convencionales recubiertos con pinturas ignífugas y los aceros A36. Los ensayos de tracción, dureza y metalografía permiten valorar las modificaciones del de acero después de ser sometidos al fuego y así evaluar la eficacia de estos productos y garantizar que cumplan con los estándares de seguridad requeridos, y así sugerir a los constructores el más idóneo. [3].

El acero es ampliamente utilizado en la construcción de estructuras debido a sus propiedades mecánicas y su resistencia. Sin embargo, su comportamiento en situaciones de incendio puede variar según su composición y las medidas de protección implementadas. Ambato no ha tomado la importancia que debería hacia la protección de estructuras metálicas contra el fuego debido a que estos eventos no son frecuentes. Por lo cual se ha visto la necesidad de evaluar, garantizar la eficacia y la seguridad de los productos que existen en el mercado para protección de estructuras en situaciones de incendio. Tomando en cuenta estos aspectos se propone analizar la resistencia mecánica del acero estructural ASTM A36 recubierto con materiales ignífugos que han sido sometido al fuego; debido a su impacto en la seguridad estructural, la eficiencia económica, la sostenibilidad y el avance tecnológico en el campo de la construcción de estructuras metálicas. El análisis comparativo ayudará a determinar qué material cumple mejor con estos requisitos y garantiza el cumplimiento normativo en la ciudad [3].

1.3.Objetivos

1.3.1. General

Analizar el comportamiento mecánico del acero estructural ASTM A36 recubierto con materiales ignífugos luego de que han sido sometidos a altas temperaturas.

1.3.2. Específicos

a) Determinar el procedimiento adecuado para el recubrimiento del acero con materiales ignífugos, para cubrir los aceros de la manera más optima.
b) Exponer al acero estructural recubierto con materiales ignífugos a temperaturas variables de 600, 800 hasta 1000 Grados Celsius dadas en un incendio por tiempos de 30, 45 y 60 minutos, para determinar si su estructura metalográfica y propiedades mecánicas variaron luego de ser expuestos a altas temperaturas.
c) Determinar las propiedades mecánicas del material expuesto al fuego a diferentes tiempos y comparar sus resultados con las del material no recubierto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Hoy en día, las construcciones utilizan una variedad de materiales y métodos de obra que suelen ser similares en general, pero tienen características únicas que los hacen diferentes. Esto significa que las edificaciones no siempre tienen el mismo grado de riesgo en caso de incendio porque hay materiales como el acero que son más dúctiles y pueden perder sus propiedades mecánicas lo que provocaría la falla de la edificación con la probabilidad de ocasionar pérdidas de vidas [3].

Entre los materiales más utilizados tenemos el acero estructural ASTM A36 se caracteriza por sus propiedades mecánicas adecuadas para la construcción de estructuras debido a que en su aleación contiene carbono se lo utiliza para la fabricación de láminas, perfiles estructurales utilizados en la construcción de edificios, puentes, plataformas y otras aplicaciones estructurales. La demanda de estos productos está en constante crecimiento. Este tipo de acero posee propiedades y características distintivas en los aspectos eléctrico, magnéticos, mecánicos, químicos, físicos y térmicos. Además, destaca por su facilidad para ser soldado; Esto lo convierte en un material versátil para la construcción, ya que puede ser utilizado eficazmente en el lugar de trabajo. Este material se encuentra fácilmente en el mercado y se utiliza combinado en aplicaciones generales, tanto en la construcción de estructuras civiles como en la industria petrolera [4].

En el ámbito de la ingeniería civil las estructuras metálicas están ganando un gran potencial en nuestro país debido al menor el tiempo en que se tardan en ser construidas con este material, pero en muchos casos no se toma en cuenta la protección contra el fuego que estas deberían tener. La preocupación se acentúa al analizar las estadísticas. Por ejemplo, el 25% de las muertes causadas por incendios se debe a personas que quedan atrapadas en edificios. La mayoría de las víctimas pertenecen a grupos de población con movilidad reducida, como niños menores de 10 años, adultos mayores de 70 años y personas con discapacidades físicas.

Además, en los países industrializados, las pérdidas económicas representan el 0,25% del Producto Interno Bruto (PBI) [5].

En estudios realizados a cerca del comportamiento del acero frente al fuego por Castaño *et al* [6] ,en su investigación "Protección de materiales estructurales mediante pinturas intumescentes": una lucha desigual contra el fuego" determinaron que cuando el acero se calienta a temperaturas que oscilan entre 250 y 350 °C, experimente una reducción de un poco más del 50% de su resistencia original. Al llegar a los 750 °C, esta reducción es aún más drástica, superando el 90%. En el caso de estructuras construidas con acero, se establece que mantenga su resistencia mecánica intacta hasta que la temperatura promedio de todas sus partes alcance los 500 °C, o bien, si la temperatura promedio de una sección específica alcanza los 500 °; en ese momento, el componente comienza a perder su capacidad de carga [6].

Por otro lado, en un experimento de Q. Al-Kaseasbeh *et al* [7], donde inquiere "Análisis de columnas de acero conformadas en frío expuestas al fuego de hidrocarburos", en este estudio se analiza como falla una columna de acero estructural expuesta a varias temperaturas mediante un software numérico llamado ABAQUS para simular la transferencia de calor y la respuesta estructural, se mide dos etapas la resistencia al pandeo y la resistencia al tiempo de falla. Llegan a la conclusión de que aumentar el nivel de carga axial en un rango de 10 a 60% reduce la resistencia al fuego en un 30%, específicamente para espesores pequeños. Además, la resistencia al fuego de las columnas CFS se deforma en un promedio del 63% a medida que el nivel de carga axial aumenta del 10% al 60% bajo fuego de hidrocarburos [7]. En este análisis se da a notar la importancia de que el acero sea recubierto con algún material ignífugo que le permita aumentar su resistencia al fuego y más aún en este tipo de vigas que son utilizadas en puentes.

Se han realizado varios estudios acerca de la exposición de estructuras de acero al fuego como el estudio de Marovat *et al* [8] de la "Importancia del comportamiento del material que depende del tiempo en la predicción de la resistencia de columnas de acero expuestas al fuego", en esta recopilación bibliográfica se dice que uno de los factores críticos que afectan la resistencia de las columnas de acero a

temperaturas elevadas es la influencia de la fluencia del material, en resumen el varias estructuras de acero han sido expuestas a temperatura entre 300 y 600 °C resultados muestran que ignorar los efectos de la fluencia puede conducir a errores significativos en la predicción de la resistencia de las columnas de acero sometidas al fuego y que es necesario aplicar algún material ignifugo para aumentar su resistencia [8].

En el ensayo de [9], con el tema "Relaciones entre microestructura y propiedades mecánicas para aceros estructurales post incendio", se determinan tres propiedades mecánicas posteriores al incendio: límite elástico, resistencia máxima a la tracción y ductilidad. Las muestras de acero estructural se someten a altas temperaturas que oscilan entre 500 °C y 1000 °C durante 1 h y posteriormente se enfrían con aire. Datos después del experimento para el acero ASTM A36.El tamaño del grano de ferrita en muestras de acero ASTM A36 no mostró cambios considerables cuando se enfriaron con aire desde temperaturas de hasta 600 °C [Fig.9(a)]. Para temperaturas de 600 °C a 800 °C, las muestras enfriadas por aire ASTM A36 mostraron un ligero aumento en el tamaño del grano de ferrita, mientras que el tamaño de las colonias de perlita permaneció igual. A temperaturas superiores a 800°C, tanto la ferrita como la perlita experimentaron un aumento en el tamaño de grano/colonia. Cuando las muestras de acero ASTM A36 se calientan a temperaturas superiores a 700 °C, se comienzan a formar granos de austenita y continúan engrosándose a medida que la temperatura aumenta a temperaturas superiores a 860 °C.

Una investigación importante y que puede aportar datos significativos acerca del comportamiento del acero A36 sin ser recubierto con algún material ignifugo es la de Sajid *et al* [4], sobre la "Influencia de la concentración de tensiones y los métodos de enfriamiento en el comportamiento mecánico post-incendio de aceros ASTM A36" Con este fin, se hicieron 7 probetas de acero ASTM A36 que están diseñadas para generar una variedad de tensiones triaxiales. Estas muestras se sometieron a temperaturas de 500 -C, 600 -C, 700 -C, 800 -C, 900 -C y 1000 -C, luego se enfriaron a temperatura ambiente utilizando métodos de refrigeración por aire y agua. En este ensayo se determinó:

-Las propiedades mecánicas posteriores al fuego de los aceros ASTM A36 casi no se ven afectadas cuando se enfrían a partir de 600 °C, independientemente del método de enfriamiento [4].

-Las propiedades mecánicas posteriores al incendio (límite elástico, resistencia máxima a la tracción y ductilidad de los aceros ASTM A36) casi no se vieron afectadas cuando las muestras se enfriaron con aire o con agua a temperaturas de hasta 600 °C [4].

-Los aceros ASTM A36 experimentaron hasta un 14 % de degradación en la resistencia máxima a la tracción y hasta un 22 % de aumento en la deformación por fractura cuando se enfriaron con aire a temperaturas superiores a 700 °C [4].

-La resistencia última a la tracción posterior al incendio aumenta hasta un 146%, mientras que se observa que la deformación por fractura disminuye hasta un 76% cuando las muestras ASTM A36 se enfrían con agua a altas temperaturas [4].

-La tensión triaxial resultó en un aumento de hasta un 37 % en la resistencia máxima a la tracción y una reducción de hasta un 74 % en la ductilidad de las muestras enfriadas por aire [4].

-Se observa que la presencia de alta tensión triaxial y el enfriamiento por agua a partir de temperaturas superiores a 700 °C aumentan significativamente la resistencia máxima a la tracción (hasta un 252 %) y reducen sustancialmente la ductilidad (hasta un 98 %) de los aceros ASTM A36 [4].

-El enfriamiento por aire de muestras ASTM A36; debido a altas temperaturas resultó en un aumento de hasta un 40% en la ductilidad. Por otro lado, las muestras sin muescas enfriadas por agua exhibieron una disminución de hasta un 76% en la ductilidad cuando se enfriaron desde temperaturas superiores a 800 °C [4].

Para proteger el acero estructural se han desarrollado materiales con acción ignífuga que son materiales que brindan protección contra el fuego y que previenen su extensión. Hay un desarrollo continuo de nuevos métodos y materiales para prevenir sus efectos sobre ellos [10]. Hoy en día se presta mucha atención en el diseño de edificios públicos y comerciales incorporando la seguridad contra incendios [11]. Dentro de la protección de edificios contra incendios existe la

protección activa y pasiva: La Protección Pasiva contra Incendios (PFP) se centra en restringir y gestionar un incendio después de que ha comenzado, lo que implica el uso de elementos como productos químicos retardantes de fuego, modificaciones en la estructura para otorgarle una clasificación de resistencia al fuego y la aplicación de recubrimientos intumescentes, entre otras medidas [10].

Para proteger el acero estructural ASTM A36 contra el fuego se utiliza la protección pasiva entre los productos más utilizados tenemos morteros ignífugos, sellos cortafuego y pinturas intumescentes.

Segú un estudio de [11], en su investigación sobre: "Recubrimientos ignífugos: una revisión de los avances recientes", el enfoque principal se dirige hacia avances recientes, especialmente en el ámbito de los recubrimientos ignífugos. También se dedica cierta consideración a los polímeros y sistemas compuestos que podrían resultar beneficiosos en la creación de fórmulas para recubrimientos. Para lo cual investiga varios productos innovadores como: Recubrimientos de silicato intumescentes: Los intumescentes inorgánicos se basan en silicatos alcalinos. Tienen una aplicación limitada como recubrimientos y se utilizan principalmente como cortafuegos. Se hinchan al exponerse al fuego debido principalmente a la pérdida endotérmica de agua de hidratación y a su capacidad para fundirse formando una espuma sólida rígida compuesta principalmente de sílice hidratada. [11].

También se realizó estudios hechos por [12], a cerca de la "Tinta intumescente como revestimiento de protección contra incendios", Este artículo es un compendio sobre la pintura intumescente y sus principales características en cuanto a composición química, propiedades termo físicas y comportamiento como material ignífugo. A continuación, se presentan algunas de las principales publicaciones técnicas y líneas de investigación sobre el tema. El propósito de este artículo es mostrar el estado actual de la investigación técnica que se realiza sobre el tema y permitir una mejor comprensión de este material ignífugo investigando desde un enfoque técnico- experimental se concluye: En general, existen dos tipos de recubrimientos que desempeñan un papel en la protección contra incendios: los retardantes de llama y las pinturas intumescentes. La pintura retardante de llama

ayuda a controlar la propagación del fuego a una pequeña región o incluso a reducir su propagación. Sin embargo, este tipo de pintura no aporta protección contra incendios al material donde se aplica. Suele estar destinado a la protección de estructuras o componentes de barcos y embarcaciones [12].

-La división de investigación química de la NASA fue una de las pioneras en el desarrollo de pinturas intumescentes y espumas rígidas y semirrígidas utilizadas como sistemas de protección térmica. Durante el estudio se consideraron dos formas de uso de la pintura intumescente evaluada: aplicación directa o sobre una capa aislante inerte intermedia unida al sustrato metálico. El objetivo de este estudio fue desarrollar mecanismos analíticos para estudiar y predecir la respuesta termodinámica de la pintura cuando se expone a las condiciones del fuego, obteniendo así la combinación de espesores de pintura y aislamiento (si se utiliza) que daría como resultado un mejor desempeño de protección térmica [12].

-La mayoría de las publicaciones sobre pintura ignífuga se derivaron de la literatura de patentes, donde se mostraba poco sobre el mecanismo físico-químico de la intumescencia. Además, no existen normas nacionales que cubran las pruebas y el rendimiento de los materiales intumescentes o incluso de otros materiales protectores [12].

Por medio de investigación bibliográfica de [13], sobre “El desarrollo de revestimientos retardadores de fuego a base de cemento, intumescentes y geo-polímeros para estructuras metálicas: una revisión”, la revisión tiene como objetivo resumir el uso actual del recubrimiento convencional y evaluar el uso potencial de un nuevo recubrimiento de geopolímero en el sustrato metálico, particularmente en la estructura de acero. Se buscó el progreso de la investigación de los recubrimientos de geo-polímeros. Aquí se analizan algunas investigaciones sobre la comparación entre el recubrimiento convencional y el recubrimiento de geopolímero. Finalmente se exponen los problemas actuales y las sugerencias para seguir mejorando los recubrimientos. Llegan a concluir: Los recubrimientos a base de cemento exhiben un excelente aislamiento térmico, resistencia al desconchado y propiedades mecánicas después de temperaturas elevadas. Sin embargo, las malas

propiedades adhesivas y la fragilidad de los recubrimientos a base de cemento provocan la delaminación del sustrato, lo que resulta en un deterioro de la resistencia al fuego y la estabilidad estructural. Los revestimientos intumescentes ofrecen protección contra incendios hasta por varias horas, con un aspecto estético. Podrían usarse en incendios de celulosa y de hidrocarburos, incluido el fuego de chorro, prolongando efectivamente el colapso estructural inducido por el fuego. Sin embargo, los revestimientos expuestos al exterior tienen poca resistencia a la corrosión debido a la presencia de ingredientes sensibles al agua en las formulaciones [13].

En la publicación de [14], de "Resistencia a las llamas de revestimientos de espuma de geo-polímero para la protección contra incendios del acero", donde se centra en investigar la resistencia al fuego de nuevas espumas de cemento basadas en meta-caolín activado con álcalis y humo de sílice (SF). Las espumas geo-polímero (GP) frescas se aplican como recubrimiento sobre placas de acero. Después de una semana de curado, las espumas se someten a una prueba de quemado con llama. Los cambios en sus propiedades físico-químicas se caracterizan antes y después de la prueba de fuego, principalmente, microanálisis electrónico con sonda, microtomografía computarizada de rayos X cuantitativa y conductividad térmica. Los resultados muestran que las espumas geo-polímero son excelentes barreras térmicas, proporcionando hasta 251◦C menor que para la placa de acero sin recubrimiento. Su porosidad oscila entre el 25 y el 81%, para tamaños de poro típicos desde 0,5 a 3,0 mm en comparación con la muestra que contenía cemento GP solo disminuye del 60-68% al 53-58% después del incendio. [14].

Es importante saber que se pueden proteger estructuras existentes aquí Bilotta *et al* [15], exponen sobre "Ensayos sobre pinturas intumescentes para la protección contra incendios de estructuras de acero existentes", se procedió a experimentar el comportamiento al fuego que depende principalmente de el espesor, la adhesión durante una situación normal de incendio y la reacción de hinchazón en una situación de incendio. Por lo tanto, las pruebas experimentales se referían a la medición del espesor y la evaluación de la adherencia mediante esto determinaron: En el edificio examinado, los resultados de las pruebas demostraron que después de

treinta años desde la aplicación del intumescente, es necesario volver a proteger los elementos estructurales. Además, se observó una correlación entre el espesor de la pintura y su fuerza de unión tanto en condiciones ambientales normales como a altas temperaturas. De hecho, los elementos con espesores más altos (alrededor de 1000 μm) mostraron una fuerza de unión menor que aquellos con espesores más delgados. Del mismo modo, las pinturas más espesas se desprendieron antes durante las pruebas en el horno. Finalmente, los resultados mostraron la posibilidad de reaplicar el nuevo intumescente sobre el antiguo, con considerables ventajas económicas, si se garantiza una buena adherencia del sustrato existente.

En otras investigaciones similares hechas por [15], se verifica la "Seguridad estructural contra incendios en edificaciones de acero existentes: Posible planteamiento general y aplicación al caso de los revestimientos intumescentes", de este artículo es brindar orientación sobre el análisis estructural de edificios existentes expuestos al fuego, con especial referencia a edificios de acero protegidos con recubrimientos intumescentes. Para dar un criterio formal se realizó: ensayos de espesor en el sitio, medidas de adhesión/cohesión, en laboratorio e in situ, pruebas de densidad, conductividad, calor específico in situ y/o en laboratorio, pruebas en horno sobre muestras tomadas de la estructura existente, en laboratorio, pruebas de resistencia al fuego, sobre muestras tomadas de la estructura existente, en laboratorio de los dos edificios a analizar los resultados fueron: Para estructuras protegidas con pinturas intumescentes se mostró un ejemplo de procedimiento de prueba. Para algunos tipos de pruebas (mediciones de espesor, medidas de adherencia, medidas de reactividad) se destacó la posibilidad y la necesidad de estandarizar los procedimientos de prueba. En este sentido, los códigos existentes para los controles necesarios para la comercialización de protectores y su aplicación a edificios nuevos pueden adaptarse a los edificios existentes. Para las pruebas en horno, se destacó que es necesario un diseño adecuado de prueba de fuego.

Por otro lado [16], investiga la "Influencia del tipo de perfil y orientación de la barra en el desempeño de recubrimientos intumescentes aplicados a barras tensoras de acero", aquí se aplicaron dos recubrimientos intumescentes comerciales a base de agua (recubrimiento I y recubrimiento II) con diferentes espesores de película seca

(DFT) a dos tipos diferentes de perfiles de acero (CSS - sección sólida circular y RSS - sección sólida rectangular) y se probaron en dos diferentes. dimensiones de la barra (30 mm y 40 mm). Los principales hallazgos de este trabajo se resumen en los siguientes puntos: Según los resultados de la prueba, si no persiste ninguna grieta longitudinal en la espuma, no hubo diferencias significativas en el rendimiento de protección térmica del revestimiento intumescente resultante de las orientaciones de las barras probadas. Lo que quiere decir que en cualquier lugar que vaya ubicado el acero si esta recubierto con intumescente va a dar una buena protección estructural.

También se están investigando nuevos aditamentos para ayudar a la protección pasiva contra el fuego según [17], en su estudio sobre el "Análisis térmico y de pirólisis de revestimientos ignífugos intumescentes reforzados con minerales", pone a prueba intumescentes Wollastonita y arcilla caolín estos minerales se los utilizó como blindaje térmico sobre el carbón dando como resultado la mejora de un 5% en la protección contra incendios y el rendimiento con la temperatura del sustrato registrada 113◦C después de una prueba de fuego de 1 h, En conclusión, las formulaciones reforzadas con cargas de arcilla y wollastonita mostraron un mejor rendimiento térmico en comparación con la formulación de control lo quiere decir que se puede utilizar estos aditamentos para mejorar las pinturas intumescentes y darles más capacidad de protección contra el fuego[17].

Se ha hecho una recopilación por parte de [18], de "Recubrimientos intumescentes utilizados para el diseño a prueba de incendios de estructuras de acero: una revisión", Esta revisión cubre los desarrollos más recientes en el campo de las pruebas de fuego y el análisis del comportamiento al fuego de elementos de acero protegidos con recubrimientos intumescentes. También hace énfasis en la formulación química, las condiciones límite del sustrato, el espesor del recubrimiento aplicado, las condiciones de calentamiento y el método de prueba de fuego parecieron ser los factores clave. Como conclusión: Deben formularse modelos simples, en lugar de complejos, para cuantificar la dependencia de las propiedades térmicas y físicas de los recubrimientos intumescentes expuestos a diferentes condiciones de calentamiento y para producir predicciones realistas y

confiables del comportamiento al fuego de las estructuras de acero protegidas por recubrimientos intumescentes. Todas estas herramientas ayudarían a mejorar el diseño de estructuras de acero a prueba de incendios y simplificarían el actual procedimiento de prueba a gran escala, costoso y que requiere mucho tiempo [18].

En otros estudios realizados por [19], con el tema de "Pinturas intumescentes a base de resina de silicona" esta es una recopilación bibliográfica a cerca del efecto de la estructura de la resina de silicona y el tipo de carga utilizada en estas pinturas sobre las propiedades del carbón formado durante la descomposición térmica de la pintura intumescente. Los aditivos más utilizados son el grafito expandido y la arcilla orgánica. Se ha demostrado que las plaquetas de silicato se intercalan en la matriz de silicona, aumentando significativamente su resistencia mecánica y dando como resultado una alta protección contra el fuego [19].

En la búsqueda de nuevos se ha desarrollado varios métodos como el impartido por Geoffroy *et al* [20], "Una eficaz barrera contra incendios de laminado metálico con pintura intumescente bicapa para diversos sustratos: extensión a otras aplicaciones", El objetivo de este trabajo fue evaluar si esta barrera resistente al fuego desarrollada sobre acero puede utilizarse sobre otros sustratos para otras aplicaciones. Por lo tanto, se evaluaron como sustratos compuestos (resina epoxi reforzada con fibras de carbono). La aplicación fue con materiales y componentes utilizados en aviones en motores e instalaciones. Como, por ejemplo, dicho compuesto se usa mucho en aplicaciones aeronáuticas como A350 y A380 o para aspectos estructurales. Después de la caracterización, se evaluaron las prestaciones de protección contra incendios de la barrera contra incendios en el compuesto. Sección transversal de observaciones de residuos. Después de estas pruebas se concluye:

-Al sustituir el acero por compuesto polimérico se identificó un beneficio: se redujo la masa total de la muestra en 4,3 y así se elaboraron materiales más livianos. Además, después de 30 minutos de exposición al fuego, la temperatura en la parte posterior de la placa compuesta no supera los 200 °C. Estas excelentes propiedades de protección contra incendios pueden explicarse por la delaminación localizada entre el revestimiento A y ambas láminas de aluminio, que retrasa la propagación

del calor en el sistema al inicio de la prueba, el hinchamiento resultante de los fenómenos intumescentes, el mayor rendimiento protector del material compuesto en comparación con el acero, ya que los materiales compuestos tienen una menor conductividad térmica [20].

Por otro lado, investigó también por parte de [21], los "Efectos de la pintura y aislamiento sobre un recubrimiento ignífugo" el autor realizó pruebas de materiales para comprender cuantitativamente los efectos de las pinturas y materiales aislantes aplicados sobre materiales de revestimiento resistentes al fuego se aplicó en una placa de acero pintura ignífuga y pintura decorativa los resultados fueron que no varió la resistencia al fuego de la placa pero se sugiere que para aumentar el rendimiento al fuego debería aumentarse el espesor del revestimiento ignífugo [21].

Ensayos hechos por [22], para evaluar los "Recubrimientos intumescentes que utilizan resinas epoxi, alquídicas, acrílicas, de silicona y híbridas de silicona y epoxi para la protección contra incendios del acero", este trabajo tuvo como objetivo comparar cinco tipos diferentes de resina en una formulación intumescente y estudiar la influencia de la concentración de resina en el desempeño de protección contra incendios del recubrimiento intumescente. Por lo tanto, se preparó un CI con cada tipo de resina y se varió la concentración de resina en las tres formulaciones que proporcionaron mejor aislamiento térmico al sustrato metálico. El desempeño de estos recubrimientos en protección contra incendios y sus caracterizaciones fueron evaluados mediante ensayo de resistencia al fuego, análisis termogravimétrico (TGA), micro calorimetría de combustión (MCC). Este estudio tuvo como resultado que los cinco tipos de resinas se pueden utilizar en recubrimientos intumescentes [22]. Respecto a las muestras que contienen la resina híbrida epoxi-silicona fue la que menos calor presento después de la combustión lo que significa que es la más adecuada en las formulaciones de pinturas intumescentes [22].

Se han realizado otros experimentos como [23], para la "Determinación de la eficiencia del recubrimiento protección contra incendios a base de polimetilfenilsiloxano para estructuras de edificación de acero" análisis de fuentes literarias, se consideran los principales métodos para aumentar el límite de

resistencia al fuego de las estructuras de acero, y también se propone el uso de un recubrimiento resistente al fuego a base de polimetilfenilsiloxano. Se realizaron estudios analíticos para determinar el tiempo de efecto protector contra incendios del revestimiento en comparación con estructuras desprotegidas. Se ha establecido que el límite de resistencia al fuego de las estructuras de construcción de acero protegidas aumenta de 2 a 4 veces dependiendo del espesor de aplicación. Elementos de estructuras de acero en espesor de 9 mm, recubierto con un revestimiento retardante de llama a base de polimetilfenilsiloxano con espesores de 0,8 mm a 2 mm, calentado a una temperatura crítica de 500 °C en 34 min - 60 min, mientras que las estructuras de acero desprotegidas se calientan a esta temperatura en 16 min.

También es importante analizar la durabilidad de los intumescentes basándonos en el artículo publicado por Troitzsch [24], en base a la "Durabilidad del comportamiento ante el fuego de retardantes de llama en polímeros y revestimientos" el propósito de esta revisión es exponer la situación actual y las tendencias relacionadas con la duración de sistemas y productos retardantes de llama después de pasar por procesos de envejecimiento y reciclaje mecánico. Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de investigaciones y publicaciones que abordan la resistencia al fuego a lo largo del tiempo en sistemas retardantes de llama aplicados en polímeros, acero y revestimientos. Se examina el comportamiento de sistemas ignífugos convencionales y variantes más recientes, incluyendo aquellos que actúan en fase gaseosa, fase condensada o mediante intumescencia, se evalúa su capacidad de mantener efectivos tras procesos de envejecimiento y reciclaje mecánico, junto con los avances logrados en este campo [24].

-En cuanto a la durabilidad de los polímeros, la propia matriz polimérica puede verse cada vez más dañada por la degradación de la cadena resultante de los retardantes de llama, así como por el envejecimiento y el estrés térmico durante la reprocesamiento. Los biopolímeros como el PLA son particularmente sensibles a la hidrólisis. El uso de cargas específicas que formen una capa protectora puede mejorar su resistencia al envejecimiento [24].

Se han hecho otras investigaciones a cerca de nuevas tecnologías como la descrita por [25], a cerca de la "Nanotecnología: el futuro de la seguridad contra incendios". Este estudio examina más a fondo la nanotecnología y cómo se puede utilizar para minimizar los daños por incendio a la propiedad y al personal. La nanotecnología se basa en partículas miniaturizadas del orden de 0−9 de tamaño, lo que lo hace muy útil porque los materiales se pueden manipular para un uso beneficioso más allá de la capacidad de los materiales normales. Esto, a su vez, crea un material más resistente y liviano que puede usarse en muchos campos [25].

2.2.Fundamentación científica

2.2.1. Aceros estructurales

Se han reconocido alrededor de 14 tipos de acero estructural de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales o ASTM, esto según la AISI 1996 entre los principales tenemos:

Tabla 1. Tipos de aceros estructurales [26].

Tipo	Características	Usos/Aplicaciones
ASTM A36:	Acero principal utilizado en varios tipos de estructuras. Disponible en casi todas las presentaciones de perfiles y placas excepto perfiles IR, W o H. Es muy utilizado por la industria de la construcción metálica.	Armadura en diagonal (LL), largueros tipo Joist (OS o Ll), montantes, cuerdas superiores e inferiores de armaduras (Ll), contravientos de cubiertas (OS). Placas de conexión, anclajes de barras redondas lisas (OS) y perfiles (Ll).
ASTM 529	E A 529 básico incluye grado 50 para los perfiles de ASTM en los grupos 1 y 2, placas de hasta una pulgada de. espesor y 12 pulgadas de ancho y banas hasta 2-12 pulgadas de diámetro.	-Cuerdas de Armaduras de (L) Montantes y Diagonales (L) - Contravientos Laterales (L). -Placas hasta 1" de espesor (Pacas de Conexión, Placas Base, Cartabones, etc)-Canales (CE) pequeños utilizados para alfardas de escaleras y conexiones de postes de viento
ASTM A 572	Este es el grado de acero estructural más usado en el mercado internacional. Está disponible en varios grados, dependiendo del tamaño del perfil y el espesor de la placa.	Placa Hasta 4-Vigas Principales tipo (R) -Vigas Secundarias tipo IR) - Columnas de Perfiles tipo (IR).
ASTM A 588	Este acero para intemperie está disponible en varios grados con pequeñas variaciones en su química.	Es un acero que por lo general va a estar expuesto a la intemperie. -Plataformas Marinas

Tabla 1. Tipos de aceros estructurales (Continuación de la Tabla 1).

ASTM A 709	Los grados 50(4709GR50) carbono y placa de acero de alta resistencia de baja aleación el más utilizado es el A709GR50.	Placa de acero se utilizan en la construcción de puentes, construcción de carreteras y puentes, torres de transmisión otros Ingeniería construcción.
ASTM A 992	* Estos aceros presentan un campo de aplicaciones muy amplio. * Es una maternal muy utilizado para la construcción de estructuras mecánicas que requieran importante resistencia mecánica y soldabilidad, sus elementos aleantes le brindan características muy especiales.	-Vigas (IR) -Columnas (IR) -Mezzanines (IR) -Postes de viento (IR) - -Trabes Carril
ASTM A 53	La calidad de los tubos ASTM A53 está respaldada por el sistema de gestión de calidad de COLMENA el cual se ha establecido según los lineamentos de ISO 9001: 2008, Adicionalmente, esta línea de producto cuenta con la certificación de conformidad con la norma NTC 3470.	-Tubos estructurales
ASTM A 500	Es una especificación estándar para tubería estructurales de acero al carbono soldadas en frio y sin costura en formas redondas, cuadradas y rectangulares.	-Colunas de secciones huecas cuadradas (HSS u OR)-Columnas de secciones huecas circulares (OC) -Colunas de secciones huecas rectangulares (HSSu OR)
ASTM A 501	Es el mejor tubo de acero al carbono.	-Bastidores [PTR u OR)-Bases de tanques de gas, de agua, etc.

2.2.2. Acero A36

Representa una aleación de acero al carbono de propósito general que se utiliza ampliamente en Ecuador con una creciente popularidad y gran demanda debido a su disponibilidad y su buen rendimiento costo-beneficio.

En la industria de la construcción es muy utilizado debido a su versatilidad, resistencia y soldabilidad. En las estructuras metálicas es usado para realizar vigas, columnas, perfiles, soportes y refuerzos estructurales. También es utilizado en puentes metálicos, plataformas, estructuras de paso y soporte.

Como cualquier material, el acero A36 tiene propiedades distintivas:

Tabla 2. Propiedades químicas del acero ASTM A36 Planchas Laminadas al Caliente. [26]

Composición Química						
Norma	%C Carbono	%MN Manganeso	%P Fósforo	%S Azufre	%SI Silicio	%CU Cobre
ASTM A-36	0,2 0,29	0,80 1,20	0,04 max	0,05 max	0,40 max	0,20 max

Tabla 3. Descripción de las propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [26].

Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A36					
Descripción	Producto Grado	Fy(min) Kg/cm²	Fu(min) Kg/cm²	% Elongación	Fu/Fy (min)
Plancha Laminada al Caliente (DIPAC)	Planchas Laminadas al Caliente	2549	4079/5608	20 (mm)	1,61

2.2.3. Protección contra incendios

La definición de protección contra incendios es algo bien amplio, porque se dice que es evitar la declaración y propagación de un incendio, su extinción en caso de ocurrir y la indemnización de los afectados en caso de falla de los mecanismos que ayudan al combate del incendio.

2.2.3.1. Protección pasiva

Esta protección se refiere a las medidas destinadas a reducir el riesgo de incendio mediante la disminución de la carga combustible, el uso adecuado de materiales de construcción en los recintos y la protección de las estructuras principales mediante recubrimientos específicos. Esta práctica incluye la protección de las estructuras de acero. Para determinar el tipo adecuado de protección para el acero, es esencial conocer la propiedad de masividad de cada estructura, la cual se explicará más con detalle posteriormente [27].

2.2.3.2.Teoría de la pintura ignifuga intumescente

Los recubrimientos ignífugos intumescentes, cuando se exponen al fuego directo o al calor, sufren un proceso de expansión, combustión y carbonización. Este proceso hace que el espesor del recubrimiento aumente de 20 a 200 veces su espesor original, creando una capa gruesa de escoria que se adhiere firmemente al sustrato. Esta capa actúa como aislante del acero, actuando como una barrera protectora alrededor de la estructura contra incendios, evitando que las temperaturas alcancen un punto crítico (normalmente alrededor de 600°C). De esta forma, el acero queda protegido de la entrada de oxígeno y de la propagación de llamas.[27].

2.2.3.3. Comportamiento de los revestimientos ignífugos intumescentes.

Todos los revestimientos intumescentes se fundamentan en un tipo de reacción ignífuga similar. En condiciones de temperatura ambiente, su grosor es relativamente delgado, alcanzando hasta aproximadamente 1mm a 3mm. Al elevarse la temperatura, el ligante se plastifica, entre 200°C y 400°C, lo que desencadena reacciones químicas que generan una corteza carbonosa expandible, así como una gran cantidad de gases no combustibles. Estos gases inflan tanto el elemento ligante como la corteza, formando una especie de espuma carbonosa sobre el sustrato. Además, los gases producidos desplazan el oxígeno de la fuente de combustible, lo que ayuda a extinguir el fuego o, al menos, a inhibir su propagación [27]. Como la siguiente figura:

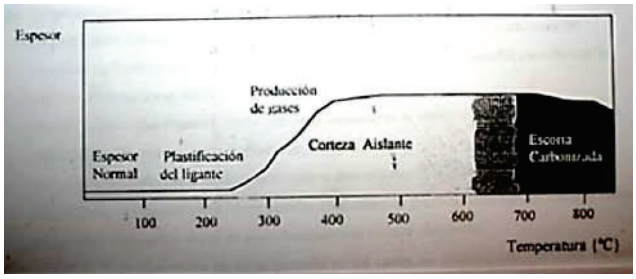


Fig. 1. Reacción de la pintura Vs la temperatura [27].

2.2.3.4. Composición de la intumescencia ignifuga.

Las pinturas intumescentes ignífugas están compuestas principalmente por una matriz ligante, que puede ser una barniz o soluciones. Además, se añaden ingredientes específicos que son clave para su funcionamiento, tales como una fuente de ácido, como el polifosfato de amonio; un agente carbonizante, como el polialcohol; un agente propulsor, como la melamina; y una sal metálica, como el dióxido de titanio. Todos estos componentes son fundamentales en la formación de la espuma aislante que caracteriza a estas pinturas. Es importante resaltar que esta composición particular se aplica exclusivamente a las pinturas ignífugas intumescentes, sin incluir imprimantes ni pinturas de terminado. [5].

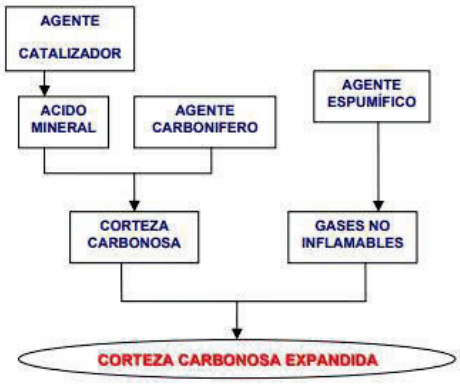


Fig. 2. Explicación de la composición [5]

2.2.4. Masividad

Se puede definir la masividad como un parámetro utilizado en ingeniería térmica y de materiales para describir la relación entre el perímetro expuesto al calor y el área de la sección transversal de un elemento sólido. Se expresa en unidades de m−1 y es crucial en el análisis de la respuesta térmica de estructuras sometidas a fuego o altas temperaturas. Un valor alto de masividad indica que el material tiene una mayor proporción de superficie expuesta en comparación con su volumen, lo que facilita una transferencia térmica más rápida. En cambio, una masividad baja sugiere que el material retiene más calor, disipándolo con menor rapidez. [27]

2.2.5. Aplicación de la pintura intumescente ignifuga

2.2.5.1. Para la aplicación

En general podemos decir que la resistencia al fuego de un elemento protegido es directamente proporcional al espesor de la pintura intumescente e inversamente proporcional a la masividad. Por ello para poder diseñar un sistema protector intumescente ignifugo son necesario dos parámetros, los cuales son: masividad del elemento y la resistencia al fuego que se desee alcanzar datos que fueron obtenidos en las fichas técnicas de los fabricantes.

2.2.5.2. Preparación de superficie a proteger

Antes de aplicar la protección, es imprescindible que la superficie del acero a proteger se encuentre limpia y libre de polvo, grasas, aceites y cualquier otra impureza superficial. Además, es necesario reparar cualquier defecto de construcción presente, como grietas o exfoliaciones. Para Garantizar una adherencia óptima entre la pintura y el revestimiento.

2.2.5.3.Primera capa: imprimante

Después de limpiar la superficie se debe aplicar lo antes posible una imprimación tal y como se detalla en la ficha técnica del producto para evitar la oxidación de la superficie tratada. Antes de aplicar recubrimientos intumescentes se deben considerar los siguientes factores:

• La superficie de acero debe estar sin residuos y totalmente secas.

• La impresión debe ser 100% compatible con el recubrimiento intumescente, de lo contrario se producirá un comportamiento indeseable.

• La imprimación no debe contener pigmentos intumescentes ya que pueden expandirse bajo la acción del calor y provocar que la capa protectora se desprenda.

•El tiempo de secado de la impresión es de aproximadamente 24 horas entre cada capa.

• No se recomienda el uso de imprimaciones diluidas porque en caso de incendio el sistema protector se desprenderá por pérdida de adherencia.

• Cuando la capa final de impresión esté seca, se debe medir el espesor de la película. Se recomienda que el espesor medio de esta capa sea de 0,05 mm[5].

2.2.5.4.Segunda capa: pintura ignífuga intumescente

La aplicación de la pintura debe realizarse siguiendo estrictamente las recomendaciones y métodos establecidos por el fabricante en la ficha técnica. Se recomienda aplicar los recubrimientos intumescentes en un ambiente bien ventilado, manteniendo temperaturas entre 10°C y 40°C, al menos 3°C por encima

del punto de rocío. La humedad relativa del ambiente no debe exceder el 75% porque en condiciones de mayor humedad, el producto absorbe la humedad del ambiente, reduciendo así su efectividad [5]. Es importante destacar que este producto generalmente no es adecuado para uso en exteriores a menos que el fabricante especifique lo contrario. Por tanto, debe aplicarse en interiores o en estructuras protegidas ya que no es apto para la exposición a las condiciones climáticas exteriores. [5].

En general, el método de construcción del revestimiento intumescente es el siguiente:

• La aplicación se puede realizar mediante brochas, rodillos o pistolas. Si se utiliza brocha o rodillo se puede aplicar en capas de hasta 0,25 mm. Si se aplica una capa superior, el aire puede entrar fácilmente provocando una pérdida de resistencia en el sistema de protección.

• Si se utiliza una pistola rociadora, se recomienda utilizar una máquina con un compresor de 3000 psi.

• Se debe remover el contenido del recipiente hasta que quede homogéneo, eliminando completamente los grumos e incorporando los sedimentos. Se recomienda no agitar el recipiente para evitar mezclar aire con la pintura.

• Antes de aplicar un revestimiento se debe tener en cuenta que la superficie ha sido completamente imprimada con un conservante adecuado y que se ha calculado el espesor requerido de cada capa. Además, en este cálculo se deberá tener en cuenta los espesores mínimos y máximos recomendados por el fabricante.

• El tiempo de secado entre capas varía entre 24 y 48 horas a 20°C, pero puede reducirse a 5 horas para pinturas a base de emulsión.

• Al finalizar el ciclo de capas de pintura intumescente y transcurrido el tiempo necesario para que se seque la última capa, se debe medir con un micrómetro el espesor de la película seca para comprobar que se ha obtenido el espesor requerido. Mida únicamente el espesor de la pintura intumescente. [5].

2.2.5.5.Tercera capa: sellador en caso que la pintura este en exteriores.

El objetivo de aplicar una capa de revestimiento es proteger el perfil de factores ambientales como la humedad, la temperatura y la luz solar. Su aplicación debe realizarse de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el fabricante. No se recomienda el uso de pinturas epoxi, esmaltes sintéticos, aceites, poliuretanos, pastas para paredes u otros productos de dureza similar ya que su rigidez dificultará o retrasará el efecto de expansión una vez curado o seco. Debes esperar al menos 24 horas entre la última capa de pintura intumescente y la primera capa de acabado para garantizar mejores resultados.[5].

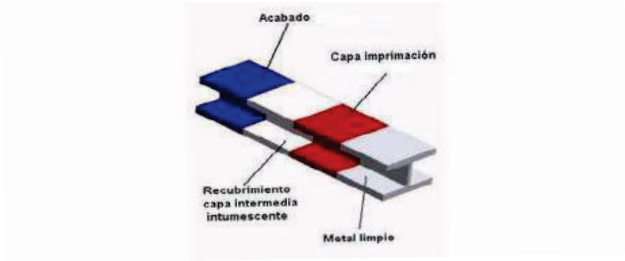


Fig. 3. Aplicación de un sistema intumescente [5]

2.2.6. Problemas y riesgos asociados con la falta de recubrimiento

- **Reducción de la Integridad Estructural:** En un incendio, el acero se debilita a medida que se calienta. La falta de recubrimiento intumescente expone directamente el acero al calor, lo que puede llevar a una rápida pérdida de resistencia y una posible falla estructural.
- **Aceleración del Colapso:** Sin recubrimiento intumescente, las estructuras de acero pueden colapsar más rápidamente en un incendio, lo que aumenta significativamente el riesgo para la seguridad de las personas dentro o cerca de la estructura.
- **Deterioro de la Integridad de los Elementos de Soporte:** Las vigas y columnas de acero sin protección pueden deformarse y ceder bajo el estrés del fuego, lo que podría resultar en una caída o colapso parcial o total de la estructura.

- **Propagación del Incendio:** La falta de recubrimiento intumescente permite que el calor del incendio se propague más rápidamente dentro de la estructura, lo que dificulta la extinción del fuego y aumenta el peligro para las personas atrapadas en el interior.
- **Violación de Normativas y Reglamentos:** En muchos códigos de construcción y regulaciones de seguridad, se requiere el uso de recubrimientos intumescentes en estructuras de acero para cumplir con los estándares de seguridad contra incendios. La omisión de estos recubrimientos puede resultar en sanciones legales y dificultades para obtener permisos de construcción.

2.3. Ensayos aplicados

En el siguiente punto, se detallarán los tipos de ensayos que generalmente se realizan a las diferentes muestras de acero con el propósito de determinar sus propiedades mecánicas y su comportamiento bajo los diferentes esfuerzos a los que serán sometidos.

2.3.1. Ensayo de metalografía

Se conoce a la metalografía como una disciplina que tiene como función examinar y por lo tanto determinar los componentes de un metal, para lo cual se utiliza un microscopio que debe estar enfocados a diferentes magnitudes tales como; 200x, 100,40x. Anterior a este proceso se debe preparar la muestra.

Básicamente consiste en la preparación de la probeta por medio de pasos necesarios que hacen posible esta acción como son: [28].

- Seccionar
- Montaje de muestra
- Preparación de la superficie
- Ataque químico

Cuando un material es expuesto al fuego sin recubrimiento los resultados de su metalografía son los siguientes [29]:

Tabla 4. Ensayo metalográfico del acero A36 expuesto a altas temperaturas sin recubrimiento [29].

PARAM ETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico			
Temperatura durante el pulido:	16.0ºC	Superficie preparada en	**Lijas: 240,320,400,600,1500**	
Ataque durante pulido:	Nital 4	**Tiempo:**	3 segundos	
Elemento T	**Tiempo**	**% Ferrita**	**% Perlita**	
V 600	30 minutos	74,2	25,8	
	45 minutos	82,3	17,7	
	60 minutos	85,7	14,3	
C800	30 minutos	76,2	23,8	
	45 minutos	69,4	30,6	
	60 minutos	70,3	29,7	
V800	30 minutos	54,6	45,4	
	45 minutos	62,2	37,8	
	60 minutos	68,3	31,7	
CIOOO	30 minutos	53,9	46,1	
	45 minutos	49,9	50,1	
	60 minutos	74,7	25,3	
VIOOO	30 minutos	66,6	33,4	
	45 minutos	65,6	34,4	
	60 minutos	66,1	33,9	
K IOOO	30 minutos	74,9	25,1	
	45 minutos	70,3	29,7	
	60minutos	62,2	37,8	

2.3.2. Ensayo de Dureza Brinell

El ensayo de dureza de Brinell se realiza presionando el material con un equipo especial HBRV utilizando un indentador durante un tiempo determinado con una carga de 187.5 se procede a retirar la carga y se mide el diámetro, se calcula en función del diámetro de indentación lo cual se busca en las tablas dadas en el manual de Brinell.

Cuando el acero ASTM A36 sin recubrimiento es expuesto a diferentes temperaturas según [29] los experimentos realizados dan los siguientes resultados:

Tabla 5. Datos de dureza de Brinell del acero A36 sometido a altas temperaturas sin recubrimiento [29].

	RESULTADOS:		
PROBETA	**Diámetro medio (mm)**	**Diámetro indentación (mm)**	**Dureza HBW**
V600-I	3,22	1,288	134
V600-2	2,95	1,180	161
V600-3	3,75	1,500	95,5
C800-I	3,35	1,340	123
CS00-2	3,38	1,352	120
C800-J	3,50	1,400	111
V800-I	3,18	1,272	137
V800-2	3,60	1,440	105
V800-3	3,12	1,248	123
C1000-1	3,58	1,432	106
CI000-2	3,52	1,408	110
CI000-3	3,25	1,300	111
V1000-1	3,10	1,240	125
V1000-2	3,43	1,372	116
VI000-3	3,14	1,256	12 1
K1000-1	3,55	1,420	108
K1000-2	3,75	1,500	95,5
K 1000-3	3,41	1,364	118

2.3.3. Ensayo de tracción

Este ensayo es utilizado para medir la resistencia del acero al ser sometido a una fuerza estática aplicada lentamente, que ejerce una fuerza de tensión gradualmente hasta producir la rotura de la probeta debidamente normada [30].

Este ensayo nos permite conocer las propiedades mecánicas del material tales como:

- Módulo de elasticidad.
- Límite de fluencia.
- Limite elástico.
- Resistencia a la tracción.
- Alargamiento

Cuyo proceso inicia instalando la probeta en la máquina y una vez ajustados los respectivos seguros se inicia el ensayo, comenzando a registrarse las fuerzas y la deformación de la probeta en la máquina, indicando de manera numérica y gráficamente lo que va sucediendo [30].

La gráfica que se obtiene es la siguiente:

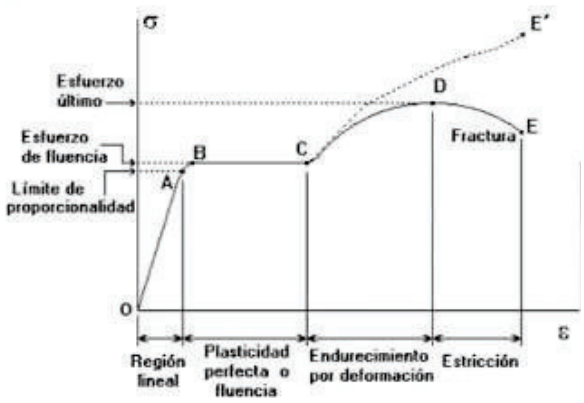


Fig. 4. Curva Esfuerzo Vs Deformación.

(Punto A) Límite de proporcionalidad: Al aplicar la carga se va a construir una línea completamente recta.

(Punto B) Límite elástico: Al llegar hasta este punto de aquí en este caso es cuando nuestra pieza o probeta va a llegar al punto de deformación máxima y sin retorno.

(Punto C) Esfuerzo de influencia o también le llaman que es la zona de influencia: Es donde empieza a oscilar aquí lo que sucede con el material es que sin aplicar una carga mayor o un esfuerzo mayor va a tener un alargamiento considerable.

(Punto D) Esfuerzo último: Es el esfuerzo final lo máximo que va a llegar nuestro material antes de la ruptura entonces es el punto más alto que va a tener nuestra gráfica. a partir de este punto el esfuerzo empieza a disminuir.

(Punto E) Esfuerzo final: Es ya cuando nuestra barra o en nuestra probeta se fractura.

2.3.3.1. Esfuerzo de tracción de una probeta expuesta al fuego sin recubrimiento.

Para el acero ASTM A36 sometido a altas temperaturas las curvas esfuerzo deformación

el codo de la curva se vuelve cada vez menos anguloso traducido significa que con la misma carga aplicada cuando el acero se sobrecalienta, en comparación con cuando digamos está frío alcanza la fase plástica mucho antes en jerga se dice que pierde rigidez y de manera similar generalmente se reduce la resistencia. Cuanto más alta es la temperatura más se deforma el acero y alcanza el punto de colapso según los estándares europeos de diseño a aproximadamente 400 grados el acero pierde el 10% de su rigidez, pero todavía se encuentra en la fase elástica ya a 600 grados si la carga aumenta la pérdida de rigidez y resistencia se vuelve significativa y la capacidad de soportar las cargas en el edificio disminuye a 1000 grados especifica el Instituto Nacional de estándares y tecnología en su informe el acero pierde aproximadamente el 90% de su capacidad para soportar cargas en este punto como se muestra en la figura [31].

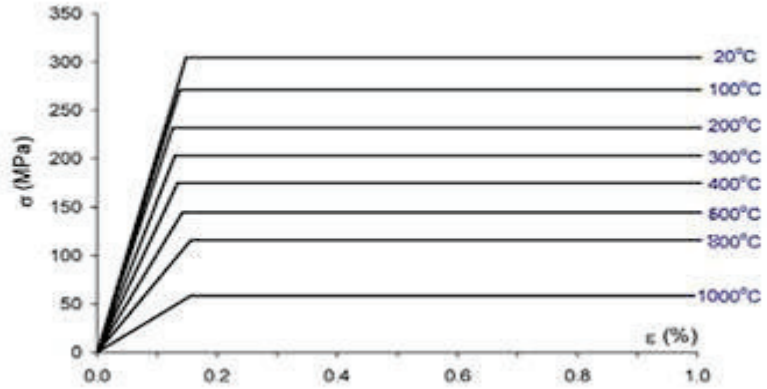


Fig. 5. Curvas Esfuerzo deformación para aceros según la temperatura.

Para formar las curvas se tomaron los datos de la siguiente tabla de coeficientes que relacionan directamente la temperatura del material.

Tabla 6. Coeficientes derivados de la temperatura para acero A36.

Steel temperature (θ_a) (°C)	Reduction factors		
	Yield strength ($k_{y,\theta}$)	Proportional limit ($k_{p,\theta}$)	Elastic modulus ($k_{E,\theta}$)
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,0125	0,0250
1200	0,000	0,000	0,000

2.3.4. Normas de referencia

Las normas elaboradas por las entidades de la administración pública son regulaciones establecidas en situaciones donde las normativas nacionales o internacionales no satisfacen sus necesidades, o cuando las especificaciones existentes se consideran inaplicables u obsoletas. Estas normas son aplicadas por las entidades públicas al adquirir, arrendar o contratar bienes y servicios.

2.3.5. Selección de las probetas

2.3.5.1. Norma ISO 12944

La Norma ISO 12944 establece directrices para la protección contra el fuego de estructuras de acero mediante sistemas de pintura protectora, asegurando la durabilidad de los recubrimientos en distintas condiciones ambientales. Su parte 6 (ISO 12944-6) se centra en la prueba de desempeño de los sistemas de recubrimiento, definiendo requisitos para la preparación de probetas, condiciones de prueba y criterios de evaluación. Las probetas deben cumplir dimensiones estándar, un espesor de recubrimiento adecuado y estar fabricadas con láminas de

acero preparadas bajo condiciones controladas. Además, se someten a ensayos de calor directo para medir la resistencia del recubrimiento. Las dimensiones de la probeta se enlistan a continuación:

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

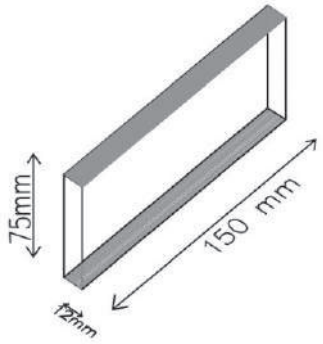
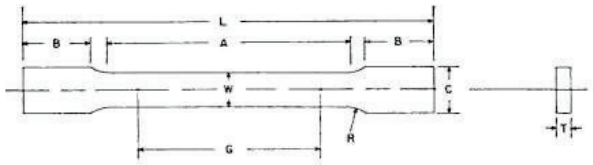


Fig. 6. Probeta de la norma ISO12944

2.3.5.2. Norma ASTM A370

Estos métodos de prueba cubren los procedimientos y definiciones para las pruebas mecánicas de aceros, aceros inoxidables y aleaciones relacionadas en donde, las diversas pruebas mecánicas que se describen son utilizadas para determinar las propiedades requeridas en las especificaciones del producto.



DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1½-in. Wide		Sheet-Type, ½-in. Wide		¼-in. Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
G—Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
W—Width (Notes 3, 5, and 6)	1½ + ⅛ − ¼	40 + 3 − 6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
T—Thickness (Note 7)			Thickness of Material			
R—Radius of fillet, min (Note 4)	½	13	½	13	¼	6
L—Over-all length, min (Notes 2 and 8)	18	450	8	200	4	100
A—Length of reduced section, min	9	225	2¼	60	1¼	32
B—Length of grip section, min (Note 9)	3	75	2	50	1¼	32
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 10, and 11)	2	50	¾	20	⅜	10

Fig. 7. Norma ASTM A370

2.3.5.3.Norma ASTM E119-24: Métodos de prueba estándar para pruebas de fuego de materiales y construcciones de edificios

Norma nombrada como anexo en la NEC-HS-CI contra incendios [32]especifica que el ensayo expone una muestra a un fuego estándar controlado para alcanzar temperaturas específicas durante un período de tiempo específico, para analizar si un recubrimiento está bien aplicado se sugiere un soplete de llama directa con acetileno y oxígeno para que genere una llama mayor a 1KW en un intervalo de tiempo de 3-4 y 5 minutos con temperaturas de 600°C, 800°C hasta 1000°C para comprobar la protección del recubrimiento y su aplicación correcta después del mismo de deberán hacer los ensayos La norma de prueba prevé lo siguiente: Medir la variación de la dureza del material así como también su capacidad por medio un ensayo de tracción y su química con un ensayo metalográfico. [33].

2.3.5.4.Norma ASTM E112. Evaluación del Tamaño de Grano.

La ASTM E112 establece los métodos para la determinación del tamaño de grano en materiales metálicos, permitiendo evaluar posibles alteraciones en la microestructura del material después de una exposición a altas temperaturas. Esto es fundamental en la evaluación de recubrimientos ignífugos, ya que una variación significativa en el tamaño de grano podría afectar las propiedades mecánicas del metal, comprometiendo su resistencia estructural y su capacidad de carga.

2.3.5.5.Norma ISO 12944-9. Protección Contra el Fuego.

La ISO 12944-5 define los requisitos de los recubrimientos para la protección contra la corrosión de estructuras metálicas expuestas a diferentes ambientes. Esta normativa es esencial para evaluar la durabilidad del recubrimiento ignífugo a lo largo del tiempo, asegurando que no solo proteja contra incendios, sino que también ofrezca resistencia frente a factores como la humedad, agentes químicos y condiciones climáticas adversas.

2.3.5.6.Norma ASTM E10-23: Ensayo de Dureza Brinell

Define la prueba de Brinell como una prueba de dureza por indentación significa que con un diámetro y fuerza especifica se aplica una carga y se mide el diámetro formado por las mismas para sacar el valor dado en los manuales de dureza de Brinell. Estos parámetros son los tomados en la Norma INEN 123.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de investigación

En lo que respecta a la realización de la presente investigación se destaca que para el cumplimiento se requiere de un proceso acertado y continuo. Con esto en mente se subraya un procedimiento en tres fases.

En la Fase 1: Se determinó el procedimiento adecuado para el recubrimiento del acero con materiales ignífugos a la par de analizar las normas NFPA703-ASTM E119. Además, se realizó una investigación no experimental basada en la recopilación bibliográfica de varias patentes técnicas de recubrimientos ignífugos.

Se expuso al acero estructural recubierto con materiales ignífugos (3 tipos de recubrimientos) los mismos que basados en la norma ASTM E119-24 fueron sometidos a la prueba de recubrimiento se expuso a 3,4 y 5 minutos a temperaturas de 600, 800 y 1000 Grados Celsius por medio de una fuente de calor que empleaba acetileno, oxígeno y una boquilla especial para el ensayo de las probetas platas y rectangulares. Con base en estos datos se pudo dimensionar y/o identificar cuál de los recubrimientos presenta mejorar propiedades visibles.

Fase 2: Dentro de esta fase con el recubrimiento que cubrió mejor las propiedades de las materias se expuso el mismo a una fuente de calor que simulaba un incendio utilizando un quemador y un horno para lograr las temperaturas de 600, 800 y 1000 grados Celsius críticas de un incendio, a la par de valorar el tiempo de 30, 45 y 60 minutos con base en el objetivo específico número dos. Es de esta manera que se pudo determinar si la estructura metalográfica y propiedades mecánicas de las probetas variaron luego de ser expuestos a estas temperaturas. Es acertado acotar que el tipo de investigación para este último paso fue una investigación experimental.

Fase 3: Finalmente, se determinó las propiedades mecánicas del material expuesto al fuego a diferentes tiempos de temperaturas y comparar sus resultados con las del material no expuesto. Es por medio de esta actividad que se recopiló todos los datos para comprobar la hipótesis: Los aceros convencionales recubiertos con pinturas

ignífugas presentarán una mayor capacidad de resistencia al fuego en comparación con los aceros A36.

Población o muestra:

Este estudio experimental se permitió identificar las propiedades de los aceros A36 al ser recubiertos con pinturas ignífugas para lo cual se utilizó probetas y por este motivo no existe población o muestra. Sin embargo, se trabajó con 27 probetas en los ensayos de recubrimiento 18 rectangulares para el ensayo de dureza y metalografía, 9 probetas planas para los ensayos de tracción. Para el segundo objetivo se trabajó con 12 probetas 6 para los ensayos de dureza y metalografía, 6 probetas para el ensayo de tracción para medir sus propiedades sin recubrimiento se tomaron los datos de tesis experimentales.

Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

¿El acero A36 recubierto con pinturas ignífugas presentará diferencias en sus propiedades mecánicas en comparación al acero A36 no recubierto?

Recolección de información

Se llevó a cabo un análisis integral de las propiedades mecánicas y microestructurales del material mediante la ejecución de ensayos de dureza, pruebas de tracción y estudios metalográficos para la determinación del porcentaje de carbono. El ensayo de dureza permitió evaluar la resistencia del material a la deformación plástica, proporcionando información clave sobre su comportamiento. Por otro lado, los ensayos de tracción permitieron determinar parámetros fundamentales como el esfuerzo-deformación, lo que permitió caracterizar la capacidad del material para soportar esfuerzos sin fallar. Adicionalmente, el análisis metalográfico permitió examinar la microestructura, identificando la presencia de fases y distribuciones características asociadas al contenido de carbono; ferrita y perlita, lo que resulta crucial para establecer la composición y propiedades mecánicas del material con y sin recubrimiento.

2.3.6. Probetas de acero al carbono ASTM A36

Para la realización de los ensayos, se emplean dos tipos de probetas: planas y rectangulares. Las probetas rectangulares se utilizan específicamente para los ensayos de metalografía y dureza, mientras que las probetas planas y rectangulares se destinan a los ensayos de dureza y tracción. Esta distinción permite evaluar tanto las propiedades microestructurales como las mecánicas del material de manera adecuada.

Se trabajará con 27 probetas para el ensayo de recubrimiento, las cuales están distribuidas de la siguiente manera: siete probetas cuentan con recubrimiento E65**,** siete con recubrimiento P25**,** y siete más con recubrimiento X50**.** Adicionalmente, se incluye una probeta sin recubrimiento, la cual no será sometida a ningún ensayo y servirá como muestra de referencia para comparar los resultados obtenidos con las probetas recubiertas. El corte de la probeta se efectuó con base en la ASTM A370 y su corte se realizó con una cortadora por plasma.



Fig. 8. Probetas planas y rectangulares para los ensayos

Para a simulación de incendio en un horno se trabajará con 12 probetas las cuales están distribuidas de la siguiente manera: seis rectangulares con recubrimiento X50**.** El corte de la probeta se efectuó con base en la ASTM A370 y su corte se realizó con una cortadora por plasma.

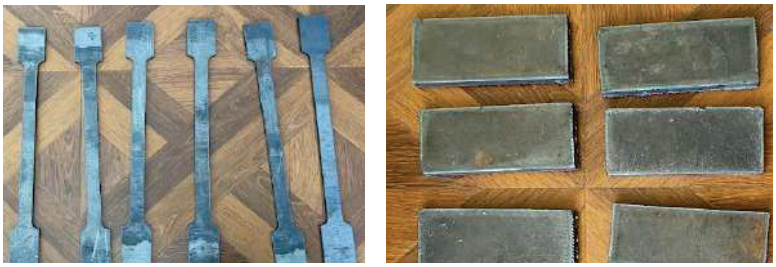


Fig. 9. Probetas planas y rectangulares para los ensayos.

2.3.7. Procedimiento para recubrir

El procedimiento para efectuar el recubrimiento de estructuras de acero según la Norma ISO 12944 comienza con la evaluación del entorno, determinando el nivel de corrosividad del ambiente conforme a ISO 12944-2. Con base en esta clasificación, se selecciona el sistema de recubrimiento adecuado según ISO 12944-5, asegurando que cumpla con las condiciones de exposición y durabilidad requeridas.

La preparación de la superficie es clave para garantizar la adherencia del recubrimiento. Según ISO 12944-4, se pueden utilizar métodos como el chorro abrasivo (Sa 2½ o Sa 3, ISO 8501-1), la limpieza mecánica (St 2 o St 3) o el decapado químico para eliminar contaminantes. Además, la rugosidad de la superficie se mide conforme a ISO 8503.

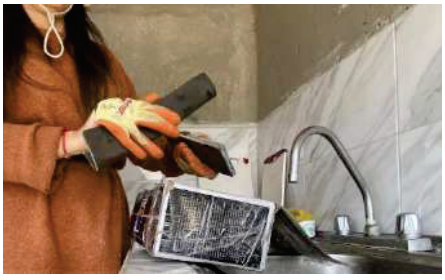


Fig. 10. Limpieza mecánica

La aplicación del recubrimiento se realiza en capas: imprimación (primer) para la adherencia y protección anticorrosiva, capa intermedia si es necesario para reforzar la barrera protectora y capa de acabado (topcoat) para la resistencia final y estética. Cada probeta debe tener una capa de imprimante según la ISO 12944-5, verificándose con medidores de espesor.



Fig. 11. Aplicación del recubrimiento imprimación (primer)

Finalmente, el proceso concluye con el curado y secado del recubrimiento, respetando los tiempos recomendados por el fabricante según las condiciones ambientales. Luego, se realizan inspecciones de calidad según ISO 12944-6, incluyendo la medición del espesor de la película seca y ensayos de envejecimiento acelerado para asegurar la resistencia del sistema de protección aplicado.



Fig. 12. Curado y secado del recubrimiento

2.3.8. Descripción de los equipos utilizados

2.3.9. Ensayo de dureza Brinell

Se llevó a cabo el ensayo de dureza para evaluar las propiedades mecánicas de las probetas de acero ASTM A36 recubiertas con los materiales ignífugos E65, P25 y X50. Las mediciones se realizaron en dos zonas específicas de cada probeta, tanto en su versión plana como rectangular, siguiendo la norma ASTM E10-18, la cual establece los métodos de prueba estándar para determinar la dureza Brinell en materiales metálicos.

El primer paso consistió en preparar la probeta y asegurar que la superficie de la probeta esté completamente plana y lisa. Para ello, se recomienda realizar un pulido superficial con lijas de grano fino o herramientas de acabado, eliminando cualquier irregularidad que pueda afectar la medición.



Fig. 13. Pulido de las probetas

- Configurar el durómetro para aplicar una carga de 187,5 N (19,1 kgf), siguiendo las especificaciones de la norma ASTM E10-18.



Fig. 14. Configuración de la carga aplicada

- Colocar la probeta sobre el plato del durómetro, asegurándose de que quede firmemente sujeta y nivelada para evitar movimientos durante la medición.



Fig. 15. Colocación de la probeta

- Utilizar un indentador de bola de acero endurecido con un diámetro de 2,5 mm, el cual es adecuado para materiales metálicos como el acero ASTM A36.



Fig. 16. Colocación del identador

- Acercar el indentador a la superficie de la probeta hasta que haga contacto. Aplicar una precarga y esperar 5 segundos para que la carga se estabilice antes de aplicar la carga total.



Fig. 17. Aplicación de la precarga

- Aplicar la carga total de 187,5 N durante un tiempo de 10 a 15 segundos**,** según lo establecido en la norma. Luego, retirar la carga y retirar el indentador de la superficie.



Fig. 18. Aplicación de carga nominal

- Repetir el proceso de medición al menos 2 veces en diferentes puntos de la probeta, asegurándose de que cada nueva huella esté separada por un mínimo de 2 mm de cualquier huella previa. Esto evita interferencias entre las mediciones y garantiza resultados representativos.



Fig. 19. Proceso de medición

- Utilizar un microscopio manual con factor de lente de 2,5x para medir el diámetro de cada huella dejada por el indentador. Registrar los valores obtenidos con precisión.

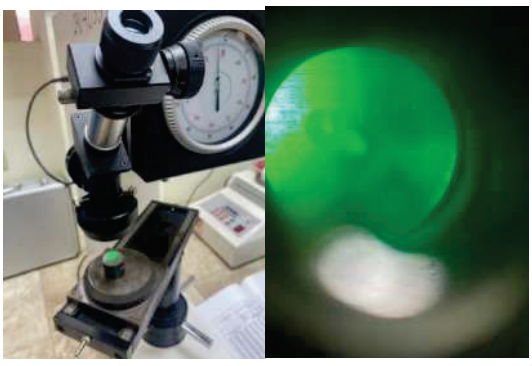


Fig. 20. Análisis del microscopio

- Con esas medidas ingresar en el catálogo del fabricante del durómetro y leer la dureza en la columna de 187,5 N y bola de 2,5 mm según corresponda. Sacar la medida aritmética de todas las lecturas que considerará como la dureza del material medido

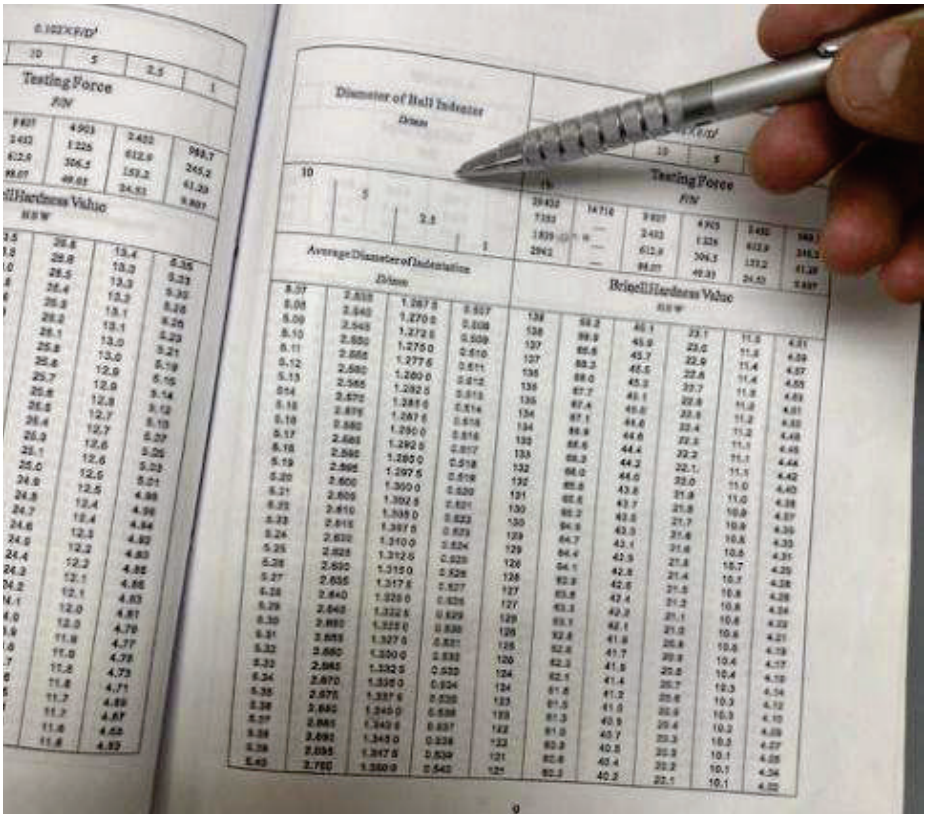


Fig. 21. Análisis con el catálogo del fabricante

Tabla 7. Dureza del material medido [26]

Diámetro de la huella (mm)	Valor Multiplicado* n	Valor de las tablas	Factor de conversión = n
3.35	1.34	123	0.4
3.4	1.36	119	
3.3	1.32	127	
3.37	1.348	121	
3.25	1.3	129	
	Promedio	**123.8**	

Tabla 8. Equipos utilizados

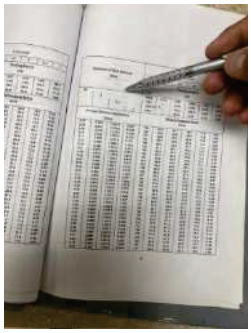
Material	Fotografía	Descripción
Catálogo de fabricante de durómetro – LYRIC		Documento usado para leer el valor de la dureza de acuerdo con la precarga aplicada y el diámetro del identador de bola del durómetro
Banco de lijas		Permite desbastar la superficie de la muestra eliminando así las rayaduras superficiales
Durómetro LYRIC HBRV 187,5 Hardeness Tester		Medir la dureza de diferentes tipos de materiales

Tabla 6. Equipos utilizados (Continuación de la Tabla 6).

Microscopio		Permite observar elementos que no pueden ser observados a simple vista, mediante lentes, visores y rayos de luz, que acercan o agrandan la imagen en escalas convenientes para su examinación y análisis
Permascope Dualscope MPOR-FP		Instrumento de inspección visual utilizado en la industria, especialmente en aplicaciones relacionadas con el mantenimiento y la inspección de tuberías, calderas, intercambiadores de calor y otros equipos industriales. Es un tipo de endoscopio industrial diseñado para acceder a áreas de difícil acceso y permitir la visualización de defectos, corrosión, grietas u otros problemas en el interior de las estructuras.
Ti300pro Professional Thermal Imager		Cámara termográfica de alta gama diseñada para aplicaciones profesionales en diversos campos, como la industria, la construcción, el mantenimiento eléctrico y mecánico, y la inspección de edificios. Esta herramienta utiliza tecnología de infrarrojos para capturar imágenes térmicas, permitiendo visualizar y medir la distribución de temperatura en superficies y objetos sin necesidad de contacto físico.
Tanques de acetileno y oxigeno		Tanques de acetileno y oxigeno de gran proporción utilizados para potenciar la llama.

2.3.10. Ensayo de espesor de pintura

2.3.11. Proceso para la determinación del espesor

Para cada placa de acero ASTM A36, se determinaron tres puntos de medición: izquierda, centro y derecha. Esto permite obtener una medición representativa y uniforme del espesor en diferentes áreas de la placa. Antes de iniciar las mediciones, se calibró el Permascope Dualscope MPOR-FP siguiendo las especificaciones del fabricante. Este paso es crucial para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. A continuación, se colocó el palpador del Permascope Dualscope MPOR-FP de manera perpendicular a la superficie de la placa. Se ejerció una presión uniforme para asegurar un contacto adecuado entre el palpador y el material.



Fig. 22. Medición del espesor de la placa de acero ASTM A36.

Se esperó a que la medición se estabilizara en la pantalla del equipo antes de registrar el valor. Este proceso se repitió en los tres puntos designados (arriba, en el centro y abajo) para cada placa de acero.

2.3.12. Ensayo a tracción Norma ASTM A370

La Norma ASTM A370 establece los procedimientos para realizar esta prueba en productos de acero estructural, garantizando que cumplan con las especificaciones requeridas para su uso en construcción e ingeniería. A través de este ensayo, se determinan parámetros como la resistencia a la tracción, el límite de fluencia, el

alargamiento y la reducción de área, proporcionando información clave sobre la calidad del material.

Para la realización del ensayo, se selecciona y prepara una probeta conforme a los estándares establecidos. Dependiendo de la forma del producto de acero, las probetas pueden ser cilíndricas (para barras y perfiles redondos), planas (para placas y láminas) o de sección completa (para tubos y perfiles estructurales). Las dimensiones y geometría de la probeta deben ajustarse a las indicaciones de ASTM A370 **y** ASTM E8/E8M**,** asegurando que las mediciones sean precisas y repetibles. Además, se realizan procesos de mecanizado y pulido para eliminar imperfecciones superficiales que podrían afectar la medición de esfuerzos y deformaciones.

El procedimiento del ensayo comienza con el montaje de la probeta en una máquina universal de ensayos, asegurando su correcta alineación para evitar cargas excéntricas. Posteriormente, se aplica una carga axial de manera gradual hasta la fractura de la probeta, registrando valores de carga aplicada y deformación en tiempo real. Durante la prueba, se obtiene una curva esfuerzo-deformación, la cual permite identificar el comportamiento mecánico del material. Al finalizar, se mide la sección de fractura y se registran datos como la reducción de área y el alargamiento.



Fig. 23. Probetas para ensayo a Tracción

Los cálculos de resistencia a la tracción, límite de fluencia, alargamiento y reducción de área se realizan a partir de las mediciones obtenidas. La resistencia a la tracción **se** determina dividiendo la carga máxima soportada por el área inicial de la probeta, mientras que el límite de fluencia se calcula con la carga correspondiente al inicio de la deformación plástica. Asimismo, el alargamiento y la reducción de

área se expresan en porcentaje, reflejando la capacidad del material para deformarse antes de la fractura.

Finalmente, los resultados del ensayo se comparan con los valores especificados en la norma ASTM A36 para verificar su conformidad. Se analiza si el material presenta un comportamiento dúctil o frágil, así como los efectos de tratamientos térmicos o procesos de fabricación en sus propiedades mecánicas. Este ensayo es esencial en el control de calidad del acero estructural y puede complementarse con otras pruebas, como ensayos de dureza o impacto, para obtener una caracterización completa del material.

2.3.13. Ensayos metalográfico acero ASTM A36

Para obtener una sección representativa del material, se utilizó una máquina de corte de precisión (Fig. 17). Esta herramienta permitió realizar un corte limpio y preciso en la probeta de acero ASTM A36, evitando deformaciones térmicas que pudieran alterar su microestructura. El resultado del corte se observa en la Fig. 5, donde se muestra el pasador cortado listo para su preparación.



Fig. 24. Máquina de corte de precisión

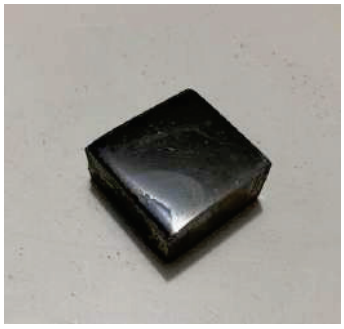


Fig. 25. Pasador cortado



Fig. 26. Prensa Hidráulica

El desbaste inicial se realizó en un banco de lijas (Fig. 21), utilizando lijas de grano progresivamente más fino. Este proceso, permitió eliminar irregularidades y preparar la superficie para el pulido. Después de cada etapa de lijado, la probeta se lavó con agua para eliminar residuos y se secó, asegurando una superficie limpia para el siguiente paso.



Fig. 27. Banco de Lijas

El pulido final se llevó a cabo en una pulidora metalográfica (Fig. 22). Utilizando paños impregnados con una suspensión de óxido de aluminio o diamante, se logró una superficie lisa y reflectante, libre de rayas visibles.



Fig. 28. Pulidora metalográfica

Para revelar la microestructura del acero, se aplicó un ataque químico utilizando reactivos específicos (Fig. 23). La probeta se sumergió en una solución de Nital al 2-5% durante un tiempo controlado. Este proceso permitió resaltar las características microestructurales del material. Después del ataque, la probeta se lavó con agua destilada y alcohol para detener la reacción y se secó, quedando lista para su observación.



Fig. 29. Químicos

La probeta preparada se colocó en un microscopio metalográfico (Fig. 24) para su observación. Las imágenes capturadas se visualizaron y analizaron en una computadora, lo que permitió identificar características clave como el tamaño de grano, la distribución de fases (ferrita, perlita, etc.) y posibles defectos en la microestructura.



Fig. 30. Microscopio metalográfico

Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Para validar la hipótesis y garantizar la confiabilidad de los resultados, se llevó a cabo una valoración estadística empleando el software Minitab, aplicando técnicas de estadística no paramétrica y diseño de experimentos. Con el propósito de cumplir con los objetivos de la investigación, se realizó un procesamiento y análisis detallado de cada uno de los ensayos, iniciando con una revisión exhaustiva de artículos científicos sobre métodos óptimos para recubrir aceros y protegerlos contra el fuego. Asimismo, se revisaron fichas técnicas y ensayos previos del acero A36, conociendo así los valores de resistencia última a la tracción, límite de fluencia, dureza y análisis metalográfico. Con base en estos resultados, se procedió a recubrir el acero con pintura ignífuga y someterlo a diferentes temperaturas para evaluar su comportamiento. Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados mediante un cuadro comparativo en el software Excel, complementado con la elaboración de informes detallados de cada uno de los ensayos realizados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se cuenta con datos reales obtenidos de 16 probetas de acero ASTM A36, expuestas a diferentes tiempos y temperaturas simulando un incendio real en un horno convencional, las cuales fueron ensayadas en laboratorio mediante ensayo de Dureza Brinell, Metalográficos y tracción.

4.1. Procedimiento adecuado para el recubrimiento del acero con materiales ignífugos

4.1.1. Información respecto a pinturas ignifugas intumescentes en acero ASTM A36

El acero estructural ASTM A36 es ampliamente utilizado en la construcción debido a su resistencia mecánica y versatilidad. Sin embargo, su exposición a altas temperaturas durante incendios puede comprometer su integridad estructural, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar recubrimientos ignífugos que protejan el material. En este estudio, se analizó el comportamiento mecánico del acero ASTM A36 recubierto con pinturas intumescentes (E65, P25 y X50) después de ser sometido a altas temperaturas. Estas pinturas fueron seleccionadas tras un exhaustivo proceso de investigación y análisis de patentes y de la norma NFPA 101, que permitieron identificar las más adecuadas para el proyecto.

4.1.1.1.Proceso de investigación y selección de pinturas ignífugas.

El proceso de investigación se llevó a cabo utilizando diversas ecuaciones de búsqueda en bases de datos especializadas. El objetivo fue identificar información relevante sobre pinturas ignífugas y su aplicación en estructuras de acero. Las ecuaciones de búsqueda se diseñaron para filtrar resultados específicos relacionados con recubrimientos ignífugos, estructuras de acero y protección contra incendios.

Tras una revisión exhaustiva, se seleccionó la ecuación de búsqueda número 4, que mostró una alta relevancia en el tema de interés. Esta ecuación fue la más acertada,

ya que permitió acceder a patentes y estudios directamente relacionados con el uso de pinturas intumescentes en acero estructural.

Tabla 9. Código de patente ecuación 4

Código de patente ecuación 4	**Descripción de código**	**Reiteraciones**
C09D	COATING COMPOSITIONS, e.g. PAINTS, VARNISHES OR LACQUERS; FILLING PASTES; CHEMICAL PAINT OR INK REMOVERS; INKS; CORRECTING FLUIDS; WOODSTAINS; PASTES OR SOLIDS FOR COLOURING OR PRINTING; USE OF MATERIALS THEREFOR (cosmetics A61K; processes for applying liquids or other fluent materials to surfaces, in general, B05D; staining wood B27K5/02; glazes or vitreous enamels C03C; natural resins, French polish, drying-oils, driers, turpentine, per se, C09F; polishing compositions other than French polish, ski waxes C09G; adhesives or use of materials as adhesives C09J; materials for sealing or packing joints or covers.	5
E04B	GENERAL BUILDING CONSTRUCTIONS; WALLS, e.g. PARTITIONS; ROOFS; FLOORS; CEILINGS; INSULATION OR OTHER PROTECTION OF BUILDINGS (border constructions of opening in walls, floors or ceilings E06B1/00; electromagnetic shielding H05K9/0001)	3
H01B	CABLES; CONDUCTORS; INSULATORS; SELECTION OF MATERIALS FOR THEIR CONDUCTIVE, INSULATING OR DIELECTRIC PROPERTIES (selection for magnetic properties H01F1/00; waveguides H01P ; printed circuits H05K)	4
B32B	LAYERED PRODUCTS, i.e. PRODUCTS BUILT-UP OF STRATA OF FLAT OR NONFLAT, e.g. CELLULAR OR HONEYCOMB, FORM	5
E04C	STRUCTURAL ELEMENTS; BUILDING MATERIALS (for bridges E01D; specially designed for insulation or other protection E04B; elements used as building aids X50; for mining E21; for tunnels E21D; structural elements with broader range of application than for building engineering F16, particularly F16S)	5
E04F	FINISHING WORK ON BUILDINGS, E.G. STAIRS, FLOORS	5
E06B	FIXED OR MOVABLE CLOSURES FOR OPENINGS IN BUILDINGS, VEHICLES, FENCES OR LIKE ENCLOSURES IN GENERAL, e.g. DOORS, WINDOWS, BLINDS, GATES (shades or blinds for greenhouses A01G9/22; curtains A47H; lids for car boots or bonnets B62D25/10; skylights E04B7/18; sunshades, awnings E04F10/00)	4

Tabla 6. Código de patente ecuación 4 (Continuación de la Tabla 6).

F16L	PIPES; JOINTS OR FITTINGS FOR PIPES; SUPPORTS FOR PIPES, CABLES OR PROTECTIVE TUBING; MEANS FOR THERMAL INSULATION IN GENERAL	3
C04B	LIME, MAGNESIA; SLAG; CEMENTS; COMPOSITIONS THEREOF, e.g. MORTARS, CONCRETE OR LIKE BUILDING MATERIALS; ARTIFICIAL STONE (roofing granules E657/005);	4
C03C10	CERAMICS (devitrified glass-ceramics C03C10/P25); REFRACTORIES; TREATMENT OF NATURAL STONE	2
E04H	BUILDINGS OR LIKE STRUCTURES FOR PARTICULAR PURPOSES; SWIMMING OR SPLASH BATHS OR POOLS; MASTS; FENCING; TENTS OR CANOPIES, IN GENERAL (foundations E02D)	2

El análisis de patentes reveló que la empresa SHANDONG FEIYUE STEEL STRUCTURE ENGINEERING CO LTD (China) es líder en el campo, con 5 patentes relacionadas con recubrimientos ignífugos para estructuras de acero. Otras empresas destacadas incluyen BEIJING MUCHEN FIREPROOF HEAT INSULATION SPECIAL MATERIALS CO LTD (4 patentes) y SHENYANG JIANZHU UNIVERSITY (3 patentes). Estas entidades han contribuido significativamente al desarrollo de tecnologías de protección contra incendios en estructuras metálicas.

En 2021 se observó un incremento del 45%, reflejando la recuperación del sector y la importancia de la protección contra incendios en estructuras metálicas.

En América Latina, la adopción de estas tecnologías ha sido más lenta en comparación con Europa y Asia. Esto se debe, en parte, a la falta de disponibilidad de productos certificados y a los altos costos asociados. En Colombia, por ejemplo, existen pocas empresas que ofrecen pinturas intumescentes con certificaciones internacionales, lo que limita su uso en proyectos de construcción.

Los pasos y criterios técnicos necesarios para la aplicación de recubrimientos ignífugos en estructuras de acero para garantizar una protección óptima contra incendios se basan en las normas internacionales NFPA 703, ASTM E119 y EN

13381-4 las cuales aseguran que el recubrimiento cumpla con los requisitos de resistencia al fuego, durabilidad y eficacia en la protección del acero estructural.

Estas normas se aplican para la selección, preparación, aplicación y verificación de recubrimientos ignífugos (pinturas intumescentes) en estructuras de acero en edificaciones comerciales, industriales y residenciales. Incluye los siguientes aspectos:

1. Selección del material ignífugo.
2. Preparación de la superficie del acero.
3. Aplicación del recubrimiento.
4. Control de calidad y verificación del espesor.
5. Pruebas de resistencia al fuego.

Además, en base a la NORMA ASTM E119-9 habla que el inspector debe verificar la intumescencia del sistema aplicando llama directa con un soplete que genere una potencia mayor que 1 KW en un tiempo de 3 min a 5 min máximo. Esta medición cualitativa se debe realizar luego de 48 h de aplicada la pintura.

Procedimiento

1. Selección del Material Ignífugo

- **Requisitos del material**: El recubrimiento ignífugo seleccionado debe cumplir con los estándares de resistencia al fuego establecidos en las normas NFPA 703 y ASTM E119. Debe ser un material intumescente certificado por un organismo reconocido (por ejemplo, UL o CE).
- **Tiempo de resistencia al fuego**: El material debe garantizar un tiempo mínimo de resistencia al fuego según el diseño de la estructura (por ejemplo, 30, 60, 90 o 120 minutos).
- **Compatibilidad**: El recubrimiento debe ser compatible con las capas de imprimación y acabado que se apliquen sobre el acero.

2. Preparación de la Superficie del Acero

- **Limpieza**: La superficie del acero debe estar libre de óxido, polvo, grasa y otros contaminantes. Se recomienda utilizar métodos de limpieza mecánica (chorro de arena) o química (solventes).
- **Imprimación**: Aplicar una capa de imprimación anticorrosiva compatible con el recubrimiento ignífugo, siguiendo las especificaciones del fabricante.
- **Secado**: Asegurar que la imprimación esté completamente seca antes de aplicar el recubrimiento ignífugo.

3. Aplicación del Recubrimiento Ignífugo

- **Método de aplicación**: El recubrimiento ignífugo puede aplicarse mediante brocha, rodillo o pistola de aire, siguiendo las recomendaciones del fabricante.
- **Espesor requerido**: Aplicar el recubrimiento en capas uniformes hasta alcanzar el espesor especificado en el diseño. Utilizar un medidor de espesor (calibrador) para verificar el grosor de cada capa.
- **Tiempo de secado**: Respetar los tiempos de secado entre capas indicados por el fabricante para evitar defectos en la aplicación.

4. Control de Calidad y Verificación del Espesor

- **Inspección visual**: Verificar que no haya defectos como burbujas, grietas o áreas sin cubrir.
- **Medición del espesor**: Utilizar un medidor de espesor para confirmar que el recubrimiento cumple con los requisitos de diseño.
- **Pruebas de adherencia**: Realizar pruebas de adherencia según los métodos establecidos en la norma ASTM D4541 para asegurar que el recubrimiento esté bien adherido al acero.

5. Pruebas de Resistencia al Fuego

- **Certificación**: El sistema de recubrimiento ignífugo debe ser sometido a pruebas de resistencia al fuego según las normas ASTM E119 o EN 13381.

- **Informe de pruebas**: Obtener un informe certificado por un laboratorio acreditado que demuestre que el recubrimiento cumple con el tiempo de resistencia al fuego requerido.

Resultados Esperados

- **Protección óptima del acero**: El recubrimiento ignífugo aplicado debe garantizar la protección del acero estructural durante el tiempo de resistencia al fuego especificado.
- **Durabilidad**: El recubrimiento debe mantener sus propiedades ignífugas y de adherencia bajo condiciones normales de uso y exposición ambiental.
- **Cumplimiento normativo**: El procedimiento debe asegurar que el recubrimiento cumpla con los requisitos de las normas NFPA 703 y ASTM E119

4.1.1.2. Características de las Pinturas Intumescentes Seleccionadas

Las pinturas intumescentes E65, P25 y X50 fueron seleccionadas por sus propiedades ignífugas, número de patentes y su compatibilidad con el acero ASTM A36. En la tabla 6, se presenta un cuadro comparativo de las características clave de estas pinturas.

Tabla 10. Cuadro comparativo: tiempo de secado y mezclado

Producto	Tiempo de Secado	Mezclado
E65	Aproximadamente 24 horas por capa a 25°C y 65% de humedad relativa.	Mezclar vigorosamente con un mezclador mecánico hasta obtener un producto libre de grumos.
P25	Secado al tacto en 1 hora; tiempo completo de 4 horas para recubrir.	Se suministra listo para usar; agitación mecánica recomendada para mejorar la homogeneidad.
X50	Secado al tacto en 30 minutos; tiempo completo de 4 horas para recubrir.	No requiere dilución; agitación mecánica antes de la aplicación.

Estas pinturas se caracterizan por su facilidad de aplicación, resistencia al fuego y capacidad para expandirse ante altas temperaturas, formando una capa aislante que protege el acero.

4.1.1.3.Espesores de pintura

Tabla 11. Resultados de los espesores de pintura medidos con el endoscopio.

NÙMERO	TIPO DE PINTURA	Mediciones (µM)					PROMEDIO (µM)
		1	2	3	4	5	
Probetas Rectangulares							
1	E-65	164,7	242,9	241,3	246,9	240,2	227,2
2	E-65	135,3	234,7	237,3	232,6	222,7	212,52
3	E-65	211,6	210,9	211,3	203,8	209,8	209,48
						PROMEDIO	**216,4**
4	P-25	295,2	297	279,2	274,7	286,1	286,44
5	P-25	266,8	246,6	263,7	259,7	284,2	264,2
6	P-25	295,7	299,9	315,1	318,5	293,3	304,5
						PROMEDIO	**285,05**
7	X-50	363,4	389,3	393,3	382,7	370,1	379,76
8	X-50	378,1	375,5	369,3	395,5	364,1	376,5
9	X-50	402	397,3	412,8	404	413,5	405,92
						PROMEDIO	**387,39**
10	E-65	263,4	265,8	253,7	259,4	257	259,86
11	E-65	243,3	221,6	227,4	223,2	232,7	229,64
12	E-65	281,4	279,1	287,8	289,9	292,6	286,16
						PROMEDIO	**258,55**
13	X-50	401,6	388,8	381	395,1	371	387,5
14	X-50	359,9	341,7	359,4	398,8	346,3	361,22
15	X-50	357,1	333	351,7	362,9	361,6	353,26
						PROMEDIO	**367,33**
16	P-25	239,1	246,2	258,2	249,2	256,9	249,92
17	P-25	309	311,2	327,9	298,6	316,7	312,68
18	P-25	250,7	252,8	266,2	242,6	272,2	256,9
						PROMEDIO	**367,33**
Probetas Planas							
1	E-65	200	222	202,96	201,5	204,1	206,112
2	E-65	204,2	210,4	200,54	200,7	208,3	204,828
3	E-65	200	205,68	200,04	217,12	205,6	205,688
						PROMEDIO	**205,54**
4	P-25	247,7	269,4	281,5	275,1	286,1	271,96
5	P-25	269,4	256,6	276,1	254	298	270,82
6	P-25	276,9	253,8	287,6	275,1	276,6	274,00
						PROMEDIO	**272,26**
7	X-50	312,6	382,3	396,2	385,6	377,9	370,92
8	X-50	340,7	335,9	360,7	361,4	352,6	350,26
9	X-50	350,6	360,5	360,7	347	360,3	355,82
						PROMEDIO	**359,00**

4.1.1.4.Cálculo de la masividad probetas planas E-65, P+25 y X-50.

Para el cálculo de la masividad es necesario tener en consideración las siguientes dimensiones.

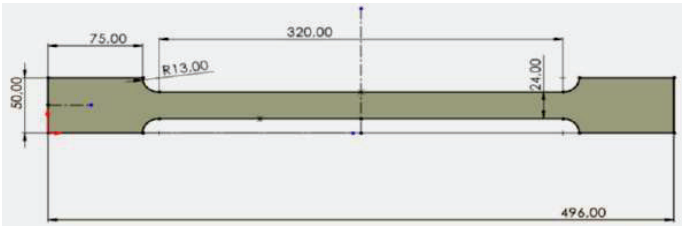


Fig. 31. Dimensiones de la probeta plana

Ancho de la sección reducida: 24 mm = 0.024 m

Espesor: 12 mm = 0.012 m

Cálculo del Perímetro expuesto

La sección es rectangular, por lo que el perímetro expuesto es:

$$P = Ancho + (2 * Espesor)$$

$$P = 0.024 + 2\ (0.012)$$

$$P = 0.048\ m$$

3. Cálculo del Área de la sección transversal

$$A = (Ancho * Espesor)$$

$$P = 0.024 * 0.012$$

$$P = 0.000288\ m^2$$

4. Cálculo de la Masividad

$$M = \frac{P}{A}$$

$$M = \frac{0.048}{0.000288}$$

$$M = 166.67 \mu M$$

4.1.1.5.Cálculo de la masividad probetas rectangulares E-65, P-25 y X-50.

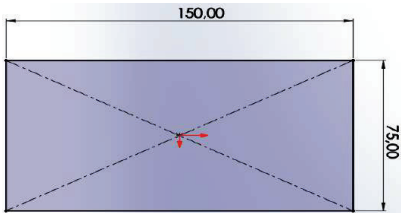


Fig. 32. Dimensiones de la probeta rectangular

Ancho de la probeta: 75 mm = 0.075 m

Altura de la probeta: 50 mm = 0.150 m

Espesor: 12 mm = 0.012 m

Cálculo del Perímetro expuesto

La sección es rectangular, por lo que el perímetro expuesto es:

$$P = Ancho + (2 * Espesor)$$

$$P = 0.075 + 2\,(0.012)$$

$$P = 0.099\,m$$

3. Cálculo del Área de la sección transversal

$$A = (Ancho * Espesor)$$

$$P = 0.075 * 0.012$$

$$P = 0.0009\,m^2$$

4. Cálculo de la Masividad

$$M = \frac{P}{A}$$

$$M = \frac{0.099}{0.0009}$$

$$M = 100\,\mu M$$

Con el cálculo de la masividad según las fichas técnicas y los espesores medidos en la Tabla 10. Nos dan a conocer que los mismos están correctos porque todas las

probetas superan el mismo y fueron pintadas con tres capas siguiendo las especificaciones dadas en su manual.

4.1.1.6.Exposición al fuego de probetas.

Las probetas recubiertas con pinturas ignífugas (E65, P25 y X50) se sometieron a una fuente de calor controlada, y se monitorearon las temperaturas en intervalos de tiempo específicos de 3, 4 y 5 minutos con un mechero y un tanque acetileno y oxígeno. 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 después de haber sido recubierto con pintura ignífuga en los diferentes tiempos de exposición y distancias según la Norma NCh3040.Of2007 para pruebas de recubrimientos aplicando.

Probetas rectangulares con recubrimiento E65, P25, X50

Tabla 12. Termografía de la probeta E 65 a 600 °C a 3 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS					
ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de estudio	De laboratorio		**Ensayo N°**	1-2	
Fecha	02/07/2025		**Probeta N°**	1-2	
Material	ASTM A36				
Lugar:			Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador		
Equipo			Cámara termográfica		
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	1-E65-600°C 2. E65-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

Tabla 12. Termografía de la probeta E 65 a 600 °C a 3 min (Continuación de la Tabla 12).

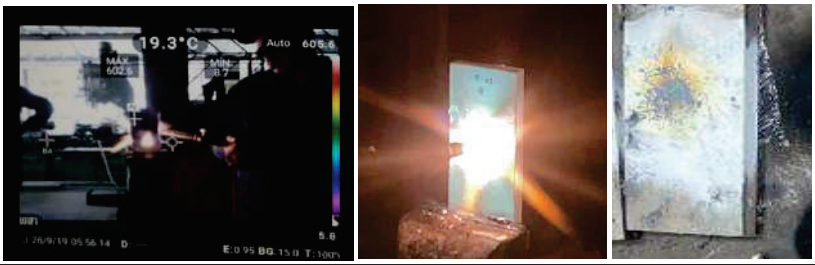
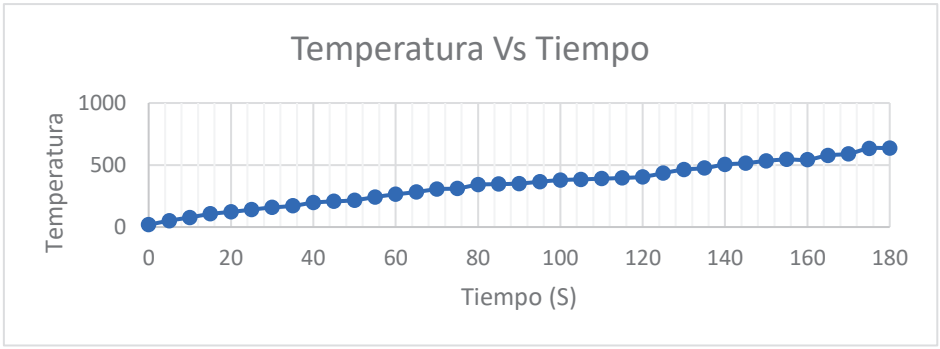
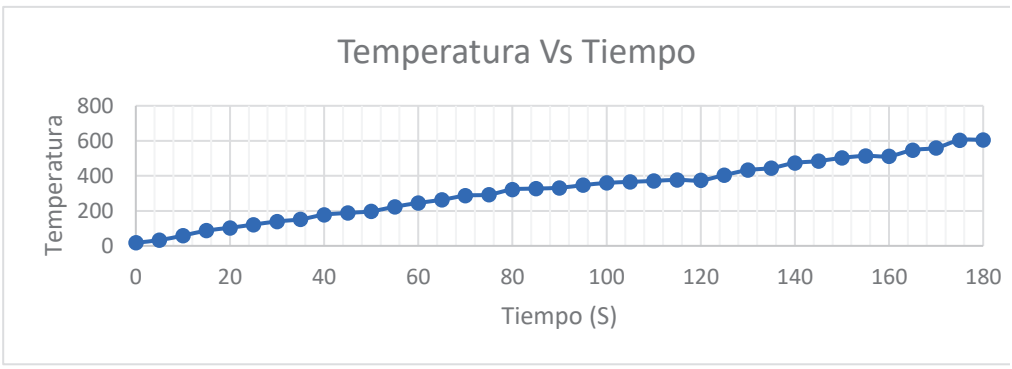
RESULTADOS
1-E65-600°C 
2-E65-600°C 
GRÁFICA
1-E65-600°C 
2. E65-600°C 

Tabla 13.Termografía de la probeta E 65 a 800 °C a 4 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

0ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3-4
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	3-4
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	3-E65-800°C 4. E65-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

3-E65-800°C






4-E65-800°C






Tabla 13. Termografía de la probeta E 65 a 800 °C a 4 min (Continuación de la Tabla 13).

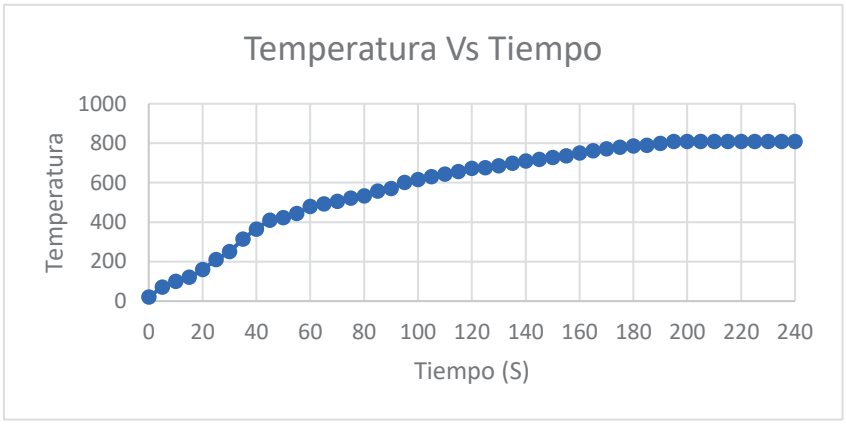
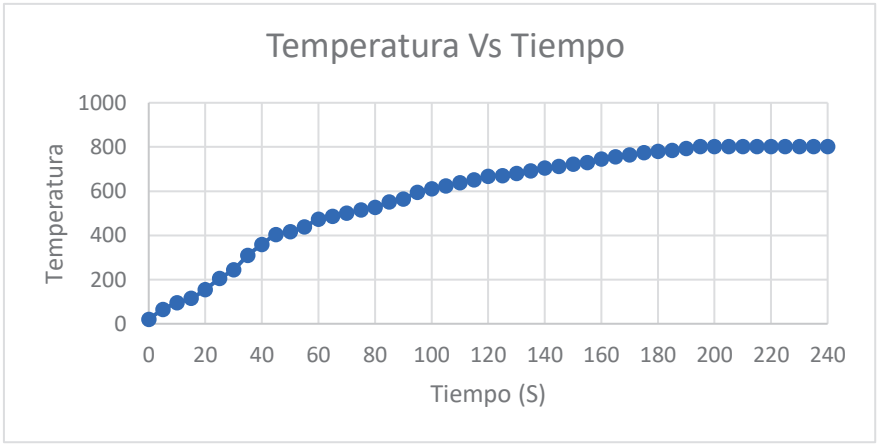
GRÁFICA
3-E65-800°C 
4. E65-800°C 

Tabla 14. Termografía de la probeta E 65 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

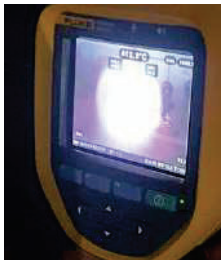
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5-6
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	5-6
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	5-E65-800°C 6. E65-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

5-E65-1000°C





6-E65-1000°C



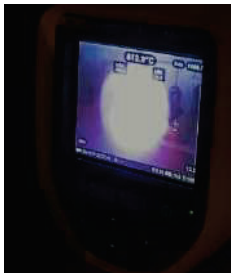


Tabla 14. Termografía de la probeta E 65 A 1000°C a 5 min (Continuación de la Tabla 14).

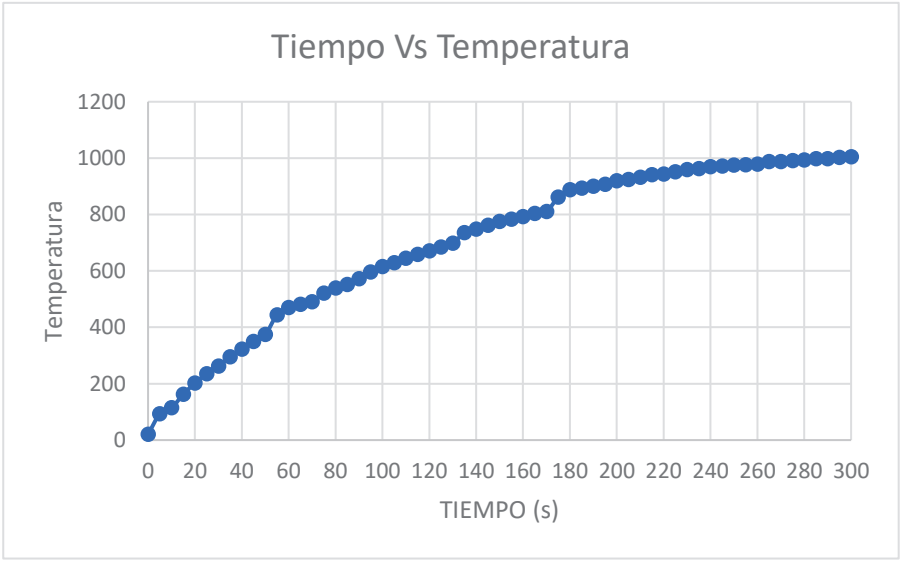
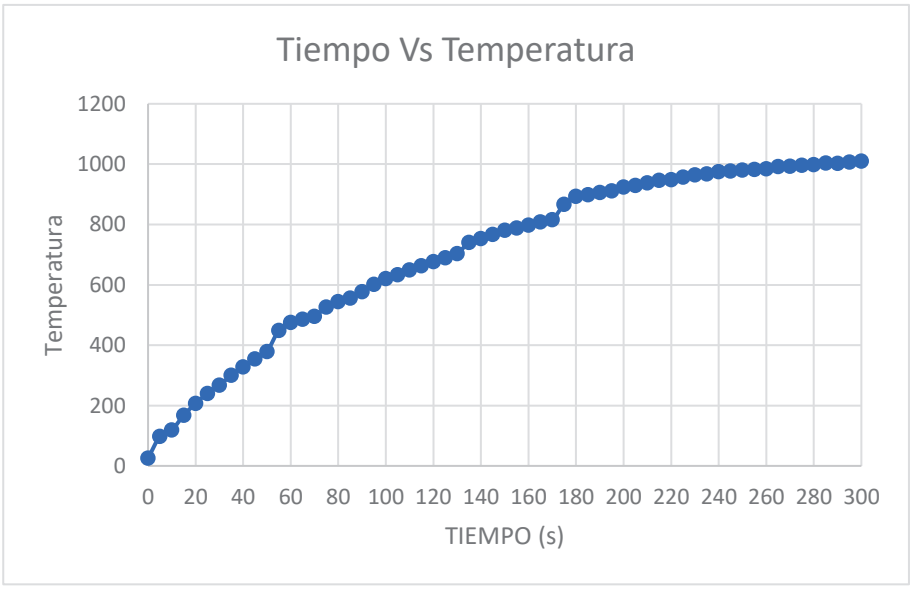
GRÁFICA
5-E65-1000°C 
6. E65-1000°C 

Tabla 15. Termografía de la probeta P25 A 600°C a 3 min

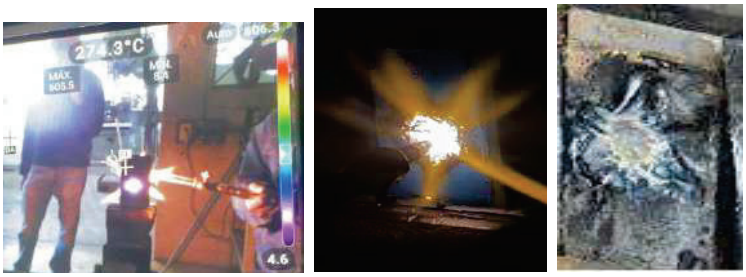
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	7-8
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	7-8
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-P25-600°C 8. P25-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

7-P25-600°C



8-P25-600°C

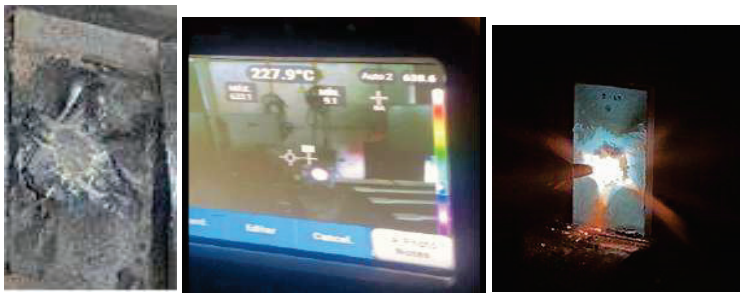


Tabla15. Termografía de la probeta P25 A 600°C a 3 min (Continuación de la Tabla 15).

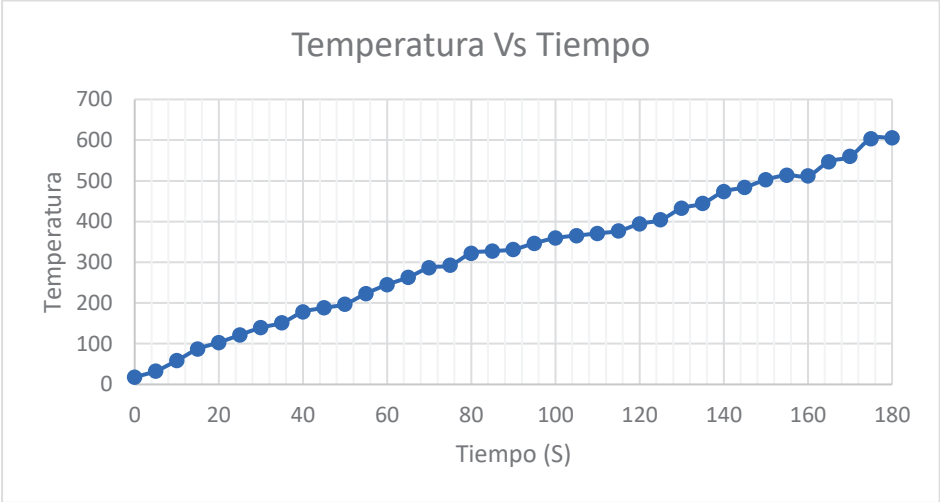
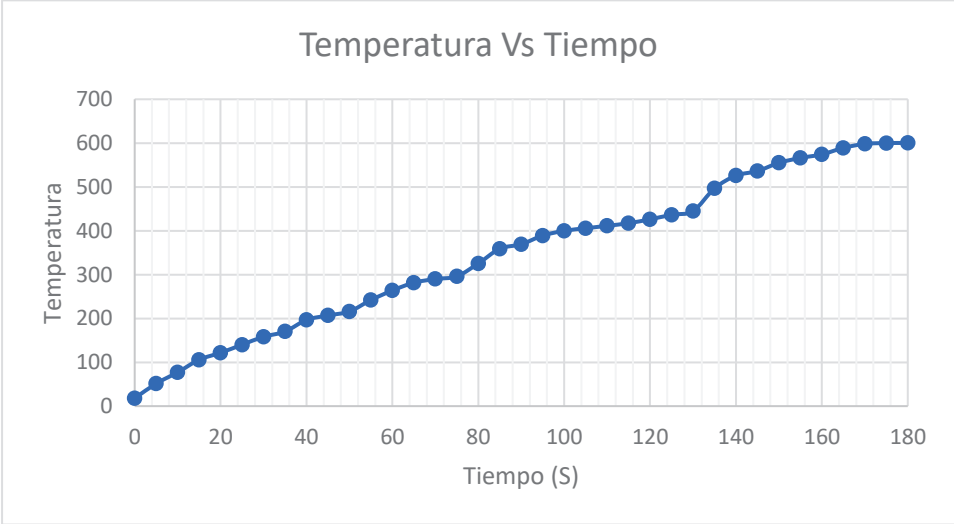
GRÁFICA
7-P25-600°C 
2. P25-600°C 

Tabla 16. Termografía de la probeta P25 A 800°C a 4 min

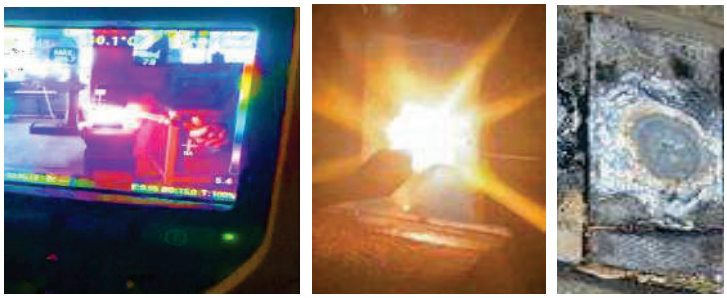
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	9-10
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	9-10
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-P25-800°C 8. P25-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

9-P25-800°C



10-P25-800°C

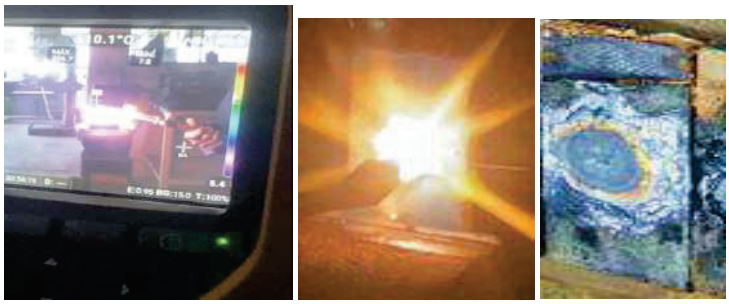


Tabla 16. Termografía de la probeta P25 A 800°C a 4 min (Continuación de la Tabla 16).

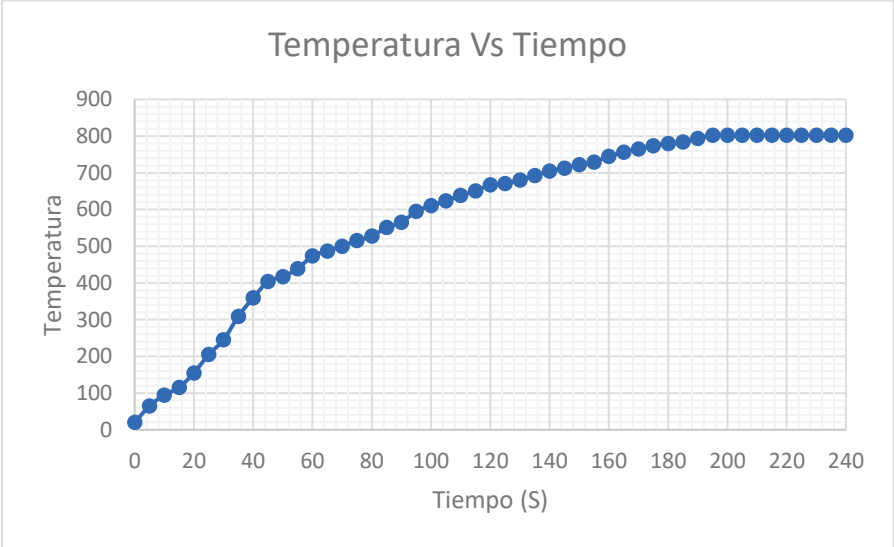
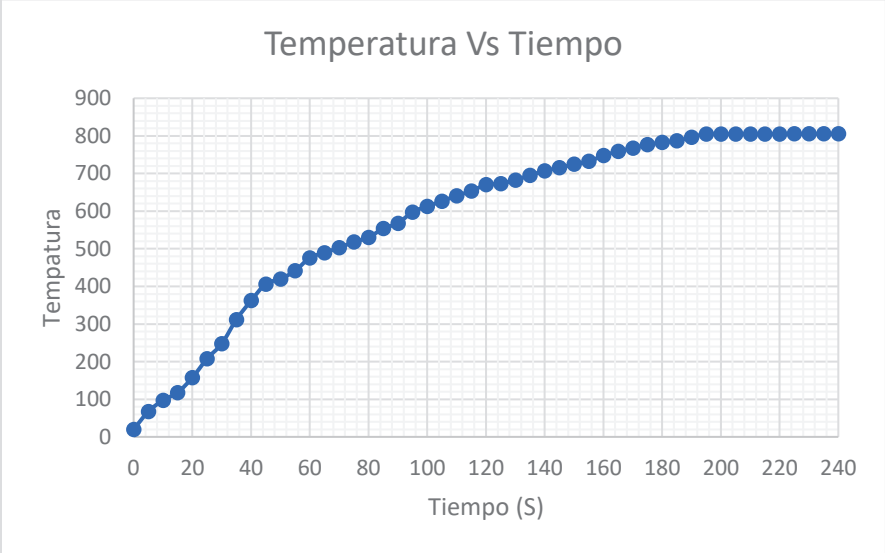
GRÁFICA
9-P25-800°C 
10. P25-800°C 

Tabla 17. Termografía de la probeta P25 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO

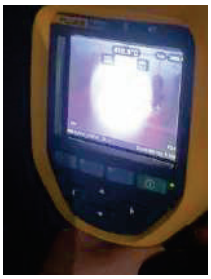
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	11-12
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	11-12
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS

Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-P25-800°C 8. P25-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

11-P25-1000°C





12-P25-1000°C

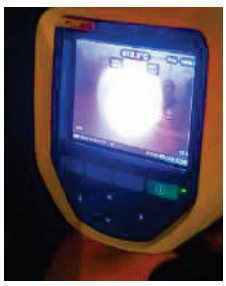




Tabla 17. Termografía de la probeta P25 A 1000°C a 5 min (Continuación de la Tabla 17).

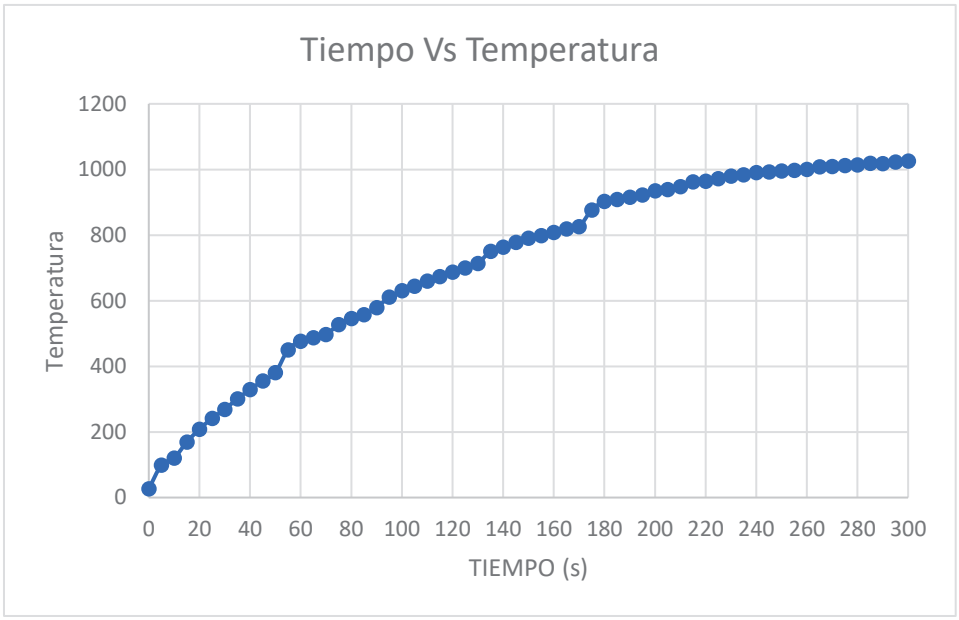
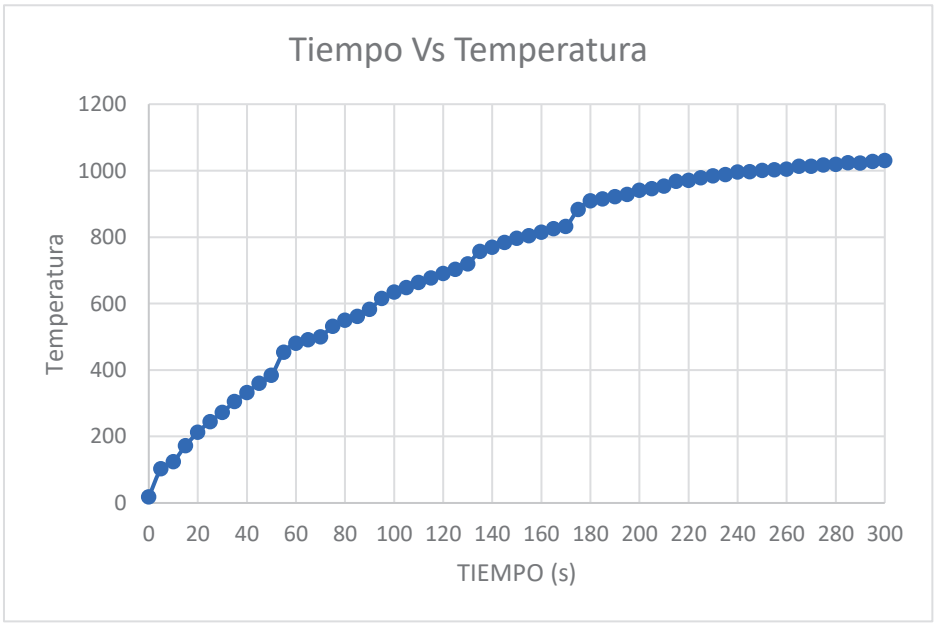
GRÁFICA
11-P25-1000°C 
12. P25-1000°C 

Tabla 18. Termografía de la probeta X-50 A 600°C a 3 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	13-14
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	13-14
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-X50-600°C 8. X50-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

13-P25-600°C



14-P25-600°C

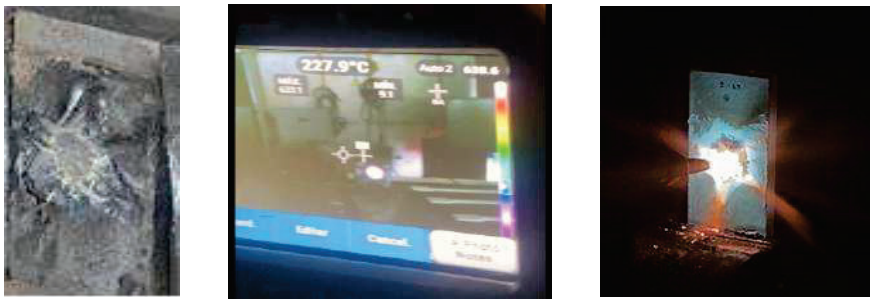


Tabla 18. Termografía de la probeta X-50 A 600°C a 3 min (Continuación de la Tabla 18).

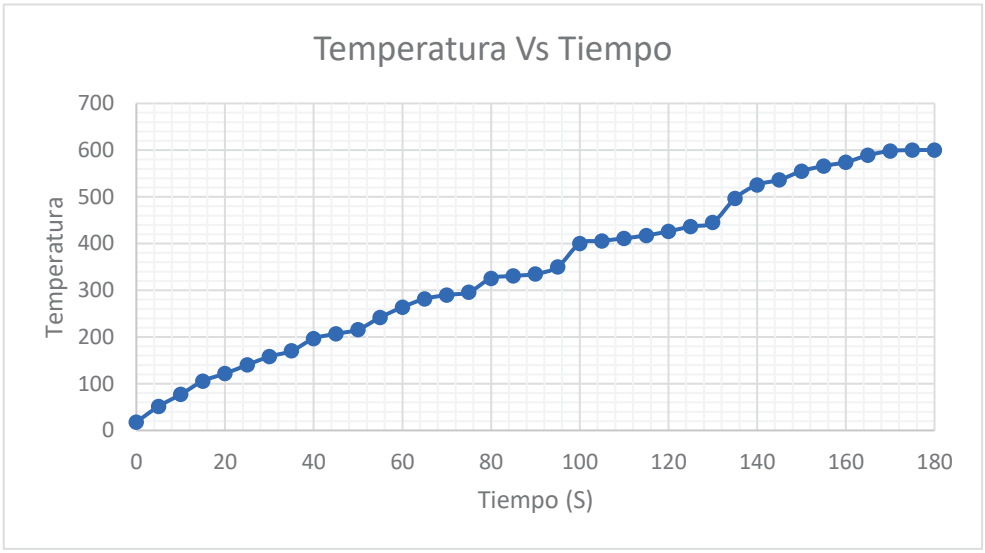
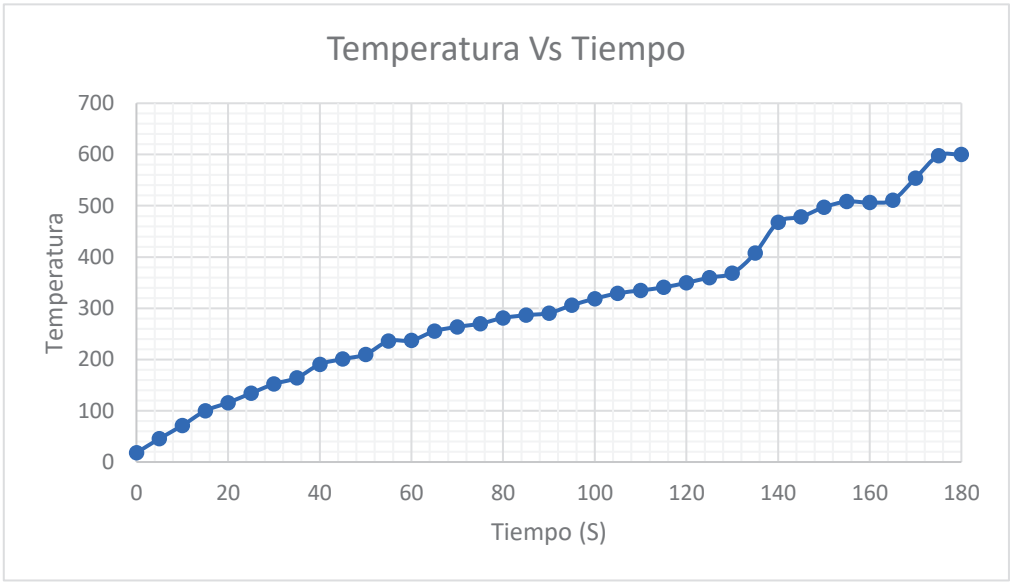
GRÁFICA
13-X50-600°C 
14. X50-600°C 

Tabla 19. Termografía de la probeta X-50 A 800°C a 4 min

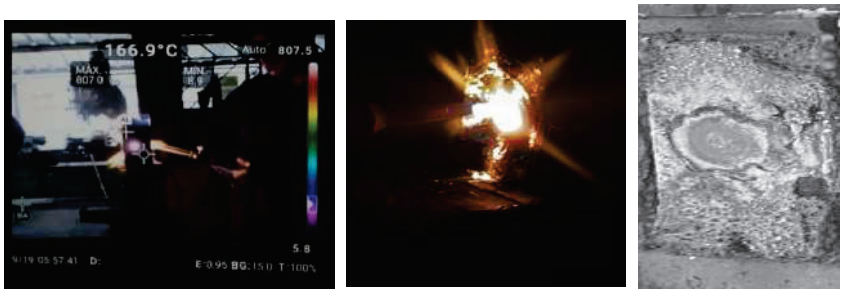
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	15-16
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	15-16
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	15-X50-600°C 16. X50-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

15-P25-800°C



16-P25-800°C

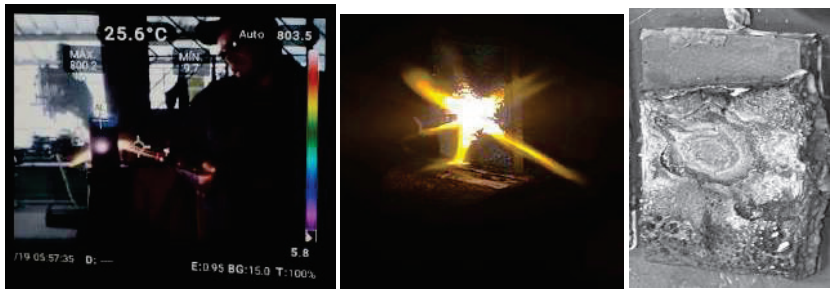


Tabla 19. Termografía de la probeta X-50 A 800°C a 4 min (Continuación de la Tabla 19).

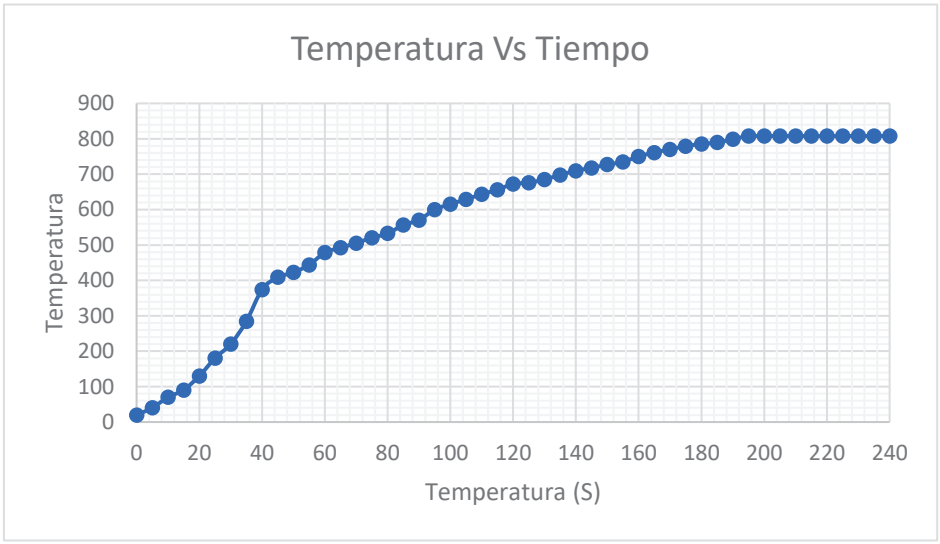
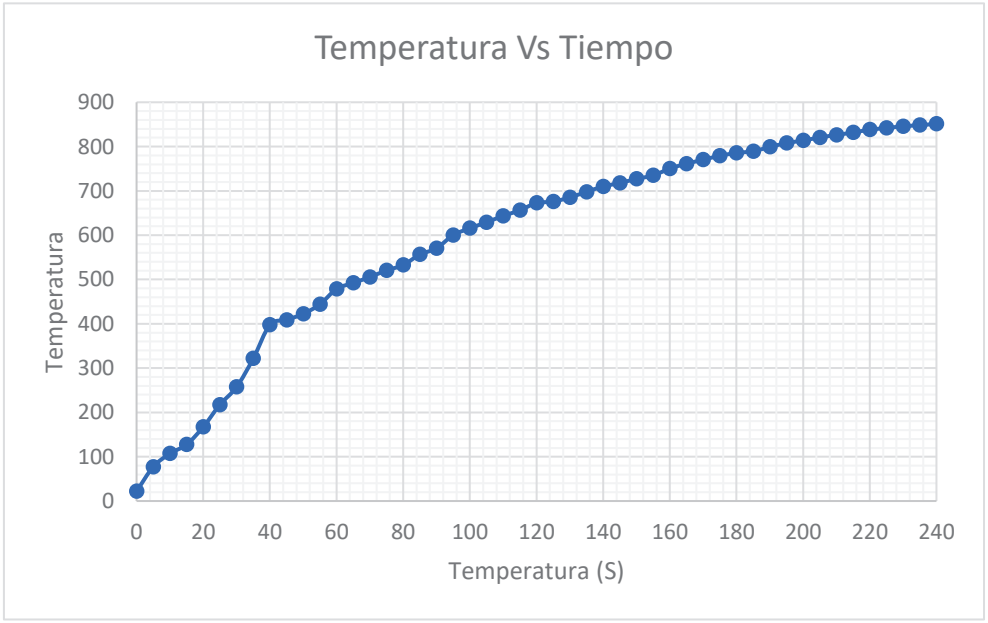
GRÁFICA
15-X50-800°C 
16. X50-800°C 

Tabla 20. Termografía de la probeta X-50 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	17-18
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	17-18
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h10
N° Probeta	15-X50-600°C 16. X50-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

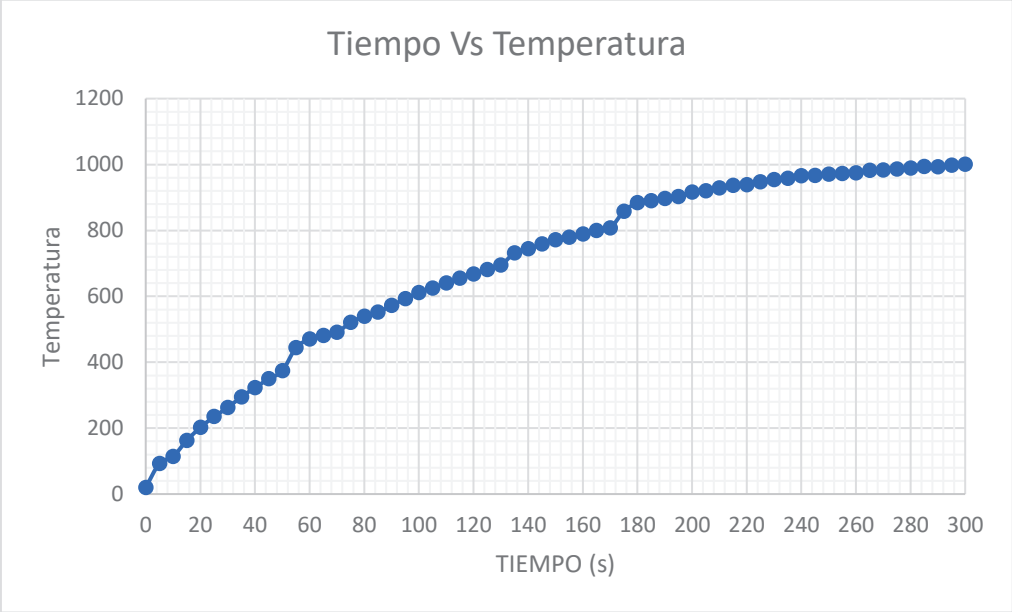
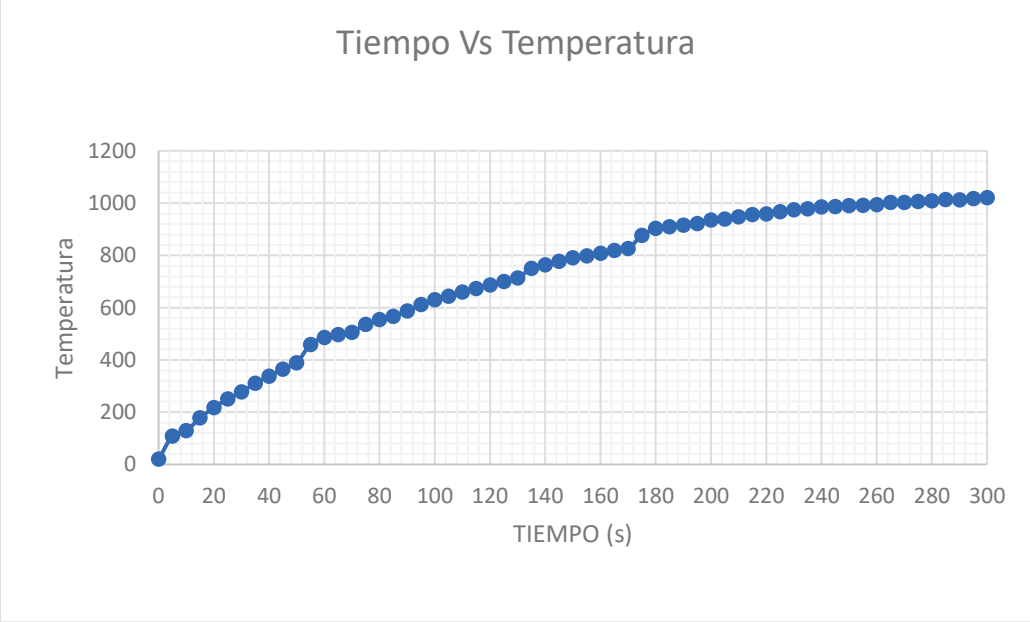
17-P25-1000°C



18-P25-1000°C



Tabla 20. Termografía de la probeta X-50 A 1000°C a 5 min (Continuación de la Tabla 21).

GRÁFICA
15-X50-1000°C 
16. X50-800°C 

Probetas normadas para tracción con recubrimiento E65, P25, X50

Tabla 21. Termografía de la probeta E65 A 600°C a 3 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	1
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	1
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	1I-E65-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

1-E65-600°C





GRÁFICA

1-E65-600°C

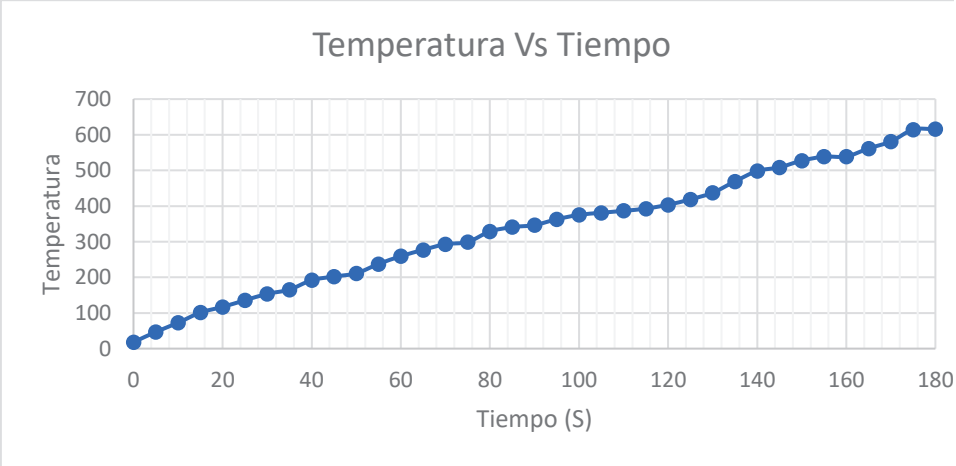


Tabla 22. Termografía de la probeta E65 A 800°C a 4 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	2I-E65-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

2-E65-800°C





GRÁFICA

2- E65-800°C

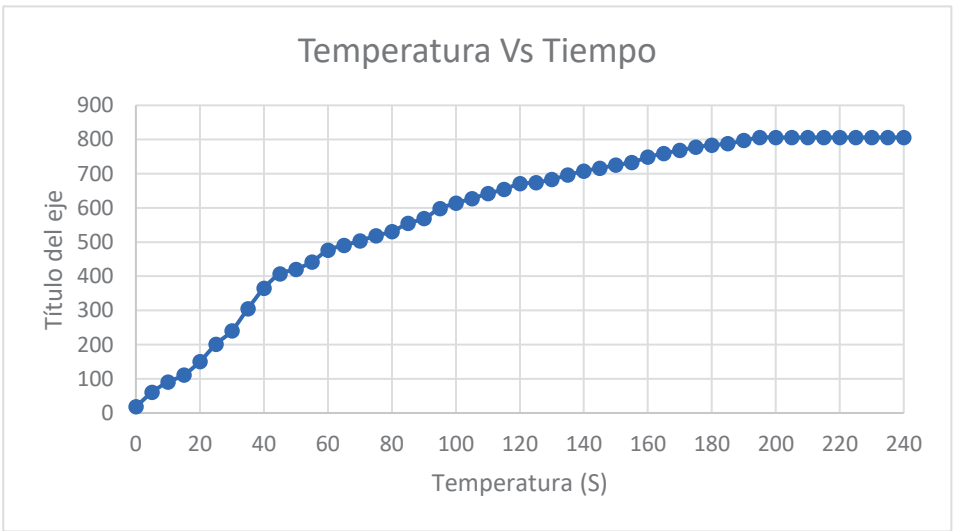


Tabla 23. Termografía de la probeta E65 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	3I-E65-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

3-E65-1000°C





GRÁFICA

3-E65-1000°C

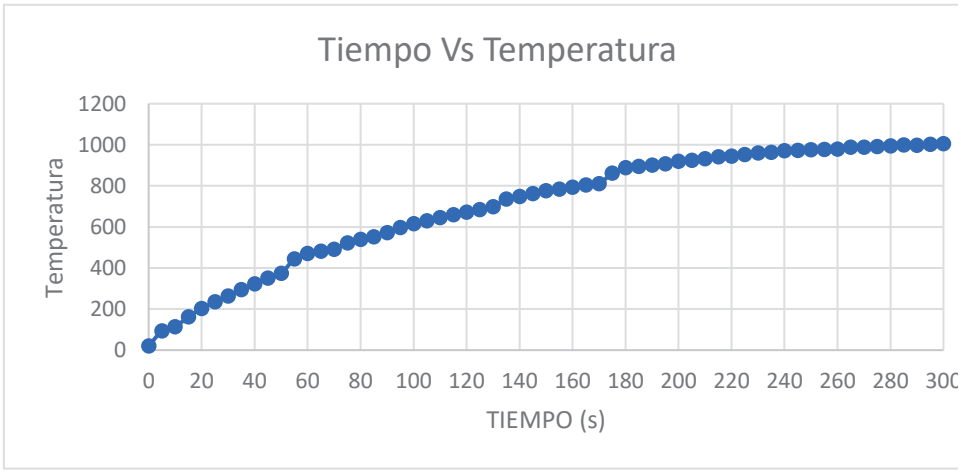


Tabla 24. Termografía de la probeta P25 A 600°C a 3 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	4I-P25-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

4-P25-600°C





GRÁFICA

4-P25-600°C

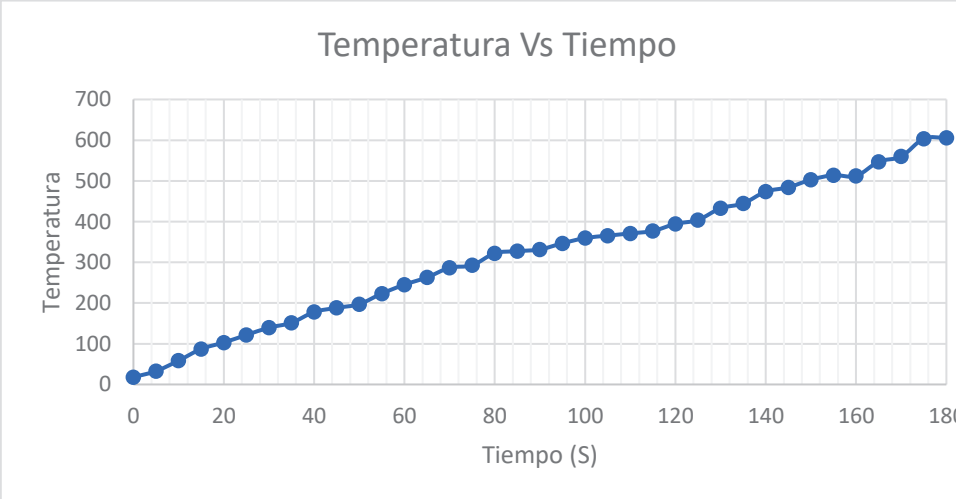


Tabla 25. Termografía de la probeta P25 A 800°C a 4 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-P25-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

5-P25-800°C





GRÁFICA

5-P25-800°C

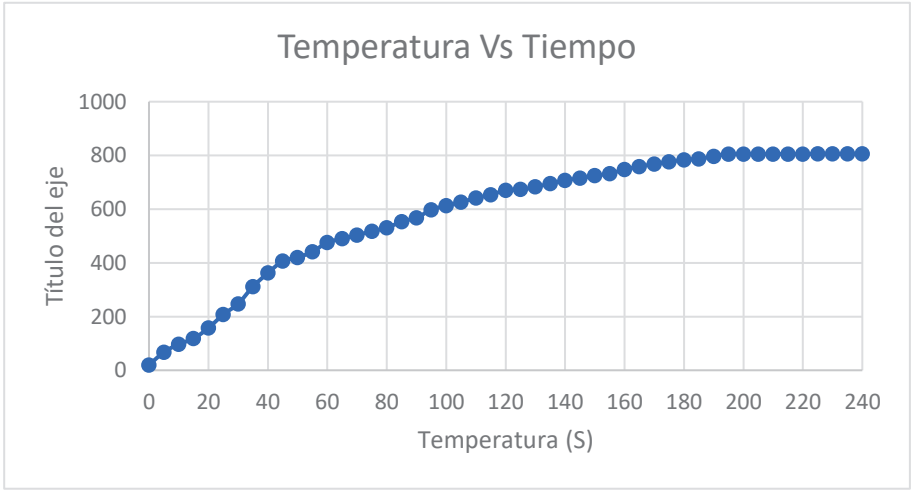


Tabla 26. Termografía de la probeta P25 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO

Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS

Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-P25-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

6-P25-1000°C



GRÁFICA

6- P25-1000°C

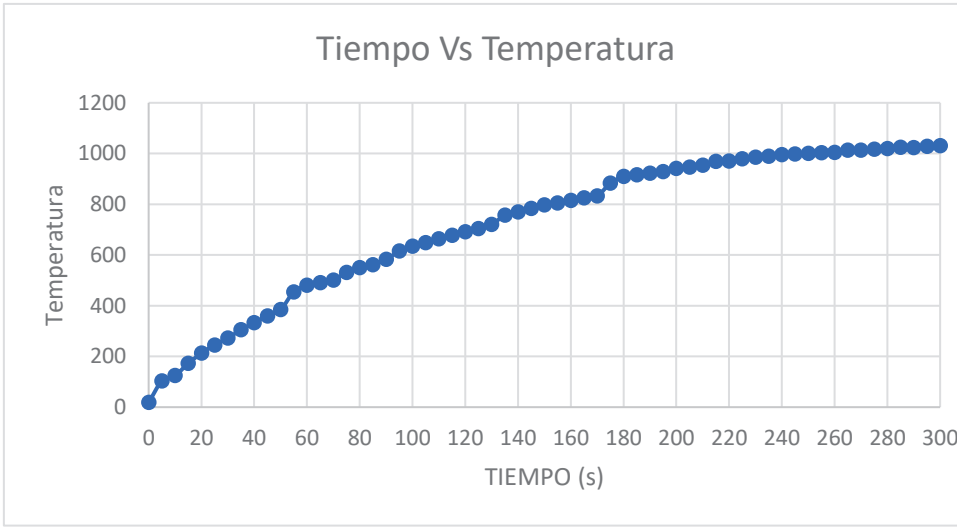


Tabla 27. Termografía de la probeta X-50 A 600°C a 3 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	7
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	7
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7-X50-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

7-P25-600°C



GRÁFICA

7-X50-600°C

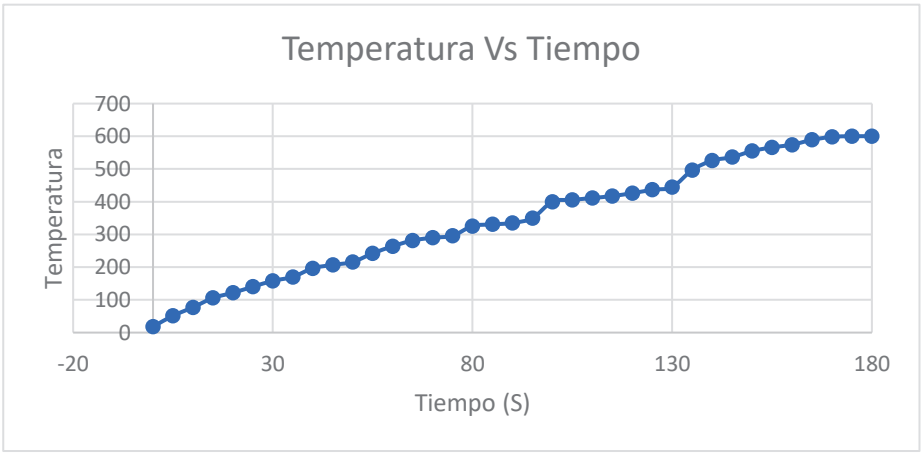


Tabla 28. Termografía de la probeta X-50 A 800°C a 4 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	8
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	8
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	8I-X50-600°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

8-P25-800°C





GRÁFICA

8. X50-800°C

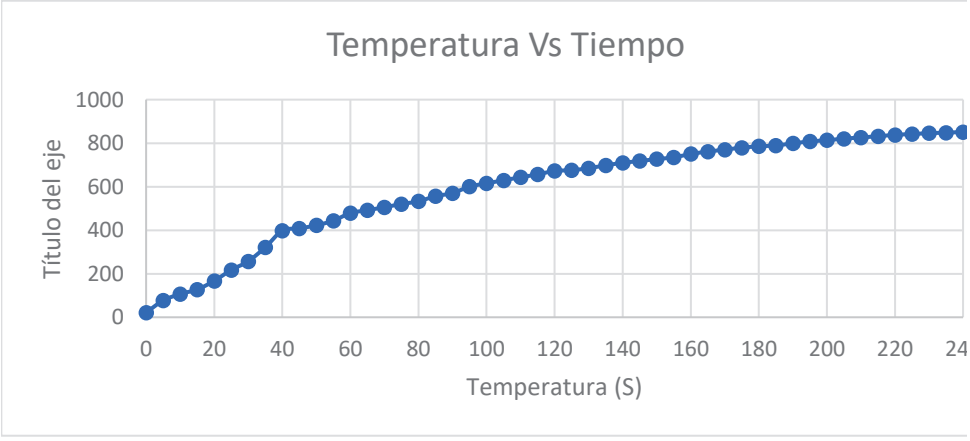


Tabla 29. Termografía de la probeta X-50 A 1000°C a 5 min

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	9
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	9
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Mecánica. Universidad Politécnica del Ecuador. Quito-Ecuador	
Equipo		Cámara termográfica y Termómetro infrarrojo.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h10
N° Probeta	15-X50-1000°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

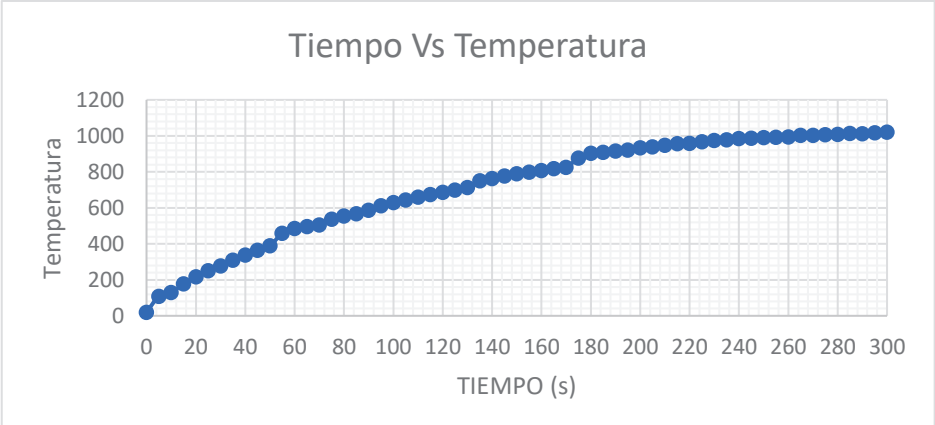
9-P25-1000°C





GRÁFICA

9. X50-800°C



En las tablas se observa que, al someter las probetas a altas temperaturas, las recubiertas con pintura E65 y P25 presentan un desprendimiento o levantamiento de la capa de pintura, lo que indica una menor resistencia térmica y adhesión bajo condiciones de calor extremo. Este comportamiento sugiere que estos recubrimientos no son adecuados para aplicaciones donde las altas temperaturas son un factor crítico, ya que podrían comprometer la integridad y las propiedades del acero ASTM A36. Por el contrario, las probetas recubiertas con X50 muestran una notable estabilidad, manteniéndose casi intactas incluso bajo condiciones térmicas severas. Esta resistencia al calor, junto con su capacidad para preservar las propiedades del acero, convierte al X50 en la mejor opción para aplicaciones que requieren protección contra altas temperaturas, asegurando un rendimiento duradero y confiable en entornos exigentes.

4.1.1.7.Ensayo Metalográfico.

Tabla 30. Ensayo metalográfico 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS					
ENSAYO METALOGRÁFICO					
Tipo de estudio	De laboratorio		**Ensayo N°**	1	
Fecha	02/07/2025		**Probeta N°**	1	
Material	ASTM A36				
Lugar:			Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador		
Equipo			Microscopio		
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h3
N° Probeta	1. E65-600°C	**Distancia**	5cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

Tabla 27. Ensayo metalográfico 1 (Continuación de la Tabla 27).

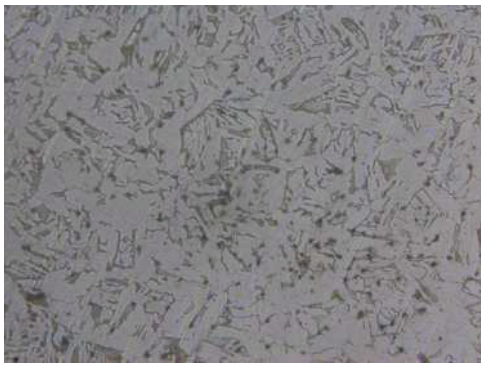
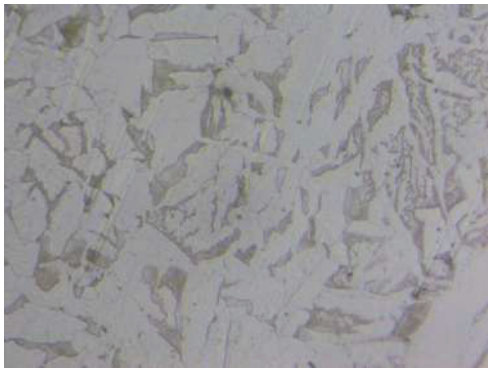
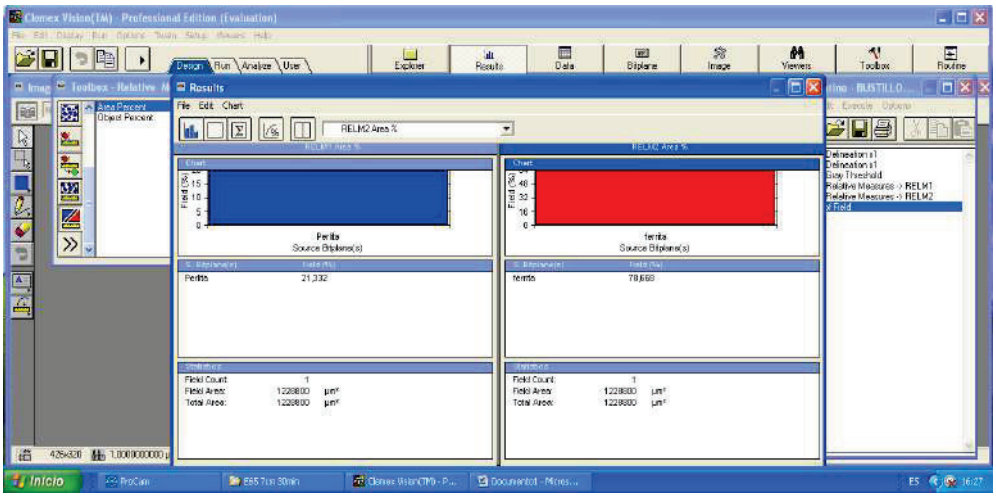
RESULTADOS	
100X	200X
	
500X	1000X
	
GRÁFICA	
	

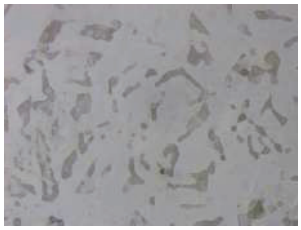
Tabla 31. Ensayo metalográfico 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Lugar:		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	02/07/2025	**Hora inicio**	10h15	**Hora final**	10h18
N° Probeta	2. E65-600°C	**Distancia**	5cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	17.8°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA



Tabla 32. Ensayo metalográfico 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio óptico.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	11h00	**Hora final**	11h30
N° Probeta	3 – E65-800°C	**Distancia**	7cm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

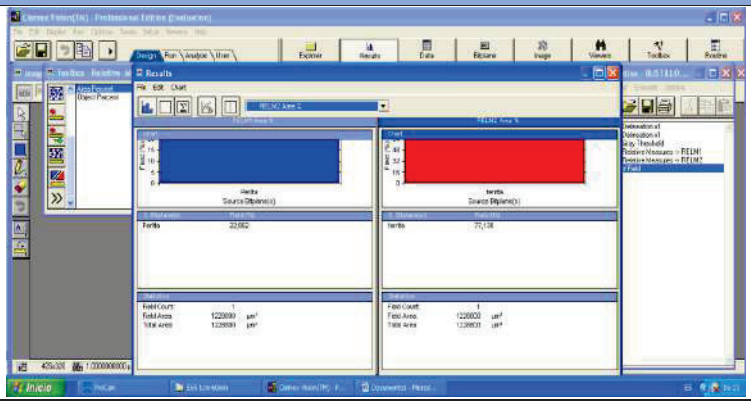


Tabla 33. Ensayo metalográfico 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha	02/07/2025	**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio óptico.	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	11h00	**Hora final**	11h30
N° Probeta	4 – E65-800	**Distancia**	7cm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe.

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

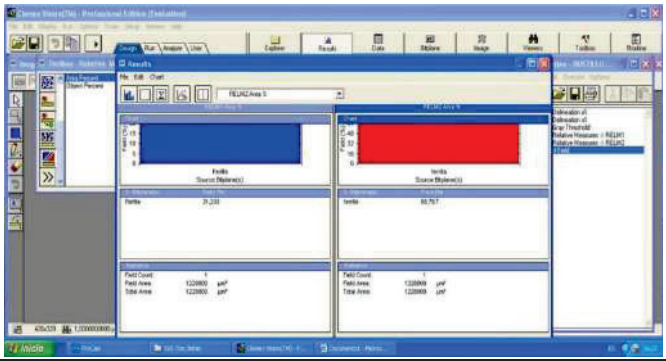


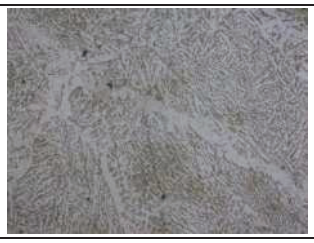
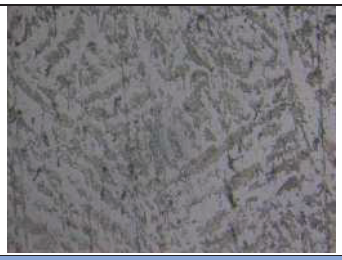
Tabla 34. Ensayo metalográfico **5**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha	02/08/2025	**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	04/02/2022	**Hora inicio**	14h00	**Hora final**	15h05
N° Probeta	5 – E65-1000°C	**Distancia**	3 cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

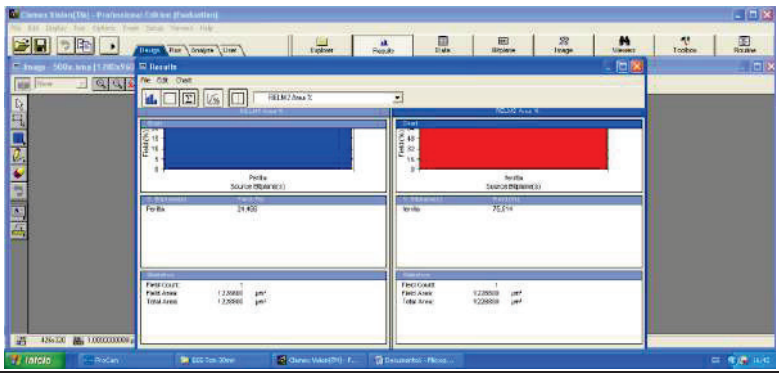


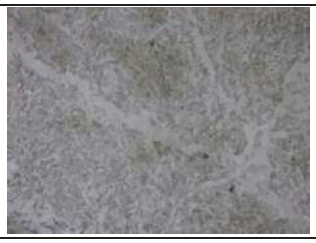
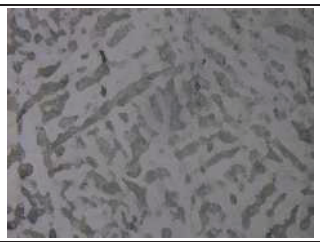
Tabla 35. Ensayo metalográfico 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha	02/08/2025	**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha	04/02/2022	**Hora inicio**	14h00	**Hora final**	15h05
N° Probeta	5 – E65-1000°C	**Distancia**	3 cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

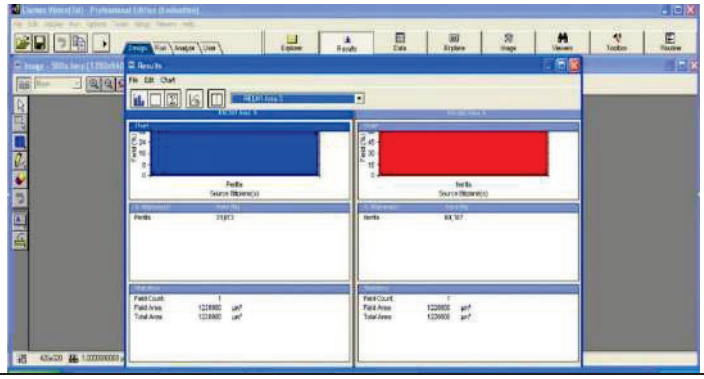


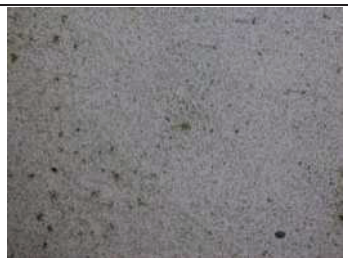
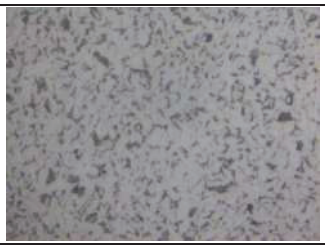
Tabla 36. Ensayo metalográfico 7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	7
Fecha		**Probeta N°**	7
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	7 – P25-600°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

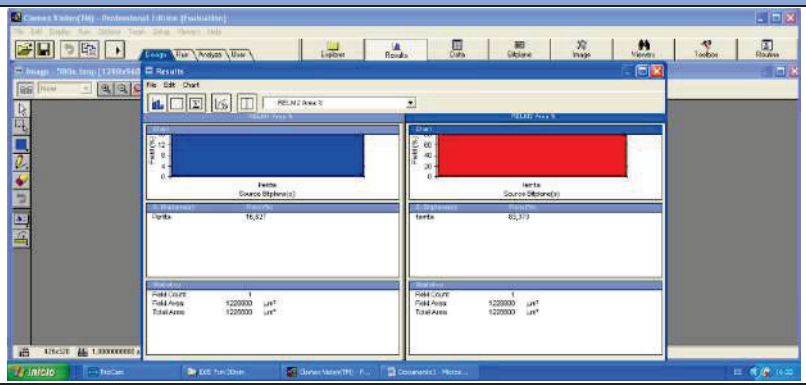


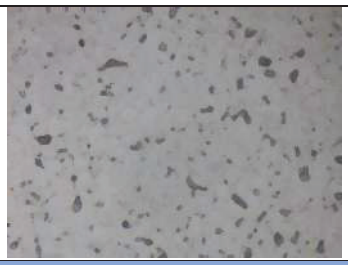
Tabla 37. Ensayo metalográfico 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	8
Fecha		**Probeta N°**	8
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h03
N° Probeta	8 – P25-600°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

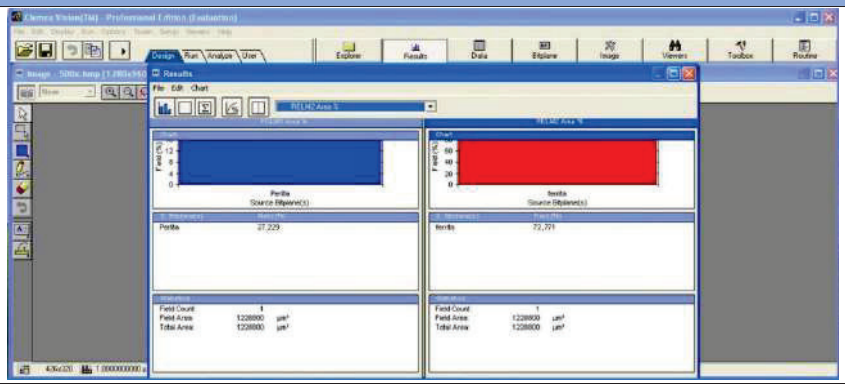


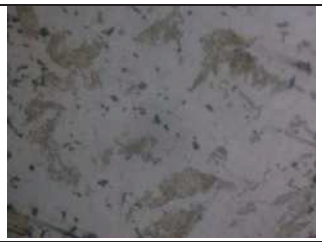
Tabla 38. Ensayo metalográfico 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	9
Fecha		**Probeta N°**	9
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	14h00	**Hora final**	14h04
N° Probeta	5 – P25-800°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

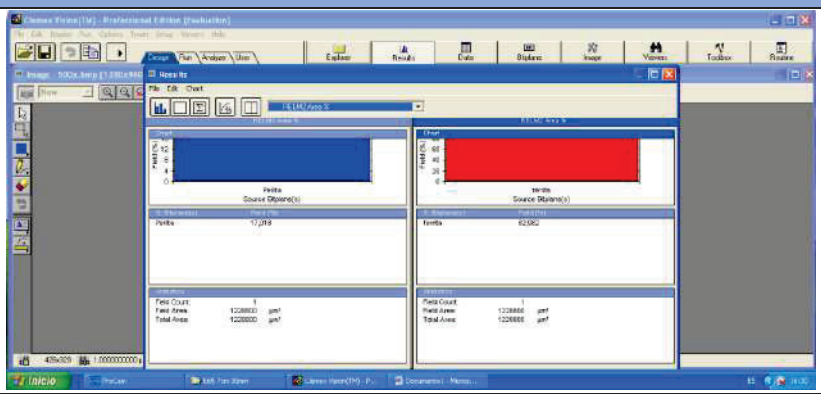


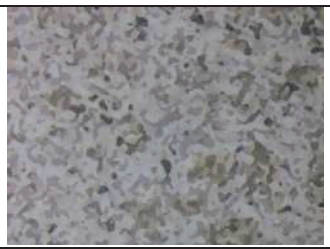
Tabla 39. Ensayo metalográfico 10

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	10
Fecha		**Probeta N°**	10
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	14h00	**Hora final**	14h05
N° Probeta	10 – P25-800°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

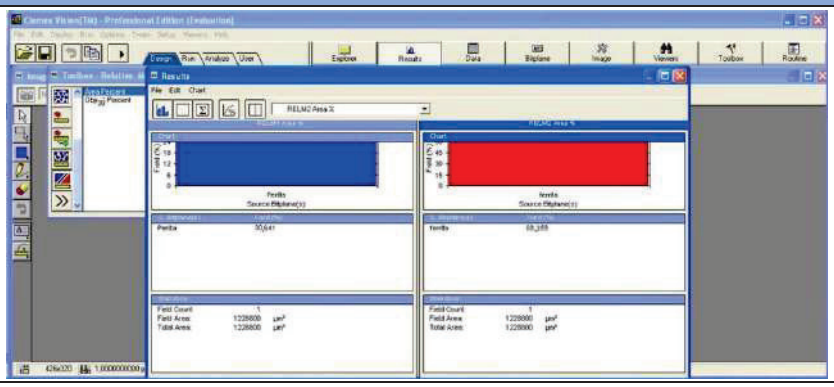


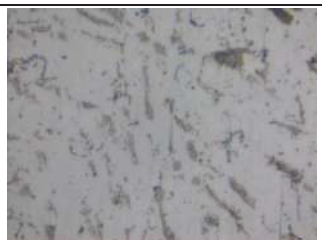
Tabla 40. Ensayo metalográfico 11

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	11
Fecha		**Probeta N°**	11
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	15h00	**Hora final**	15h05
N° Probeta	11-P25-1000°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

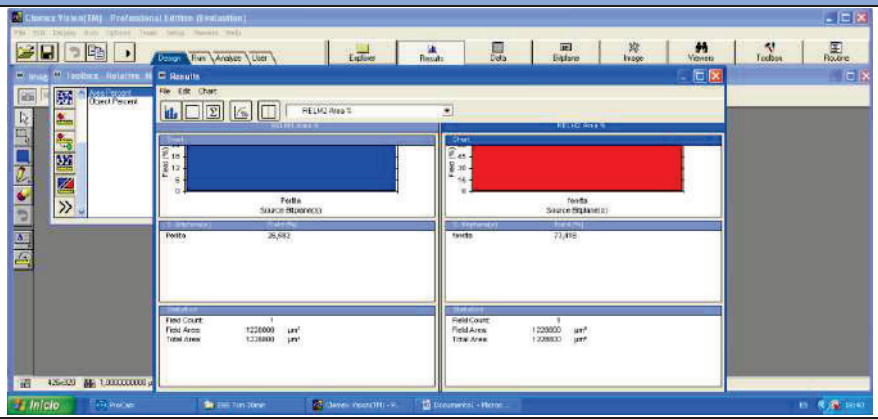


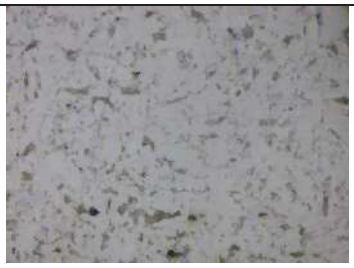
Tabla 41. Ensayo metalográfico 12

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	12
Fecha		**Probeta N°**	12
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	15h00	**Hora final**	15h05
N° Probeta	12-P25-1000°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

CLEMEX

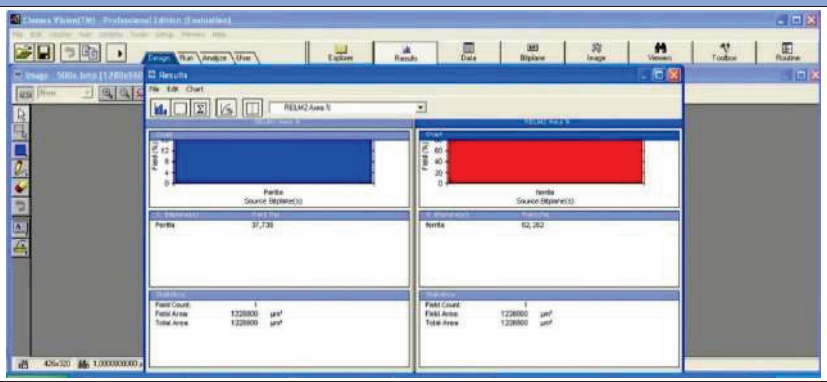


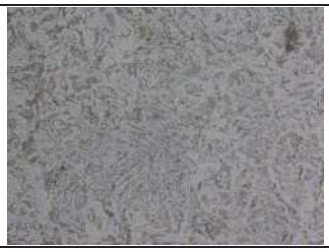
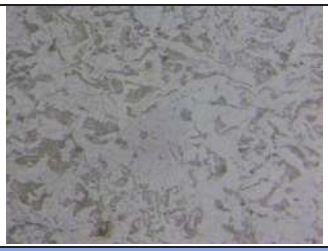
Tabla 42. Ensayo metalográfico 13

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	13
Fecha		**Probeta N°**	13
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	15h00	**Hora final**	15h03
N° Probeta	13– X50-600°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

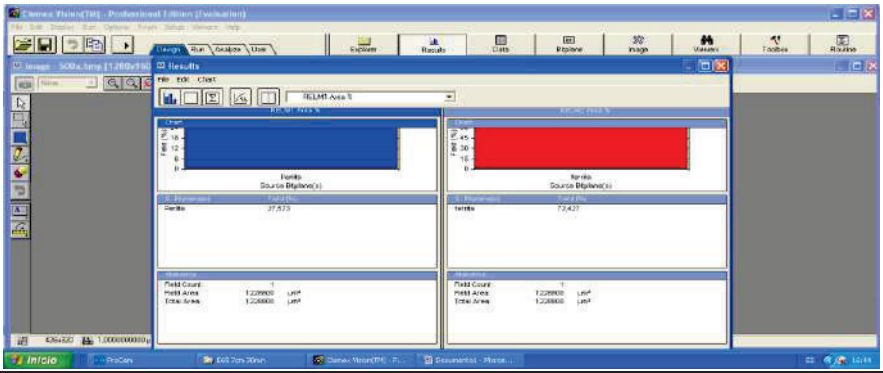


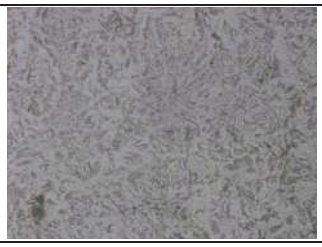
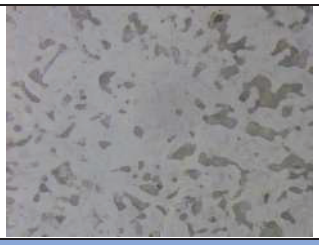
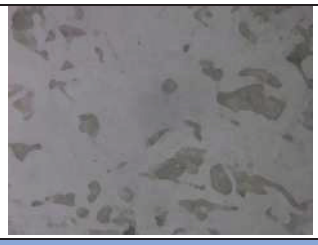
Tabla 43. Ensayo metalográfico 14

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	14
Fecha		**Probeta N°**	14
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	15h00	**Hora final**	15h03
N° Probeta	13– X50-600°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

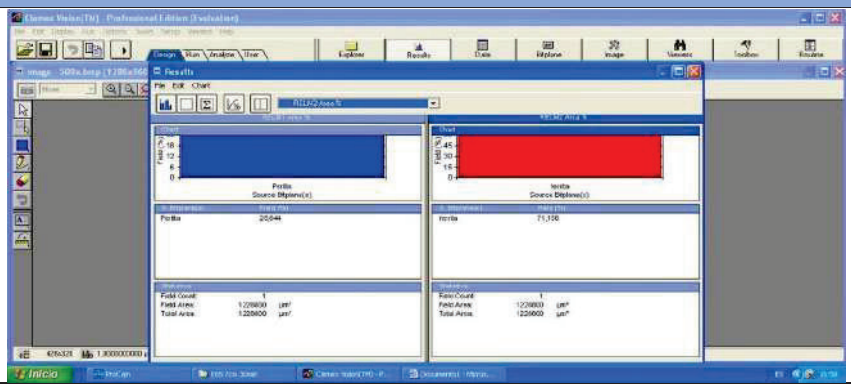


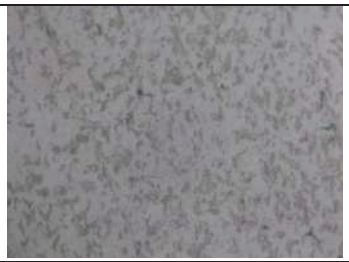
Tabla 44. Ensayo metalográfico 15

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	15
Fecha		**Probeta N°**	15
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	15-X50-800°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA

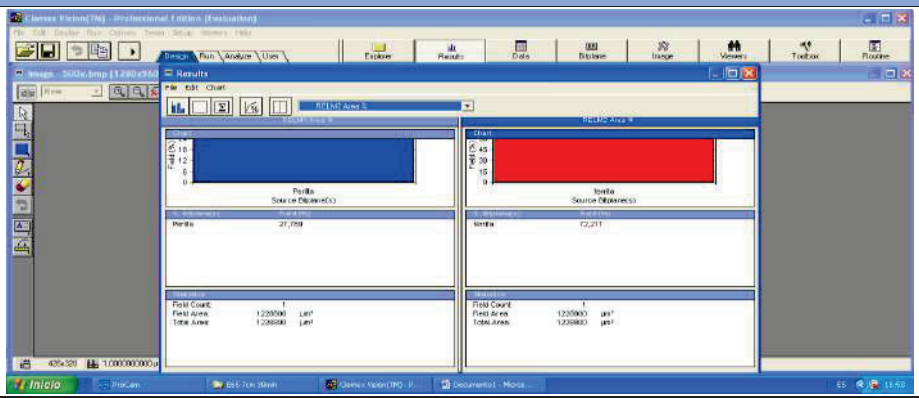


Tabla 45. Ensayo metalográfico 16

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	16
Fecha		**Probeta N°**	16
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h04
N° Probeta	16-X50-800°C	**Distancia**	3cm	**Tiempo**	4 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

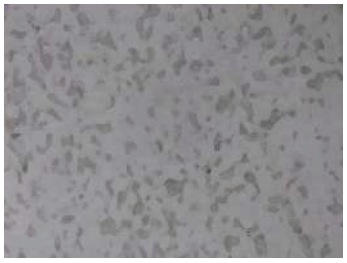
100X



200X



500X



1000X



GRÁFICA

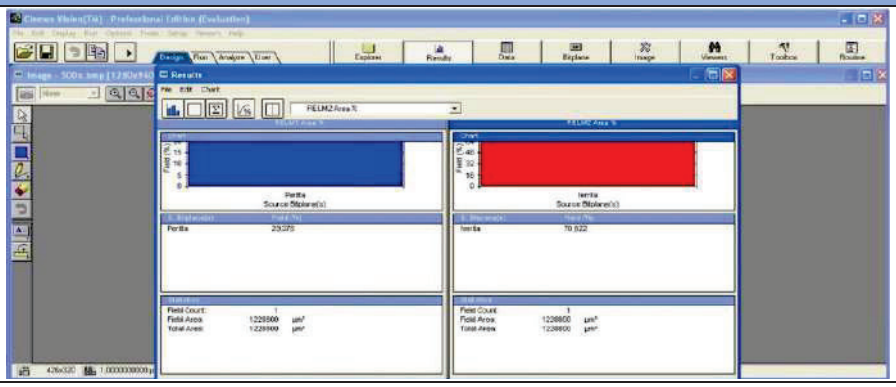


Tabla 46. Ensayo metalográfico 17

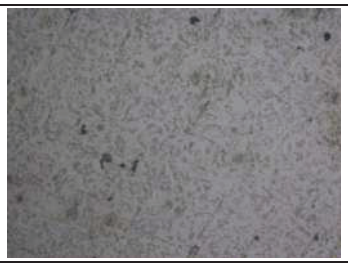
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	17
Fecha		**Probeta N°**	17
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	12h00	**Hora final**	13h00
N° Probeta	17-X50-1000°C	**Distancia**	1cm	**Tiempo**	60 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

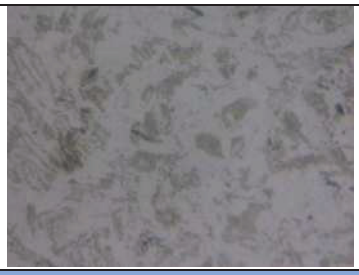
100X



200X



500X



1000X



CLEMEX

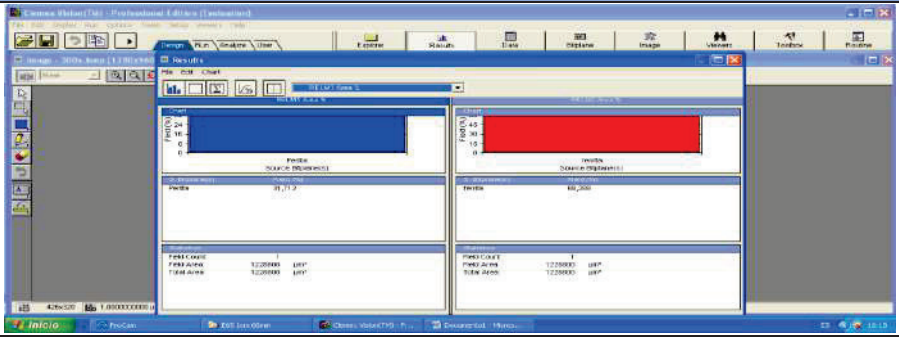


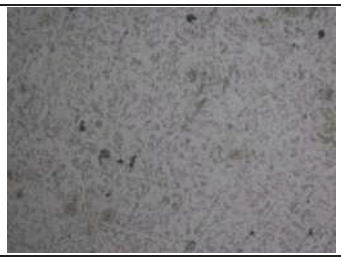
Tabla 47. Ensayo metalográfico 18

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

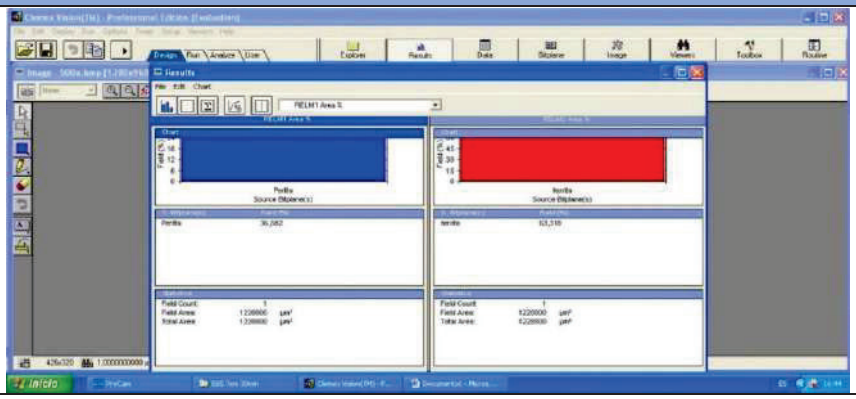
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	18
Fecha		**Probeta N°**	18
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	12h00	**Hora final**	13h00
N° Probeta	17-X50-1000°C	**Distancia**	1cm	**Tiempo**	60 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

CLEMEX



4.1.2. Porcentaje de carbono por recubrimiento

Primeras pruebas para verificar el recubrimiento más idóneo. Cálculos realizados por medio de la regla de la palanca para comprobar el porcentaje de carbono.

Acero A36 recubierto con pintura E-65 3min- 600°C

Perlita= 21.332%

Ferrita=78.668%

Tabla 48. Regla de la palanca

Regla de la Palanca con Perlita (SiO2)	Regla de la Palanca con Ferrita (Fe3O4)
%C = 0.738*% SiO2 + 0.022 %C = 0.738*0.21332 + 0.022 %C = 0.179	$Fe3O4\%C = \frac{0{,}78\%C - X\%C}{0.78\%C - 0.02\%C}$ $0.78668\%C = \frac{0{,}78\%C - X\%C}{0.78\%C - 0.02\%C}$ $\%C = 0.182$

Tabla 49. Porcentajes de carbono por temperatura ficha técnica

N°	Probetas	Temperatura	Ferrita	Perlita	%Carbono Ferrita (Fe3O4) (Regla de la Palanca)	%Carbono Perlita (SiO2) (Regla de la Palanca)	Promedio
1	E65-3 min	600°C	78,668	21,332	0,179	0,182	0,209
2	E65-3 min	600 °C	71,119	28,881	0,239	0,235	
3	E65-4 min	800°C	77,138	22,862	0,194	0,191	0,224
4	E65-4 min	800°C	68,767	31,233	0,257	0,252	
5	E65-5 min	1000°C	75,514	24,486	0,206	0,203	0,262
6	E65-5 min	1000°C	60,187	39,813	0,323	0,316	
7	P25-3 min	600°C	83,373	16,627	0,146	0,145	0,185
8	P25-3 min	600°C	72,771	27,229	0,227	0,223	
9	P25-4 min	800°C	82,982	17,018	0,149	0,148	0,199
10	P25-4 min	800°C	69,359	30,641	0,253	0,248	
11	P25-5 min	1000°C	73,418	26,582	0,222	0,218	0,262
12	P25-5 min	1000°C	62,262	37,738	0,307	0,301	
13	X50- 3 min	600°C	72,427	27,573	0,230	0,225	0,232
14	X50- 3 min	600°C	71,156	28,844	0,239	0,235	
15	X50- 4 min	800°C	72,211	27,789	0,231	0,227	0,235
16	X50- 4 min	800°C	70,622	29,378	0,243	0,239	
17	X50- 5 min	1000°C	68,288	31,712	0,261	0,256	0,277
18	X50- 5 min	1000°C	63,318	36,682	0,299	0,293	

Tabla 50. Porcentajes de carbono por temperatura

Pintura	Temperatura °C	% Carbono
E-65	600	0,209
	800	0,222
	1000	0,262
P25	600	0,185
	800	0,199
	1000	0,262
X-50	600	0,232
	800	0,235
	1000	0,277
Valores Ficha técnica **(Tabla 4.)**	15 (Ambiente)	0,25
	25 (Ambiente)	0,29

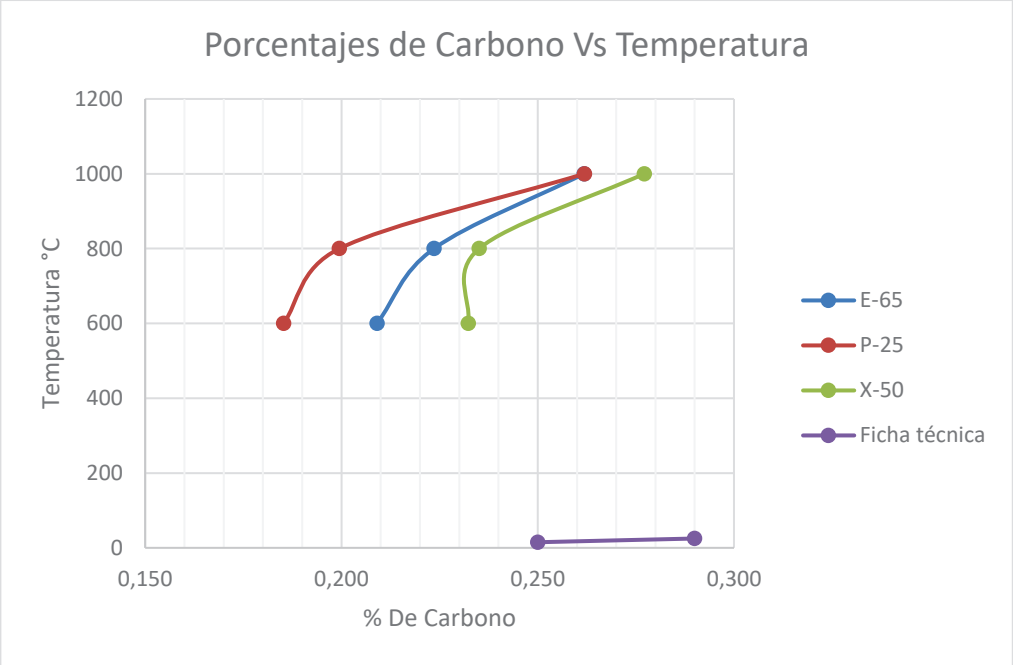


Fig. 33. Relación tiempo - %Carbono

El análisis de los datos indica que, a mayor tiempo de exposición a alta temperatura, el porcentaje de carbono en las probetas aumenta. Esto sugiere que la difusión del

carbono en el acero está influenciada por la temperatura y el tiempo de exposición, lo cual es un comportamiento típico en procesos de carbonización y tratamientos térmicos de difusión. Las probetas con la designación E-65, que inicialmente presentan 0.207% de carbono a los 600°C, incrementan su contenido hasta 0.222% a los 800°C y al llegar a los 1000°C tiene un contenido de 0,259 % de carbono. Este crecimiento sugiere que los aceros con una composición inicial más alta de carbono tienden a absorber más carbono con el tiempo, lo que podría deberse a una mayor facilidad en la difusión a altas temperaturas.

Por otro lado, las probetas P-25 comienzan con el mayor contenido de carbono a los 600°C (0.23%), pero su tasa de incremento es menor, alcanzando 0.274% a los 1000°C. Esto podría indicar que, aunque inicialmente la absorción es rápida, en periodos prolongados la saturación del material limita la capacidad de incremento del carbono.

Las probetas X-50, con un contenido intermedio de carbono, muestran un crecimiento estable desde 0.184% a los 600°C hasta 0.259% a los 1000°C. Este comportamiento balanceado sugiere que, aunque al inicio su absorción es menor, con el tiempo la difusión del carbono en este tipo de acero se vuelve más eficiente.

4.1.2.1.Ensayo de dureza Brinell probetas rectangulares sin tiempo especifico

Tabla 51. Ensayo de dureza probetas rectangulares 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

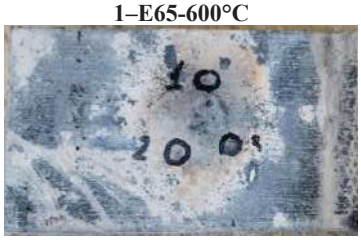
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	1
Fecha		**Probeta N°**	1
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	1–E65-600°C 2–E65-600°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

1–E65-600°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,11	1,880	159
2	3,22	1,215	152
3	3,16	1,980	158
PROMEDIO	3,163	1,692	**156,33**

2–E65-600°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,04	1,216	152
2	3,03	1,212	152
3	2,98	1,192	158
PROMEDIO	3,02	1,26	**154**

Tabla 52 Ensayo de dureza probetas rectangulares 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA					
Tipo de estudio		De laboratorio		**Ensayo N°**	2
Fecha				**Probeta N°**	2
Material		ASTM A36			
Dirección		Laboratorio de Materiales			
Equipo		Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.			
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	2 – E65-800°C	**Distancia**	7 mm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			
RESULTADOS					

3–E65-800°C



Número de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,09	1,236	146
2	3,18	1,272	137
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	3,1267	1,2507	**142,33**

4–E65-800°C



Número de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,34	1,336	124
2	3,36	1,344	122
3	3,32	1,328	125
PROMEDIO	3,34	1,366	**124**

Tabla 53. Ensayo de dureza probetas rectangulares 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha		**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h00
N° Probeta	3 – E65	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	15 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

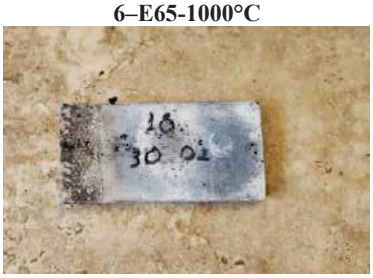
RESULTADOS

5–E65-1000°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,34	1,336	124
2	3,36	1,344	122
3	3,32	1,328	125
PROMEDIO	3,34	1,366	**124**

6–E65-1000°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,31	1,324	126
2	3,28	1,312	128
3	3,36	1,344	122
PROMEDIO	3,316	1,326	**125**

Tabla 54. Ensayo de dureza probetas rectangulares 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha		**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	4 – P25	**Distancia**	1 cm	**Tiempo**	15min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

7–P25-600°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	2.98	1.192	158
2	2.93	1.172	164
3	2.95	1.18	161
PROMEDIO	2.95	1.181	**161**

8–P25-600°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	2.96	1.184	160
2	2.93	1.172	164
3	2.97	1.188	159
PROMEDIO	2.953	1.181	**161**

Tabla 55. Ensayo de dureza probetas rectangulares 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha		**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	5 – P25	**Distancia**	1 cm	**Tiempo**	60min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

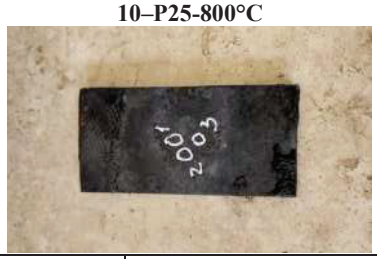
RESULTADOS

9–P25-800°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,14	1,220	150
2	3,17	1,215	152
3	3,1	1,980	158
PROMEDIO	3,137	1,472	**153,33**

10–P25-800°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,14	1,230	148
2	3,17	1,195	157
3	3,1	1,205	154
PROMEDIO	3,137	1,210	**153,00**

Tabla 56. Ensayo de dureza probetas rectangulares 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha		**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	6 – P25	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	30min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

11–P25-1000°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,10	1,21	130
2	3,17	1,246	132
3	3,12	1,196	137
PROMEDIO	3,13	1,217	**133**

12–P25-1000°C



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,34	1,243	124
2	3,25	1,365	128
3	3,36	1,376	122
PROMEDIO	3,31	1,328	**124**

Tabla 57. Ensayo de dureza probetas rectangulares 7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	7
Fecha		**Probeta N°**	7
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	7 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	30min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

13–X50-600°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2,93	1,172	164
2	2,95	1,18	161
3	2,96	1,184	160
PROMEDIO	2,95	1,178	**162**

14–X50-600°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2,98	1,192	158
2	2,96	1,184	160
3	3,02	1,208	154
PROMEDIO	2,99	1,194	**157**

Tabla 58. Ensayo de dureza probetas rectangulares 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

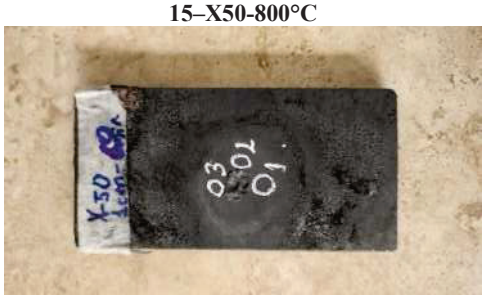
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	8
Fecha		**Probeta N°**	8
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo			

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	8 – X50	**Distancia**	1 cm	**Tiempo**	60min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

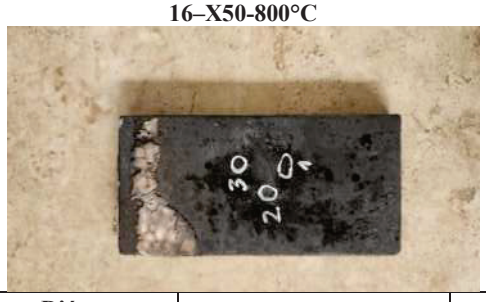
RESULTADOS

15–X50-800°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,08	1,232	147
2	3,03	1,212	152
3	3,05	1,22	150
PROMEDIO	3,05	1,221	**150**

16–X50-800°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2,97	1,188	159
2	2,96	1,184	160
3	2,94	1,176	163
PROMEDIO	2,96	1,182	**161**

Tabla 59. Ensayo de dureza probetas rectangulares 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	9
Fecha		**Probeta N°**	9
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h00
N° Probeta	9 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	15min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

17–X50-1000°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,15	1,26	140
2	3,21	1,284	134
3	3,16	1,264	139
PROMEDIO	3,17	1,269	**138**

18–X50-1000°C



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,11	1,244	144
2	3,14	1,256	141
3	3,17	1,268	138
PROMEDIO	3,14	1,256	**141**

4.1.2.2.Ensayo de dureza Brinell probetas planas sin tiempo especifico

Para el ensayo de dureza se aplica una carga de 187,5 N

Tabla 60. Ensayo de dureza 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	1
Fecha		**Probeta N°**	1
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	11h12	**Hora final**	11h15
N° Probeta	1–E65-600°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,09	1,236	146
2	3,18	1,272	137
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	3,1267	1,2507	**142,33**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,05	1,26	140
2	3,17	1,263	141
3	3,13	1,265	141
PROMEDIO	3,1167	1,2627	**140,67**

Tabla 61. Ensayo de dureza 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha		**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	2 – E65-800°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,13	1,252	142
2	3,22	1,288	133
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	31.533	12,613	**139.67**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,08	1,315	128
2	3,19	1,278	136
3	3,1	1,95	134
PROMEDIO	3,1233	1,5143	**132,67**

Tabla 62. Ensayo de dureza 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha		**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	2 – E65-800°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,06	1,33	125
2	3,17	1,309	129
3	3,2	1,325	130
PROMEDIO	3,1433	1,3213	**128,00**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,06	1,338	123
2	3,17	1,309	129
3	3,2	1,315	128
PROMEDIO	3,1433	1,3207	**126,67**

Tabla 63. Ensayo de dureza 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha		**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	3–P25-600°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,13	1,252	142
2	3,22	1,288	133
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	3,153	1,2613	**139.67**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,13	1.252	142
2	3,22	1.284	134
3	3,15	1.26	140
PROMEDIO	3.167	1.652	**138.67**

Tabla 64. Ensayo de dureza 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha		**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	4 – P25-800°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C				

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,28	1,312	128
2	3,24	1,296	132
3	3,22	1,288	134
PROMEDIO	3,2467	1,2987	**131.33**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,15	1,315	128
2	3,27	1,293	133
3	3,11	1,283	135
PROMEDIO	3,177	1,297	**132**

Tabla 65. Ensayo de dureza 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha		**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	4 – P25-1000°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,15	1,315	128
2	3,27	1,293	133
3	3,11	1,283	135
PROMEDIO	3,177	1,297	**132**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,32	1,328	125
2	3,34	1,336	124
3	3,28	1,312	128
PROMEDIO	3,3133	1,3253	**125,67**

Tabla 66. Ensayo de dureza 7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	7
Fecha		**Probeta N°**	7
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	5 – X50-600°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	3 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,12	1,248	143
2	3,13	1,252	142
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	3.12	1,248	**143**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,08	1,232	147
2	3,21	1,284	134
3	3,1	1,24	145
PROMEDIO	3,13	1,252	**142**

Tabla 67. Ensayo de dureza 8

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	8
Fecha		**Probeta N°**	8
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	6 – X50-800°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.14	1,256	141
2	3,18	1,272	137
3	3,12	1,248	143
PROMEDIO	31.467	1,258	**140,33**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,12	1,248	143
2	3,16	1,267	138
3	3,17	1,275	143
PROMEDIO	3,150	1,263	**141,33**

Tabla 68. Ensayo de dureza 9

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	9
Fecha		**Probeta N°**	9
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	6 – X50-1000°C	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	5 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,17	1,268	138
2	3,14	1,256	141
3	3,15	1,260	140
PROMEDIO	3,1533	1,26733	**139,67**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,17	1,268	138
2	3,21	1,284	134
3	3,14	1,256	141
PROMEDIO	3,1733	1,2693	**137,67**

4.1.3. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pinturas (E65, P25 y X50) y sin recubrimiento.

Tabla 69. Análisis de dureza probetas rectangulares

Número	Probetas	Temperatura °C	Dureza de Brinell	Promedio
1	E-65-3min	600	156,36	156,36
2	E-65-3min	600	154	
3	E-65-4min	800	142,33	142,33
4	E-65-4min	800	137,67	
5	E-65-5min	1000	124	124
6	E-65-5min	1000	125	
7	P-25-3min	600	161	161
8	P-25-3min	600	161	
9	P-25-4min	800	153,33	153,165
10	P-25-4min	800	153	
11	P-25-5min	1000	133	128,5
12	P-25-5min	1000	124	
13	X-50-3min	600	162	159,5
14	X-50-3min	600	157	
15	X-50-4min	800	150	155,5
16	X-50-4min	800	161	
17	X-50-5min	1000	138	139,5
18	X-50-5min	1000	141	
Tabla 2.	ASTM-A36	20	Ambiente	119
Tabla 2.	ASTM-A36	20	Ambiente	162

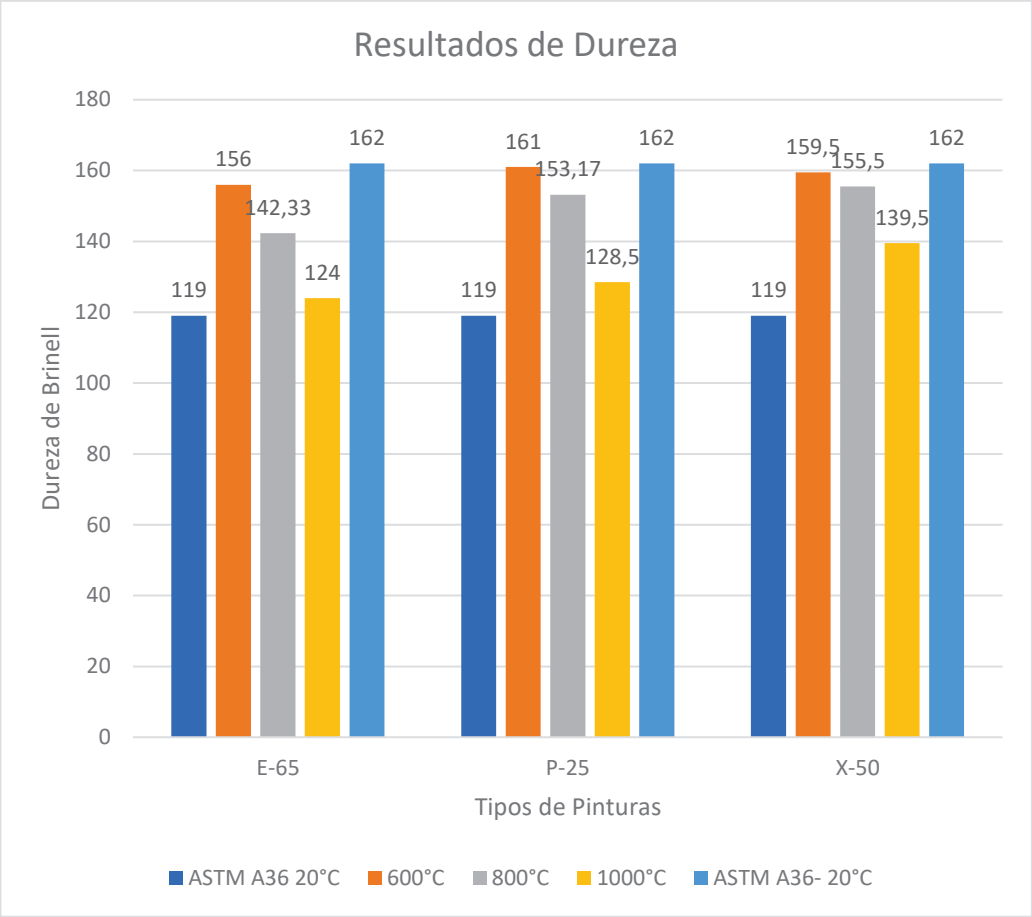


Fig. 34. Resultados de la dureza de Brinell probetas rectangulares

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 600°C. Tanto la línea azul (sin recubrimiento) como la naranja (con recubrimiento) muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es aproximadamente el doble que las probetas sin recubrimiento.

La imagen representa los resultados de la dureza de Brinell un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a temperaturas de 600°C, 800°C y 1000°C a las probetas rectangulares debidamente cubiertas con pinturas (E65, P25 y X50). El parámetro de la dureza Brinell según el ASTM A36 es de 119 a 162 Brinell (HB); según la gráfica se deduce que el recubrimiento X-50 es que menos bajo su dureza lo que quiere decir que el material no tubo cambios significativos en su resistencia.

4.1.4. Análisis de la dureza probetas planas recubiertas con pinturas (E65, P25 y X50) y sin recubrimiento.

Tabla 70. Análisis de dureza probetas planas

Número	Probetas	Temperatura °C	Dureza de Brinell	Promedio
1	E-65-3min	600	142,33	142,33
1	E-65-3min	600	140,67	
2	E-65-4min	800	139,67	139,67
2	E-65-4min	800	132,67	
3	E-65-5min	1000	128	128
3	E-65-5min	1000	126,67	
4	P-25-3min	600	139,67	139,67
4	P-25-3min	600	138,67	
5	P-25-4min	800	131,33	131,33
5	P-25-4min	800	132	
6	P-25-5min	1000	125,67	125,67
6	P-25-5min	1000	128	
7	X-50-3min	600	143	143
7	X-50-3min	600	142	
8	X-50-4min	800	140,33	140,33
8	X-50-4min	800	141,33	
9	X-50-5min	1000	139,67	139,67
9	X-50-5min	1000	137,67	
Tabla 2.	ASTM-A36	20	Ambiente	119
Tabla 2.	ASTM-A36	20	Ambiente	162

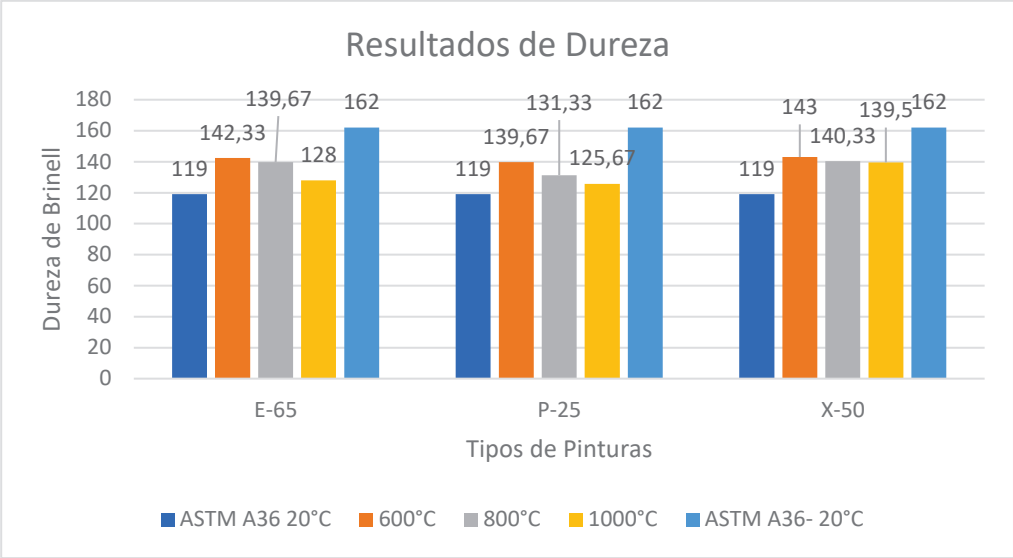


Fig. 35. Resultados de la dureza de Brinell probetas planas

La imagen representa los resultados de la dureza de Brinell un ensayo de dureza realizado a probetas planas a temperaturas de 600°C, 800°C y 1000°C las probetas planas debidamente cubiertas con pinturas (E65, P25 y X50). El parámetro de la dureza Brinell según el ASTM A36 es de 119 a 162 Brinell (HB); según la gráfica se deduce que el recubrimiento X-50 es que menos bajo su dureza lo que quiere decir que el material no tubo cambios significativos en su resistencia.

4.1.4.1.Ensayo de tracción

Para establecer que recubrimiento protege mejor al material se realizó el ensayo de tracción para obtener datos determinantes a la hora de escoger entre E-65, P25 y X50; y comparar los resultados con la probeta ensayada a temperatura ambiente. Las probetas de este ensayo fueron cortadas con la máquina a laser de fibra marca Raytu Laser RT-W para más precisión de sus medidas.

Para ser sometidas al fuego por la forma de la probeta se adaptó la una boquilla para plana la llama que para mayor potencia se implementó acetileno y oxígeno para llegar a las temperaturas de 600, 800 y 1000 °C.

Tabla 71. Ensayo de tracción a 600°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
TRACCIÓN_ASTM A36				
DATOS INFORMATIVOS				
Fecha:	02/14/2025	**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Ing. Ivonne Núñez			
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe	
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 4**
Dimensiones (mm):			**Longitud inicial entre mordazas(mm)**	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956
RESULTADOS				
Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
1. E-65-600°C	70,8	260	373,21	7,03
4. P-25-600°C	74,3	264,6	374,32	7,5
7. X-50-600°C	76,5	266	375,08	7,83
Material sin ser Expuesto.	77,4	268,69	403,26	7,93
GRAFICO				

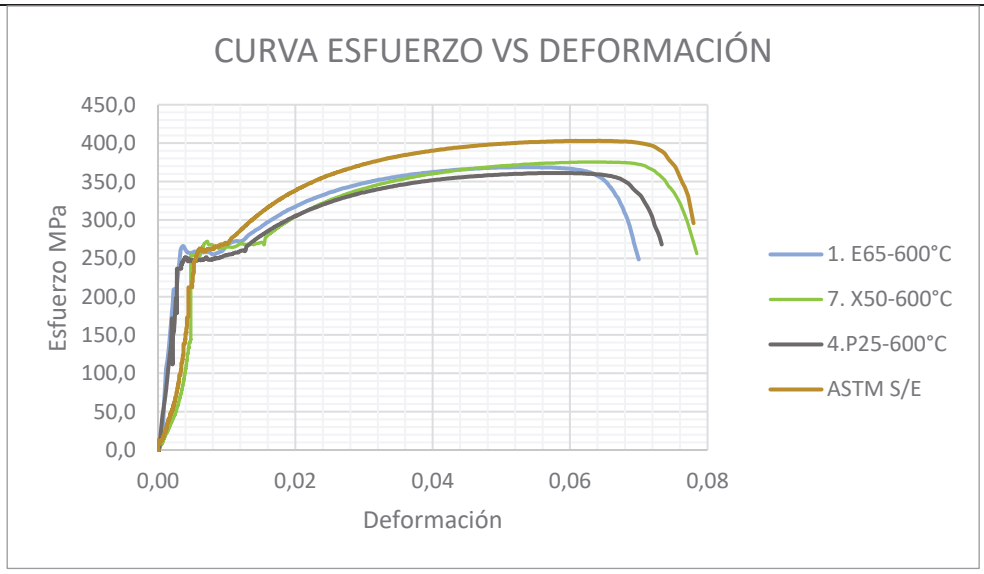


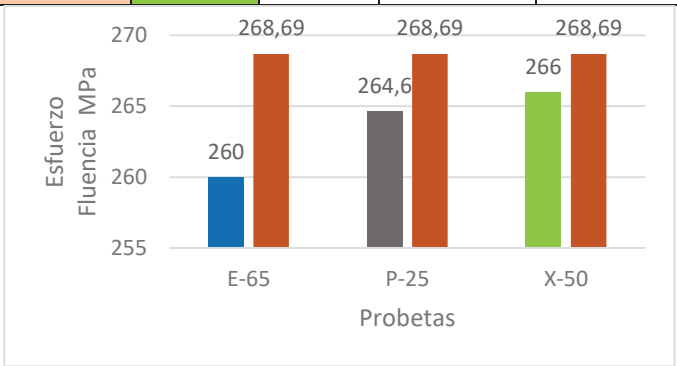
Tabla 68. Ensayo de tracción a 600°C (Continuación Tabla 68)

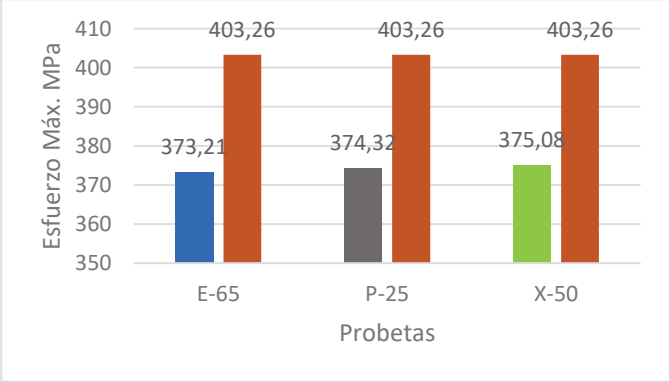
Probeta Ensayada



Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego

Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento	Nº Probetas	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 600 °C	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 600 °C	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) %Variación	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación
268,69	**403,26**	1. E-65-600°C	260	373,21	3%	11%
		4. P-25-600°C	264,6	374,32	2%	11%
		7. X-50-600°C	266	375,08	1%	10%





Observación

Las probetas recubiertas con materiales ignifugos E-65, P-25 y X-50 expuestas a 600ºC por 3 minutos no presentaron gran variación en sus propiedades mecánicas. Analizando las mismas se puede decir que la que menos cambios tubo fue la probeta X-50 con un esfuerzo de fluencia de 266 MPa y un esfuerzo máximo de 375.08 MPa en comparación a la probeta que fue ensayada a temperatura ambiente.

Tabla 72. Ensayo de tracción a 800°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
TRACCIÓN_ASTM A36				
DATOS INFORMATIVOS				
Fecha:	02/14/2025	**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:	Ing. Ivonne Núñez			
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe	
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 4**
Dimensiones (mm):			**Longitud inicial entre mordazas(mm)**	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956
RESULTADOS				
Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
2. E-65-800°C	74,3	250	358,3	6,65
5. P-25-800°C	72,6	251,2	367,6	7,42
8. X-50-800°C	72,2	254	370,2	7,38
Material sin ser Expuesto.	77,4	268,69	403,26	7,93
GRAFICO				

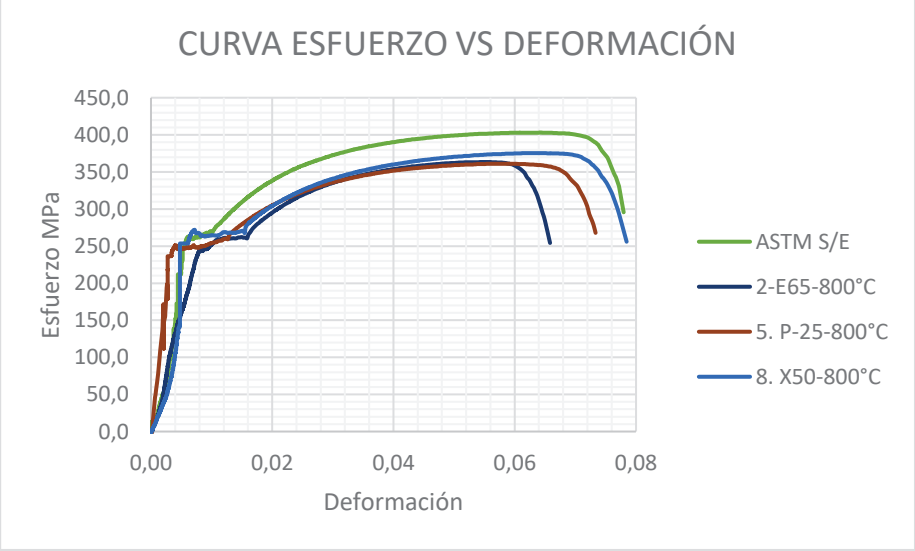
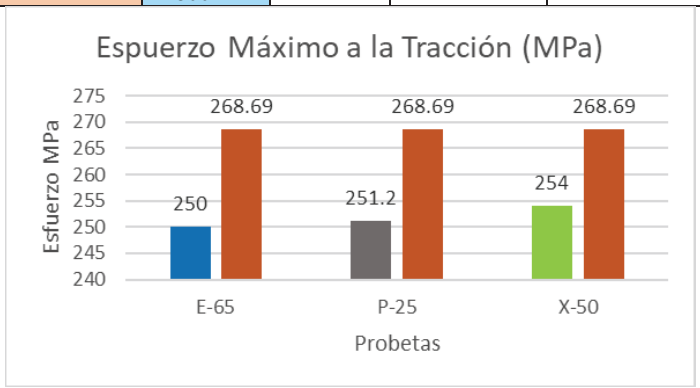
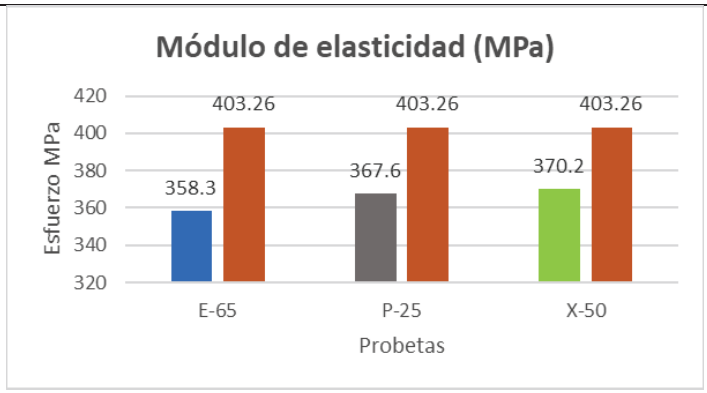


Tabla 69. Ensayo de tracción a 800°C (Continuación Tabla 69)

Probeta Ensayada						
						
Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego						
Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento**	**Nº Probetas**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 800 °C**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 800 °C**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) %Variación**	**Esfuerzo Máximo Fu %Variación**
268,69	**403,26**	2. E-65-800°C	250	358,3	7%	11%
		5. P-25-800°C	251,2	367,6	7%	9%
		8. X-50-800°C	254	370,2	5%	8%





Observación
Las probetas recubiertas con materiales ignifugos E-65, P-25 y X-50 expuestas a 800ºC no presentaron gran variación en sus propiedades mecánicas. Analizando las mismas se puede decir que la que menos cambios tubo fue la probeta X-50 con un esfuerzo de fluencia de 251.2 MPa y un esfuerzo máximo de 370.2 MPa en comparación a la probeta que fue ensayada a temperatura ambiente.

Tabla 73. Ensayo de tracción a 1000°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL

FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS

TRACCIÓN_ASTM A36

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	02/14/2025	**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN
Realizado por:	Ing. Ivonne Núñez		
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**	Ing. Jorge Guamanquispe
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 4**
Dimensiones (mm):			**Longitud inicial entre mordazas(mm)**	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956

RESULTADOS

Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
3. E-65-1000°C	76,7	243	356,72	6,41
6. P-25-1000°C	78,6	238	361,01	6,42
9. X-50-1000°C	75,2	245	363,45	7,33
Material sin ser Expuesto.	77,4	268,69	403,26	7,38

GRAFICO

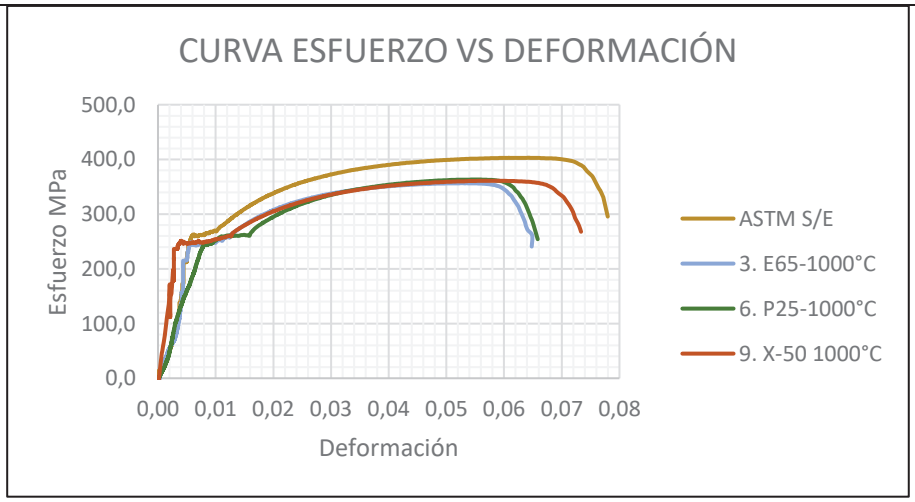


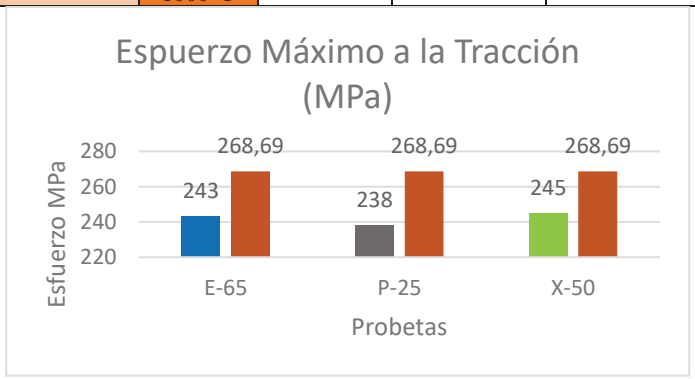
Tabla 70. Ensayo de tracción a 1000°C (Continuación Tabla 70)

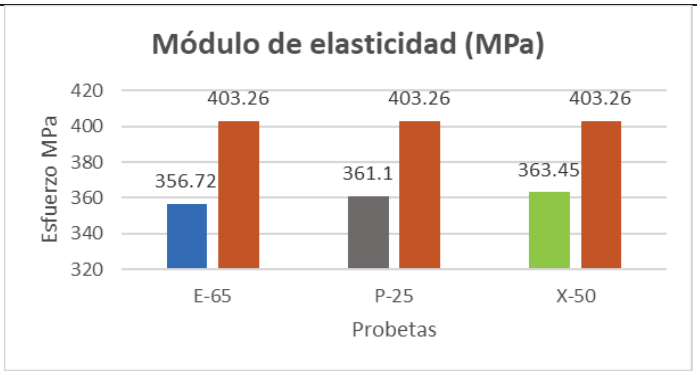
Probeta Ensayada



Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego

Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento	Nº Probetas	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 1000 °C	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 1000 °C	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación
268,69	**403,26**	3. E-65-1000°C	243	356,72	10%	12%
		6. P-25-1000°C	238	361,01	11%	10%
		9. X-50-1000°C	245	363,45	9%	10%





Observación

Las probetas recubiertas con materiales ignifugos E-65, P-25 y X-50 expuestas a 1000ºC presentaron variación en sus propiedades mecánicas casi perdiendo el 10% de sus propiedades. Analizando las mismas se puede decir que la que menos cambios tubo fue la probeta X-50 con un esfuerzo de fluencia de 245 MPa y un esfuerzo máximo de 363.45 MPa en comparación a la probeta que fue ensayada a temperatura ambiente.

4.2.Acero estructural recubierto con material ignífugo X50 a temperaturas variables de 600, 800 hasta 1000

4.2.1.1.Espesores de pintura probetas X-50.

Tabla 74. Espesores de las probetas medidas con el endoscopio.

NÙMERO	TIPO DE PINTURA	Mediciones					PROMEDIO
		1	2	3	4	5	
Probetas Rectangulares							
1	X-50	387,2	389,3	384,3	382,7	390,1	386,72
2	X-50	371,3	375,5	378,3	395,5	386,4	381,4
3	X-50	399,3	397,3	394,7	359,2	396,1	389,32
4	X-50	373,9	379,21	391,7	388,6	385,2	383,722
5	X-50	385,4	399,3	386,4	398,3	396,2	393,12
6	X-50	379,2	365,1	377,8	396,4	382,9	380,28
						PROMEDIO	**385,76**
Probetas Planas							
1	X-50	378,4	387,3	386,2	398,2	379,3	385,88
2	X-50	376,8	396,2	378,1	375,9	386,5	382,7
3	X-50	389,7	384,9	377,3	386,3	394,6	386,56
4	X-50	367,9	369,8	394,2	398,6	385,1	383,12
5	X-50	382,1	395,6	384,1	339,2	379,8	376,16
6	X-50	391,7	394,3	387,7	376,2	396,2	389,22
						PROMEDIO	**383,94**

4.2.1.2. Masividad de las probetas X-50.

Probetas plantas.

Para el cálculo de la masividad es necesario tener en consideración las siguientes dimensiones.

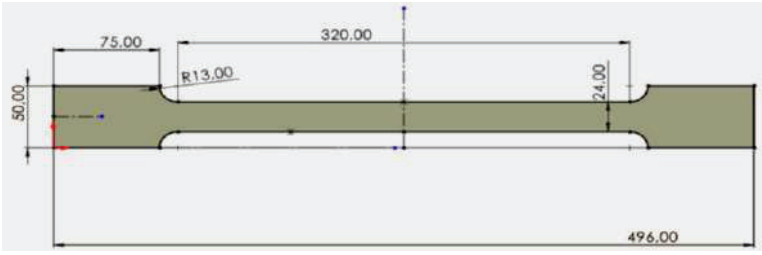


Fig. 36. Dimensiones de la probeta plana

Ancho de la sección reducida: 24 mm = 0.024 m

Espesor: 12 mm = 0.012 m

Cálculo del Perímetro expuesto

La sección es rectangular, por lo que el perímetro expuesto es:

$$P = Ancho + (2 * Espesor)$$

$$P = 0.024 + 2\ (0.012)$$

$$P = 0.048\ m$$

3. Cálculo del Área de la sección transversal

$$A = (Ancho * Espesor)$$

$$P = 0.024 * 0.012$$

$$P = 0.000288\ m^2$$

4. Cálculo de la Masividad

$$M = \frac{P}{A}$$

$$M = \frac{0.048}{0.000288}$$

$$\boldsymbol{M = 166.67 \mu M}$$

Probetas rectangulares.

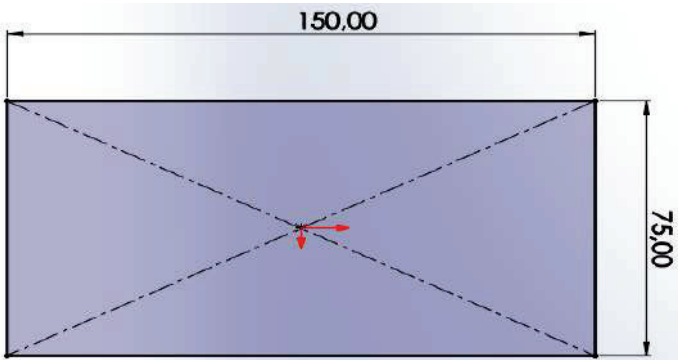


Fig. 37. Dimensiones de la probeta rectangular

Ancho de la probeta: 75 mm = 0.075 m

Altura de la probeta: 50 mm = 0.150 m

Espesor: 12 mm = 0.012 m

Cálculo del Perímetro expuesto

La sección es rectangular, por lo que el perímetro expuesto es:

$$P = Ancho + (2 * Espesor)$$

$$P = 0.075 + 2\ (0.012)$$

$$P = 0.099\ m$$

3. Cálculo del Área de la sección transversal

$$A = (Ancho * Espesor)$$

$$P = 0.075 * 0.012$$

$$P = 0.0009\ m^2$$

4. Cálculo de la Masividad

$$M = \frac{P}{A}$$

$$M = \frac{0.099}{0.0009}$$

$$\boldsymbol{M = 100\ \mu M}$$

La resistencia al fuego de una estructura de acero es inversamente proporcional a su masividad lo que quiere decir que a mayor masividad menor es resistencia al fuego y por lo tanto se necesitará un mayor espesor de pintura para cumplir los tiempos que se especifican en la ficha técnica la cual menciona que serían de 30 minutos. Se debe tener en cuenta que los perfiles huecos circulares, cuadrados y rectangulares requerirán espesores mayores para su protección. Por los valores medidos con el durómetro tenemos un promedio de 385,76 µM el valor supera a la masividad por lo cual vemos que la resistencia al fuego según estos parámetros está asegurada para las probetas rectangulares, para las probetas planas 383,94 µM el cual también es mayor al valor de la emisividad calculada de las probetas planas y aseguramos la resistencia al fuego.

4.2.2. Cámara termográfica

Según estudios previos realizados por H. U. Sajid and R. Kiran, la emisividad del acero ASTM A36 varía entre 0.3 y 0.8, dependiendo de si la superficie está oxidada o no. Para este trabajo de investigación, se asumió una emisividad de 0.8 en las superficies de las probetas recubiertas con pinturas ignífugas X50. Este valor se seleccionó para garantizar mediciones precisas y consistentes de las temperaturas alcanzadas durante la exposición a altas temperaturas.

La medición de temperaturas se realizó utilizando una cámara térmica, la cual fue configurada previamente con una emisividad de 0.8. Este ajuste es crucial para obtener lecturas confiables, ya que la emisividad afecta directamente la precisión de las mediciones infrarrojas. Las probetas recubiertas con pintura ignífuga X50 se sometieron a una fuente de calor en un horno tratando de simular las temperaturas que llega un incendio, y se monitorearon las temperaturas en intervalos de tiempo específicos de 30, 45 y 60 minutos llegando a temperaturas de 600, 800 y 1000 °C.

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.

Probetas rectangulares con recubrimiento X50

Tabla 75. Ensayo termográfico 1-2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	1-2
Fecha		**Probeta N°**	1 – X50-30min 2 – X50-30min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	600°C
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

Tabla 64. Ensayo termográfico 1-2 (Continuación de la Tabla 64)

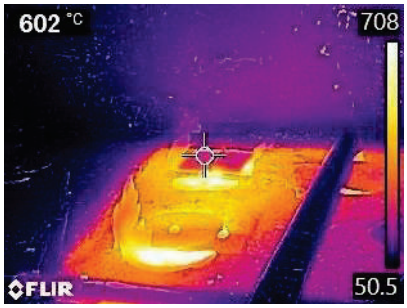
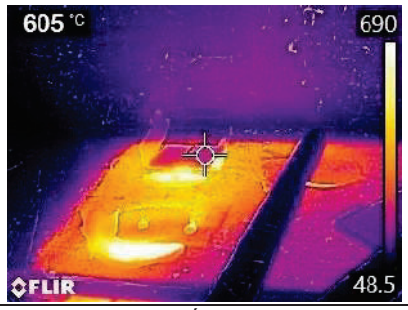
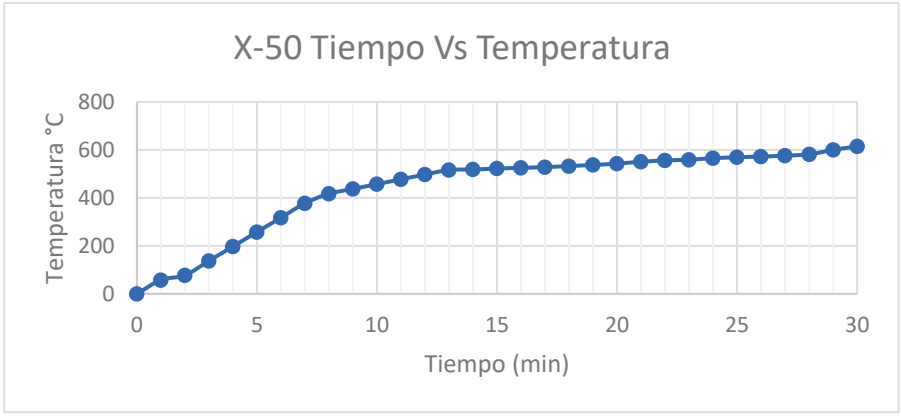
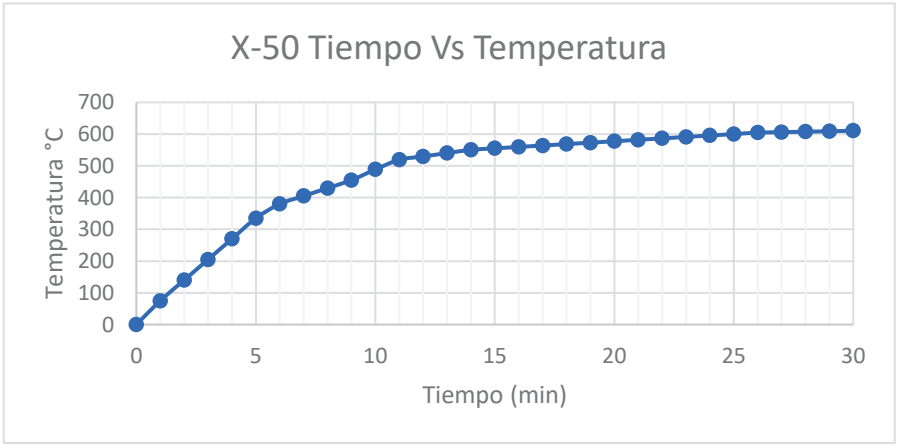
RESULTADOS
1 – X50-30min  2 – X50-30min 
GRÁFICA
1 – X50-30min  2 – X50-30min 

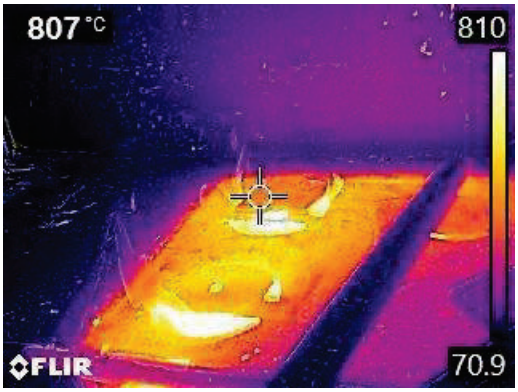
Tabla 76. Ensayo termográfico 3-4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3-4
Fecha		**Probeta N°**	3 – X50 – 45min 4 – X50 – 45min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	800°C
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

RESULTADOS

3 – X50 – 45min



4.X50 – 45min

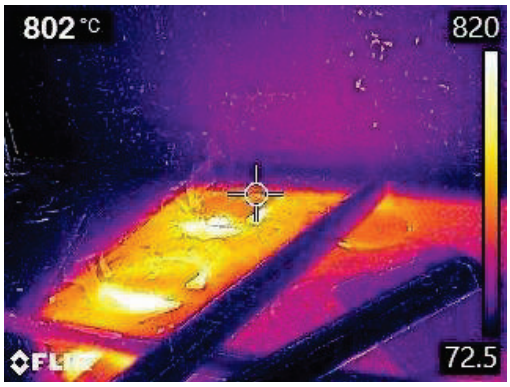


Tabla 65. Ensayo termográfico 2 (Continuación Tabla 65)

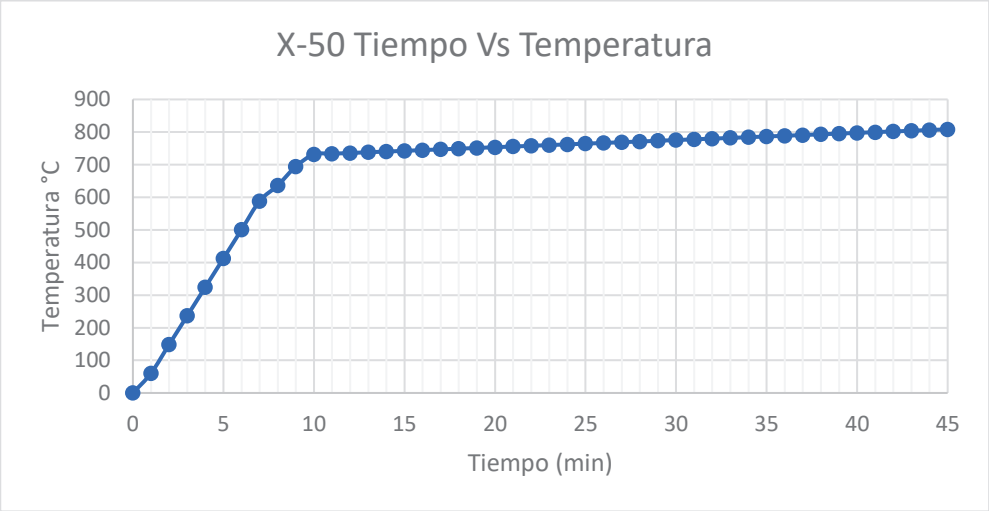
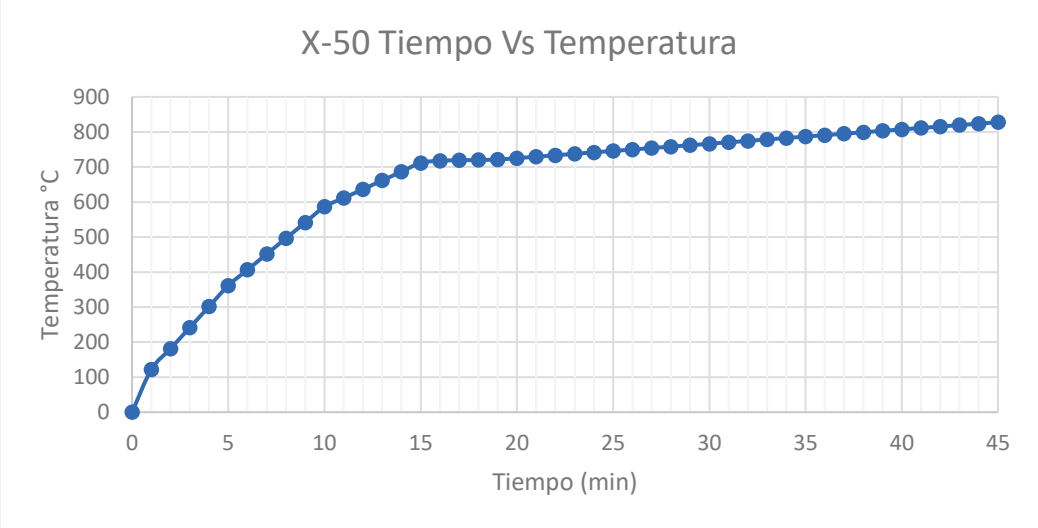
GRÁFICA
3 – X50 – 45min 
4 – X50 – 45min 

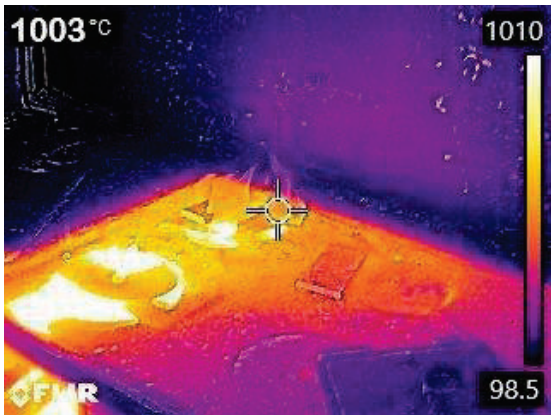
Tabla 77. Ensayo termográfico 5-6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5-6
Fecha	02/20/2025	**Probeta N°**	5 – X50 – 60min 6– X50 – 60min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	1000
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

RESULTADOS

5 – X50 – 60min



6– X50 – 60min

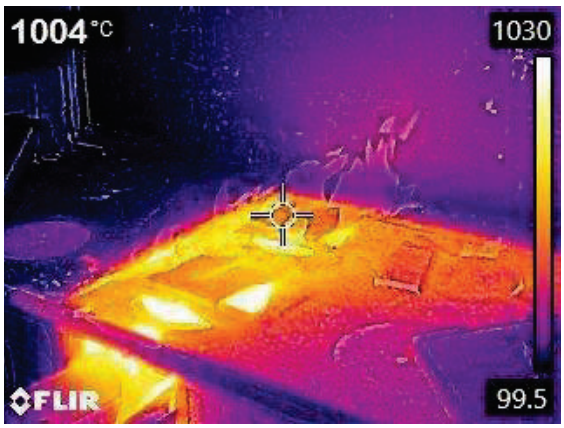
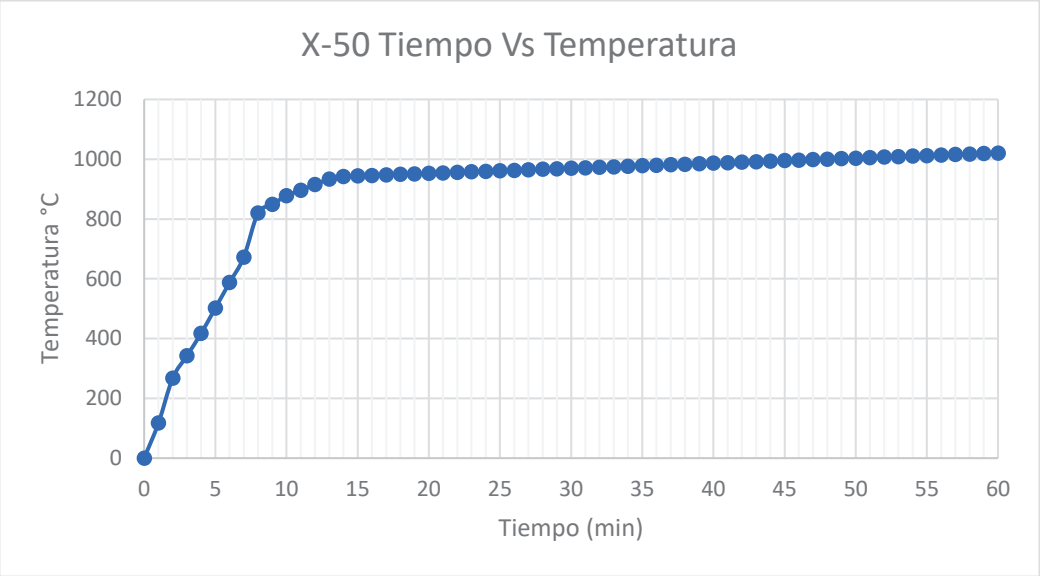
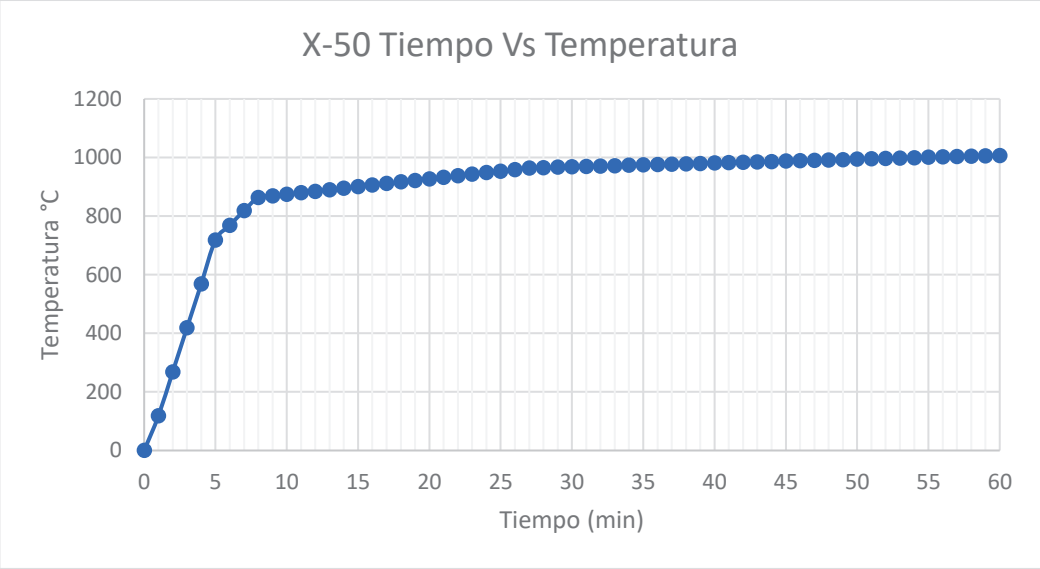


Tabla 66. Ensayo termográfico 3 (Continuación de la Tabla 66)

GRÁFICA
5– X50 – 60min

6– X50 – 60min


Probetas planas con recubrimiento X50

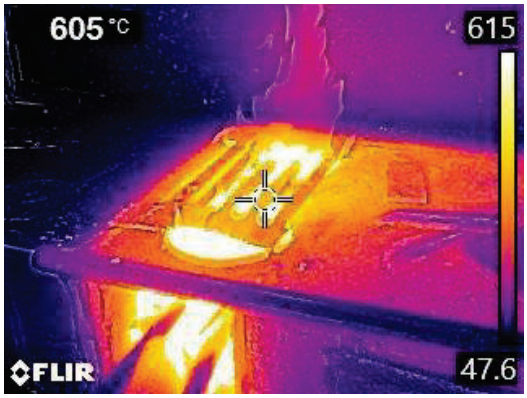
Tabla 78. Ensayo termográfico 1-2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	1-2
Fecha	02/20/2025	**Probeta N°**	1– X50 – 30min 2– X50 – 30min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	600°C
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

RESULTADOS

1– X50 – 30min



2– X50 – 30min

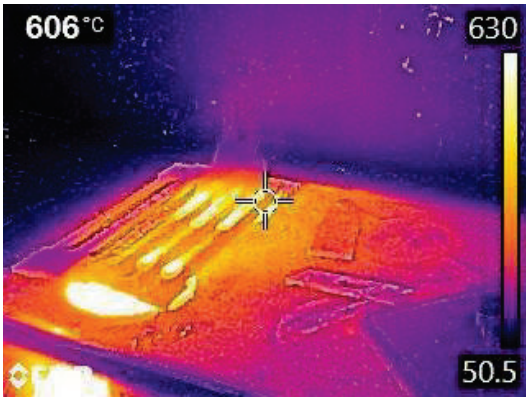


Tabla 67. Ensayo termográfico 1-2 (Continuación de Tabla 67)

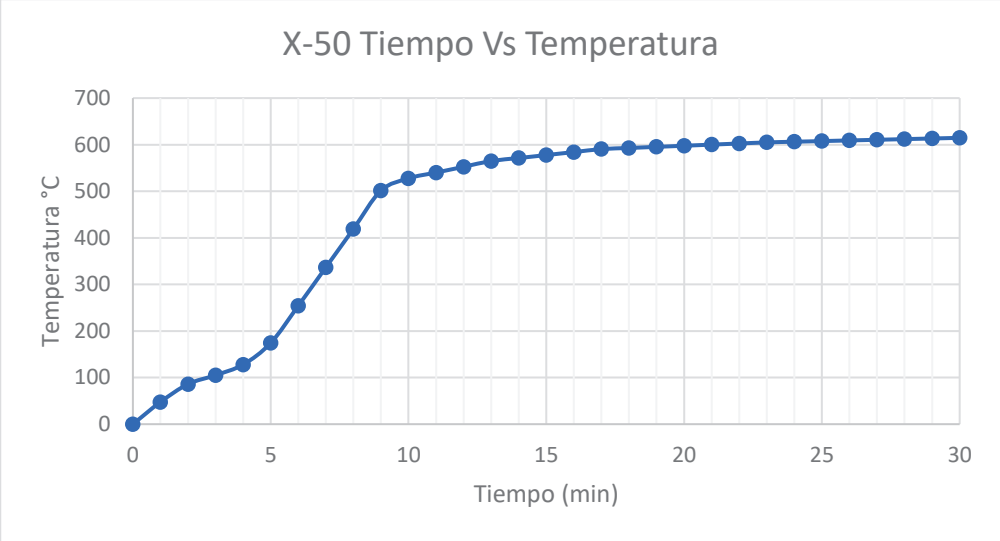
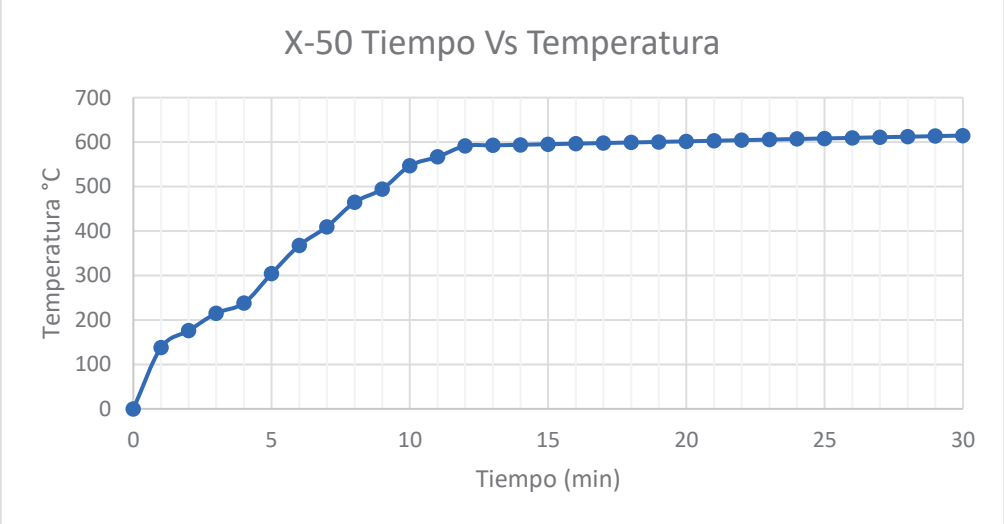
GRÁFICA
1– X50 – 30min

2– X50 – 30min


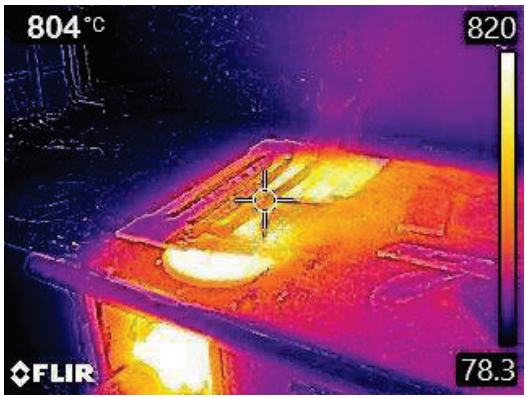
Tabla 79. Ensayo termográfico 3-4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3-4
Fecha	02/20/2025	**Probeta N°**	3 – X50 – 45min 4 – X50 – 45min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	800°C
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

RESULTADOS

3 – X50 – 45min



4– X50 – 45min

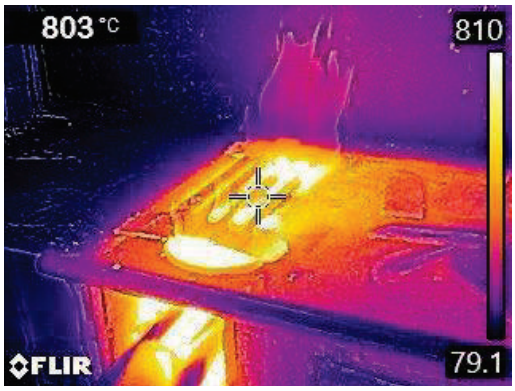


Tabla 68. Ensayo termográfico 3-4 (Continuación Tabla 68)

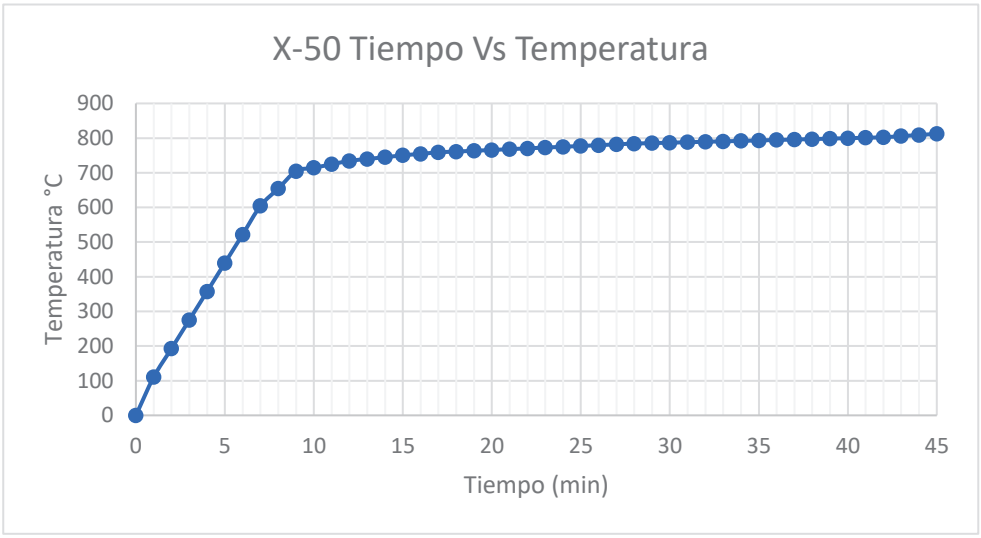
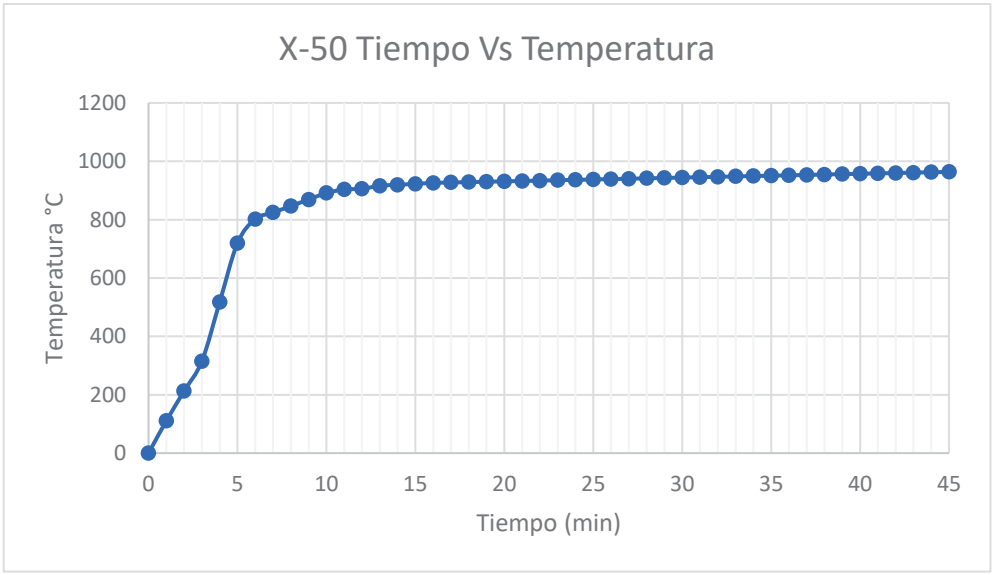
GRÁFICA
3 – X50 – 45min  4 – X50 – 45min 

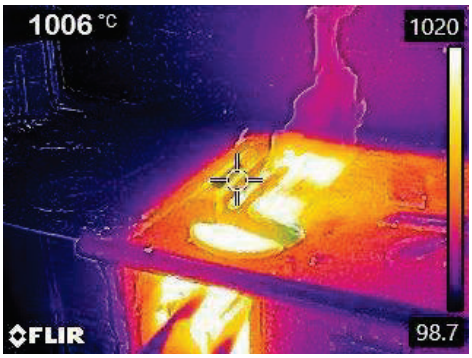
Tabla 80. Ensayo termográfico 5-6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO TERMÓMETRO INFRARROJO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5-6
Fecha	02/20/2025	**Probeta N°**	5 – X50 – 60min 6 – X50 – 60min
Material	ASTM A36	**Temperatura**	1000
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Ti300pro Professional Thermal Imager	

RESULTADOS

5 – X50 – 60min



5 – X50 – 60min

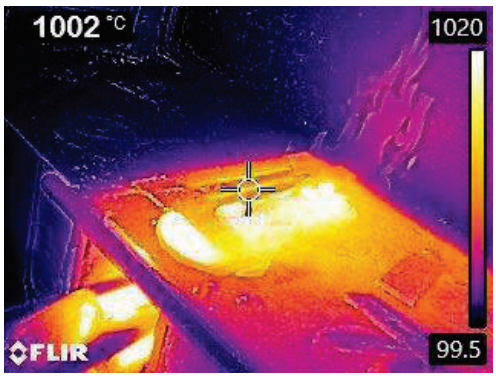
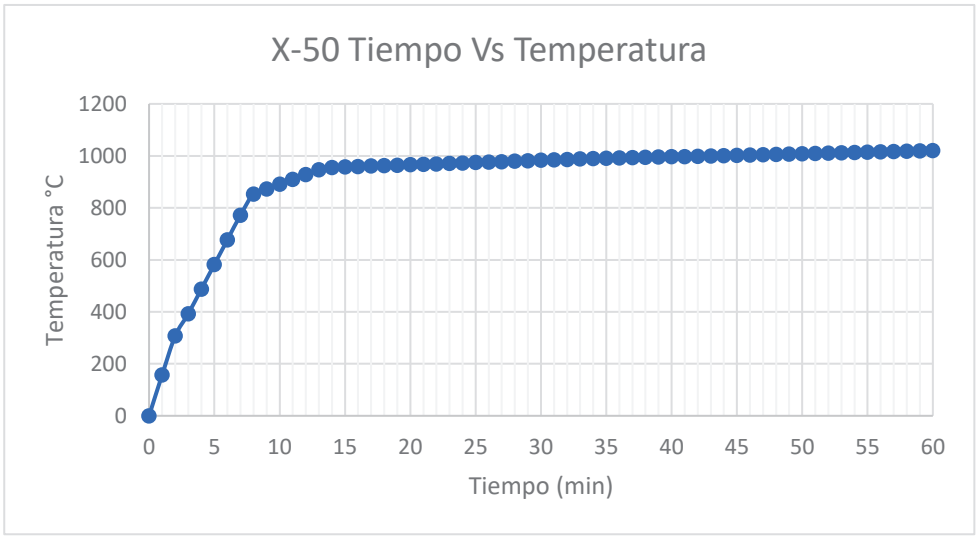
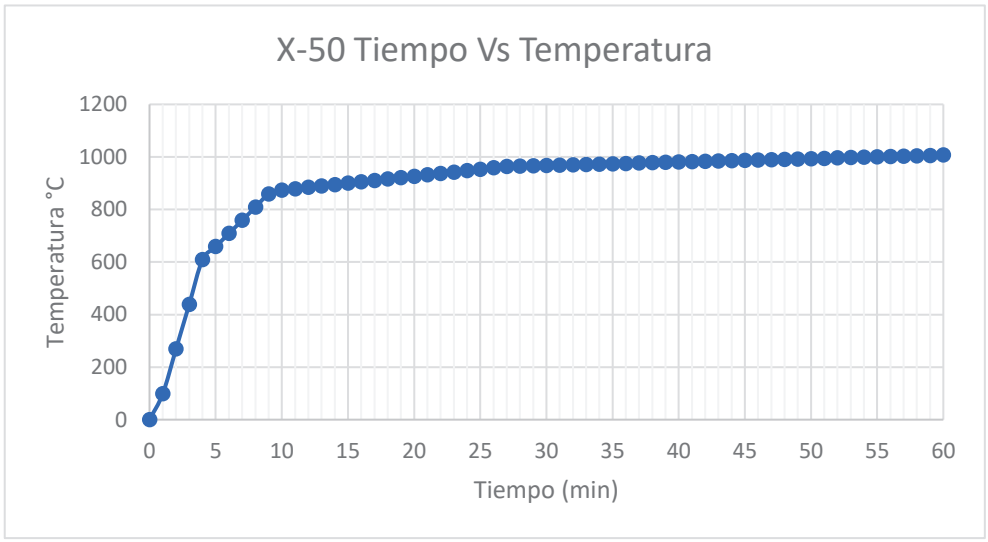


Tabla 69. Ensayo termográfico 5-6 (Continuación Tabla 69)

GRÁFICA
5 – X50 – 60min 5 – X50 – 60min  6 – X50 – 60min 

4.2.3. Ensayo metalográfico con recubrimiento X50 para 30, 45 y 60 minutos

Tabla 81. Ensayo metalográfico 1

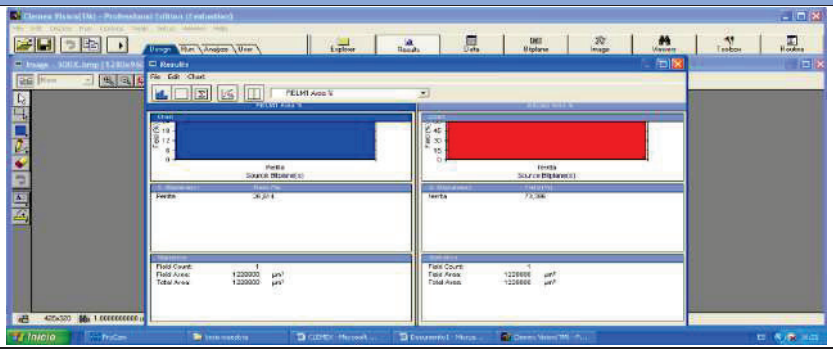
<table>
<tr><td colspan="6">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS</td></tr>
<tr><td colspan="6">ENSAYO METALOGRÁFICO</td></tr>
<tr><td>Tipo de estudio</td><td colspan="2">De laboratorio</td><td>Ensayo N°</td><td colspan="2">1</td></tr>
<tr><td>Fecha</td><td colspan="2"></td><td>Probeta N°</td><td colspan="2">1</td></tr>
<tr><td>Material</td><td colspan="2">ASTM A36</td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Lugar:</td><td colspan="4">Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador</td></tr>
<tr><td colspan="2">Equipo :</td><td colspan="4">Microscopio</td></tr>
<tr><td colspan="6">INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS</td></tr>
<tr><td>Fecha</td><td></td><td>Hora inicio</td><td>15h00</td><td>Hora final</td><td>15h30</td></tr>
<tr><td>N° Probeta</td><td>1 – X50-600°C</td><td>Distancia</td><td>0cm</td><td>Tiempo</td><td>30 min</td></tr>
<tr><td>T (amb °C)</td><td>18,4°C</td><td>Material</td><td>ASTM A36</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">RESULTADOS</td></tr>
<tr><td colspan="3">100X</td><td colspan="3">200X</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3">500X</td><td colspan="3">1000X</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="6">CLEMEX</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
</table>

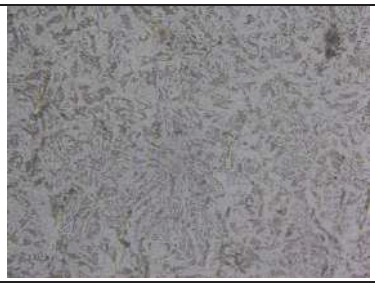
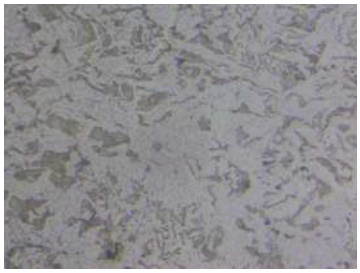
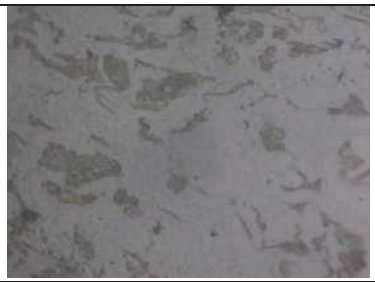
Tabla 82. Ensayo metalográfico 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha		**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	15h00	**Hora final**	15h30
N° Probeta	2 – X50-600°C	**Distancia**	0cm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

CLEMEX

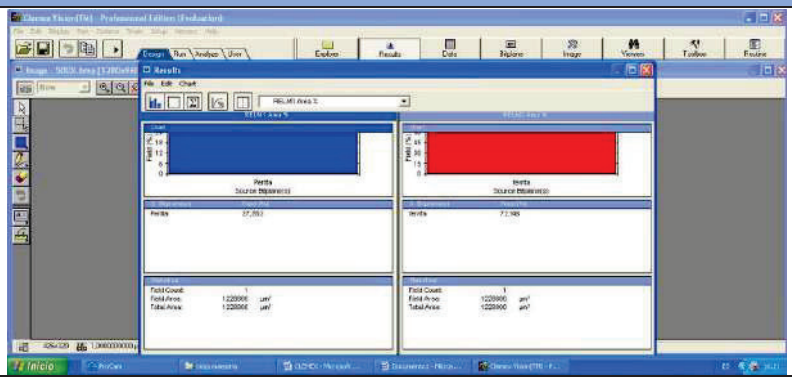


Tabla 83. Ensayo metalográfico 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha		**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h45
N° Probeta	3– X50-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	45 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**	ASTM A36		

RESULTADOS

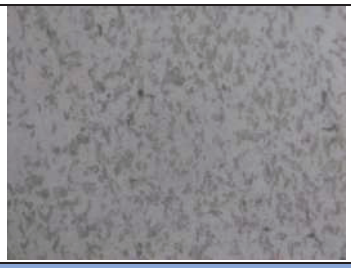
100X



200X



500X



1000X



CLEMEX

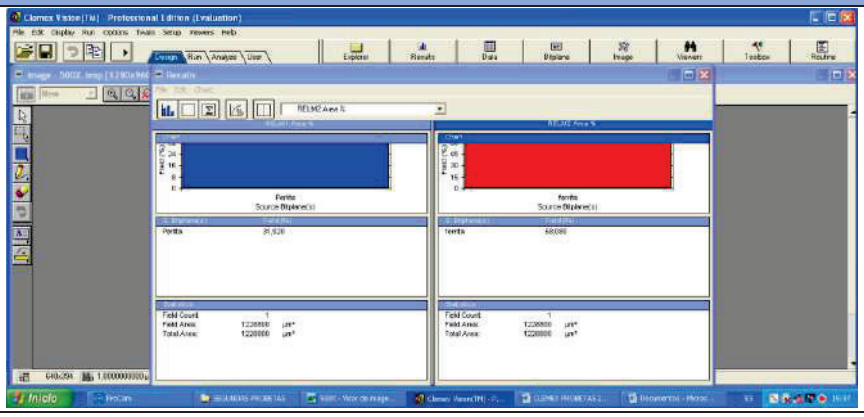


Tabla 84. Ensayo metalográfico 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha		**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h45
N° Probeta	4– X50-800°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	45 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

CLEMEX

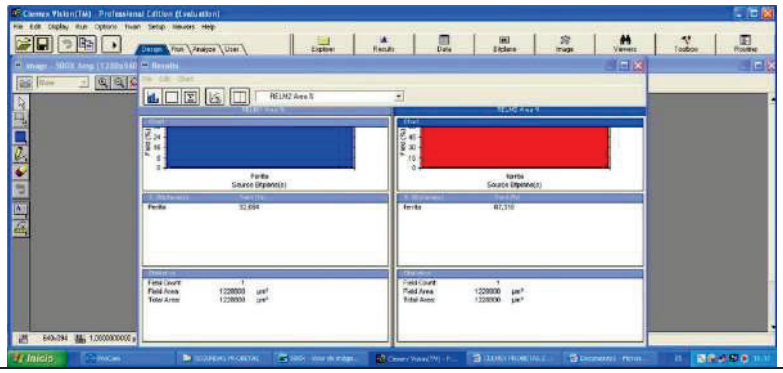


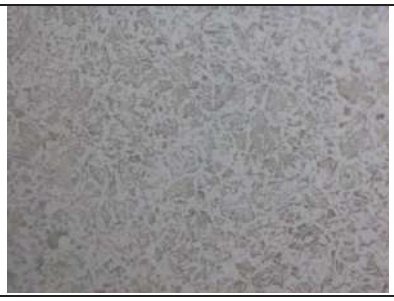
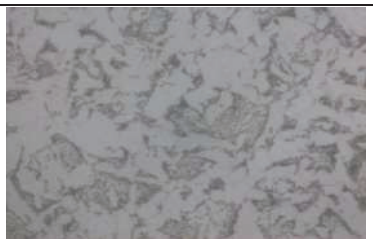
Tabla 85. Ensayo metalográfico 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha		**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo 02/20/2025		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h00	**Hora final**	10h45
N° Probeta	5– X50-1000°C	**Distancia**	2cm	**Tiempo**	45 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

CLEMEX

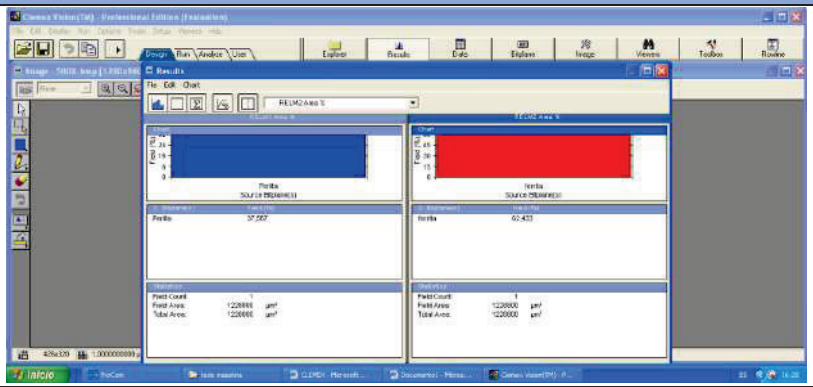


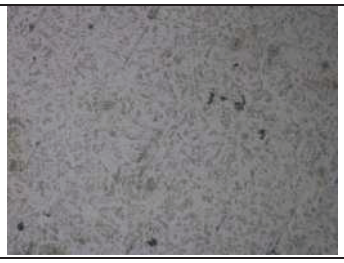
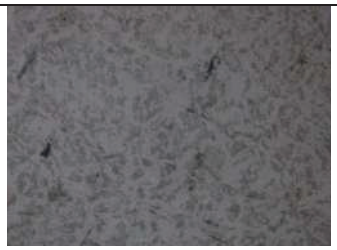
Tabla 86. Ensayo metalográfico 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

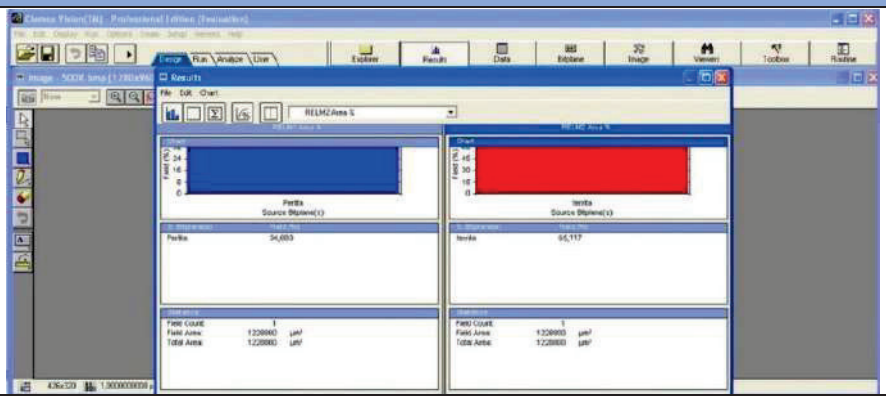
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha		**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Lugar		Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador	
Equipo 02/20/2025		Microscopio	

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	12h00	**Hora final**	13h00
N° Probeta	3 – X50-1000°C	**Distancia**	1cm	**Tiempo**	60 min
T (amb °C)	18,4°C	**Material**			

RESULTADOS

100X	200X
	
500X	1000X
	

GRÁFICA



4.2.10. Ensayo de dureza probetas rectangulares

Tabla 87. Ensayo de dureza probetas rectangulares 1

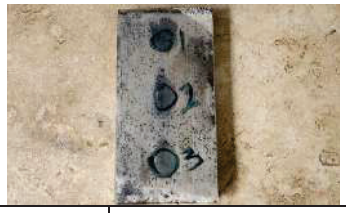
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS					
ENSAYO DE DUREZA					
Tipo de estudio		De laboratorio	**Ensayo N°**		1
Fecha			**Probeta N°**		1
Material		ASTM A36			
Dirección		Laboratorio de Materiales			
Equipo		Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.			
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	1 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	30min
T (amb °C)	19°C				
RESULTADOS					
FRENTE 					
Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**		
1	2,91	1,190	158		
2	2,95	1,195	157		
3	2,96	1,203	155		
PROMEDIO	2,94	1,20	**156,67**		
POSTERIOR 					
Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**		
1	2,94	1,185	160		
2	2,95	1,195	157		
3	2,97	1,197	156		
PROMEDIO	2,953	1,192	**157,667**		

Tabla 88. Ensayo de dureza probetas rectangulares 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha		**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	2 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	30min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	2,97	1,195	157
2	2,95	1,203	155
3	3,01	1,205	154
PROMEDIO	2,98	1,20	**155,33**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	2,98	1,185	160
2	2,96	1,190	158
3	3,02	1,207	154
PROMEDIO	2,99	1,19	**157,33**

Tabla 89. Ensayo de dureza probetas rectangulares 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha		**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h30
N° Probeta	3 – X50	**Distancia**	1 cm	**Tiempo**	45min
T (amb °C)	19°C	**Equipo**	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,05	1,210	153
2	3,07	1,217	151
3	3,08	1,223	150
PROMEDIO	3,07	1,22	**151,33**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,04	1,207	154
2	3,05	1,210	153
3	3,06	1,215	152
PROMEDIO	3,05	1,211	**153**

Tabla 90. Ensayo de dureza probetas rectangulares 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha		**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h30
N° Probeta	4 – X50	**Distancia**	1 cm	**Tiempo**	45min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2,98	1,223	150
2	2,96	1,215	152
3	2,93	1,207	154
PROMEDIO	2,96	1,215	**152**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	2,99	1,217	151
2	2,97	1,210	153
3	2,94	1,203	155
PROMEDIO	2,96	1,210	**153**

Tabla 91. Ensayo de dureza probetas rectangulares 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha		**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h45
N° Probeta	5 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	60min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,15	1,225	149
2	3,21	1,260	140
3	3,16	1,233	147
PROMEDIO	3,17	1,24	**145,33**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,15	1,230	148
2	3,21	1,255	141
3	3,16	1,235	146
PROMEDIO	3,17333333	1,240	**145**

Tabla 92. Ensayo de dureza probetas rectangulares 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha		**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h45
N° Probeta	5 – X50	**Distancia**	2 cm	**Tiempo**	60min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

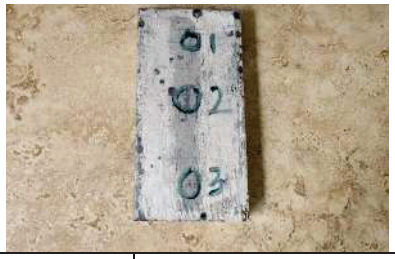
RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,11	1,250	143
2	3,14	1,255	141
3	3,17	1,260	140
PROMEDIO	3,140	1,255	**141,333**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,11	1,245	144
2	3,14	1,253	142
3	3,17	1,255	141
PROMEDIO	3,14	1,25	**142,33**

Ensayo de dureza Brinell probetas planas

Tabla 93. Ensayo de dureza 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS					
ENSAYO DE DUREZA					
Tipo de estudio		De laboratorio	**Ensayo N°**		1
Fecha			**Probeta N°**		1
Material		ASTM A36			
Dirección		Laboratorio de Materiales			
Equipo		Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.			
INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	1 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			
RESULTADOS					
FRENTE 					
Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**		
1	3,12	1,248	143		
2	3,13	1,252	142		
3	3,11	1,244	144		
PROMEDIO	3.12	1,2480	**143**		
POSTERIOR 					
Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**		
1	3.14	1.256	141		
2	3,18	1.272	137		
3	3,12	1.248	143		
PROMEDIO	3.1467	1.2587	**140.33**		

Tabla 94. Ensayo de dureza 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	2
Fecha		**Probeta N°**	2
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h15
N° Probeta	2 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	30 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3.24	1.257	140
2	3.18	1.248	145
3	3.16	1.27	138
PROMEDIO	3.19	1.258	141

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3.24	1.224	139
2	3.19	1.285	136
3	3.09	1.268	144
PROMEDIO	3.173	3.77	**139.66**

Tabla 95. Ensayo de dureza 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	3
Fecha		**Probeta N°**	3
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h30
N° Probeta	3 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	45 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3.28	1.312	128
2	3.24	1.296	132
3	3.22	1.288	134
PROMEDIO	3.2467	1.2987	**131.33**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,12	1.248	143
2	3,13	1.252	142
3	3,11	1.244	144
PROMEDIO	3.12	1.2480	**143**

Tabla 96. Ensayo de dureza 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	4
Fecha		**Probeta N°**	4
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h30
N° Probeta	4 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	30min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

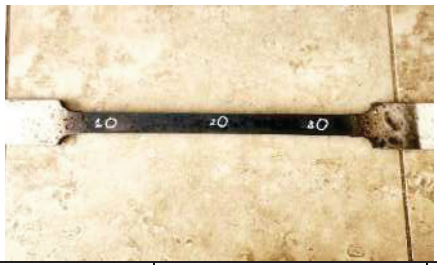
RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3.04	1.216	152
2	3.03	1.212	152
3	2.98	1.192	158
PROMEDIO	3.02	1.26	**154**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,14	1,220	150
2	3,17	1,215	152
3	3,1	1,980	158
PROMEDIO	3,137	1,472	**153,33**

Tabla 97. Ensayo de dureza 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	5
Fecha		**Probeta N°**	5
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	11h45	**Hora final**	12h45
N° Probeta	5 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	45 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,09	1,236	146
2	3,18	1,272	137
3	3,11	1,244	144
PROMEDIO	3,1267	1,2507	**142,33**

POSTERIOR



Numero de medición	**Diámetro Medido (mm)**	**Average Diameter of Indentation (D/mm)**	**DUREZA HBW**
1	3,12	1.248	143
2	3,13	1.252	142
3	3,11	1.244	144
PROMEDIO	3.12	1.2480	**143**

Tabla 98. Ensayo de dureza 6

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

ENSAYO DE DUREZA			
Tipo de estudio	De laboratorio	**Ensayo N°**	6
Fecha		**Probeta N°**	6
Material	ASTM A36		
Dirección	Laboratorio de Materiales		
Equipo	Brinell, Rockwell, Vickers hardness tester.		

INFORMACIÓN DE LAS PROBETAS					
Fecha		**Hora inicio**	10h45	**Hora final**	11h45
N° Probeta	6 – X50	**Distancia**	100 mm	**Tiempo**	60 min
T (amb °C)	19°C	**Lugar**			

RESULTADOS

FRENTE



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3.17	1.268	138
2	3.21	1.284	134
3	3.14	1.256	141
PROMEDIO	31.733	12.693	**137.67**

POSTERIOR



Numero de medición	Diámetro Medido (mm)	Average Diameter of Indentation (D/mm)	DUREZA HBW
1	3,09	1.235	145
2	3,12	1.267	140
3	3,10	1.226	141
PROMEDIO	3.103	1.242	**142**

4.2.8. Ensayo de tracción probetas recubiertas con X-50.

Tabla 99. Ensayo de tracción a 600°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
TRACCIÓN_ASTM A36				
DATOS INFORMATIVOS				
Fecha:		**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:				
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**		
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 3**
			Longitud inicial entre mordazas(mm)	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956
RESULTADOS				
Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
1. X-50-600°C	70,8	**266**	**385,27**	7,48
2. X-50-600°C	72,2	254	376,1	7,23
Material Expuesto sin Recubrimiento **Tabla 6.**	59,4	202	314,55	4,67
GRAFICO				

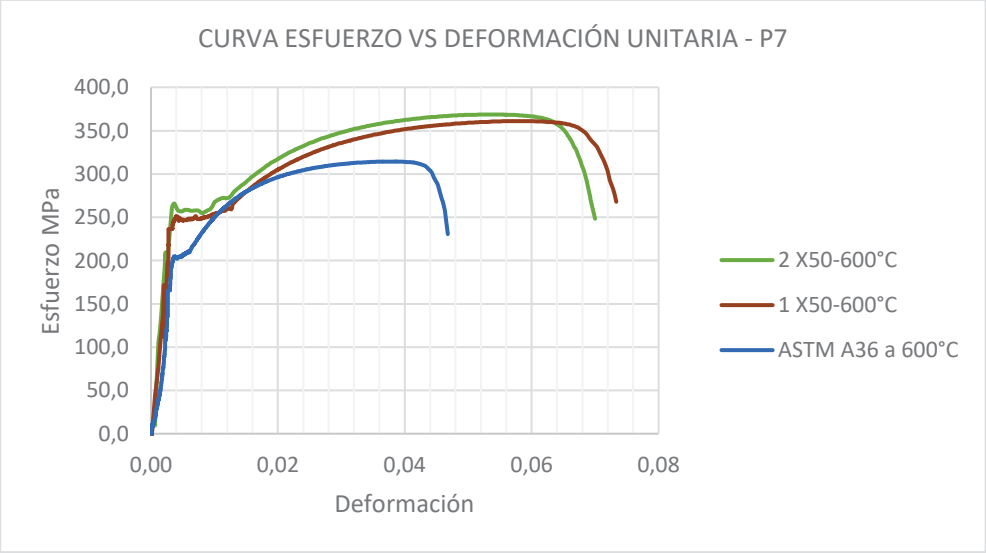


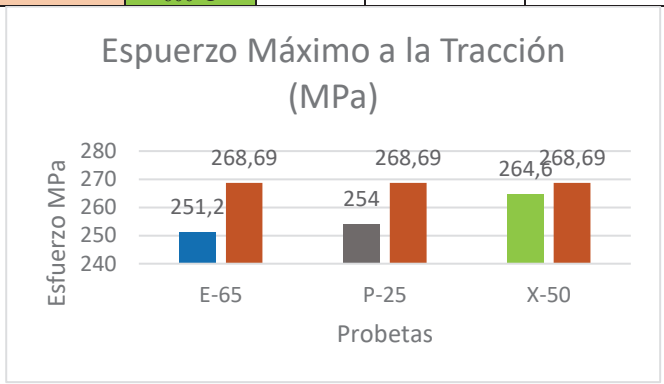
Tabla 88. Ensayo de tracción a 600°C (Continuación Tabla 88)

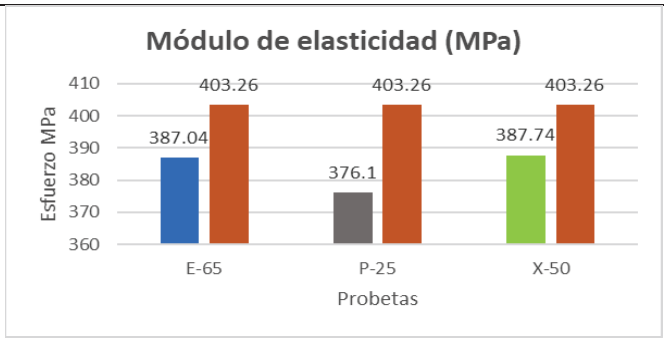
Probeta Ensayada



Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego

Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento	Nº Probetas	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 600 °C	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 600 °C	Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) %Variación	Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación
202	**314,55**	1. X-50-600°C	266	385,27	32%	35%
		2. X-50-600°C	254	376,1	26%	30%





Observación

Las probetas recubiertas con materiales ignifugos X-50 expuestas a 600ºC por 30 minutos el acero con pintura ignífuga tiene valores muy cercanos a los del A36 en estado original, especialmente en el esfuerzo de fluencia (incluso un poco superior). El esfuerzo de fluencia disminuye a 202 MPa, una reducción del ~19% respecto al valor nominal (~250 MPa). El esfuerzo máximo baja a 314,55 MPa, lo que representa una pérdida más significativa (26–30%). Esto significa que el calor ha comenzado a afectar la microestructura aunque el acero todavía conserva buena parte de su resistencia esta temperatura no es crítica aún, pero ya inicia la degradación. La pintura ignífuga ayuda a retrasar o mitigar este proceso, manteniendo las propiedades mecánicas por más tiempo. Este resultado destaca la utilidad de la pintura ignífuga no solo en incendios extremos, sino también en exposiciones térmicas intermedias, como en procesos industriales o entornos con altas temperaturas sostenidas.

Tabla 100. Ensayo de tracción a 800°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
TRACCIÓN_ASTM A36				
DATOS INFORMATIVOS				
Fecha:		**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:				
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**		
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 4**
			Longitud inicial entre mordazas(mm)	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956
RESULTADOS				
Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
3. X-50-800°C	62,6	145	240,92	3,60
4. X-50-800°C	61,2	140	237,1	3,54
Material Expuesto sin Recubrimiento **Tabla 6.**	57,4	118,89	189,53	2,41
GRAFICO				

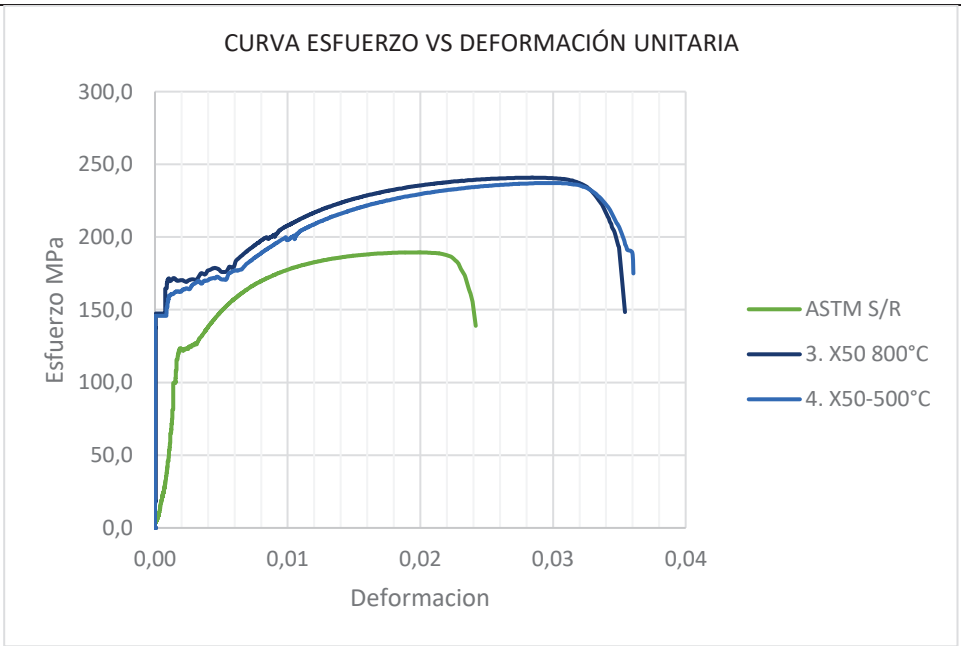
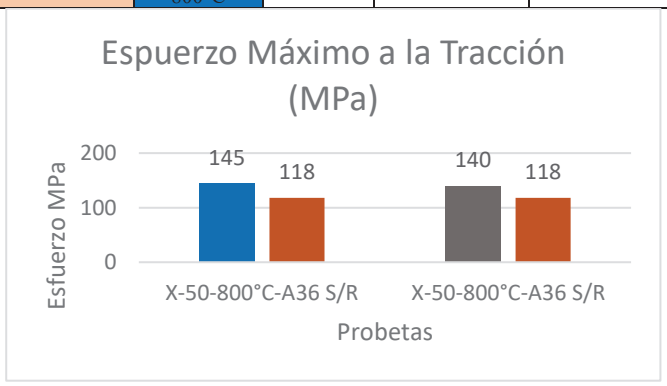
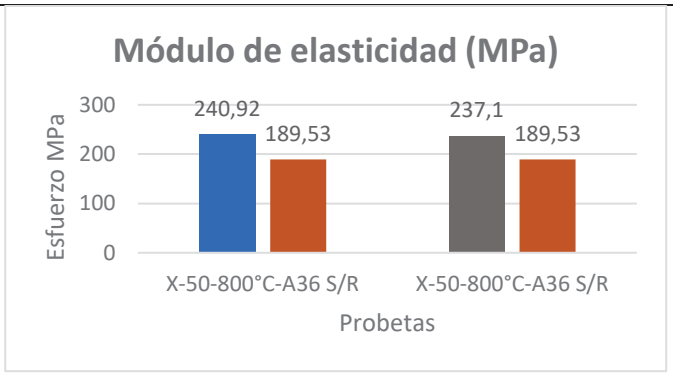


Tabla 89. Ensayo de tracción a 800°C (Continuación de Tabla 89)

Probeta Ensayada						
						
Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego						
Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento**	**Nº Probetas**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 800 °C**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 800 °C**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (MPa) %Variación**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación**
118,89	**189,53**	1. E-65-800°C	145	240,92	18%	21%
		2. P-25-800°C	140	237,1	15%	20%





Observación
Las probetas recubiertas con materiales ignifugos X-50 expuestas a 800ºC por 45 minutos de exposición no presentaron gran variación en sus propiedades mecánicas. Analizando las mismas se puede decir que la que menos cambios tubo fue la probeta X-50 con un esfuerzo de fluencia de 145 MPa y un esfuerzo máximo de 240 MPa. El acero recubierto conserva mayor parte de su resistencia frente al expuesto directamente 18% más esfuerzo de fluencia y 21% más esfuerzo máximo en comparación con el sin recubrimiento; esto indica que la pintura ignífuga ralentiza la transferencia de calor al acero, protegiendo su microestructura. Aunque no evita completamente la pérdida de propiedades, reduce su velocidad y magnitud, lo que gana tiempo crítico en situaciones de emergencia (como incendios en estructuras).

Tabla 101. Ensayo de tracción a 1000°C

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA LABORATORIOS DE INGENIERÍA CIVIL				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
TRACCIÓN_ASTM A36				
DATOS INFORMATIVOS				
Fecha:		**Equipo:**	Máquina Universal de ensayos Shimadzu AGS-X SERIES 50 kN	
Realizado por:				
Marca:	DIPAC	**Revisado por:**		
Lugar:	**Universidad Técnica de Ambato – Laboratorio de Innovación y Desarrollo, Área de ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Ambato-Ecuador**			
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Material Base:	Acero A 36	**Norma:**	ASTM E8	**Número de probetas: 4**
			Longitud inicial entre mordazas(mm)	**Peso de las probetas (kg):**
Ancho (A)	Espesor (B)	Longitud Total	364	0,964
mm	mm	mm	375	0,955
24,00	8,00	496,00	353	0,956
RESULTADOS				
Nº Probetas	**Carga máxima (kN)**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa)**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa)**	**Elongación %**
5. X50-1000°C	39,7	54,77	98,57	1,27
6. X50-1000°C	39,3	62	95,99	1,31
Material Expuesto sin Recubrimiento **Tabla 6.**	29,8	25	40,33	1,01
GRÁFICO				

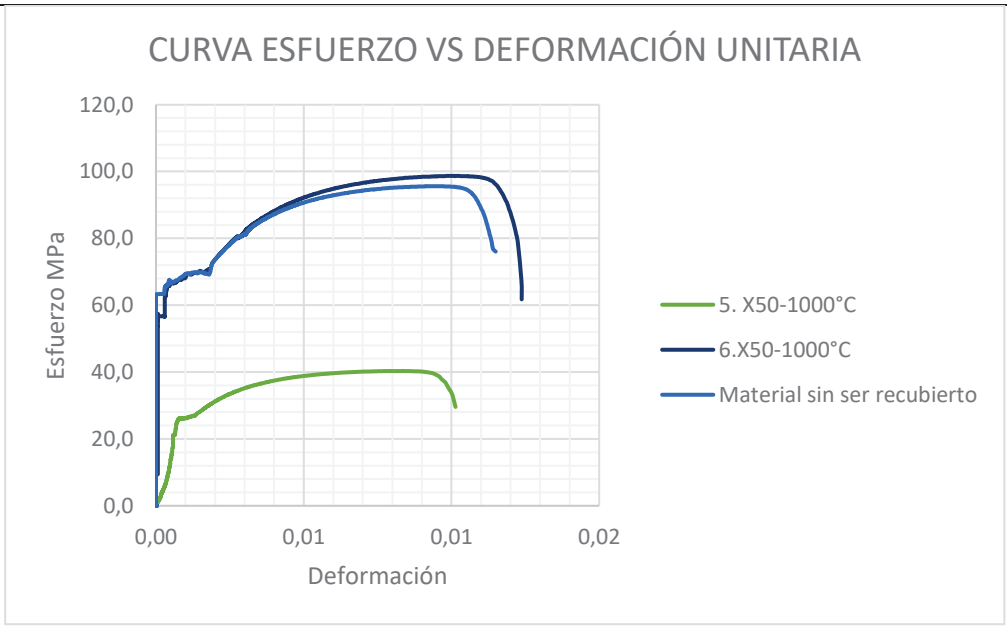
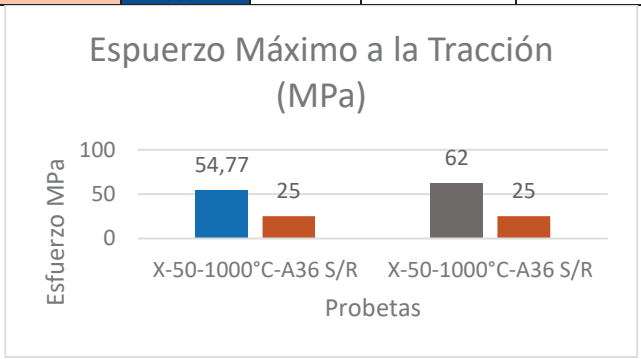
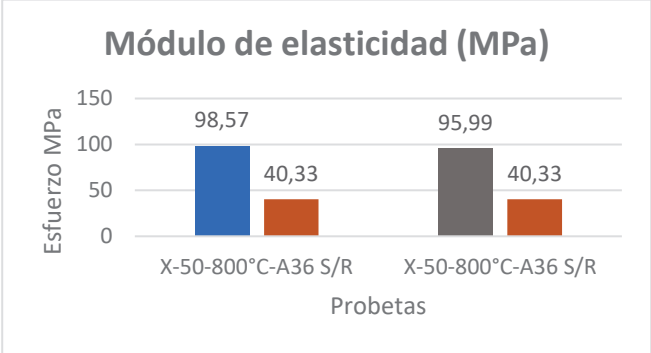


Tabla 90. Ensayo de tracción a 800°C (Continuación de la Tabla 89)

Probeta Ensayada						
						
Porcentajes de Variación en comparación al material sin expoción al fuego						
Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) Material expuesto sin recubrimiento	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto sin recubrimiento**	**Nº Probetas**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) expuesto a 1000 °C**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) expuesto a 1000 °C**	**Esfuerzo de Fluencia Fy (Mpa) %Variación**	**Esfuerzo Máximo Fu (Mpa) %Variación**
25	**40,33**	1. E-65-1000°C	54,77	98,57	54%	59%
		2. P-25-1000°C	62	95,99	60%	58%





Observación
Las probetas recubiertas con materiales ignifugos X-50 expuestas a 1000ºC por 60 minutos de exposición presentaron gran variación en sus propiedades mecánicas. Analizando las mismas se puede decir que la que menos cambios tubo fue la probeta X-50 con un esfuerzo de fluencia de 62 MPa y un esfuerzo máximo de 95.99 MPa más del doble del esfuerzo de fluencia comparado con el sin recubrir (54,77MPa vs 25 MPa). Estos valores te indican que el acero A36 ha sido gravemente debilitado por el tratamiento térmico. Esto muestra que la pintura ignífuga retarda la transferencia de calor al acero, permitiendo que conserve más integridad estructural incluso en condiciones extremas. Con pintura ignífuga, se prolonga la resistencia por un margen considerable, lo cual puede ser la diferencia entre un colapso inmediato y una evacuación segura.

4.3. Propiedades mecánicas del material expuesto al fuego a diferentes tiempos

4.3.1 Análisis del porcentaje de carbono

Acero A36 recubierto con pintura X-50 30min- 600°C

Perlita= 21.332%

Ferrita=78.668%

Tabla 102. Regla de la palanca Acero A36

Regla de la Palanca con Perlita (SiO2)	Regla de la Palanca con Ferrita (Fe3O4)
%C = 0.738*%P + 0.022 %C = 0.738*0.218 + 0.022 %C = 0.218	$0.76386\%C = \frac{0,78\%C - X\%C}{0.78\%C - 0.02\%C}$ $\%C = 0.222$

Tabla 103. Análisis de porcentaje de Carbono

N°	Probetas	Temperatura	Ferrita	Perlita	**%Carbono Ferrita (Fe3O4) (Regla de la Palanca)**	**%Carbono Perlita (SiO2) (Regla de la Palanca)**	Promedio
1	X50- 30 min	600°C	73,386	26,614	0,218	0,222	0,225
2	X50- 30min	600°C	72,148	27,852	0,228	0,232	
3	X50- 45 min	800°C	68,08	31,92	0,258	0,263	0,263
4	X50- 45 min	800°C	67,316	32,684	0,263	0,268	
5	X50- 60 min	1000°C	62,433	37,567	0,299	0,306	0,296
6	X50- 60 min	1000°C	64,117	35,883	0,287	0,293	

Tabla 104. Análisis de porcentaje de Carbono

FUENTE	Pintura	Temperatura °C	% Carbono
EL AUTOR	X-50	600	0,225
		800	0,263
		1000	0,296
Tabla 4.	Sin Recubrimiento	600	0,212
		800	0,301
		1000	0,303
DIPAC Tabla 2.	Valores Ficha técnica	15	0,25
		25	0,29

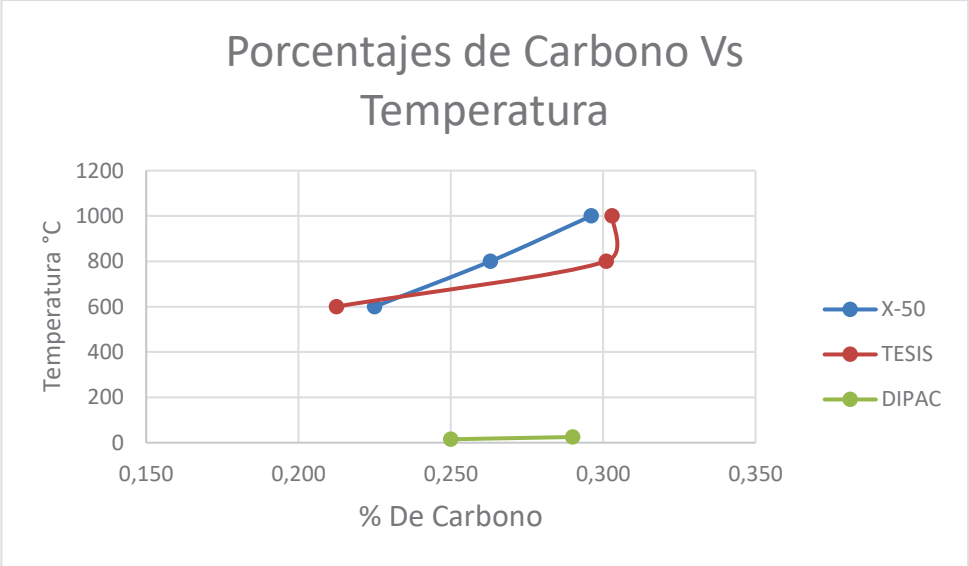


Fig. 38. Porcentaje de Carbono Vs Temperatura

Se compara el porcentaje de carbono en el acero ASTM A36 bajo diferentes condiciones, A 600°C, el acero recubierto con X-50 presenta un porcentaje de carbono de 0,225%, ligeramente superior al acero sin recubrimiento (0,212%), lo que sugiere que el X-50 ayuda a preservar el carbono. A 800°C, el X-50 mantiene un valor de 0,263%, mientras que el acero sin recubrimiento alcanza 0,301%, lo que indica una mayor pérdida de carbono en este último. Finalmente, a 1000°C, el X-50 muestra un porcentaje de carbono de 0,296%, cercano al límite superior de la ficha técnica (0,29%), lo que confirma su efectividad para proteger al acero de la degradación térmica. En contraste, el acero sin recubrimiento supera este límite (0,303%), lo que podría afectar negativamente sus propiedades mecánicas. Estos resultados resaltan la importancia del recubrimiento X-50 para mantener la integridad del acero bajo condiciones de incendio.

Tabla 105. Análisis de porcentaje de Carbono

FUENTE	Pintura	Tiempo	% Carbono
EL AUTOR	X-50	30	0,225
		45	0,263
		60	0,296
DATOS Tabla 4.	Sin Recubrimiento	30	0,212
		45	0,301
		60	0,303
DIPAC Tabla 2.	Valores Ficha técnica	Ambiente	0,250
		Ambiente	0,290

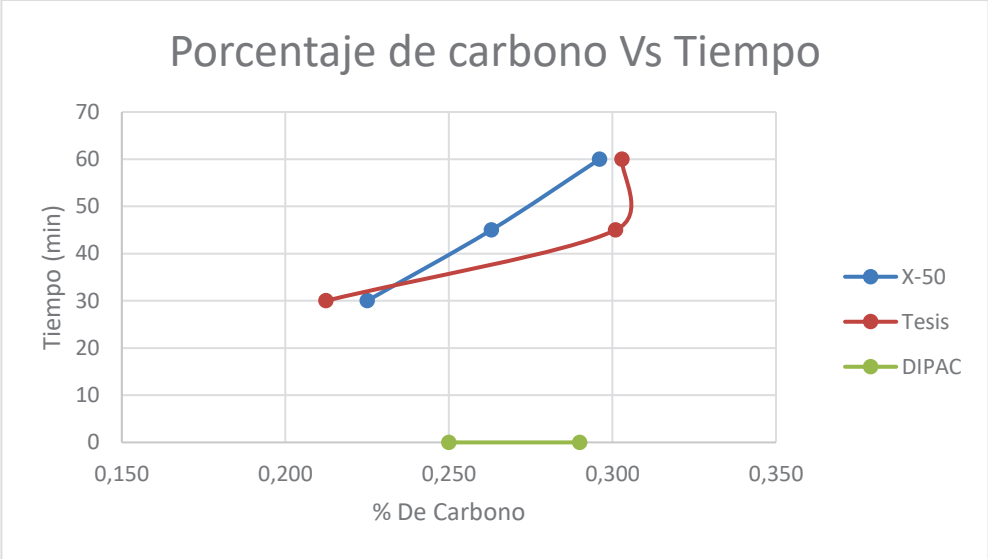


Fig. 39. Porcentaje de Carbono Vs Tiempo

A los 30 minutos, el acero recubierto con X-50 presenta un porcentaje de carbono de 0,225%, ligeramente superior al acero sin recubrimiento (0,212%) y cercano al valor de referencia de DIPAC (0,250%). A los 45 minutos, el X-50 mantiene un valor de 0,263%, mientras que el acero sin recubrimiento aumenta a 0,301%, superando el límite de referencia. Finalmente, a los 60 minutos, el X-50 alcanza 0,296%, muy cercano al límite superior de la ficha técnica (0,290%), lo que confirma su efectividad para proteger al acero de la pérdida de carbono. En contraste, el acero sin recubrimiento supera este límite (0,303%), lo que podría comprometer sus propiedades mecánicas. Estos resultados resaltan la importancia del recubrimiento X-50 para preservar la integridad del acero bajo condiciones prolongadas de exposición al fuego.

4.3.8. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pintura X50 y sin recubrimiento.

Tabla 106. Análisis de dureza recubierta con pintura

Número	Probeta	Temperatura °C	Dureza de Brinell	Promedio Dureza de Brinell (HB)	Dureza Brinell Probetas no cubiertas Tabla 4.	%Variación
1	X-50-30min	600	156,67	156,67	134	14%
	X-50-30min	600	157,67			
4	X-50-30min	600	152			
	X-50-30min	600	153			
2	X-50-45min	800	155,33	155,33	105	32%
	X-50-45min	800	157,33			
5	X-50-45min	800	145,33			
	X-50-45min	800	145			
3	X-50-60min	1000	151,33	151,33	95,5	37%
	X-50-60min	1000	153			
6	X-50-60min	1000	141,33			
	X-50-60min	1000	142,33			

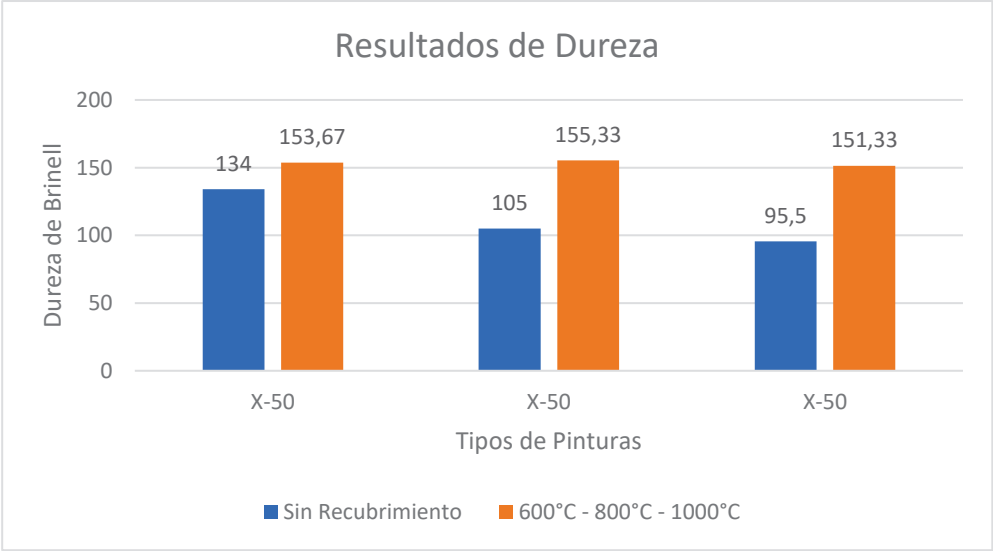


Fig. 40. Comparación de las probetas con y sin recubrimiento

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 600°C. Tanto la línea azul (sin recubrimiento) como la naranja (con recubrimiento) muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las

probetas con recubrimiento, indica que la dureza es 14% mayor que las probetas sin recubrimiento.

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 800°C. Tanto sin recubrimiento como con recubrimiento muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es 34% mayor que las probetas sin recubrimiento.

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 1000°C. Tanto sin recubrimiento como con recubrimiento muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es el 37% mayor que las probetas sin recubrimiento.

4.3.9. Análisis de la dureza probetas rectangulares recubiertas con pintura X50 y sin recubrimiento.

Tabla 107. Análisis de probetas planas con recubrimiento

Número	Probeta	Temperatura °C	Dureza de Brinell	Promedio Dureza de Brinell (HB)	Dureza Brinell Probetas no cubiertas Tabla LXL	%Variación
1	X-50-30min	600	143	143	134	6%
	X-50-30min	600	140,33			
4	X-50-30min	600	154			
	X-50-30min	600	153,33			
2	X-50-45min	800	141	141	105	26%
	X-50-45min	800	139,99			
5	X-50-45min	800	142,33			
	X-50-45min	800	143			
3	X-50-60min	1000	131,33	131,33	95,5	29%
	X-50-60min	1000	143			
6	X-50-60min	1000	137,67			
	X-50-60min	1000	142			

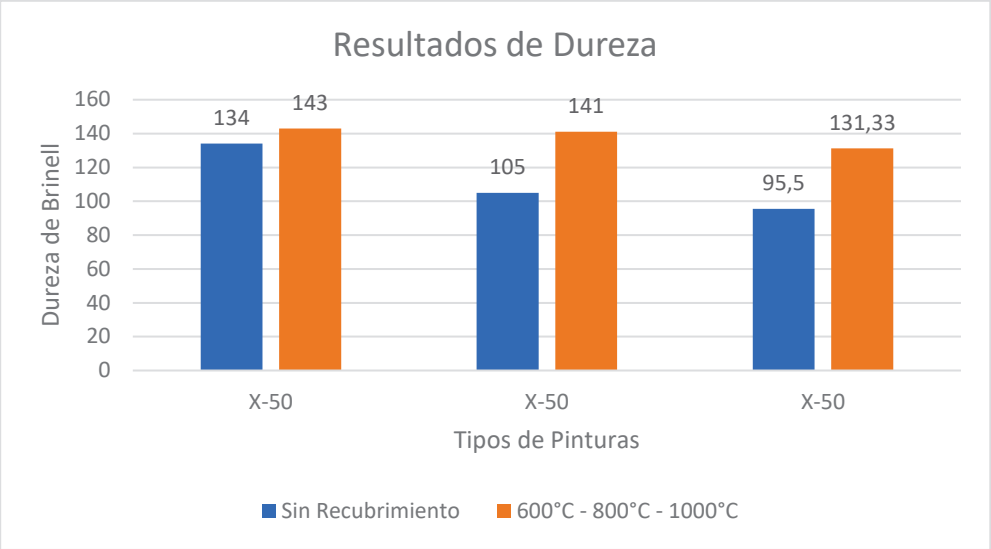


Fig. 41. Comparación de las probetas con y sin recubrimiento

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 600°C. Tanto la línea azul (sin recubrimiento) como la naranja (con recubrimiento) muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es 6% mayor que las probetas sin recubrimiento.

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 800°C. Tanto sin recubrimiento como con recubrimiento muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es 26% mayor que las probetas sin recubrimiento.

La imagen representa los resultados de un ensayo de dureza realizado a probetas rectangulares a una temperatura de 1000°C. Tanto sin recubrimiento como con recubrimiento muestran valores de dureza relativamente constantes a lo largo de las tres probetas. La línea naranja, correspondiente a las probetas con recubrimiento, indica que la dureza es el 27% mayor que las probetas sin recubrimiento.

4.3.10. Análisis Esfuerzo deformación de probetas con y sin recubrimiento

Tabla 108. Curva Temperatura Vs. Esfuerzo

Temperatura °C	Fy (Promedio) Mpa
20	268,69
600	260
800	142,5
1000	58,38

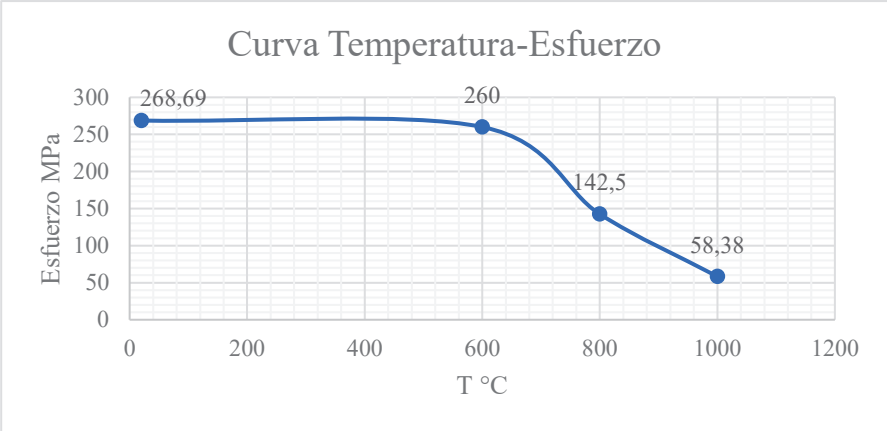


Fig. 42. Curva Temperatura Vs. Esfuerzo

El análisis de los datos obtenidos sobre la variación del límite elástico promedio del acero A36 en función de la temperatura evidencia una progresiva disminución en su resistencia mecánica conforme la temperatura aumenta. A temperatura ambiente (20 °C), el acero presenta un límite elástico de 268,69 MPa, lo que indica su resistencia en condiciones normales de uso. Sin embargo, al alcanzar los 600 °C, se observa una ligera reducción a 260 MPa, lo que sugiere que, aunque el material aún conserva una gran parte de su resistencia, ya comienza a experimentar los efectos del incremento térmico. La reducción se torna más pronunciada a 800 °C, donde el límite elástico cae abruptamente a 142,5 MPa, evidenciando una pérdida del 47% respecto al estado inicial, lo que sugiere alteraciones en la microestructura del acero. A temperaturas extremas, la resistencia mecánica del acero se ve gravemente afectada, alcanzando un valor crítico de 58,38 MPa a 1000 °C, lo que representa una disminución del 78% en comparación con la resistencia a temperatura ambiente. Esta drástica reducción indica que el material ha perdido gran parte de su capacidad de carga, volviéndose altamente susceptible a la deformación plástica y al colapso estructural.

Tabla 109. Curva Tiempo Vs. Esfuerzo

Tiempo (Min)	Fy (Promedio) Mpa
0	268,69
30	260
45	142,5
60	58,38

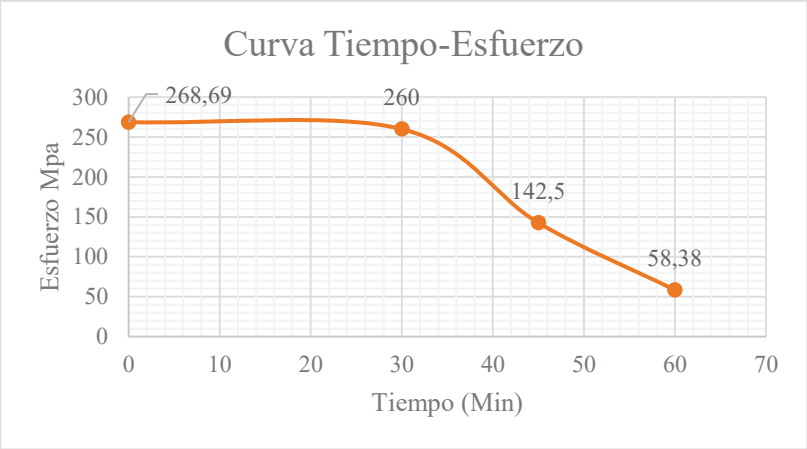


Fig. 43. Curva Tiempo Vs. Esfuerzo

En el tiempo inicial (0 min), el acero presenta un límite elástico de 268,69 MPa, reflejando su resistencia en condiciones normales. Sin embargo, tras 30 minutos de exposición, se observa una leve reducción a 260 MPa, lo que sugiere que, en este período, el material aún conserva gran parte de su capacidad de carga y no presenta daños estructurales significativos. A los 45 minutos, la disminución del límite elástico se vuelve drástica, reduciéndose a 142,5 MPa. Este cambio sugiere que el material empieza a experimentar una degradación acelerada de sus propiedades mecánicas, probablemente debido a alteraciones en su microestructura; conforme avanza el tiempo de exposición, la reducción en la resistencia se vuelve crítica, alcanzando un valor de 58,38 MPa a los 60 minutos. Este descenso indica que, después de una hora de exposición, el acero ha perdido la mayor parte de su capacidad de carga, volviéndose altamente susceptible a la deformación plástica y al colapso estructural. Estos resultados coinciden con el enunciado previamente mencionado, donde a los 30 minutos el material aún es recuperable sin daños estructurales, pero a medida que el tiempo aumenta, la pérdida de propiedades mecánicas se vuelve más pronunciada, comprometiendo su estabilidad y resistencia.

Tabla 110. Curva Temperatura Vs. Porcentaje de elongación

Temperatura °C	Elongación %
20	7,93
600	7,705
800	4,125
1000	0,53

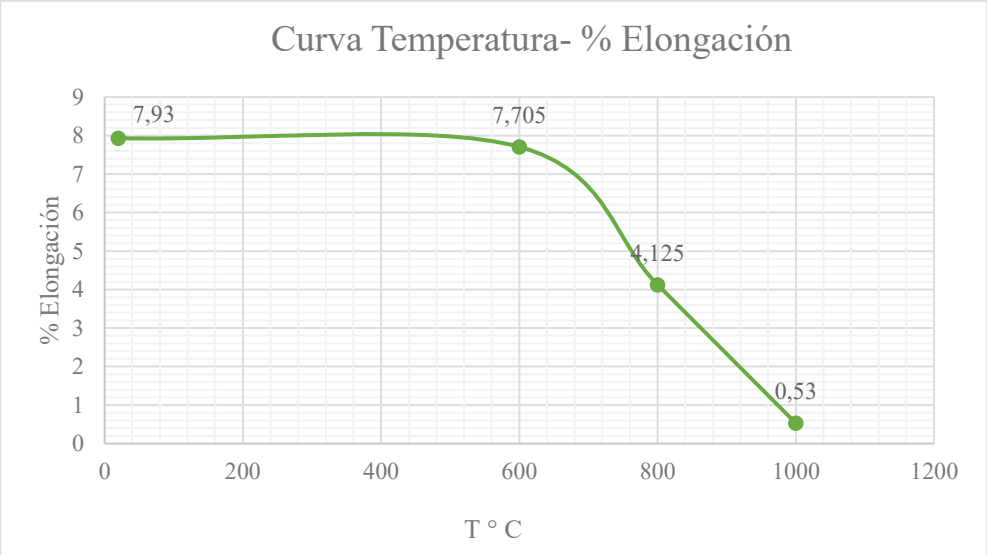


Fig. 44. Curva Temperatura Vs. Porcentaje de elongación

En lo que respecta a la curva temperatura-% de elongación, a temperatura ambiente (20 °C), el material presenta una elongación del 7,93%, lo que indica una adecuada ductilidad en condiciones normales. Sin embargo, al alcanzar los 600 °C, se observa una ligera reducción a 7,705%, lo que sugiere que, aunque el acero aún conserva su capacidad de deformación, el aumento de temperatura comienza a afectar su estructura interna. Esta disminución se vuelve más pronunciada a los 800 °C, donde la elongación cae abruptamente a 4,125%, lo que representa una pérdida significativa de ductilidad, indicando que el material se vuelve más frágil y menos capaz de absorber deformaciones antes de fallar. A temperaturas extremas, la capacidad de elongación del acero prácticamente desaparece, alcanzando un valor crítico de 0,53% a 1000 °C. Esta drástica reducción refleja un deterioro severo en la estructura del material, sugiriendo que el acero pierde su capacidad de deformación plástica y se torna extremadamente quebradizo.

Tabla 111. Tiempo Vs. Porcentaje de elongación

Tiempo (Min)	Elongación %
0	7,93
30	7,705
45	4,125
60	0,53

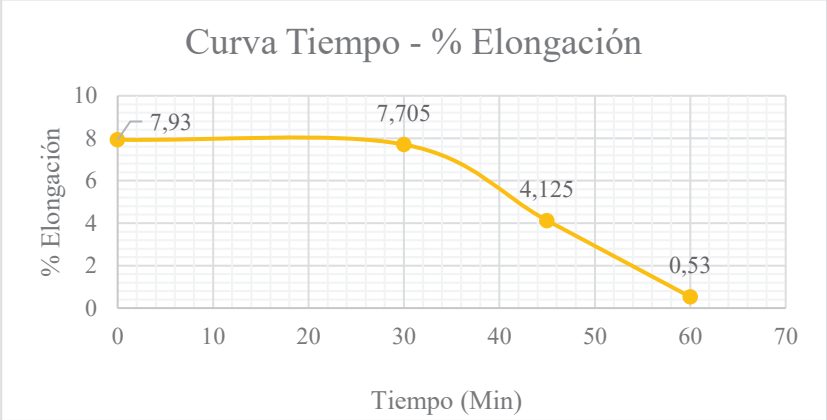


Fig. 45. Curva Tiempo Vs. Porcentaje de elongación

El análisis de los datos obtenidos sobre la variación de la elongación porcentual del acero A36 en función del tiempo de exposición al calor muestra una reducción progresiva en su capacidad de deformación antes de la fractura. En el tiempo inicial (0 min), el material presenta una elongación del 7,93%, indicando una adecuada ductilidad en condiciones normales. Sin embargo, tras 30 minutos de exposición, la elongación disminuye ligeramente a 7,705%, lo que sugiere que, aunque el acero aún conserva su capacidad de deformación, el calor comienza a afectar su estructura interna. A los 45 minutos, la reducción en la elongación se vuelve significativa, cayendo a 4,125%, lo que representa una pérdida importante de ductilidad. Esto indica que el material empieza a volverse más frágil y menos capaz de absorber deformaciones antes de fracturarse, comprometiendo su desempeño mecánico. Al alcanzar los 60 minutos de exposición, la elongación cae drásticamente a 0,53%, reflejando un deterioro severo en la capacidad de deformación del acero. Este valor indica que el material ha perdido casi por completo su ductilidad, volviéndose extremadamente quebradizo y susceptible a la fractura sin previo aviso. Estos resultados confirman que, a medida que el tiempo de exposición al calor aumenta, la pérdida de ductilidad se vuelve más pronunciada, comprometiendo la integridad estructural del acero y reduciendo su capacidad de resistir cargas sin colapsar.

4.4. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Ho: El acero A36 recubierto con pinturas ignífugas presentará diferencias en sus propiedades mecánicas en comparación al acero A36 no recubierto.

Ha: El acero A36 recubierto con pinturas ignífugas no presentará diferencias en sus propiedades mecánicas en comparación al acero A36 no recubierto.

4.4.1. Comprobación de hipótesis

COMPARACIONES MÚLTIPLES						
Factor	**Factor**	**Diferencia de medias (i-j)**	**Desv. error**	**sig.**	**Intervalo de confianza al 95% - límite inferior**	**Intervalo de confianza al 95% - límite superior**
2	3	-0,125	0,267	0,002	-0,90	0,38
3	2	0,215	0,267	0,001	-0,38	0,90

Tabla 112. Comprobación de hipótesis

Se observa que el valor de la significancia de las variables es de 0.0015 en promedio, por ende, $p < 0.005$ se acepta Ha y se rechaza Ho. En consecuencia, se denota que el acero A36 recubierto con pinturas ignífugas presentará diferencias en sus propiedades mecánicas en comparación al acero A36 no recubierto, siendo el recubrimiento empleado el X50. El análisis también refuerza la significancia de las diferencias entre temperaturas que oscilan entre los 20 a 1000 grados Celsius y muestra significancia estadística ($p < 0,05$) en la mayoría de las variables evaluadas. La diferencia media entre los valores es significativa ($1,923e\text{-}2 \pm 0,357e\text{-}2$, $p = 0,0015$), lo que confirma que un mayor porcentaje de temperatura tiene un efecto sustancial en el desempeño del acero.

4.5. Discusión

En la presente investigación, se observó que el acero ASTM A36, cuando es expuesto a temperaturas elevadas (600°C, 800°C y 1000°C), experimenta una disminución significativa en sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la tracción y la dureza. Este comportamiento es consistente con los resultados reportados por Guamanquispe [29], donde se indica que el acero estructural pierde hasta el 50% de su resistencia original cuando es expuesto a temperaturas superiores

a 600°C. Además, se observó que, a temperaturas cercanas a los 800°C, la pérdida de resistencia puede superar el 90%, lo que coincide con los hallazgos de esta investigación. Se destaca que la pérdida de resistencia mecánica del acero está directamente relacionada con la temperatura y el tiempo de exposición. El acero comienza a perder su capacidad de carga cuando la temperatura promedio de la estructura alcanza los 500°C[34]. Lo que es consistente con los resultados obtenidos donde se observó que, a 600°C, el acero ya presenta una reducción significativa en su resistencia.

Se valuaron tres tipos de recubrimientos ignífugos (E65, P25 y X50) para determinar su efectividad en la protección del acero ASTM A36 bajo condiciones de incendio. Los resultados mostraron que el recubrimiento X50 fue el más efectivo, ya que mantuvo una mayor estabilidad y adhesión a altas temperaturas, en comparación con los recubrimientos E65 y P25, que presentaron desprendimientos y pérdida de integridad, lo que es consistente con el estudio realizado por Costales y Gonzaga [31] donde mencionan que los recubrimientos intumescentes pueden mejorar significativamente la resistencia al fuego del acero, retrasando el aumento de temperatura en la estructura y permitiendo un mayor tiempo de evacuación y respuesta ante un incendio.

El análisis metalográfico realizado mostró cambios significativos en la microestructura del acero ASTM A36 después de ser expuesto a altas temperaturas. Se observó un aumento en el tamaño de los granos de ferrita y perlita, lo que está relacionado con la pérdida de resistencia mecánica del material. Se realizaron ensayos de dureza Brinell en las probetas de acero ASTM A36 recubiertas y no recubiertas, antes y después de ser sometidas a altas temperaturas. Los resultados mostraron que las probetas recubiertas con X50 mantuvieron una mayor dureza en comparación con los recubrimientos E65 y P25, lo que indica una mejor protección térmica. Los resultados de esta investigación tienen implicaciones importantes para la seguridad estructural en edificaciones. Se demostró que el uso de recubrimientos ignífugos, especialmente el X50, puede mejorar significativamente la resistencia al fuego del acero ASTM A36, lo que permite un mayor tiempo de evacuación y respuesta ante un incendio.

CAPÍTULO V

5.1.Conclusiones

Se determinó que el procedimiento óptimo para el recubrimiento del acero con materiales ignífugos implica una preparación adecuada de la superficie, incluyendo limpieza y aplicación de imprimante, seguido de la aplicación de la pintura intumescente en capas uniformes. Este procedimiento garantiza una adherencia adecuada y una protección efectiva contra el fuego.

Los recubrimientos E65, P25 y X50 fueron evaluados a altas temperaturas con tiempos de 3, 4, 5 minutos y se observó que el recubrimiento X50 presentó la mejor estabilidad además que puede mejorar la resistencia al fuego del acero, retrasando el aumento de temperatura y preservando sus propiedades mecánicas.

El acero ASTM A36 recubierto con el material ignífugo demostró una mayor estabilidad en sus propiedades mecánicas (dureza y microestructura) en comparación con el acero no recubrimiento después de ser expuesto a altas temperaturas. Los resultados indican que el recubrimiento X50 es efectivo para proteger al acero de la degradación térmica, manteniendo su dureza, limitando el crecimiento de los granos de ferrita y preservando el contenido de carbono. Esto confirma que el uso de recubrimientos ignífugos es una estrategia efectiva para mejorar la resistencia al fuego del acero estructural, lo que tiene implicaciones importantes para la seguridad y durabilidad de las estructuras en caso de incendio.

5.2.Recomendaciones

Se recomienda seguir estrictamente el procedimiento de preparación y aplicación de los recubrimientos ignífugos, asegurando una limpieza adecuada de la superficie y una aplicación uniforme de las capas de pintura. Esto garantiza una protección óptima contra el fuego.

Se recomienda continuar investigando sobre la efectividad de diferentes tipos de recubrimientos ignífugos y su comportamiento a largo plazo en condiciones reales de incendio, con el fin de optimizar su uso en la protección de estructuras de acero.

Se sugiere realizar estudios adicionales para evaluar la efectividad de otros tipos de recubrimientos ignífugos y su comportamiento en diferentes condiciones de incendio.

Para próximas investigaciones se podría utilizar algún Sofware de simulación como ANSYSS, Abaqus o SolidWorks para ver como se transmite el calor en el acero recubierto o no recubierto y comparar con los resultados obtenidos en los ensayos de esta tesis.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Lucherini and C. Maluk, "Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review," *J Constr Steel Res*, vol. 162, p. 105712, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.JCSR.2019.105712.

[2] G. Jaya Kumar, T. Kiran, N. Anand, and K. Al-Jabri, "Influence of fire-resistant coating on the physical characteristics and residual mechanical properties of E350 steel section exposed to elevated temperature," *Journal of Structural Fire Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 228–253, May 2022, doi: 10.1108/JSFE-02-2022-0008/FULL/XML.

[3] O. Figuera and A. Gutierrérrez, "Guía De Procedimiento para la Protección Contra Incendio de Vigas Metálicas Basado," Universidad Libre Seccional Pereira, Pereira, 2020.

[4] H. U. Sajid and R. Kiran, "Influence of stress concentration and cooling methods on post-fire mechanical behavior of ASTM A36 steels," *Constr Build Mater*, vol. 186, pp. 920–945, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.006.

[5] J. Vargas and Y. Rojas, "Vigilancia tecologica de pinturas intumescentes en acero para estructuras metalicas," 2022.

[6] J. Cataño, B. Chico, D. De La Fuente, and M. Morcillo, "Protección de materiales estructurales mediante pinturas intumescentes una lucha desigual contra el fuego," *Revista facultad de Ingeniería*, vol. 28, no. 98–108, p. 101, Apr. 2003.

[7] Q. Al-Kaseasbeh, "Analysis of hydrocarbon fire-exposed cold-formed steel columns," *Results in Engineering*, vol. 20, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101400.

[8] M. A. Morovat, M. D. Engelhardt, E. M. Taleff, and T. Helwig, "Importance of time-dependent material behavior in predicting strength of steel columns exposed to fire," in *Applied Mechanics and Materials*, 2017, pp. 350–355. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.82.350.

[9] H. U. Sajid, D. L. Naik, and R. Kiran, “Microstructure–Mechanical Property Relationships for Post-Fire Structural Steels,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 32, no. 6, Jun. 2020, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003190.

[10] G. Rada, V. Titiosky, A. Cuevas, and R. Corvalán, “Presente, pasado y futuro de los materiales. Señal de la innovación para el desarrollo,” *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, vol. 7, p. 182, May 2021, doi: 10.30972/eitt.704775.

[11] R. G. Puri and A. S. Khanna, “Intumescent coatings: A review on recent progress,” *J Coat Technol Res*, vol. 14, no. 1, pp. 1–20, Jan. 2017, doi: 10.1007/s11998-016-9815-3.

[12] R. B. R. S. OLIVEIRA, A. L. MORENO JUNIOR, and L. C. M. VIEIRA, “Intumescent paint as fire protection coating,” *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 10, no. 1, pp. 220–231, Feb. 2017, doi: 10.1590/s1983-41952017000100010.

[13] K. Wang and H. Le, “The Development of Cement-Based, Intumescent and Geopolymer Fire-Retardation Coatings for Metal Structures: A Review,” Mar. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/coatings13030495.

[14] J. Sarazin *et al.*, “Flame resistance of geopolymer foam coatings for the fire protection of steel,” *Compos B Eng*, vol. 222, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109045.

[15] A. Bilotta, D. De Silva, D. St, and E. Nigro, “TESTS ON INTUMESCENT PAINTS FOR FIRE PROTECTION OF EXISTING STEEL STRUCTURES,” 2017. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/275957788

[16] R. Fürst, D. Häßler, and S. Hothan, “Influence of the profile type and bar orientation on the performance of intumescent coatings applied to steel tension bars,” *Fire Saf J*, vol. 134, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.firesaf.2022.103678.

[17] M. Zia-ul-Mustafa, F. Ahmad, S. Ullah, N. Amir, and Q. F. Gillani, “Thermal and pyrolysis analysis of minerals reinforced intumescent fire retardant coating,” *Prog Org Coat*, vol. 102, pp. 201–216, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.10.014.

[18] A. Lucherini and C. Maluk, “Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review,” Nov. 01, 2019, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.jcsr.2019.105712.

[19] M. Zielecka, A. Rabajczyk, K. Cygańczuk, Ł. Pastuszka, and L. Jurecki, “Silicone resin-based intumescent paints,” Nov. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/ma13214785.

[20] L. Geoffroy, F. Samyn, M. Jimenez, and S. Bourbigot, “An efficient bi-layer intumescent paint metal laminate fire barrier for various substrates: Extension to other application,” *European Journal of Materials*, vol. 1, no. 1, pp. 19–33, Jan. 2021, doi: 10.1080/26889277.2021.1972770.

[21] N. Kakae, T. Ida, H. Ishii, and K. Miyamoto, “Effects of painting and insulation on a fireproof coating,” *AIJ Journal of Technology and Design*, vol. 27, no. 65, pp. 259–264, Feb. 2021, doi: 10.3130/AIJT.27.259.

[22] A. P. Cardoso, S. C. de Sá, C. H. M. Beraldo, G. E. N. Hidalgo, and C. A. Ferreira, “Intumescent coatings using epoxy, alkyd, acrylic, silicone, and silicone–epoxy hybrid resins for steel fire protection,” *J Coat Technol Res*, vol. 17, no. 6, pp. 1471–1488, Nov. 2020, doi: 10.1007/s11998-020-00366-9.

[23] Y. Pazen, O. Bashynskyi, M. Peleshko, and Y. Vovk, “DEFINICIÓN DE EFICIENCIA DE RECUBRIMIENTOS PROTECTORES CONTRA INCENDIOS A BASE DE POLIMETILFENILOXANO PARA ESTRUCTURAS DE CONSTRUCCIÓN DE ACERO,” *Seguridad contra incendios*, vol. 32, 2018.

[24] J. H. Troitzsch, “Fire performance durability of flame retardants in polymers and coatings,” *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 2023, doi: 10.1016/j.aiepr.2023.05.002.

[25] R. Olawoyin, “Nanotechnology: The future of fire safety,” Dec. 01, 2018, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ssci.2018.08.016.

[26] American Society for Testing and Materials, “Norma ASTM A36,” vol. 2, 2008, Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/21675528/Norma_ASTM_A36

[27] J. Rojas Vásquez, “PROTECCIÓN PASIVA CONTRA INCENDIOS,” *Journal of Tropical Engineering; Vol 13, No 1-2 (2003)*, vol. 13, no. 1–2, Jul. 2011, doi: 10.15517/RING.V13I1-2.625.

[28] A. Lascano and M. Córdova, “Ensayo metalográfico de acero A36,” 2011.

[29] F. Guamanquispe Vaca, “Caracterización de elementos estructurales de acero que hayan sido expuestos a diferentes tiempos y temperaturas debido a un incendio,” 2022. [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

[30] E. Medina, “Ensayo de tensión o tracción,” Guía de laboratorio de Mecánica de Materiales. Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: https://es.slideshare.net/MiguelMamaniMamani/ensayo-de-tensin-o-traccin

[31] G. Rao, “Fire Safety Engineering Design of Structures,” 2006.

[32] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), “NEC-HS-CI-Contra-Incendios,” Nov. 2019.

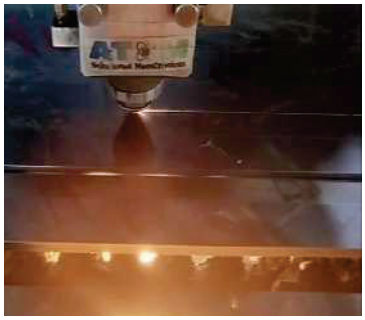
[33] P.-V.-L. C.-I. (International O. for S. . De la Maza, “NORMA CHILENA OFICIAL NCh3040.Of2007,” Chile, Feb. 128AD.

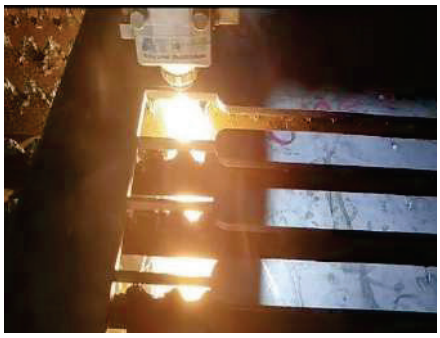
[34] P. Soto, “PINTURAS INTUMESCENTES, PROTECCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE ACERO CONTRA LOS EFECTOS DEL FUEGO,” *Universidad Austral de Chile*, pp. 100–101, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Preparación de probetas

Corte a láser de las probetas





Tanques para el ensayo del espesor de la pintura





Mediciones de espesores en las probetas





PROCESO DE PINTURA

Limpieza de probetas





Aplicación del imprimante







Anexo 2. Ensayo de dureza probetas planas

ENSAYO DUREZA	
PROBETAS PLANAS	
	
	





Anexo 3. Ensayo de dureza probetas rectangulares

ENSAYO DUREZA	
PROBETAS RECTANGULARES	
	
	



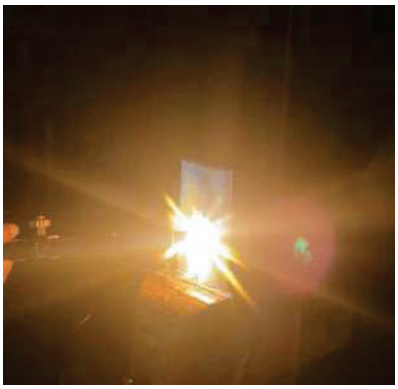




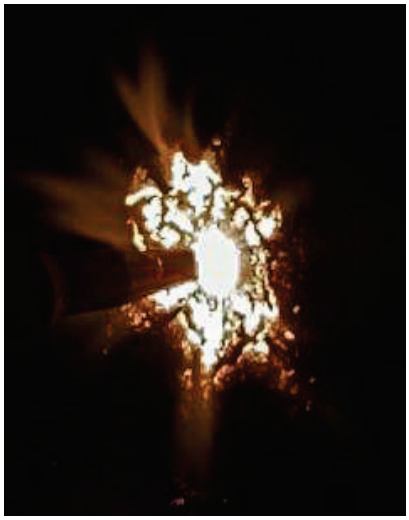




Proceso de quema probetas prueba de recubrimiento E-65, P-25 y X50









Anexo 4. Proceso de quemadura probetas X50. Prueba de resistencia.

Horno

Mojado de probetas

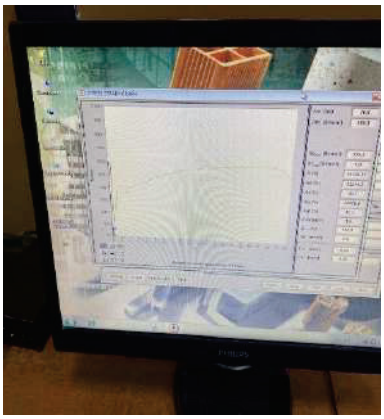

Secado de probetas



Ensayo de tracción









Anexo 5. Ensayo de metalografía

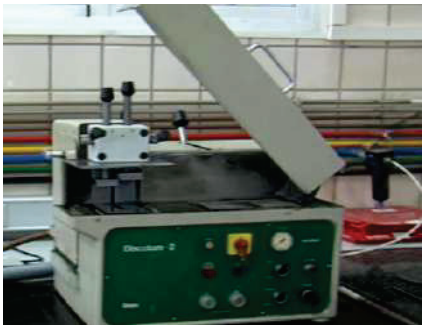
ENSAYO METALOGRÁFICO

















Anexo 6. Fichas técnicas

PLANCHAS

PLANCHAS
LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	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 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

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 0,40	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 SS41 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	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 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	

14

NOW'O FIRE

SISTEMAS PASIVOS CONTRA INCENDIO

E-65 ESMALTE IGNÍFUGO

HOJA TÉCNICA

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

E-65 Esmalte Ignífugo Base Agua de monocomponente es una pintura de más alta calidad, contiene una gran adherencia para estructuras metálicas, madera, cemento, entre otros.

Al iniciarse el fuego, crea una capa espumosa que impide la propagación de la flama y no permite emanar humos tóxicos.

Por ser a base de agua no requiere aguarrás, thinner o ningún otro tipo de disolvente, para su dilución se utiliza agua embotellada, facilitando la limpieza y aplicación, además de no perjudicar la salud del consumidor y colaborar con el medio ambiente.

2. USOS RECOMENDADOS

Protección para cualquier tipo de superficies de metal, madera, concreto, entre otros.

- El producto puede ser aplicado en diferentes sectores del mercado como Hospitales, Plantas químicas, Minera, Depósitos Industriales, Explosivos, entre otros.
- Se recomienda especialmente para la protección contra el fuego de centro públicos con gran afluencia como colegios, hospitales, depósitos, teatros, cines, bibliotecas, etc. (De acuerdo con normas nacionales de construcción).

3. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Aspecto:	Liquido Denso
Composición:	Base agua
Terminación:	Satinado
Beneficios:	• Acabado liso • Alta adherencia.
Densidad:	1.02 g/mL
PH:	7-7.5
Olor:	Inodoro
Toxicidad:	No toxico
V.O.C.:	25 g/l.
Peso Por Galón:	4 kg ± 2 %
Tiempo de secado:	Secado al tacto: 2 Horas Repintado: 4-5 Horas Secado completo: 24 Horas a 25°C
Rendimiento:	**Rendimiento Teórico:** 28 m^2 por Galón **Rendimiento Practico:** 20-25 m^2 por Galón (Dependerá del estado de la superficie).
Numero de Capas:	2-3 Capas mínimo.
Condiciones de aplicación:	Temperatura ambiente 10°C mínimo, 35°C máximo (aire, superficie y material).
Forma de aplicación:	Brocha, rodillo, soplete convencional o sistema airless.
Dilución:	Utilizar un máximo de **5% de agua embotellada o desmineralizada** (200 ml de agua por Galón de 4 Litros de Esmalte).
Limpieza:	Utilizar solamente agua y jabón.
Almacenamiento:	12 meses en lugar seco y a temperatura ambiente.
Seguridad:	Al aplicar, preferentemente, usar guantes de jebe, lentes, casco, botas y mameluco.
Norma ASTM D1360:	Cumple
Norma ASTM E-84:	Cumple
Clasificación de Reacción al fuego:	B s1 d0
Envases:	1 Galón, 5 Galones y 55 Galones
Resultado:	**ANALIZADO POR EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

info@nowofire.com www.nowofire.com

4. APLICACIÓN

PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y firme. Eliminar aceite, grasa, polvo, manchas de pintura, y todo material extraño para asegurar una adecuada impregnación.

Madera:

La madera debe estar seca (con menos de un 18-20% de humedad) se debe pulir con una lija (N°150-220) en el sentido de la veta. Si la superficie es rugosa e irregular, pulir primero con una lija gruesa (N° 100-150) y terminar con una más fina (N°180-240).

Superficies de Cemento:

Si son superficies nuevas o antiguas estas deben utilizar productos como **IMPRIMANTE, SELLADOR** y **PASTA MURAL** de **NOWO COLORS** para una mejor adherencia y rendimiento.

Acero, Metal, Galvanizado o Fierro:

Se debe prepara la superficie de forma manual o mecánica. Esta debe contar con una base anticorrosiva previamente antes de aplicar el producto.

Otros

Los materiales como drywall, cartón, fibra de vidrio, etc. Se debe preparar la superficie antes de pintar.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura:	10°C mínimo, 35°C máximo (Aire, superficie y material).
Humedad relativa:	85% máxima.

EQUIPO DE APLICACIÓN

Brocha fina y rodillo pelo corto:

Evitar que la brocha o rodillo tenga polvo o cualquier otro tipo de material que pueda complicar al momento de aplicar directamente sobre la superficie.

Equipo de aplicación (Soplete convencional y Sistema Airless):

Verificar el funcionamiento del equipo de aplicación a una viscosidad adecuada, antes de vaciar el producto al estanque. Aplicar en forma de abanico para un mejor acabado.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Antes de aplicar la superficie esta debe contar con una base previamente según donde se vaya a aplicar.

Homogeneizar el contenido del envase, resolviendo hasta eliminar totalmente los grumos e incorporar todos sus elementos.

Si es necesario utilizar 5% como máximo de agua embotellada o desmineralizada.

Aplique una capa delgada y uniforme, no recargar demasiado.

Antes de aplicar la siguiente capa, el producto deberá haber secado de 4 a 5 horas como mínimo a una temperatura ambiente.

El secado total y duro será a partir de 24 Horas.

Tener en cuenta en aplicar todo el producto ya que mientras más capas tiene la superficie mejor se podrá proteger en un amago de incendio.

INTRUCCIONES DE LIMPIEZA

- Limpie derrames y salpicaduras inmediatamente con jabón y agua limpia.
- Limpie sus manos y herramientas inmediatamente después de usarlas con jabón y agua tibia.
- Después de limpiar, lave con chorro de agua y alcohol el equipo para prevenir que este se oxide.
- Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando use alcohol.

RECOMENDACIONES DE RENDIMIENTO

Para evitar bloqueo del equipo como rociador, airless, pistola convencional, lavar el equipo luego de usarlo o después de una pausa prolongada usando agua limpia.

Los rangos de rendimiento varían por irregularidades de la superficie, habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, perdida del material durante agitación, derrames, condiciones climáticas, excesivas repasadas.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Consulte la hoja de seguridad de materiales (MSDS) antes de usar.

Los datos técnicos e instrucciones publicados están sujetos a cambios sin aviso. Contacte con su representante de INQUIFESAC para datos técnicos e instrucciones adicional.

ATENCIÓN:

Garantizamos la calidad de este material y su concordancia con nuestras especificaciones. Sin embargo, puesto que el uso y aplicación de este producto está fuera de nuestro control, no asumimos responsabilidad alguna por su manipuleo, uso almacenaje y resultados obtenidos.

Versión: 2.0
Fecha de Revisión: 01/2023

NOW'O FIRE

SISTEMAS PASIVOS CONTRA INCENDIO

P-25 PINTURA IGNÍFUGA

HOJA TÉCNICA

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es una pintura convencional base agua que con propiedades ignifugas para ser aplicada en cualquier tipo de superficie donde se requiera una protección contra el fuego.

Formulada para ser empleada en materiales como concretos, drywall, madera, entre otros.

El recubrimiento aplicado en el material reacciona ante el fuego formando una capa de carbón que impide la propagación de la flama y no permite emanar humos tóxicos.

2. USOS RECOMENDADOS

Protección para cualquier tipo de superficie.

- Se recomienda especialmente para la protección contra el fuego de centro públicos con gran afluencia como colegios, hospitales, depósitos, teatros, cines, bibliotecas, etc. (De acuerdo con normas nacionales de construcción).
- P-25 Pintura Ignifuga, se aplica en áreas donde se requiera una resistencia al fuego de 15-25 min como pide la norma nacional e internacional.

3. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Aspecto:	Liquido Denso
Composición:	Base agua
Terminación:	Mate
Beneficios:	• Resistencia al fuego • Evita la propagación de flama • Gran durabilidad
Densidad:	1.30 g/mL
PH:	7
Olor:	Inodoro
Toxicidad:	No toxico
V.O.C.:	25 g/l.
Tiempo de secado:	Secado al tacto: 2 Horas Repintado: 4-5 Horas Secado completo: 12-24 Horas a 25°C
Rendimiento:	20-25 m² por Galón (Dependerá del estado de la superficie).
Numero de Capas:	2-3 Capas mínimo.
Condiciones de aplicación:	Temperatura ambiente 10°C mínimo, 35°C máximo (aire, superficie y material).
Forma de aplicación:	Brocha, rodillo, soplete convencional o sistema airless.
Dilución:	Utilizar un máximo de **5% de agua embotellada o desmineralizada** (200 ml de agua por Galón de 4 Litros de Pintura).
Limpieza:	Utilizar solamente agua y jabón.
Almacenamiento:	12 meses en lugar seco y a temperatura ambiente.
Seguridad:	Al aplicar, preferentemente, usar guantes de jebe, lentes, casco, botas y mameluco.
Norma NFPA 255 y ASTM E-84:	Cumple
Clasificación de Reacción al fuego:	B s1 d0
Envases:	1 Galón, 5 Galones y 55 Galones
Resultado:	**ANALIZADO POR EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

info@nowofire.com www.nowofire.com

4. APLICACIÓN

PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y firme. Eliminar aceite, grasa, polvo, manchas de pintura, y todo material extraño para asegurar una adecuada impregnación.

Madera:

La madera debe estar seca (con menos de un 18-20% de humedad) se debe pulir con una lija (N°150-220) en el sentido de la veta. Si la superficie es rugosa e irregular, pulir primero con una lija gruesa (N° 100-150) y terminar con una más fina (N°180-240).

Superficies de Cemento:

Si son superficies nuevas o antiguas estas deben utilizar productos como **IMPRIMANTE, SELLADOR** y **PASTA MURAL** de **NOWO COLORS** para una mejor adherencia y rendimiento.

Acero, Metal, Galvanizado o Fierro:

Se debe prepara la superficie de forma manual o mecánica. Ésta debe contar con una base anticorrosiva previamente antes de aplicar **P-25 Pintura Ignífuga**.

Otros

Los materiales como drywall, cartón, fibra de vidrio, etc. Se debe preparar la superficie antes de pintar.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura:	10°C mínimo, 35°C máximo (Aire, superficie y material).
Humedad relativa:	85% máxima.

EQUIPO DE APLICACIÓN

Brocha y rodillo pelo corto:

Evitar que la brocha o rodillo tenga polvo o cualquier otro tipo de material que pueda complicar al momento de aplicar directamente sobre la superficie.

Equipo de aplicación (Soplete convencional y Sistema Airless):

Verificar el funcionamiento del equipo de aplicación a una viscosidad adecuada, antes de vaciar el producto al estanque. Aplicar en forma de abanico para un mejor acabado.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Homogeneizar el contenido del envase, resolviendo hasta eliminar totalmente los grumos e incorporar todos sus elementos.

Si es necesario utilizar 5% como máximo de agua embotellada o desmineralizada.

Aplique una capa delgada y uniforme, no recargar demasiado.

Antes de aplicar la siguiente capa, el producto deberá haber secado de 4 a 5 horas como mínimo a una temperatura ambiente.

El secado total y duro será a partir de 24 Horas.

Tener en cuenta en aplicar todo el producto ya que mientras más capas tiene la superficie mejor se podrá proteger en un amago de incendio.

INTRUCCIONES DE LIMPIEZA

- Limpie derrames y salpicaduras inmediatamente con jabón y agua limpia.
- Limpie sus manos y herramientas inmediatamente después de usarlas con jabón y agua tibia.
- Después de limpiar, lave con chorro de agua y alcohol el equipo para prevenir que este se oxide.
- Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando use alcohol.

RECOMENDACIONES DE RENDIMIENTO

Para evitar bloqueo del equipo como rociador, airless, pistola convencional, lavar el equipo luego de usarlo o después de una pausa prolongada usando agua limpia.

Los rangos de rendimiento varían por irregularidades de la superficie, habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, perdida del material durante agitación, derrames, condiciones climáticas, excesivas repasadas.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Consulte la hoja de seguridad de materiales (MSDS) antes de usar.

Los datos técnicos e instrucciones publicados están sujetos a cambios sin aviso. Contacte con su representante de INQUIFESAC para datos técnicos e instrucciones adicional.

ATENCIÓN:

Garantizamos la calidad de este material y su concordancia con nuestras especificaciones. Sin embargo, puesto que el uso y aplicación de este producto está fuera de nuestro control, no asumimos responsabilidad alguna por su manipuleo, uso almacenaje y resultados obtenidos.

Versión: 2.0
Fecha de Revisión: 01/2023

Sistema pasivo Contra Incendio
Ignifugos e intumescentes

NOW'O FIRE

WHITE FIRE X-50 PINTURA

HOJA TÉCNICA

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es una pintura convencional de un solo componente base agua que cuenta con propiedades intumescentes y que resiste altas temperaturas de hasta por 120 minutos.
Especialmente para estructuras de acera, también se pude aplicar en concreto, madera, entre otros.
El recubrimiento aplicado en el material, en presencia de fuego, emite ciertas sustancias que reaccionan a estímulos térmicos y que a su vez reaccionan entre si formando una capa esponjosa que actúa como una barrera ante el fuego.

2. USOS RECOMENDADOS

Protección para cualquier tipo de estructuras.
El producto se aplica en cualquier material como metal, acero, madera, MDF, concreto, mortero, fibra de vidrio y entre otros materiales.
Recomendado especialmente para la protección contra el fuego de centro públicos con gran afluencia como colegios, hospitales, depósitos, mineras, petroleras, cines, supermercados, etc. (De acuerdo con normas nacionales de construcción).

3. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Aspecto:	Liquido Denso
Composición:	Base Agua
PH:	7
V.O.C.:	30 gr/L
Sólidos en Volumen:	72.5 ± 2%
Densidad:	1.335 ± 0.05 Kg./L
Tiempo de secado:	Secado al tacto 1 Hora Repintado 6 horas Secado Completo: 24 Horas (Dependiendo el clima).
Rendimiento:	Rendimiento Teórico: 2.7 m² por Galón - 1 mm (1000 micras) seco aprox. Rendimiento Practico: 2.5 m² por Galón - 1 mm (1000 micras) seco aprox.
Numero de capas:	El espesor puede ser de 400 micras hasta 7000 micras dependiendo el material y teniendo en cuenta la masividad de la estructura metálica, (Formula para aplicar en pocas manos)
Diluyente:	Agregar un máximo de 0-5% de Agua Embotellada o Desmineralizada por envase.
Condiciones de aplicación:	Temperatura 10°C mínimo, 30°C máximo (aire, superficie y material)
Forma de aplicación:	Brocha, Rodillo y Sistema Airless.
Almacenamiento:	12 Meses en lugar seco y a temperatura ambiente
Seguridad	Al aplicar, preferentemente, usar guantes de jebe, lentes, casco, botas y mameluco.
Norma NFPA 255 y ASTM E-84:	Cumple periodos de RF30 – RF180.
Clasificación de Reacción al fuego:	B s1 d0
Envases:	1 Galón, 5 Galones y 55 Galones
Resultado:	ANALIZADO POR EL LABORATORIO DE LA FACULTADAFORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, LA UNIVERISDAD NACIONAL DE INGENIERIA Y UN ESTUDIO DE UN LABORATORIO DE CHILE

ArquinD
Soluciones Arquitectónicas e Industriales
Daniel Delgado C
Arquitecto
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO EN ECUADOR - 0992878971 - ddelgadoc.81@gmail.com - @arquind.ddc
INQUIFESA
SISTEMA PASIVO CONTRA INCENDIO

4. APLICACIÓN

PREPARACION DE SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, seca y firme. Eliminar aceite, grasa, polvo, oxido suelto, y todo material extraño para asegurar una adecuada adherencia.

Acero
Se debe preparar la superficie de forma manual o mecánica, se debe utilizar imprimaciones adecuadas es recomendable un Base Epóxica Anticorrosiva de 2 Componente Base solvente o Base agua.

Madera
Se debe lijar la superficie para abrir los poros de la madera para una mejor adherencia del producto.

Concreto
Para un mayor rendimiento se debe preparar la superficie con un SELLADOR ACRILICO e IMPRIMANTE de NOWO COLORS.

Otros
Los materiales como drywall, cartón, fibra de vidrio, etc. Se debe preparar la superficie antes de pintar.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura:	10°C mínimo, 30°C máximo (Aire, superficie y material).
Humedad relativa:	85% máxima.

EQUIPO DE APLICACIÓN

Brocha y rodillo:

Aplicar directamente sobre el sustrato, repasando bordes, cantos, bordes, aristas y cordones de soldadura. Aplicar una capa gruesa los espesores máximos a alcanzar por estos métodos son de 500-700 micras en película seca por capa.

Equipo de aplicación (Sitema Airless):

Verificar el funcionamiento del equipo de aplicación a una viscosidad adecuada, antes de vaciar la pintura al estanque. Aplicar una capa gruesa (Según el espesor solicitado), la que debe tener un aspecto brillante.

Equipo Airless	
Presión	1800-2000 psi
Manguera	3/8" diámetro interior
Boquilla	0.019" – 0.021"
Filtro	Sin Filtrar
Dilución	0-5% Máximo de agua

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Homogenizar el contenido del envase, revolviendo hasta eliminar totalmente los grumos e incorporar todos sus elementos.

Aplicar el producto sobre la superficie totalmente imprimada adecuada a la superficie a aplicar.

Aplicar de forma pareja y uniforme protegiendo especialmente en los lugares más difíciles del perímetro.

Antes de aplicar la siguiente capa, el producto deberá haber secado durante 6 horas como mínimo, a una temperatura de 20°C y en ambiente seco.

Igual de tiempo se debe esperar antes de manipular la superficie o piezas aplicadas.

Se recomienda para una semi exposición o exposición completa un Esmalte de Poliuretano de 2 Componentes, Esmalte Epóxico de 2 Componentes o Esmalte Acrílico Monocomponente de al menos 50-150 micras de espesor en seco como mínimo.

Solicitar la guía de aplicación de White Fire X-50 Pintura Intumescente

INTRUCCIONES DE LIMPIEZA

Limpie derrames y salpicaduras inmediatamente con jabón y agua limpia.
Limpie sus manos y herramientas inmediatamente después de usarlas con jabón y agua tibia.
Después de limpiar, lave con chorro de agua y alcohol el equipo para prevenir que este se oxide.
Siga las recomendaciones de seguridad del fabricante cuando use alcohol.

RECOMENDACIONES DE RENDIMIENTO

Para evitar bloqueo del equipo como rociador, airless, pistola convencional, lavar el equipo luego de usarlo o después de una pausa prolongada usando agua limpia.

Los rangos de rendimiento varían por irregularidades de la superficie, habilidad y técnica del aplicador, método de aplicación, perdida del material durante agitación, derrames, condiciones climáticas, excesivas repasadas.

El secado de estos productos se produce por evaporación de agua y coalescencia. Variaciones de temperatura pueden alterar el tiempo de secado.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Consulte la hoja de seguridad de materiales (MSDS) antes de usar.

Los datos técnicos e instrucciones publicados están sujetos a cambios sin aviso. Contacte con su representante de INQUIFESAC para datos técnicos e instrucciones adicional.

ATENCIÓN:
Garantizamos la calidad de este material y su concordancia con nuestras especificaciones. Sin embargo, puesto que el uso y aplicación de este producto está fuera de nuestro control, no asumimos responsabilidad alguna por su manipuleo, uso almacenaje y resultados obtenidos.

ArquinD
Soluciones Arquitectonicas e Industriales
Daniel Delgado C
Arquitecto
DISTRIBUIDOR AUTORIZADO EN ECUADOR - 0992878971 - ddelgadoc81@gmail.com - @arquind.ddc
INQUIFESA
SISTEMA PASIVO CONTRA INCENDIO

Anexo 7. Norma ASTM A370

Designation: A 370 – 03

Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products[1]

This standard is issued under the fixed designation A 370; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods[2] cover procedures and definitions for the mechanical testing of wrought and cast steels, stainless steels, and related alloys. The various mechanical tests herein described are used to determine properties required in the product specifications. Variations in testing methods are to be avoided, and standard methods of testing are to be followed to obtain reproducible and comparable results. In those cases in which the testing requirements for certain products are unique or at variance with these general procedures, the product specification testing requirements shall control.

1.2 The following mechanical tests are described:

	Sections
Tension	5 to 13
Bend	14
Hardness	15
Brinell	16
Rockwell	17
Portable	18
Impact	19 to 28
Keywords	29

1.3 Annexes covering details peculiar to certain products are appended to these test methods as follows:

	Annex
Bar Products	A1.1
Tubular Products	Annex A2
Fasteners	Annex A3
Round Wire Products	Annex A4
Significance of Notched-Bar Impact Testing	Annex A5
Converting Percentage Elongation of Round Specimens to Equivalents for Flat Specimens	Annex A6
Testing Multi-Wire Strand	Annex A7
Rounding of Test Data	Annex A8
Methods for Testing Steel Reinforcing Bars	Annex A9
Procedure for Use and Control of Heat-Cycle Simulation	Annex A10

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.5 When this document is referenced in a metric product specification, the yield and tensile values may be determined in inch-pound (ksi) units then converted into SI (MPa) units. The elongation determined in inch-pound gage lengths of 2 or 8 in. may be reported in SI unit gage lengths of 50 or 200 mm, respectively, as applicable. Conversely, when this document is referenced in an inch-pound product specification, the yield and tensile values may be determined in SI units then converted into inch-pound units. The elongation determined in SI unit gage lengths of 50 or 200 mm may be reported in inch-pound gage lengths of 2 or 8 in., respectively, as applicable.

1.6 Attention is directed to Practices A 880 and E 1595 when there may be a need for information on criteria for evaluation of testing laboratories.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

A 703/A 703M Specification for Steel Castings, General Requirements, for Pressure-Containing Parts[3]

A 781/A 781M Specification for Castings, Steel and Alloy, Common Requirements, for General Industrial Use[3]

A 833 Practice for Indentation Hardness of Metallic Materials by Comparison Hardness Testers[4]

A 880 Practice for Criteria for Use in Evaluation of Testing Laboratories and Organizations for Examination and Inspection of Steel, Stainless Steel, and Related Alloys[3]

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines[6]

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing[6]

E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials[6]

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric][6]

E 10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials[6]

[1] These test methods and definitions are under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee A01.13 on Mechanical and Chemical Testing and Processing Methods of Steel Products and Processes.

Current edition approved June 10, 2003. Published July 2003. Originally approved in 1953. Last previous edition approved in 2002 as A 370 – 02[ε1].

[2] For *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* applications see related Specification SA-370 in Section II of that Code.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

[9] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.



DIMENSIONS

	Standard Specimens				Subsize Specimen	
	Plate-Type, 1½ -in. Wide		Sheet-Type, ½ -in. Wide		¼ -in. Wide	
	in.	mm	in.	mm	in.	mm
G—Gage length (Notes 1 and 2)	8.00 ± 0.01	200 ± 0.25	2.000 ± 0.005	50.0 ± 0.10	1.000 ± 0.003	25.0 ± 0.08
W—Width (Notes 3, 5, and 6)	1½ + ⅛ − ¼	40 + 3 − 6	0.500 ± 0.010	12.5 ± 0.25	0.250 ± 0.002	6.25 ± 0.05
T—Thickness (Note 7)			Thickness of Material			
R—Radius of fillet, min (Note 4)	½	13	½	13	¼	6
L—Over-all length, min (Notes 2 and 8)	18	450	8	200	4	100
A—Length of reduced section, min	9	225	2¼	60	1¼	32
B—Length of grip section, min (Note 9)	3	75	2	50	1¼	32
C—Width of grip section, approximate (Notes 4, 10, and 11)	2	50	¾	20	⅜	10

NOTE 1—For the 1½ -in. (40-mm) wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. (25 mm) apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. (200 mm) apart may be used.

NOTE 2—For the ½ -in. (12.5-mm) wide specimen, gage marks for measuring the elongation after fracture shall be made on the ½ -inch (12.5-mm) face or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of three or more marks 1.0 in. (25 mm) apart or one or more pairs of marks 2 in. (50 mm) apart may be used.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in. (0.10, 0.05 or 0.025 mm), respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at either end shall not be more than 0.015 in., 0.005 in., or 0.003 in. (0.40, 0.10 or 0.08 mm), respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other with a tolerance of 0.05 in. (1.25 mm), and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in. (2.5 mm).

NOTE 5—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (*W* and *C*) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used. If the width of the material is less than *W*, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 6—The specimen may be modified by making the sides parallel throughout the length of the specimen, the width and tolerances being the same as those specified above. When necessary a narrower specimen may be used, in which case the width should be as great as the width of the material being tested permits. If the width is 1½ in. (38 mm) or less, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

NOTE 7—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum nominal thickness of 1½ -in. (40-mm) wide specimens shall be 5/16 in. (5 mm), except as permitted by the product specification. Maximum nominal thickness of ½ -in. (12.5-mm) and ¼ -in. (6-mm) wide specimens shall be ¾ in. (19 mm) and ¼ in. (6 mm), respectively.

NOTE 8—To aid in obtaining axial loading during testing of ¼ -in. (6-mm) wide specimens, the over-all length should be as the material will permit.

NOTE 9—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½ -in. (13-mm) wide specimens is over ⅜ in. (10 mm), longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—For standard sheet-type specimens and subsize specimens the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.01 and 0.005 in. (0.25 and 0.13 mm), respectively. However, for steel if the ends of the ½ -in. (12.5-mm) wide specimen are symmetrical within 0.05 in. (1.0 mm) a specimen may be considered satisfactory for all but referee testing.

NOTE 11—For standard plate-type specimens the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.25 in. (6.35 mm) except for referee testing in which case the ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 0.10 in. (2.5 mm).

FIG. 3 Rectangular Tension Test Specimens

8.4 *Aging of Test Specimens*—Unless otherwise specified, it shall be permissible to age tension test specimens. The time-temperature cycle employed must be such that the effects of previous processing will not be materially changed. It may be accomplished by aging at room temperature 24 to 48 h, or in shorter time at moderately elevated temperatures by boiling in water, heating in oil or in an oven.

8.5 *Measurement of Dimensions of Test Specimens*:

8.5.1 *Standard Rectangular Tension Test Specimens*—These forms of specimens are shown in Fig. 3. To determine the

Anexo 8. Norma ISO 12944

01 NORMA UNE EN ISO 12944
d ENSAYOS DE COMPORTAMIENTO EN LABORATORIO

La Norma UNE EN ISO 12944 indica la especificación y métodos de ensayo de laboratorio y las condiciones de éstos para la valoración de Sistemas de Pintura para la protección frente a la corrosión.
Esta parte versa sobre Sistemas designados para soportes de:

- Acero sin recubrir
- Galvanizado en caliente
- Acero recubierto con proyección térmica de cinc

No se aplica esta parte de la Norma en soportes de:

- Acero cubierto por electrodeposición
- Acero pintado

Los ensayos y la duración de éstos están recogidos en la tablas siguientes:

- Tabla nº 1 dirigidos a los Sistemas de Pintura aplicados sobre sustratos de acero.
- Tabla nº 2 dirigidos a los Sistemas de Pintura aplicados sobre acero recubierto con cinc.

Las probetas para la realización de los ensayos deben ser del mismo tipo de acero que se vaya a emplear (y, en su caso, con el mismo recubrimiento de cinc que se vaya a utilizar), con un tamaño mínimo de 150 x 70 mm y un espesor, dependiente del ensayo, pero en todo caso no menor que 2 mm.
Las probetas cumplirán las condiciones de preparación y estado superficial prescritas en UNE-EN ISO 12944-6:1999 siendo:

- Acero granallado a grado , Sa 2½, Sa 3
- Sustratos de acero recubiertos de cinc. La preparación será a acordar.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. Título

Análisis del comportamiento mecánico del acero estructural ASTM A36 recubierto con placas de fibrocemento luego que han sido sometidos a altas temperaturas.

6.2.Descripción

Esta tesis tiene como finalidad analizar el desempeño mecánico del acero estructural ASTM A36 cuando está cubierto con placas de fibrocemento y se encuentra expuesto a altas temperaturas. El acero ASTM A36 es un material ampliamente utilizado en la construcción gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y su facilidad de manufactura. No obstante, su rendimiento bajo condiciones de alta temperatura puede verse afectado, lo que subraya la necesidad de evaluar métodos de protección, como es el caso del recubrimiento con fibrocemento.

El estudio contemplará la caracterización de las propiedades mecánicas del acero A36, antes y después de ser sometido a diversas temperaturas, prestando especial atención a la influencia que ejerce el recubrimiento de fibrocemento. Se examinarán parámetros como la resistencia a la tracción, el límite elástico, la ductilidad y la dureza, con el propósito de determinar si el fibrocemento contribuye a preservar o incluso mejorar la integridad estructural del acero en condiciones térmicas extremas.

La investigación se llevará a cabo a través de ensayos experimentales en laboratorio, donde se recrearán situaciones de incendio o exposición prolongada al calor. A continuación, se realizará un análisis comparativo entre el acero sin recubrimiento y el acero protegido con placas de fibrocemento, para evaluar la efectividad de este último como material de protección térmica.

El objetivo principal es evaluar el comportamiento mecánico del acero estructural ASTM A36 recubierto con fibrocemento tras ser expuesto a altas temperaturas, determinando su capacidad de resistencia y los cambios en sus propiedades físicas

y mecánicas. Esta propuesta se estructura en varios pasos. Primero, se caracterizarán las propiedades mecánicas iniciales del acero estructural ASTM A36 a través de ensayos de tracción y dureza. Luego, se determinará el efecto que la exposición a altas temperaturas tiene sobre las propiedades mecánicas del acero sin recubrimiento. A continuación, se evaluará la efectividad del recubrimiento realizado con placas de fibrocemento en la protección térmica del acero A36.

Posteriormente, se compararán los resultados obtenidos entre el acero con recubrimiento y el acero sin recubrimiento, analizando las variaciones en resistencia, ductilidad y dureza del material. Finalmente, se propondrán recomendaciones acerca de la aplicación del fibrocemento como material de protección para estructuras metálicas expuestas a altas temperaturas.

Esta investigación proporcionará información valiosa sobre la viabilidad del fibrocemento como barrera térmica, contribuyendo así al diseño de estructuras más seguras en condiciones de incendio o exposición prolongada al calor.

6.3.Desarrollo de la propuesta

Para elaborar la propuesta se analizó las siguientes fases que se consideran relevantes para el momento que se la vaya a realizar se han tomado en cuenta los objetivos a los que se propone llegar.

Fase 1

Recubrir los Aceros ASTM A36 con pinturas ignífugas.

Fase 2

Determinar el proceso adecuado para recubrir con paneles de fibrocemento.

Fase 3

Determinar las propiedades mecánicas de las probetas después de haber sido expuestas a altas temperaturas.

Fase 4

Analizar la resistencia mecánica de las probetas de acero estructural ASTM A36 recubierto con fibrocemento después que ha sido sometido al fuego.

6.4.Cronograma

Actividades	Tiempo en meses -2025						
	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Revisión bibliográfica							
Recubrir el acero con el material de fibrocemento							
Exponer al fuego las muestras de acero recubiertas.							
Ensayos de resistencia última, dureza y estructura metalográfica de los aceros recubiertos con fibrocemento.							
Analizar la resistencia mecánica del acero estructural ASTM A36 recubierto con fibrocemento.							